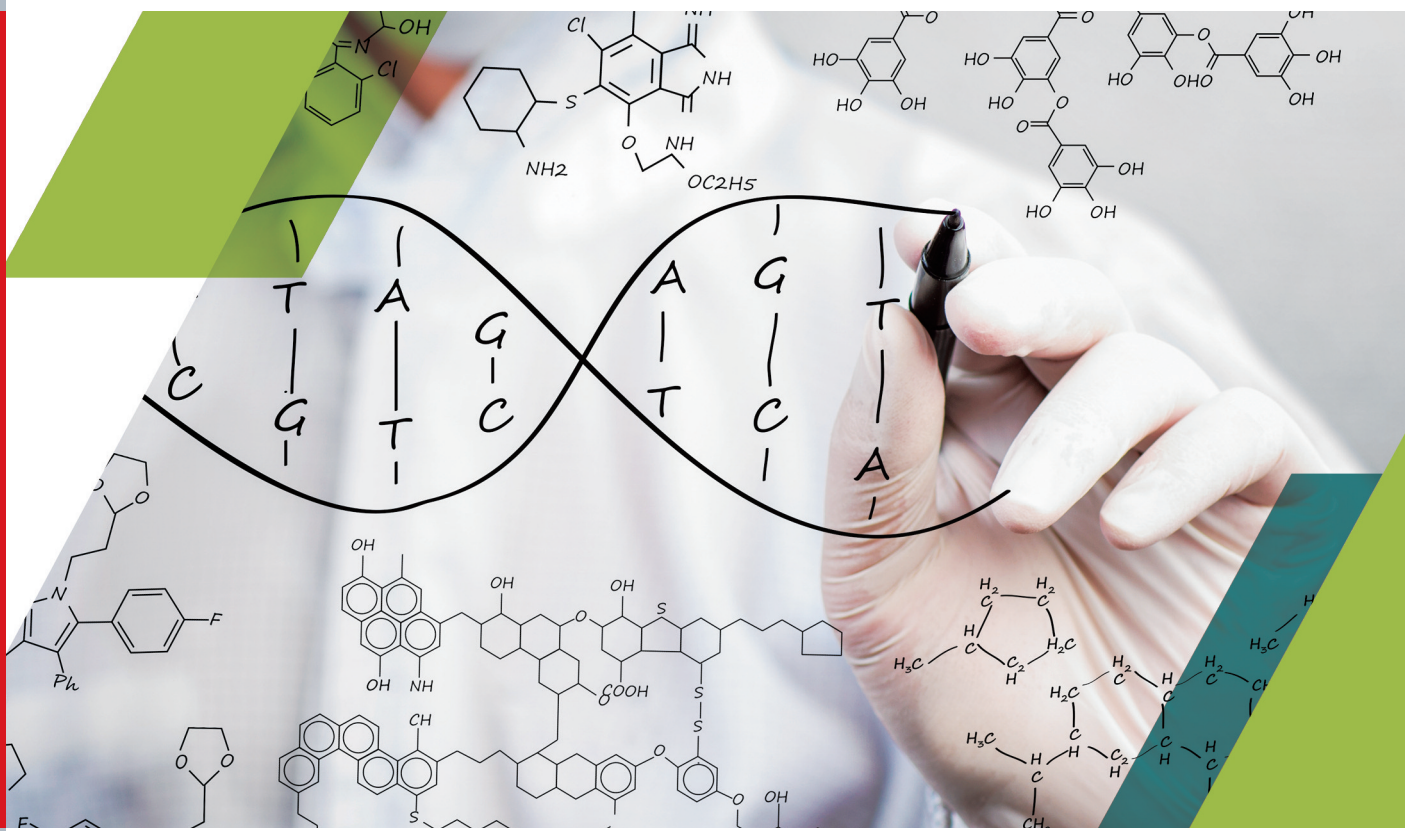
2015 July | vol.1 | no.4



Convergence Research Review

융합연구리뷰

왓슨과 크릭도 예상치 못한
유전체 분석기술의 활용
–
걷는 것은 이제 운동으로만, 교통문화의 혁신
퍼스널 모빌리티

융합연구정책센터 KIST
Convergence Research Policy Center

목차

융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2015 July vol.1 no.4

03 편집자주

04 왓슨과 크릭도 예상치 못한
유전체 분석기술의 활용

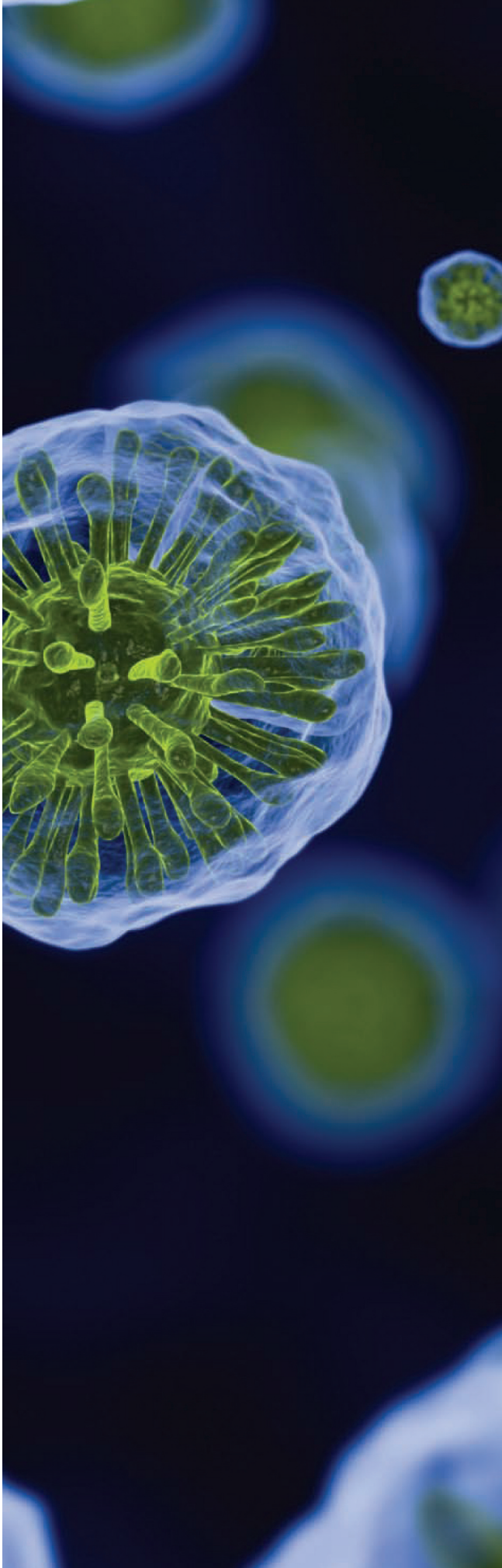
28 국가 R&D 현황 분석_ 유전체 분석기술의 활용

32 걷는 것은 이제 운동으로만, 교통문화의 혁신
퍼스널 모빌리티

48 국가 R&D 현황 분석_ 퍼스널 모빌리티

표지 이야기

DNA 나선형 구조와 3차원 분자 구조의 추상적 이미지를 모티브로 유전체 분석을 표현.



융합연구정책센터 KIST
Convergence Research Policy Center

발행일 2015년 7월 5일
발행인 하성도
발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터
136-791 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5
tel. 02-958-4984 | http://crpc.kist.re.kr
편집 (주)디자인끌림 tel. 051-202-9201

| 편집자주 |

왓슨과 크릭도 예상치 못한
유전체 분석 기술의 활용

1953년, 왓슨과 크릭에 의한 DNA의 이중나선 구조 발견과 함께 생명공학 혁명은 시작되었다. 그리고 2000년 6월, 10여년이 넘는 기간 동안 세계 18개국의 연구진이 참여하여 인간의 유전체를 해독하기 위한 인간 게놈 프로젝트가 완료되며, DNA에 있는 30억개 염기 전체에 대한 게놈 구조가 규명되어 그 혁명은 완성될 것이라 생각하였다. 하지만 당초 예상과는 달리 완성된 지도와 인간의 질병, 행동 등에 대한 연결 고리도 분명하지 않았고, 또한 유전체 지도를 완성하는데 너무나 많은 비용과 시간이 소모되어 당장 활용하기는 어려웠다. 그 뒤로 15년, 유전체 분석기술의 발전으로 유전체를 분석하는데 드는 비용이 획기적으로 줄어들고, 유전체와 인간의 질병, 행동 등에 대한 연결 고리도 많이 밝혀지면서 그 전까지는 연구분야에서만 활용되던 유전체 분석 기술을 산업적으로 본격 활용하고자 하는 시도들이 이루어지고 있다.

본 호의 1부에서는 유전체 분석기술의 발전 정도를 간략히 알아보고 유전체 분석기술을 응용한 바이오산업 혁신에 대해 소개한다. 본 리뷰를 통해 유전체 분석기술을 기반으로 한 바이오산업의 변화 모습을 예상하고, 향후 유전체 분석기술에 기반한 바이오산업이 경쟁력을 갖추기 위해 필요한 융합 기술의 발전을 전망해 본다.

걷는 것은 이제 운동으로만, 교통문화의 혁신
퍼스널 모빌리티

2001년 세그웨이의 등장은 전세계의 충격으로 다가왔다. 새로운 개념의 이동체. 사람들은 이제 더 이상 걷지 않고 새로이 등장한 세그웨이를 타고 다닐 것이라고 많은 이들이 생각하였다. 하지만 비싼 가격으로 인해 대중화에 어려움이 있었고, 그렇게 신개념의 이동체는 역사의 뒤안길로 사라지는 것 같았다. 하지만 차세대 자동차로 전기차와 자율주행자동차에 대한 연구가 많이 이루어지면서 이러한 기술들을 차용한 '퍼스널 모빌리티'라는 새로운 개념의 이동체가 다시 등장하기 시작하였다. 도심화 심화로 인한 주차 · 환경 문제와 인구 고령화 문제 등 다양한 사회 문제를 해결하는데 도움이 될 이동수단으로 퍼스널 모빌리티가 꼽히며, 현재 선진국을 중심으로는 다양한 제품들이 판매 · 시험 운행 중에 있다.

본 호의 2부에서는 퍼스널 모빌리티의 개념과 의의, 역사, 최근의 연구개발 동향 들에 대해 소개한다. 퍼스널 모빌리티 기술을 기반으로 사회에 어떠한 변화가 이루어질 수 있는지를 파악하고, 퍼스널 모빌리티의 대중화와 사회적 수용성 증대를 위한 제도 개선, 기존 이동수단과의 간섭과 대체에 대한 경제적 분석, 안전성 향상을 위한 기술개발 등에 대한 논의와 연구가 활발히 이루어지기를 기대해 본다.

O
HO
OH
O
H_3O

왓슨과 크릭도 예상치 못한 유전체 분석기술의 활용

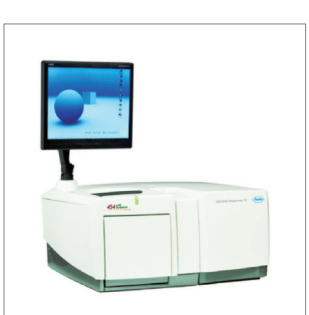
글 ● 마크로젠 임상진단사업부 **금창원**

서론

현실이 된 1,000달러 게놈 해독

13년간 30조원 이상의 연구비가 투자되어 2003년 인간 게놈 프로젝트가 완료되었지만, 기대와 달리 완성된 인간 게놈 정보의 과학적, 산업적 파급효과는 그리 크지 않았다[1]. 과학적, 산업적 게놈 활용의 핵심이 되는 '게놈과 질병의 상관관계'를 명확히 규명하기 위해서는 인간 게놈 프로젝트를 통해 얻어진 하나의 표준 게놈이 아닌, 다양한 표현형과 질병을 가진 개인의 게놈이 필요했지만, 하나의 게놈을 읽어내는데만 천문학적인 돈이 들어가는 상황에서 이런 목표는 요원해 보이기만 했을 뿐이다.

2005년 생명공학계의 스티브 잡스, 조나단 로스버그는 454 life science를 설립하고 최초의 NGS(Next Generation Sequencer) 게놈 해독기인 GS20을 출시해 WGS (Whole Genome Sequence, 하나의 게놈 전체)를 읽는데 들어가는 비용을 낮추며, 게놈 해독기 혁신의 시작을 알렸다[2][3]. 2006년에는 Life technology가 SOLiD(Sequencing by Oligonucleotide Ligation and Detection)라는 새로운 기술 기반의 게놈 해독기를 내놓으며, WGS 비용을 30만달러(3억원,base당 0.0001달러)로 낮추었다[4].



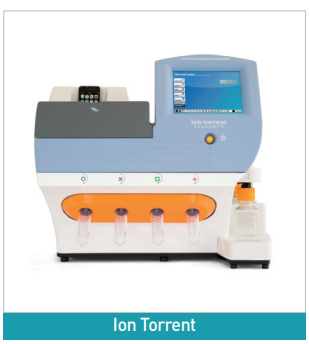
GS20

SOLiD

영국 케임브리지대학 화학과의 두 연구자에 의해 1998년에 설립된 Solexa사는 2006년 Genome Analyzer라는 또다른 NGS 게놈 해독기를 출시 한다[5]. Solexa는 이듬해(2007년) Illumina사에 인수되어 Illumina의 NGS 시장 중흥의 토대를 마련해주는 역할을 하게된다. Illumina는 Solexa의 기술을 발전시켜 2009년 48,000달러에 인간 게놈 해독을 서비스 출시하고, 2010년에는 19,500달러, 2011년에는 4,000달러까지 낮추어 1,000달러 게놈 달성을 목전에 두게 된다[6][7].

한편, 최초의 NGS 게놈 해독기 제작사 454 life science를 설립했던 조나단 로스버그는 이 회사를 Roche에 넘기고, 2007년 Ion torrent라는 회사를 설립, 반도체 칩 위에 DNA를 심어 게놈을 해독하는 기술을 기반으로 새로운 NGS 게놈 해독기를 만들어 2010년 출시 한다[8]. Ion torrent는 기존의 게놈 해독기에 비해 한번에 많은 양의 게놈을 읽어내지는 못하고 100bp 내외라는 짧은 조각의 DNA를 읽어내는 등 한계가 많았지만, 낮은 구동 비용과 빠른 속도의 게놈 해독이 가능하다는 장점을 부각해 초기부터 임상진단 용도로 타겟팅을 하고 시장을 공략했다. 조나단 로스버그는 Ion torrent 해독기를 출시한지 6개월 만에 이번에는 Life technology에 다시 회사를 매각하고, NGS 해독기 경쟁에서 하차하게 된다.

Genome analyzer


Ion Torrent

2004년 설립된 Pacific Bioscience(PacBio)사는 single molecule real time sequencing(SMRT) 기반의 게놈 해독기 PacBio RS 모델을 2011년 출시 한다. PacBio RS 모델은 기대와 달리 게놈 해독 정확도가 80% 수준으로 매우 낮아 시장의 냉대를 받았다. 하지만 타 회사들의 게놈 해독기에 비해 긴 길이(평균1,000 bp)로 게놈 조각을 읽어낸다는 장점을 기반으로 De novo sequencing에 강점을 보이며 차츰 시장에 정착하기 시작했다. 또한, 2013년 기존 모델을 개선한 PacBio RSII 모델을 출시하고, 소프트웨어 성능을 개선해 De novo genome assembly의 정확도를 99.999% 수준으로 향상시켜, De novo assembly라는 니치 마켓을 중심으로 시장 점유율을 높여 나가고 있다[9][10].

PacBio RSII

※ De novo sequencing : 이전까지는 기본 유전자 서열을 기반으로 분석한 유전자를 삽입하던 방식을 탈피하여, 다양한 크기의 짧은 유전자 조각을 여러번 읽어 이를 바탕으로 새로운 긴 유전자 서열을 분석하는 방법

2005년 영국에서는 또하나의 게놈 해독기 개발사 Oxford Nanopore가 설립되었다[11]. 이 회사는 nanopore sequencing이라는 새로운 기술을 기반으로한 게놈 해독기 생산을 목표로 기술 개발을 진행했는데, 게놈을 nanopore(나노미터 사이즈 구멍)에 통과시키며 DNA의 전기적 특성을 활용해 실시간으로 읽어내었다. 이 때문에 게놈을 작은 사이즈로 잘게 조각내 읽어 내는 형태의 기존 게놈 해독기들과 비교해 월등히 긴 DNA 조각들을 월등히 낮은 가격과 단축된 시간으로 해독해 낼 것 같았다. 하지만, 기대와 달리 개발 중간 발표 결과를 보면 예상대로 길이는 길게 읽어낼 수 있는 반면 정확도가 60~80%대에 머물러 99.9% 이상의 정확도를 가진 타사의 제품들과 경쟁을 할 수 있는 수준의 단계로 올라오지 못한 상황이다. 2015년 Oxford Nanopore사는 최초의 게놈 해독기를 출시하는데, MiniON 이라는 USB 사이즈의 휴대용 시퀀서로 여전히 낮은 정확도라는 치명적인 문제를 안고 있는 제품이지만, 샘플을 넣고 컴퓨터 USB 포트에 꽂으면 바로 게놈 해독을 해 낼 수 있어, 작은 사이즈의 바이러스나 세균 등의 게놈을 읽고 확인해 내는 등, 게놈 해독기의 용도를 확장하였다는 평가를 받고 있다[12][13].

MiniOn

2014년 Illumina는 기존의 Hiseq 제품을 개선한 HiseqX를 개발하고, 인간 게놈 해독에 최적화된 HiSeqX10 이라는 시스템(HiseqX 제품 10대가 한 시스템을 구성)을 출시해 드디어 인간 게놈 해독 비용을 1,000달러 로 낮추며 1,000달러 게놈 해독 경쟁의 최종 승리자로 등극하며, 1,000달러 게놈 시대를 현실화 했다[14].

HiSeqX

하지만 게놈 해독기 혁신은 앞으로 꾸준히 지속될 것으로 전망된다. 인간 게놈 프로젝트의 주역 중 한 명이었던 크레이그 벤터는 5년 내로 인간게놈 해독 비용은 30 달러까지 내려갈 것이라고 전망하고 있고[15], 중국의 거대 게놈 해독 전문 기업 BGI는 Illumina의 HiSeqX10(한해 18,000명 게놈 해독 가능)에 대항하여 한해 1만명의 게놈을 해독할 수 있는 NGS 시스템을 출시해 게놈 해독기 기술 경쟁에 박차를 가하고 있다[16].

이렇듯, 인간게놈 해독은 1,000달러 아래로 일상적으로 활용될 수 있을 만큼 가격이 낮아지면서, 다양한 영역에서의 활용이 기대되고 있다. 학문적으로는 기존에 풀지 못한 의학적, 생물학적 문제 해결, 산업적으로는 새로운 의약학, 바이오 제품 개발 및 기존의 산업을 혁신 시키는 매개체로서의 역할을 해낼 수 있을 것으로 기대된다.

의료비 부담의 대안 : 게놈 분석

세계는 지금 그 어느 때 보다 빠르게 팽창하고 있다. 세계 인구는 70억명을 넘어 섰고, 평균 수명도 빠르게 증가하고 있다. 고령화는 곧 만성 질환(chronic disease) 환자수의 급격한 증가로 이어지고, 이는 GDP에서 의료비가 차지하는 비중을 급격히 늘어나게 만들고 있는데, 미국의 경우 이미 전체 GDP의 약 20%가 의료비로 지출되고 있으며, 현재의 의료시스템이 개선되지 않는다면 2040년 34% 까지 증가할 것으로 예상된다[17]. 미국 이외의 여타 선진국에서도 고령화로 인한 의료비의 증가 상황은 동일하게 나타나고 있으며, 한국은 2012년 기준 전체 GDP의 7.6%가 의료비로 지출되어 OECD 기준으로는 상대적으로 낮은 수준을 유지하고 있으나, 고령화로 인한 의료비 증가추세는 동일하게 관찰되고 있다[18].

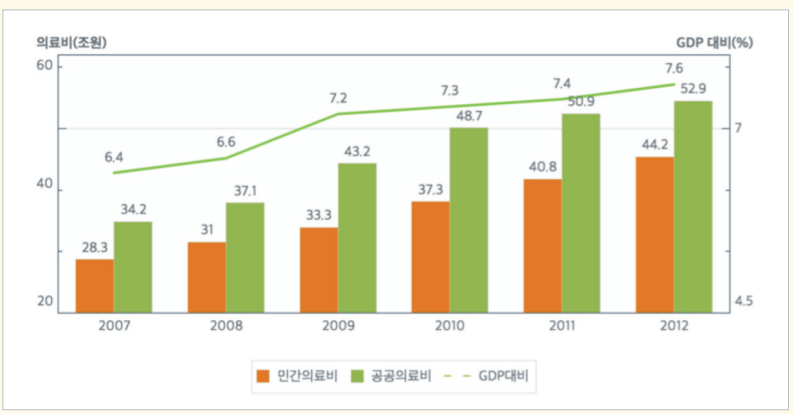


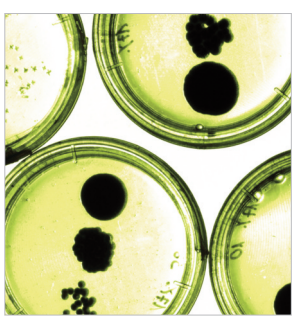
그림1. 대한민국 GDP 대비 의료비
(출처 : 통계청)

개인의 생애에서 보면 사망 직전 1개월간 생애 의료비의 50%이상을 지출하므로, 심각한 질병에 걸려 치료 받기 이전에 미리 질병을 예방하고 관리할 수 있다면 국가 차원에서 막대한 의료비를 절감할 수 있을 것이다[19].

게놈 분석은 개인이 타고난 유전적 패턴을 분석할 수 있게 해주어, 미리 취약한 질병을 확인할 수 있다. 또 그에 상응하는 관리를 통해 질병의 예방을 가능케 할 수 있고, 암과 같이 개인의 발병 상황에 따라 그 특성이 달라지는 질병을 DNA 분자 수준에서 정밀하고 정확하게 진단하여 개인화된 치료로 효율적인 치유를 도울 수 있다. 개인의 게놈 분석은 개인의 유전적 특성에 따른 약물 부작용을 미리 예측해 안전한 약물 처방 또한 가능케 하고 있는데, 이는 미국에서만 한해 10만명 이상의 사망자가 발생하는 약물 부작용에 대한 효과적인 해결책이 될 수 있을 것으로 기대된다[20]. 게놈 분석은 신약의 개발 단계에서 약물이 부작용 없이 효과적으로 적용이 될 수 있는 집단에 국한해 안전한 임상시험이 진행될 수 있게 한다. 이런 과정을 통해 특정한 유전적 특성을 가진 집단에 대해서만 처방이 가능하도록 하는 개인 맞춤형 약물이 속속 개발되어 맞춤형 치료 혁신을 앞당길 것으로 기대된다. 이렇게 다양한 의약학 영역에서 게놈의 활용은 궁극적으로 고령화 되는 각 국가의 의료비를 획기적으로 절감하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 최근 개인 게놈 분석을 통해 혁신이 이루어진 분야를 자세히 살펴보며, 대중화된 개인 게놈의 가능성을 타진해 보자.

본론

스티브 잡스가 남겨놓은 또 하나의 유산, 암유전체 검사



1971년 리처드 닉슨 미국 대통령이 암정복을 기치로 내건 National Cancer Act를 최종 승인한 이래 현재 까지 약 220조원 이상의 자금이 투입되어 수많은 연구가 수행되어 왔지만, 여전히 미국에서만 한해 160만명 이상의 암환자가 발생하고, 암으로 인한 사망자가 한해 59만 명에 이를 정도로, 여전히 암은 인류의 건강을 위협하는 주요 질병 중 하나로 남아 있다[21]. 암은 세포 증식을 억제하는 회로가 체세포 유전자 돌연변이에 의해 손상되어 생기는 대표적인 유전자 질병으로, 어떤 유전자에 이상이 생겼느냐에 따라 암의 기전은 천차만별로 진행된다. 지금 까지는 막대한 유전체 해독 비용으로 인해 개별 암환자 각각에서 어떤 유전자에 이상이 생겨 암이 발병했는지 정확한 진단 자체가 불가능에 가까웠기 때문에, 암환자 치료에 어려움이 많았던 것이 사실이다.

게놈 분석 가격이 급격히 낮아지면서, 암환자의 정확한 진단을 위해 게놈 분석이 활용되기 시작했고, 2010년 스티브 잡스는 자신의 췌장암 말기 치료를 위해 10만달러를 들여 게놈 분석을 통한 암치료를 시도하며 암치료에 게놈을 활용한 선구적 사례를 남겼다[22].

암유전체 검사를 통한 암치료는 우선 암을 유발한 유전자를 게놈 분석을 통해 확인하는 것을 목표로 한다. 암 게놈 분석을 통해 암을 유발한 유전자가 확인이 되면, 이 유전자를 타겟으로 하는 표적 항암제가 존재하는지 확인하고, 표적 항암제 처방을 통해 암을 치료하게 된다. 암세포 유전자 변이는 단일염기 돌연변이(point mutation), 융합 유전자(fusion gene), 유전자 증폭 및 소실(Gene copy number variation)의 3가지로 종류로 나눌 수 있는데, 각 유전자 변이 종류별 대표적인 표적 항암제로 유방암의 Her2 유전자 증폭 변이를 타겟으로 하는 Herceptin, 만성 골수성 백혈병(CML)의 융합유전자BCR-ABL을 타겟으로 하는 Gleevec, 폐암의 EGFR유전자 단일염기 돌연변이를 타겟으로 하는 Iressa 등이 존재한다[23].

암 게놈 검사를 통해 암 유발 유전자를 확인했다고 하더라도, 암 유발 유전자를 타겟으로 하는 항암제나 치료방법이 존재하지 않는 경우에는 마땅한 해결책이 존재하지 않는다. 암 게놈 검사와 함께 앞으로 암 유발 유전자들을 타겟으로하는 항암제들의 개발도 암정복을 위해 필요한 숙제로 남아 있다. 스티브 잡스의 경우에도 암 게놈 검사를 통해 암 유발 유전자를 찾아내는데까지는 성공했으나, 발견된 암 유발 유전자를 타겟으로 하는 약물이나 치료법이 당시로서는 존재하지 않았다.

스티브 잡스의 암 게놈 분석을 통한 치료는 실패했지만, 암 게놈 분석을 위해 Broad institute, Stanford medical center, Navigenics 등 쟁쟁한 게놈 연구팀과 의료팀이 총출동하게 만들었다. 그 때 참여했던 전문가들 다수가 직간접적으로 창업에 관여하여 Foundation medicine이라는 암 게놈 분석 서비스 전문 기업을 만들었으며, 이 회사는 5,800 달러에 FoundationOne이라는 암 게놈 진단 제품을 출시하여, 개인 맞춤형 암 환자 치료 혁신을 이뤄냈다. Foundation medicine은 2013년 상장 되었고, 2015년 1월에는 다국적 제약사 Roche가 Foundation medicine의 주식 56.3%를 확보해 최대주주가 됨으로서 암 게놈 분석과 이를 바탕으로 한 신약개발 혁신도 기대된다[24].

최근 보고에 따르면 Foundation medicine의 암 게놈 진단 서비스를 받은 환자들 중 95%에서 1개 이상의 유전자 변이가 발견되었고, 유전자 변이가 발견된 환자의 65%에 대해서는 해당 암 유전자 변이를 치료할 수 있는 약물처방이 가능하였다[25]. 현재의 암 게놈 분석은 약물 처방 가능성이 존재하는 100~200여개의 유전자에 대한 분석으로 제한적인 상황이지만, 앞으로 더 많은 유전자 타겟 약물이 개발될 수록, 암 게놈 분석은 암환자 치료에 더욱 효과적인 수단이 될 수 있을 것으로 전망된다.

현재는 Foundation Medicine 이외에도 선구적인 대형 병원들을 중심으로 세계 각지에서 암치료에 암 게놈 진단의 도입이 활발히 진행되고 있고, 국내에서도 대형 병원들을 중심으로 암 게놈 분석이 연구와 임상에 활발히 도입되고 있다.

유전체가 바꾸어 놓은 산전 검사 그리고 가족계획

산전 태아의 상태와 유전병 검진을 위해 수행되는 양수검사는 가격이 비싸고, 바늘을 양수에 직접 찔러 넣는 검사 과정에서 검사 받은 1% 산모의 태아가 사망하는 위험성이 따르는 검사로, 양수에서 검체를 직접 채취하지 않는 비침습적 검사의 필요성이 대두되었다.

최근 게놈 분석을 활용해 이러한 위험이 따르는 양수 검사를 대체할 수 있는 검사법이 개발되어 활용 되고 있다. NIPT(Non invasive prenatal test)라고 명명되는 '비침습 산전 유전검사' 는 태아의 몸에서 유래된 cfDNA(Cell free DNA)를 산모의 혈액을 통해 채취해 태아의 유전체 이상을 확인하는 검사법이다. 이는 태아 유전체 이상의 64%를 차지하는 Trisomy 13,18,21을 각각 92.1%, 96.8%, 99% 정확도로 탐지해 내어, 태아 염색체 이상을 확인하는 검사이다[26][27]. 그러나 염색체 이상을 가지고 태어나는 태아가 전체 임신된 태아의 0.5% 정도로 낮기 때문에, 저위험군인 일반 산모에 적용하는 경우, 검사 양성 태아 중 실제 Trisomy를 가진 태아의 비율인 PPV(Positive predictive value)가 40%대에 그쳐, NIPT를 양수 검사를 대체하는 진단의 목적으로는 여전히 활용하기 어렵다는 문제가 있다. 최근에는 현재 시장에 출시된 NIPT 검사 회사들(Ariosa Diagnostis, BGI, Natera, Sequenom, Verify with illumine)의 제품을 활용해 염색체 이상 양성 판정을 받은 태아 샘플 307개에 대해 기존의 침습적 검사로 확진 검사를 수행한 결과 평균 81%(Trisomy 13,18,21에 대해 각각 54%, 77%, 91%)의 정확도를 보였다는 보고가 있다[28]. 이런 이유로 NIPT 를 양수검사를 대체하는 염색체 이상 진단법으로 활용하기는 무리가 있으며, 염색체 이상 위험군을 가리는 스크리닝 테스트(Screening test)의 용도로 제한적으로 활용되어야 할 것으로 보인다.

게놈 분석은 임신 전 장차 태어날 아이의 유전병 발병 위험도를 예측해 가족 계획 단계에서도 활용 되고 있다. 유전 질환(Mendelian disease)은 부모 양쪽의 유전적 조합에 따라 따라 결정되는데, 부모 각각의 유전 질환 관련 유전자보인자(Carrier) 여부를 판별하면, 부모 양쪽의 유전자 조합으로 인해 장차 태어날 아이의 유전병 발병 확률을 계산해 낼 수 있다. 부모 모두 유전병을 가지지 않았지만, 한쪽 염색체에 유전병 유전자를 가진 보인자가 있는 경우 자식 4명 중 1명 꼴로 유전병을 가지고 태어나게 된다. 임신 전 단계에서 이런 유전병 예측 검사를 활용해 가족 계획에 활용할 수 있고, 임신 초기 단계에서는 유전병 확률이 높은 경우 추가적인 검진을 통해 유전병을 조기에 확인해 예방과 적절한 치료에 활용할 수 있다. 2009년 실리콘벨리 스타트업 Counsyl은 임신전 유전병 예측 검사 제품을 출시했고, 현재 미국의 신생아 부모의 약 5%가 유전병 예측 검사를 임신 전 가족계획과 임신 초기 단계 유전병 조기 검진 및 조기 치료에 활용하고 있다.

이와 같이 게놈 분석은 임신 전 단계의 유전병 예측 검사와 임신 중 비침습검사에 이미 활용되어 태아의 유전병과 염색체 이상으로 인한 질병에 대한 안전하고 정확한 검진을 가능케 하고 있다.

가속화 되는 개인 맞춤형 신약 개발

약물에 대한 반응성은 약물에 따라 평균적으로 40~60%에 그칠 정도로 개인별로 큰 차이를 나타내며, 각기 다른 유전자 변이로 발생하는 암 치료제로 국한하는 경우 약물 반응성은 20%정도로 떨어질 만큼 개인간 약물의 효과는 큰 차이를 나타낸다[29].

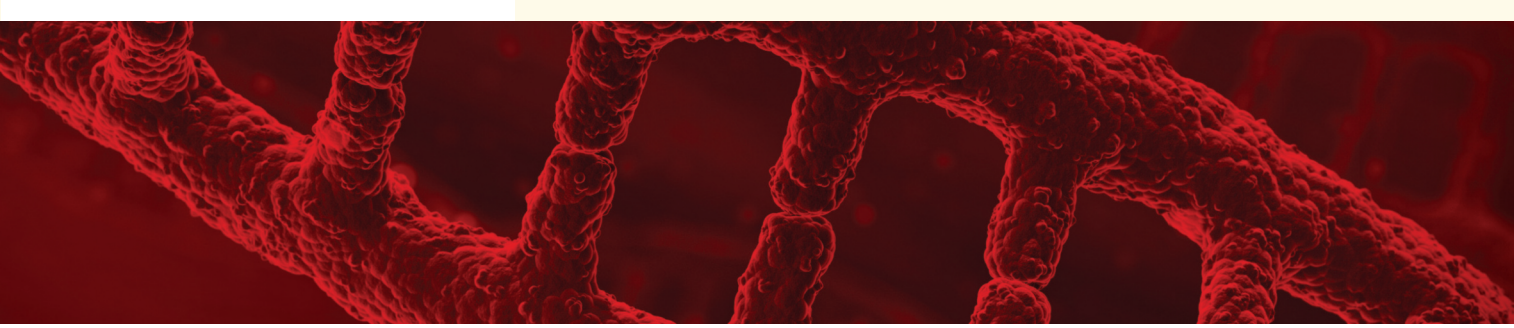
개인간 유전적 차이가 이러한 약물에 대한 반응성의 차이를 만들어 내는 주 원인이다. 따라서 게놈 분석을 통해 개인의 약물 반응성을 예측해, 약물이 효과적으로 적용될 수 있는 경우에 대해서만 한정적으로 약물 처방을 하는 개인 맞춤형 약물 치료가 앞으로 약물 처방 과정에 적극적으로 도입될 것으로 예상된다.

신약 개발 단계에서도 게놈 분석을 활용한 개인 맞춤형 신약 개발이 신약 개발의 큰 흐름을 만들어 나가고 있다. 현재 신약 개발 파이프라인에 포함된 약물 중 42%가 맞춤형 약물이고, 암을 타겟으로 한 약물 중에는 73%가 맞춤형 약물일 정도로 이미 맞춤형 신약 개발은 신약 개발의 가장 중요한 흐름이 되었다. 한 조사에 따르면, 제약사들은 최근 5년간 맞춤형 신약 개발에 투자하는 금액을 두배 이상 늘렸고, 앞으로 5년간 1/3 이상을 더 늘릴 계획이라고 할 정도로 유전자 타겟을 기반으로한 개인 맞춤형 신약 개발은 이미 신약 개발의 패러다임이 되었다[30]. 또한 2014년 승인된 약물 중 20%, 지금까지 승인된 모든 약물 중 13%가 맞춤형 의약품으로, 시판되는 137개 약물에는 약물과 연관성 있는 유전 정보에 대한 라벨이 붙어서 시판되고 있어, 당장 개인 게놈 분석은 제한적이지만, 맞춤형 처방에 활용될 수 있는 상황이다[30][31].

개인 맞춤형 신약은 타겟팅된 유전자 이상이 발견된 집단에 효과가 있는 약물이기 때문에, 약물이 효과적으로 사용될 수 있는 타겟 유전자 이상을 검사할 수 있는 '약물 동반 검사(Companion diagnostic)'의 개발도 맞춤형 신약의 개발단계에서 함께 진행되고 있다. 현재까지 FDA에서 통과된 약물 동반 검사는 총 21종으로 모두 암을 타겟으로 하는 약물에 한정되어 있다[32]. 최근 신약 개발 과정에 들어간 약물들 중 42%가 맞춤형 약물임을 감안하면, 앞으로 약물과 함께 출시될 약물 동반 검사의 숫자도 급격히 늘어날 것으로 예상된다.

최근에는 신약개발 초기 단계인 후보 물질 선정 단계에서부터 게놈 정보가 활용되기 시작했다. 소비자 유전학 회사 23andme는 최근 다국적제약사 Genentech에 자사 고객 게놈 데이터베이스 중 파킨슨병 환자 12,000명에 대한 정보 접근 권한을 제공하고, 이를 활용한 신약개발에 참여하는 계약을 성사시켰다. 이는 6,000만달러 규모의 계약으로, 본격적으로 게놈 데이터의 상업화가 시작되었음을 알리는 상징적인 사건이었다. 더 나아가 23andme는 Genentech의 신약개발 총괄 책임자 등 신약개발 핵심 인력들을 영입하고 직접 신약개발 연구를 시작할 것이라고 천명하고 나섰다[34].

스타트업 회사로 막대한 자금이 소요되는 신약개발에 직접 뛰어든다는 23andme의 계획을 황당무계한 소리로 치부할 수 없는 이유는 크게 두가지로 요약할 수 있다. 첫 번째, 개인 게놈 분석을 활용해 신약 후보 물질이 효과적으로 적용되면서, 약물 부작용이 최소화된 임상후보군을 미리 유전자 검사를 활용해 선정하여 신약개발 단계 중 가장 많은 비용이 소요되는 임상시험 과정의 효율을 극대화 할 수 있다. 성공한 신약 1개를 만들어 내기 위해 제약회사가 소요하는 비용은 평균 4~11조원으로, 대부분의 비용은 임상시험 단계에서 소비된다[35]. 따라서 이 임상시험 과정의 성공확률을 높이는 유전자 기반 임상시험군 모집은 신약개발에 투자되는 비용을 혁명적으로 낮추어 줄 것으로 기대된다. 두번째 이유는 23andme가 현재 가장 많은 인간 게놈 데이터를 축적한 회사라는 점이다. 90만명 이상의 게놈 데이터를 기반으로 다양한 질병군에 대한 새로운 신약 후보 마커를 발굴 할 수 있는 역량을 갖추어 기존의 제약회사들의 신약개발에 비해 효율적인 신약개발 과정을 진행할 수 있다는 점에서 23andme의 행보가 주목된다. 정교한 신약 후보 마커 발굴 및 성공 확률 높은 임상시험군 모집 기반의 임상시험 계획 등 개인 게놈의 활용은 신약개발 과정을 혁명적으로 효율화하여 개인 맞춤형 의료의 기반을 다지는 튼튼한 토대가 되어줄 것으로 기대된다.



IT회사들이 군침 흘리는 DTC 개인유전체 검사 시장

2007년 11월 구글의 공동창업자 세르게이 브린의 부인 앤 워치스키는 23andme라는 개인 게놈 정보 분석 회사를 창업하고, SNP chip 기반의 유전자 분석 서비스를 제공하기 시작했다. 당시 999 달러로 시작한 23andme 서비스는 100만개의 SNP 정보를 분석할 수 있는 Illumina사의 SNP chip을 활용하여 온라인으로 배송된 키트에 침을 뱉어 보낸 고객의 게놈을 분석해 200여 가지 질병 감수성, 유전성 질환, 약물 반응성 등에 대한 분석과 조상찾기 서비스 등을 제공했다.

창업 후 성장에 어려움을 겪던 23andme는 2011년 이후 가격을 99 달러로 낮추고 TV 광고 등 공격적인 마케팅을 펼치며 2015년 5월 현재 90만명 이상의 고객을 확보해 전세계에서 가장 많은 개인 게놈 분석을 제공한 회사가 되었다.

23andme는 창업 초기 부터 FDA의 규제를 받아 왔는데, 이슈가 되는 부분은 DTC(Direct to consumer)라 명명되는 '소비자 직접 판매' 에 있었다. 23andme가 제공하는 정보가 개인유전자 분석을 통한 '질병 진단' 에 가까운 정보임에도 불구하고, 전문 의료진을 거치지 않고 소비자가 온라인으로 직접 구매하고 결과를 받아볼 수 있다는 점이 바로 문제가 되었다. 이로 인해 초기에는 뉴욕주에서 판매 허가가 취소 되었고, 2013년 말에는 '질병 분석' 에 관한 내용을 소비자에게 서비스할 수 없도록 하는 강력한 제재 조치가 내려졌다. 하지만 23andme는 이에 굴하지 않고, 영국과 캐나다에서 공식 판매 허가를 받으며 해외 시장을 적극 공략함과 동시에 미 FDA를 통해 Bloom syndrom에 대한 허가를 받아 규제 당국의 제재 조치에 응수 하며 사업을 확장하고 있다[36].

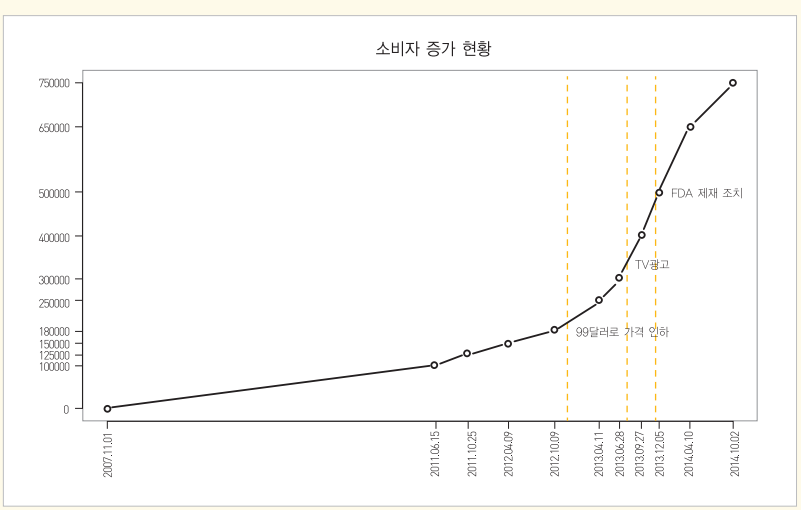


그림2. 23andme 고객수 추이

23andme 이후 이와 유사한 개인유전체 서비스를 제공하는 회사들이 우후죽순처럼 생겨 났는데, Navigenics, DecodeMe, Pathway genetics 등이 미국에서 창업했으나 23andme의 아성을 뛰어 넘은 곳은 나오지 않았다. 국내에서도 2009년 Human genetics가 최초로 DTC 유전자 검사를 런칭했고, 2010년 테라젠이 헬로진서비스를, 2012년 벤처회사 Geference가 JolieTest, BalDX, AthleticDX, 2013년 DNAlink가 DNAGPS 서비스를 런칭 했다. 하지만 국내에서 소비자 직접 판매는 막혀 있고, 병원을 통해 의료진의 요청에 의해서만 판매될 수 있는 상황이라, 소비자 유전체 제품 시장이 크게 성장하지는 못하고 있는 상황이다. 2014년 새롭게 창업한 국내 회사 Genoplan은 이런 법적인 장벽을 피하고자 해외 법인을 설립해, 해외와 국내에 DTC 기반 비만유전자 분석 서비스 개시를 준비 중이다.

최근 일본에서는 일본 야후, 거대 모바일 게임 회사 DeNA, 모바일 컨텐츠 제작사 MTI의 자회사 Evergene 등 세곳의 IT 전문 기업에서 23andme형의 DTC 유전체 분석 제품을 런칭하고 시판을 시작했다. HealthKit, ResearchKit 을 내걸고 공격적으로 헬스케어 시장 공략을 시작한 애플도 개인 게놈 분석 서비스를 준비하고 있다는 소식이다.

구글을 등에 업은 23andme, 애플, 일본의 IT 회사들 등 기존 IT 정보사업자들이 소비자 게놈 시장에 발을 들여 놓으려는 이유는, 개인의 건강에 대한 전방위적 정보 분석을 가능케 하는 개인 게놈 정보가 향후 이들 사업의 성패를 가늠하는 중요한 요인이 될 수 있기 때문인 것으로 풀이된다.

앞서 23andme의 고객 데이터베이스를 활용한 신약개발의 경우와 같이 이렇게 대중 소비자 시장의 제품을 통해 고객 게놈 데이터의 축적이 성공적인 사업화로 이어져 이미 상업적 가치가 인정받은 상황임을 고려하면, 앞으로 게놈 정보의 확보를 위한 IT 회사들과 전문 바이오 회사들 간의 치열한 경쟁이 예상된다.

특허보다 Data가 진입장벽이 되는 유전체 시장

Myriad genetics는 BRCA1/2 유전자에 대한 특허를 바탕으로 1996년 BRCAnalysis라는 유전성 유방암 위험도 검사 키트를 출시해 성공적으로 사업을 운용해 왔다. 특히 2013년 5월 헐리웃 유명 배우 안젤리나 졸리가 유전성 유방암 검사 결과 생애 유방암 위험도가 87% 로 판명되고, 미리 유방을 절단하는 유방암 예방 시술을 받은 사실이 뉴욕타임즈에 실린 이후, Myriad의 BRCAnalysis와 유전성 유방암 검사는 세계적인 이슈가 되며, 대중에 널리 인식되는 계기가 되었다.

안젤리나 졸리로 인해 세계적인 이슈가 되며 사업적으로 큰 성장의 발판이 마련된 것과 같은 시기, Myriad는 유방암 검사 키트의 핵심 경쟁력으로 20여 년간 유전성 유방암 검사 시장을 독점할 수 있게 만들어준 BRCA1/2 특허가 취소되면서 사업적 위기를 맞이하였다.

Myriad의 BRCA1/2에 대한 유전자 특허는 특허 등록 이래로 '인간의 타고난 자연적 산물' 인 유전자에 특허가 성립될 수 있는지 여부를 놓고 끊임없이 논란의 대상이 되었고, 지지부진 한 특허 무효 소송 끝에 2013년 6월 미연방 대법원이 최종적으로 유전자에 대한 특허 자체를 무효로 판결하면서 BRCA1/2의 특허도 취소 되었다.

BRCA1/2 유전자 특허가 사라진 2013년 6월 이후, 수많은 유전자 검사 전문 회사들(Pathway genomics, Counsyl, Quest diagnostics 등)에서 유방암 위험도 검사 키트를 출시해 Myriad가 독점해 온 유방암 검사 시장에 도전하기 시작했다. 절반 이하의 가격의 제품들이 시장에 쏟아져 나오면서 Myriad의 아성이 서서히 무너질 것이라는 예상이 지배적이었으나, 특허 취소 이후 Myriad의 매출은 안젤리나 졸리 특수 등이 겹치며 2014년 오히려 역대 최고인 7억달러를 넘어섰다. 또한 본격적인 경쟁이 가속화된 2015년 매출도 여전히 특허 취소 이전 보다 높은 수준을 유지하고 있고, 전체 BRCA 검사 시장에서 95%라는 압도적인 점유율을 유지하고 있다[37].

세간의 예상과 달리 Myriad genetics사가 BRCA1/2 유전자 특허 취소 이후에도 유방암 유전자 검사 시장의 선두 자리를 굳건히 유지할 수 있었던 데에는 1996년 이후 20여년간 100만여명의 고객의 유방암 유전자 검사를 수행하며 쌓아온 BRCA1/2 유전자 정보의 축적으로 기타 유방암 유전자 검사 회사들에 비해 압도적인 분석력의 우위를 확보했다는 점을 경쟁력의 원천으로 꼽을 수 있다.

유전성 유방암 검사를 위해 분석되는 유전자는 BRCA1, BRCA2 두개로 각각이 81, 189bp, 84, 193bp 길이의 DNA 서열로 이루어진 긴 유전자다. BRCA1/2 유전자를 읽어 유전성 유방암 위험도 검사를 명확히 하려면, 도합 16만개 이상의 BRCA1/2 유전자 DNA 서열 중 어떤 변이가 발견된다 하더라도 변이와 유방암 위험도와의 상관성을 분석해 낼 수 있어야 한다. 하지만 현재까지 연구되어 발표된 유방암 연관 BRCA1/2 유전자 변이의

Figure 3. 23andme 고객수 추이

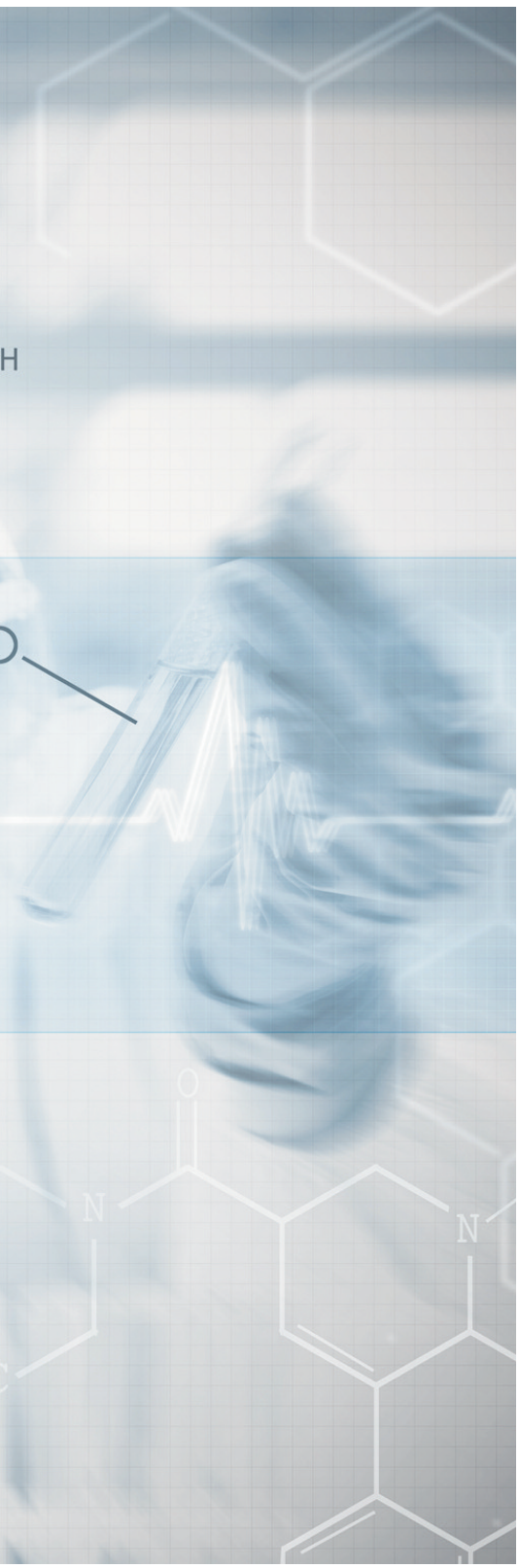
숫자는 BRCA1/2 영역 전체를 커버하기에는 턱없이 부족하다. Myriad는 앞서 언급했듯 20년간 100만여 유방암/비유방암 고객의 BRCA1/2 유전자를 읽어 BRCA1/2 유전자 변이와 유방암의 상관관계를 분석할 수 있는 방대한 데이터베이스를 구축해 놓은 상태로, 바로 이 부분에서 Myriad의 유방암 검사 제품이 타 회사의 제품에 경쟁 우위를 갖는다.

최근 Myriad에서 보고한 결과를 보면, 25,000여 명의 유방암 검사를 수행했을 때, 도합 2,017개의 고유 변이가 발견되었다. 이를 Myriad의 데이터베이스를 활용해 분석한 경우와 현재 BRCA1/2 유전자 변이와 유방암의 상관성 분석을 할 수 있는 대표적인 공공 데이터베이스 5개(BIC, ClinVar, HGMD, LOVD, UMD)를 이용해 분석한 경우를 비교해 보면, Myriad 데이터베이스를 활용한 경우에는 98%의 변이에 대한 해석이 가능하였다. 반면, 공공 데이터베이스를 활용한 경우 65.8%만을 해석할 수 있었다[38]. 다시 말해 Myriad의 유방암 검사가 2%의 변이에 대한 유방암 위험도만 놓치는 반면, Myriad를 제외한 제품들은 35%의 BRCA1/2 변이에 대한 유방암 위험도 해석이 빠진 채로 유방암 검사를 제공할 수밖에 없다는 말이다. 해석 불가한 35%의 BRCA1/2 변이 중 유방암 위험도가 높은 변이가 포함되어 있는 경우, 고객의 유방암 위험도를 판단해 줄 수 없어, 유방암 위험도를 미리 확인해 유방암을 예방하려는 고객들의 요구를 충족시키지 못하게 된다. 특허를 잃었지만, 그 동안 특허로 보호 받으며 쌓은 유방암 검사 고객 데이터가 또다시 Myriad의 유방암 검사 제품의 경쟁력을 확보해주고, 후발 주자들이 시장에 진입하기 어렵게 만드는 요인이 되고 있는 상황이다.

이렇게 데이터로 진입장벽을 쌓은 Myriad에 대항해 유전성 유방암 검사 제품을 내놓은 후발 주자들이 서로 연합해 고객 유방암 검사 결과를 데이터베이스로 쌓아 경쟁력을 확보해 나가려는 움직임이 감지되고 있다. 대표적으로 ClinGen은 Myriad의 유방암 검사를 받은 고객들의 분석 결과를 공유하는데서 시작해 현재까지 수천개의 검사 결과를 모아 Clinvar라는 공개 데이터베이스에 BRCA1/2 변이와 유방암간의 상관관계 결과를 공개하고 있다. 유전자 진단 전문 회사 Quest diagnostics가 주축이 된 BRCAshare, Ambry genetics가 주축이된 PROMPT 등도 Myriad에 대항해 BRCA1/2 변이 정보를 모으는 연합 컨소시움을 구성하여 데이터 수집을 시작한 상태다.

Myriad가 독점적으로 쌓은 데이터가 무효화된 특허로 보호 받으며 쌓은 데이터라는 점을 들어 Myriad의 데이터를 공개해야 한다는 목소리가 커지고 있어, BRCA1/2 유전자 특허 취소와 마찬가지로 어느 순간 Myriad의 데이터가 공개되면 데이터로 구축한 진입장벽이 사라질 가능성이 있다. 하지만, 데이터가 특허 만큼 강력하게 시장의 진입 장벽을 쌓는 진화된 유전자 검사 시장의 현재를 잘 보여주는 사례로 관련 유전자 검사 회사들은 이러한 시장 상황을 잘 인식하고 추후 제품 개발이나 사업 방향 설정에서 고객 유전자 검사 데이터의 자산화를 어떻게 진행해 나가며 제품의 경쟁력을 쌓아 나갈 수 있을 것인지를 심각하게 고민해야 하는 시점이다.

OH
HO
OH
O_3
H_3O
H_2O
OH
HO



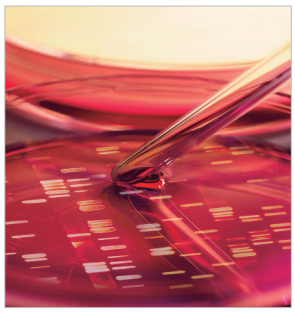
결론

백만명 게놈을 향한 정부와 기업의 경쟁

개인의 유전적 특성을 고려해 개인 맞춤형 질병의 예방, 진단, 치료가 가능하기 위해서는 우선적으로 대규모 코호트(Cohort) 집단에 대한 장기간의 추적조사연구를 통해 개인의 게놈과 질병 발병의 상호 관계를 명확히 규명해야 한다. 이를 위해 각국의 정부와 기업들이 발벗고 나서 100만명 게놈을 기치로 내걸고 대규모 게놈 코호트 집단 연구 경쟁이 시작되었다.

100만명이라는 숫자를 처음으로 내 걸고 대규모 게놈 데이터 확보를 천명한 곳은 앞서 소개한 23andme였다. 게놈 정보의 다양한 활용을 위한 기저 데이터 소스로 100만명의 게놈이면 유병률이 매우 낮은 질병들까지 분석이 가능해지는 등 게놈 활용의 범위가 급격히 넓어질 수 있다는 점, 그리고 소비자 유전체 회사로서 대중화의 중요한 기점으로써 100만이라는 숫자가 기치로 내걸렸을 것이라 짐작된다. 2007년 11월 창업 후 현재 까지 90만명 이상의 게놈 데이터(엄밀히 말하면 SNP chip을 이용한 100만개 SNP 정보)를 확보한 23andme는 현재의 추세대로라면 2015년 말 전세계에서 가장 먼저 100만명의 인간 게놈 정보를 확보할 것으로 예상된다.

인간게놈프로젝트의 주역 중 하나였던 크레이그 벤터도 최근 Human longevity라는 회사를 설립해 2020년 이전에 100만명의 인간 게놈을 확보하고 게놈과 질병, 수명의 상관관계를 분석해 낸다는 목표를 향한 경주를 시작했다. 벤터는 미국 국립보건원(NIH)이 주축이 된 공공진영이 10년에 걸쳐 이뤄냈던 인간게놈 분석을 Shotgun sequencing이란 획기적인 방법을 활용해 3년 만에 완성했던 경험이 있는데, 이것이 가능했던 데에는 유진 마이어스(Eugene myers) 등 당대 최고의 생물정보학자(Bioinformatician, computational biologist)를 영입해 실험 생물학과 컴퓨터 정보과학의 융합을 통한 혁신을 이루었기 때문이다. 이번 100만명 게놈



연구에서도 벤터는 구글 번역팀의 수장이었던 프란즈 오치를 영입해 방대한 게놈 빅데이터에서 효과적으로 인간의 건강과 관련한 정보를 추론해 내는 시스템 개발을 준비해 나가고 있다. 개인의 게놈 데이터는 전처리 전 270Gb(30X, FASTQ 포맷 기준)에 달하는 대표적인 빅데이터로 100만명 게놈 연구와 같은 방대한 데이터가 활용되는 연구에서는 데이터의 저장에 필요한 기본적인 서버 구성에서 데이터 활용을 위한 빅데이터 처리 기법과 게놈 빅데이터에 최적화된 분석 알고리즘 개발까지 생물정보학 기술이 제대로 구비되지 않고는 존립하기 어려운 연구 과제이다. 이를 감안하면 벤터의 이러한 준비는 유사한 게놈 빅데이터 연구를 준비하는 그룹에서 눈여겨 보아야 할 대목이다.

영국 정부는 2012년 10만명 게놈 프로젝트를 국가보건의료서비스(National Health Service, NHS)주도로 진행하여, 여기서 나오는 게놈과 질병의 정보를 국가 의료 보험 체계 혁신에 활용해 의료비를 절감하고 효율적인 진단, 치료 및 처방에 활용하겠다는 계획을 발표했다. 이 계획은 후에 영국 보건부(Department of Health)가 Genomics England라는 회사를 만들어 다양한 정부 기관 및 기업들과 원활한 협력 관계를 통해 10만명 게놈 프로젝트를 성공적으로 운용할 수 있도록 해 2014년 말 부터 본격적인 검체 수집 및 게놈 해독 작업을 시작했다. 10만명 게놈 프로젝트를 통해 얻어지는 모든 지적재산권은 Genomics England사에 귀속되도록 명시되어 있는데, 프로젝트를 통한 수많은 지적재산권을 효과적으로 활용하고 수익 사업을 해나가는데는 정부기관보다 기업이 주체가 되는 것이 합당하다는 점이 정부주도의 대규모 사업을 회사를 만들어 전담하게 한 것으로 분석된다. 2015년 6월 현재 초기 8,000명의 게놈 해독이 완료되었고, 게놈 분석을 위해 4개 기업을 선정해 희귀질환(Rare disease)과 암에 대한 초기 분석 작업을 준비하고 있다. 10만명 게놈 프로젝트는 2017년 완료를 목표로 하고 있으며, 참여한 개인은 게놈 정보 뿐만 아니라 NHS의 국가 의료 보험 정보 시스템의 개인 의료 정보가 추적 조사 연구에 활용 되기 때문에 개인의 게놈이 일생의 건강에 미치는 영향을 매우 정교하게 분석해 낼 수 있을 것으로 기대된다[39][40].

미국도 2015년 들어서며 Precision medicine initiative를 발족, FDA, NIH, NCI 세 개의 기관 주도로 100만명의 게놈을 읽어 암과 질병 치료 혁신을 하겠다는 계획을 발표했다. 여기서 FDA의 역할을 주목할만 한데, 첨단 게놈 해독 장비와 방법론을 활용한 새로운 질병 검사 키트나 제품이 기존의 규제로 시장에 빠르게 출시되지 못하는 문제를 개선할 수 있도록, 게놈 활용 제품들에 대한 규제 개선 방안을 준비하는 역할이 그것이다. 게놈 연구를 통해 얻어진 첨단 지식들이 다양한 방면에서 의료 제약 산업의 혁신에 빠르게 적용될 수 있는 길이 열릴 것으로 기대된다.

한국의 유전체 산업 발전 방안

한국은 세계에서 인간 게놈 해독이 가장 많이 수행된 나라 중 한 곳으로, 유전체 연구에 대한 연구 수준이나 인프라가 세계적으로 잘 갖추어져 있는 편이다. 첨단 유전체 기반 질병 검사나 병원 의료 시스템 도입 등도 연구 중심 대형 병원들을 중심으로 활발히 논의되고 있다. 다만, 앞서 언급한대로 유전체 기술 기반의 제품들의 시장 진입에는 엄격한 정부의 규제가 적용되고 있어, 산업화는 유전체 연구 수준에 비해 그 속도가 더딘 상황이다. Myriad의 사례에서 보여지듯 앞으로 유전체 기반 기업의 경쟁력은 특허 등 원천 기술 보다, 제품이 출시된 후 고객의 게놈 데이터 축적과 이를 제품의 품질 향상에 적절히 활용하는데에서 얻어진다는 것을 감안하면, 정부의 규제로 인해 시장 진출이 늦어지는 것에 비례해 유전체 산업의 경쟁력 쇠퇴로 이어질 가능성이 있는 만큼, 유전체 산업에 대한 규제 재검토가 필요한 시점이다.

또한, 유전체 기반 연구와 제품 개발의 기반이 되는 원천 게놈 데이터의 공공 데이터베이스화도 필요하다. 정부 연구 자금이 투입된 수많은 게놈 연구에서 얻어진 수많은 게놈 정보들은 개개의 연구자들에 귀속되어 논문으로 출판되고 사장되는 경우가 대부분이다. 연구를 통해 확보된 게놈 데이터와 샘플 정보들이 한데 뭉쳐져 일괄적인 기준으로 수집되어, 웹을 통해 공개된다면, 손쉽게 다양한 연구 및 제품 개발 목적으로 정보가 활용되며, 국내 게놈 연구에 투자된 자금의 효율이 극대화 되는 결과로 이어질 수 있을 것이다.

실리콘벨리에서 10억달러(1조원) 이상의 대기업은 4년에 하나, 1,500개 회사 중 1개가 탄생한다[41]. 어설픈 아이디어를 가진 젊은이들이 창업을 하고 제품이 시장에 출시되어, 냉정한 시장의 평가를 받으며 살아 남은 기업들이 구글, 페이스북 같은 세계적 대기업으로 성장한 것이다. 바이오 산업에서도 IT산업에서 일어났던 일이 반복되고 있다. 한국에서 엄격한 규제로 게놈 산업 스타트업들이 완성된 제품을 시장에 출시해 보지도 못하고 고사되고 있는 반면, 실리콘벨리에서는 창의적 아이디어의 제품들이 시장에 출시되어 시장의 피드백을 받으며 크게 성장하는 회사들이 하나둘 나오기 시작하고 있는 상황이다. 바이오 산업, 특히 게놈 기반의 제품군은 그 동안 한국의 경제 성장의 원동력이 되어왔던 Fast follower 전략을 통해 선도 제품들을 따라가며 시장 점유율을 확장하며 성장하기는 어려울 것으로 예상된다. Myriad genetics 사의 BRCA 검사 제품의 사례에서 보듯, 선도 회사가 시장에서 성장하고 난 이후에는 제품의 품질을 결정하는 데이터의 장벽을 뛰어 넘기 어렵기 때문이다. 새로운 제품을 빠르게 시장에 출시하고, 고객의 데이터 숫자를 기반으로 한 게놈 분석력의 우위를 확보할 때, 한국의 유전체 산업은 글로벌 경쟁력을 확보하여, 기존 유전체 연구와의 시너지를 바탕으로 바이오 산업의 강국으로 거듭날 수 있을 것이다.

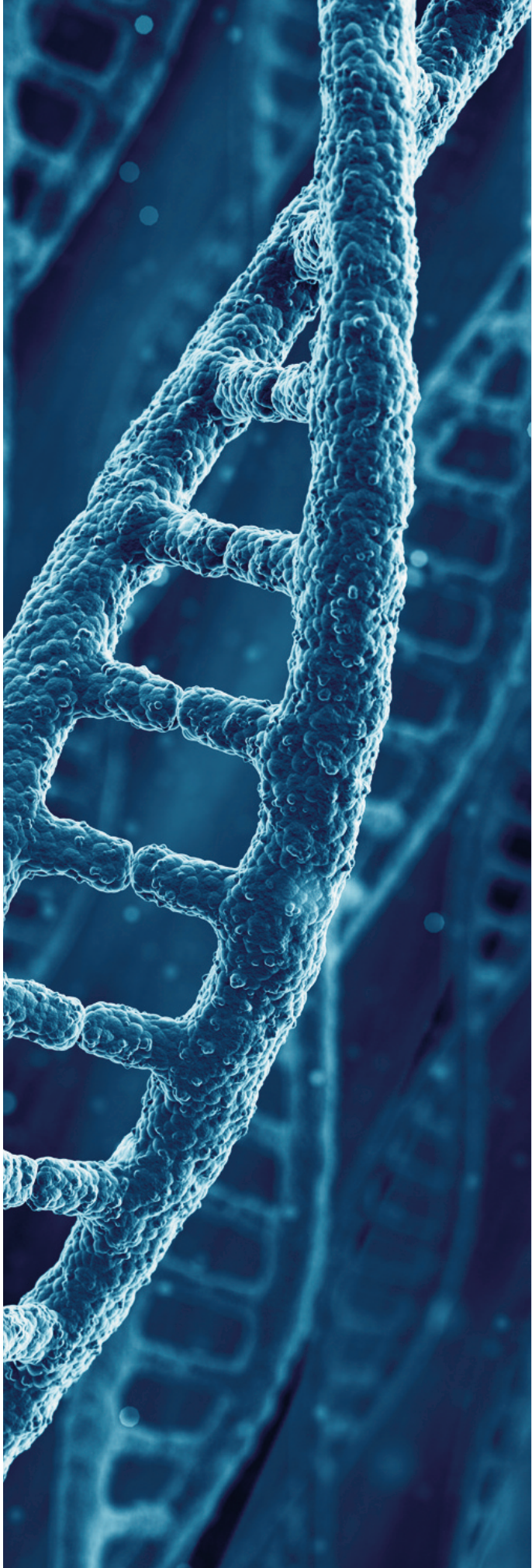
금창원 cwkeum@gmail.com

| 학력 |

· University of Southern California
Computational Biology and Bioinformatics 박사 수료
· KAIST 바이오시스템학과 석사
· 숭실대학교 생명정보학과 학사

| 경력 |

· 現 주식회사 마크로젠 선임연구원
· 前 주식회사 Geference 대표이사
· 前 분자설계연구소 연구원



참고문헌

[1] N. Wade, "A Decade Later, Human Genome Project Yields Few New Cures," The New York Times, 2010.

[2] K. Davies, The $1,000 Genome: The Revolution in DNA Sequencing and the New Era of Personalized Medicine, 1 edition. Free Press, 2010.

[3] 데이비스케빈, $1,000 게놈: 백만 원으로 백 세까지 산다면. MID, 2011.

[4] A. Valouev, J. Ichikawa, T. Tonthat, J. Stuart, S. Ranade, H. Peckham, K. Zeng, J. A. Malek, G. Costa, K. McKernan, A. Sidow, A. Fire, and S. M. Johnson, "A high-resolution, nucleosome position map of C. elegans reveals a lack of universal sequence-dictated positioning," Genome Res., vol. 18, no. 7, pp. 1051-1063, 2008.

[5] "Illumina (company)," Wikipedia, the free encyclopedia. 2015.

[6] "Illumina To Offer $48,000 Personal Genome Sequencing Service - Bio-IT World." [Online]. Available: http://www.bio-itworld.com/news/06/11/09/illumina-personal-genome-sequencing-service.html.

[7] "Illumina drops sequencing price to $4,000," U-T San Diego. [Online]. Available: http://www.utsandiego.com/news/2011/may/09/illumina-drops-human-sequencing-price-4000/.

[8] "Jonathan M. Rothberg," Wikipedia, the free encyclopedia. 2015.

[9] "Pacific Biosciences Single Molecule Sequencing - Icahn Institute - Genomics and Multiscale Biology," Icahn School of Medicine at Mount Sinai. [Online]. Available: http://icahn.mssm.edu/departments-and-institutes/genomics/about/resources/genomics-core-facility/next-generation-sequencing/pacific-biosciences-single-molecule-sequencing.

[10] "Finishing Genomes with HGAP | GEN News Highlights," GEN. [Online]. Available: http://www.genengnews.com/gen-news-highlights/finishing-genomes-with-hgap/81248321/.

[11] "Oxford Nanopore Technologies," Wikipedia, the free encyclopedia. 2015.

[12] "MinION USB stick gene sequencer finally comes to market," ExtremeTech. [Online]. Available: http://www.extremetech.com/extreme/190409-minion-usb-stick-gene-sequencer-finally-comes-to-market.

[13] J. H. on M. 29 and 2013 at 10:07 Am, "MinION: A complete DNA sequencer on a USB stick," ExtremeTech. [Online]. Available: http://www.extremetech.com/extreme/151086-minion-a-complete-dna-sequencer-on-a-usb-stick.

[14] "The $1,000 Genome Arrives -- For Real, This Time," Forbes. [Online]. Available: http://www.forbes.com/sites/matthewherper/2014/01/14/the-1000-genome-arrives-for-real-this-time/.

[15] "PacBio at AGBT - Bio-IT World." [Online]. Available: http://www.bio-itworld.com/2015/3/3/pacbio-agbt.html.

[16] "BGI's Complete Genomics Launches New NGS System Capable of Sequencing 10K Genomes Per Year," GenomeWeb. [Online]. Available: https://www.genomeweb.com/sequencing-technology/bgis-complete-genomics-launches-new-ngs-system-capable-sequencing-10k-genomes.

참고문헌

[17] "The Economic Case for Health Care Reform," whitehouse.gov.

[18] 보건복지부, "2012 국민의료비 및 국민보건계정."

[19] 권복규, "고령화 사회와 웰다잉 : 전생애의료비 중 절반 이상 임종직전 1개월간 지출," NDSL, vol. 42, no. 6, pp. 36-39.

[20] Lazarou J, Pomeranz BH, and Corey PN, "Incidence of adverse drug reactions in hospitalized patients: A meta-analysis of prospective studies," JAMA, vol. 279, no. 15, pp. 1200-1205, 1998.

[21] "Getting Cancer Wrong," Newsweek. [Online]. Available: http://www.newsweek.com/2014/03/28/getting-cancer-wrong-248029.html.

[22] W. Isaacson, Steve Jobs, 1 edition. New York: Simon & Schuster, 2011.

[23] M. R. Stratton, P. J. Campbell, and P. A. Futreal, "The cancer genome," Nature, vol. 458, no. 7239, pp. 719-724, 2009.

[24] "Roche Spends $1.03 Billion For Majority Stake In Foundation Medicine," Forbes. [Online]. Available: http://www.forbes.com/sites/matthewherper/2015/01/12/roche-spends-1-03-billion-for-majority-stake-in-cancer-genomics-firm/.

[25] "Prospective study comparing outcomes in patients with advanced malignancies on molecular alteration-matched versus non-matched therapy.," J. Clin. Oncol.

[26] P. Benn, H. Cuckle, and E. Pergament, "Non-invasive prenatal testing for aneuploidy: current status and future prospects," Ultrasound Obstet. Gynecol., vol. 42, no. 1, pp. 15-33, 2013.

[27] M. M. Gil, M. S. Quezada, R. Revello, R. Akolekar, and K. H. Nicolaides, "Analysis of cell-free DNA in maternal blood in screening for fetal aneuploidies: updated meta-analysis," Ultrasound Obstet. Gynecol., vol. 45, no. 3, pp. 249-266, 2015.

[28] S. W. Cheung, A. Patel, and T. Y. Leung, "Accurate Description of DNA-Based Noninvasive Prenatal Screening," N. Engl. J. Med., vol. 372, no. 17, pp. 1675-1677, 2015.

[29] O. of the Commissioner, "Personalized Medicine." [Online]. Available: http://www.fda.gov/scienceresearch/specialtopics/ personalizedmedicine/default.htm.

[30] "Pharma's Personalized Medicine Investment Remains Steady; Science a Major Hurdle, Tufts Report Shows," GenomeWeb. [Online]. Available: https://www.genomeweb.com/molecular-diagnostics/pharmas-personalized-medicine-investment-remains-steady-science-major-hurdle.

[31] "Genomics – Table of Pharmacogenomic Biomarkers in Drug Labeling." [Online]. Available: http://www.fda.gov/Drugs/ScienceResearch/ResearchAreas/Pharmacogenetics/ucm083378.htm.

[32] "In Vitro Diagnostics – Nucleic Acid Based Tests." [Online]. Available: http://www.fda.gov/MedicalDevices/ProductsandMedicalProcedures/InVitroDiagnostics/ucm330711.htm.

참고문헌

[33] “Surprise! With $60 Million Genentech Deal, 23andMe Has A Business Plan,” Forbes. [Online]. Available: http://www.forbes.com/sites/matthewherper/2015/01/06/surprise-with-60-million-genentech-deal-23andme-has-a-business-plan/.

[34] “ In Big Shift, 23andMe Will Invent Drugs Using Customer Data,” Forbes. [Online]. Available: http://www.forbes.com/sites/matthewherper/2015/03/12/23andme-enters-the-drug-business-just-as-apple-changes-it/.

[35] “The Truly Staggering Cost Of Inventing New Drugs,” Forbes. [Online]. Available: http://www.forbes.com/sites/matthewherper/2012/02/10/the-truly-staggering-cost-of-inventing-new-drugs/.

[36] “ FDA grants 23andMe approval to test for rare genetic condition,” The Verge. [Online]. Available: http://www.theverge.com/2015/2/19/8073029/fda-grants-23andme-approval-bloom-syndrome-rare-genetic-condition.

[37] “ Veritas Genetics Enters BRCA1/2 Space with $199 Test,” GenomeWeb. [Online]. Available: https://www.genomeweb.com/sequencing-technology/veritas-genetics-enters-brca12-space-199-test.

[38] P. J. Vail, B. Morris, A. van Kan, B. C. Burdett, K. Moyes, A. Theisen, I. D. Kerr, R. J. Wenstrup, and J. M. Eggington, “Comparison of locus-specific databases for BRCA1 and BRCA2 variants reveals disparity in variant classification within and among databases,” J. Community Genet., pp. 1-9, 2015.

[39] “Genomics England Names Four Finalist Companies to Begin Interpretation - Bio-IT World.” [Online]. Available: http://www.bio-itworld.com/2015/6/3/genomics-england-names-four-finalist-companies-begin-interpretation.html.

[40] Mark Caulfield, “The 100,000 genomes project protocol.” Genomics England.

[41] A. Lee, “Welcome To The Unicorn Club: Learning From Billion-Dollar Startups,” TechCrunch.

국가 R&D 현황 분석

최근 3년간(2011~2013년) 유전자분석과 관련된 연구개발사업을 분석해보았다.

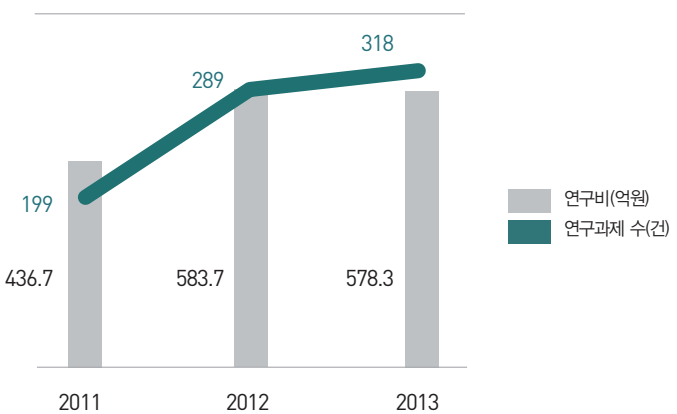
| 과제 선별 기준 |

연구요약문 내 아래 키워드를 포함하고 있는 과제를 선별한 후 연구내용을 바탕으로 분석 대상 선정
(유전자분석) or (게놈 시퀀싱) or (DNA 시퀀싱) or ((유전체) and (맞춤형 신약))

분석 결과 최근 3년간 총 806건의 과제에 1,599억원의 연구비가 투자됨

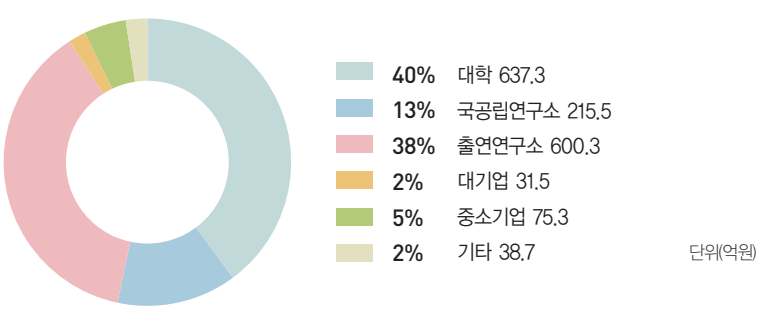
- 유전자 분석에 대한 관심 및 활용성 증대로 관련 연구는 지속적으로 증가 중임
- 유전자 분석기술 개발보다는 유전자 분석기술을 활용한 연구개발이 대다수임

연도별 연구비와 연구과제 수



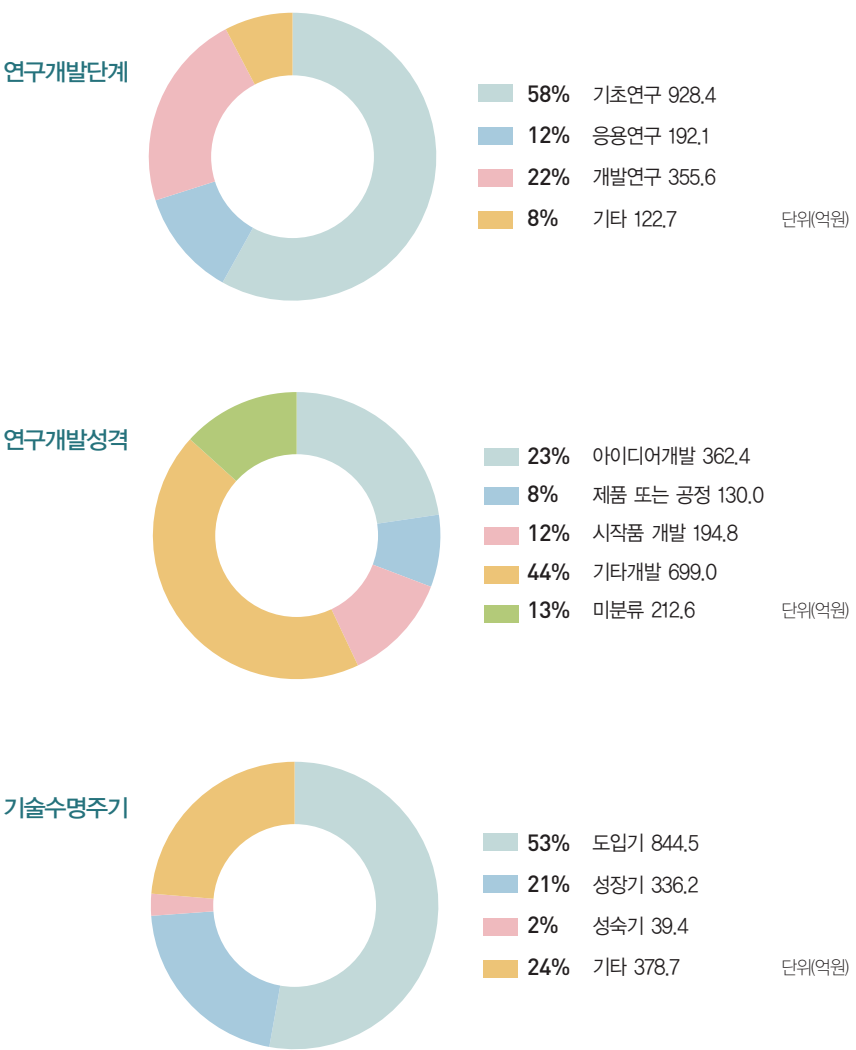
연구수행주체 **대학과 출연연구소, 국공립연구소를 중심으로 연구가 이루어지고 있음.**

- 대학의 경우 525건의 연구(전체의 65%)를 수행하고 있으며, 출연연구소의 경우 과제당 평균 7.5억원의 연구비 규모가 큰 연구를 수행 중임
- 단순히 대학과 연구소 수준의 연구만이 아닌 중소기업과 대기업과 같은 산업계에서도 이미 유전체 분석에 대한 많은 연구를 진행 중임



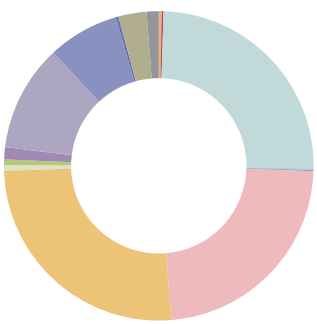
연구수준 **기초연구단계(58%)와 도입기(53%) 연구가 주를 이룸**

- 유전자 분석 기술 활용을 위한 기초연구 단계가 중심이기는 하지만 실질적인 활용을 위한 개발연구 단계가 22%를 차지한다는 사실은 고무적임
- 유전자 분석 기술 및 그 활용 기술을 이용한 다양한 아이디어 개발(23%) 및 제품 또는 공정(8%), 시작품 개발(12%)들이 이루어지고 있음
- 기술수명주기적 측면에서 아직 도입기가 53%를 차지하고 있기는 하지만 성장기의 비율이 21%로 작지 않고, 이미 성숙기에 접어든 기술도 2%나 되기 때문에 향후 산업적 활용 가능성이 더욱더 증가할 것임



연구분야 국가과학기술표준분류와 미래유망 신기술분류(6T), 국가기술지도분류(NTRM)를 분석한 결과 식품, 의료, 생명과학을 중심으로 건강을 위한 BT연구가 대다수인 것으로 나타남

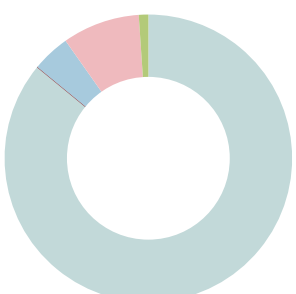
연구분야 [국가과학기술표준분류]



- 25% 농림수산식품 396.1
- 0% 뇌과학 3.2
- 0% 물리학 1.1
- 23% 보건의료 369.9
- 26% 생명과학 411.7
- 0% 수학 0.7
- 1% 에너지 · 자원 9.8
- 1% 원자력 9.3
- 1% 전기 · 전자 20.2
- 11% 정보 · 통신 178.1
- 7% 지구과학(지구 · 대기 · 해양 · 천문) 119.0
- 0% 화공 4.6
- 3% 화학 46.8
- 1% 환경 20.3
- 0% 과학기술과 인문사회 5.0
- 0% 기계 3.0

단위(억원)

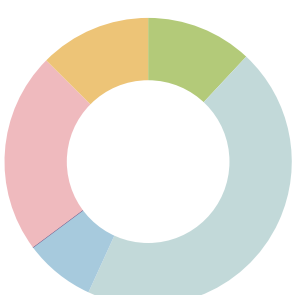
연구분야 [6T]



- 86% BT 1,344.2
- 4% ET 67.0
- 9% IT 136.0
- 1% NT 16.7

단위(억원)

연구분야 [NTRM]



- 45% 건강한 생명사회 지향 596.6
- 8% 환경 · 에너지 프론티어 진흥 106.4
- 23% 국가안전 및 위상 제고 300.9
- 12% 포함되지 않음 167.1
- 12% 정보 · 지식 · 지능화 사회 구현 159.2

단위(억원)

• 농림수산식품, 보건의료, 생명과학분야를 중심으로 유전자 분석기술을 활용한 종자 · 식품 및 질병 제어 · 진단 기술 개발 등의 연구를 수행 중

– 그 외에도 고고학 분석(과학기술과 인문사회), 바이오 연료(에너지/자원, 화공), 방사능에 따른 유전자 변이(원자력), 해양생물 연구(지구과학), 환경 위해성 평가(환경) 등에 활용되며 다양한 분야에서 융합연구가 진행 중

– 유전체 분석 슈퍼컴퓨팅 기술, 차세대 유전자 분석 기술, 유전체 관련성 통계 기모형 개발 등 유전체 분석 기술 자체의 기술 향상을 위한 전자, 정보/통신, 수학 분야의 융합 연구도 진행 중

• 유전체가 BT의 핵심 소재이기 때문에 대다수의 연구(86%)가 BT로 분류되어 진행 중

– 유전체 분석 기술 개발과 관련된 연구의 경우 핵심 기술과 관련된 IT, NT로 분류되어 연구 중인 것으로 나타남

– 환경 위해성 평가 등의 활용 분야 연구는 ET로 분류되어 연구 중인 것으로 나타남

• NTRM 분석 결과도 역시 건강한 생명사회 지향이 45%로 가장 높게 나타났으며, 국가안전 및 위상제고(23%)가 그 뒤를 이음

– 대다수의 연구가 유전자 분석을 활용하여 건강한 생명사회를 만들기 위한 의료적인 용도임을 확인할 수 있으며, 정보–지식–지능화 사회 구현(12%)의 경우에도 건강을 위한 유전체 정보 활용 가능을 목적으로 하고 있음

– 국가안전 및 위상제고가 의외로 높게 나타나 있는데 이는 종자 및 식품 개발에 활용되는 유전자 분석 기술이 이에 포함되었기 때문이며, 환경/에너지 프론티어 진흥(8%)의 경우는 유전체 분석 기술을 활용한 환경 위해성 평가, 바이오 연료 개발 등이 이에 해당하기 때문임

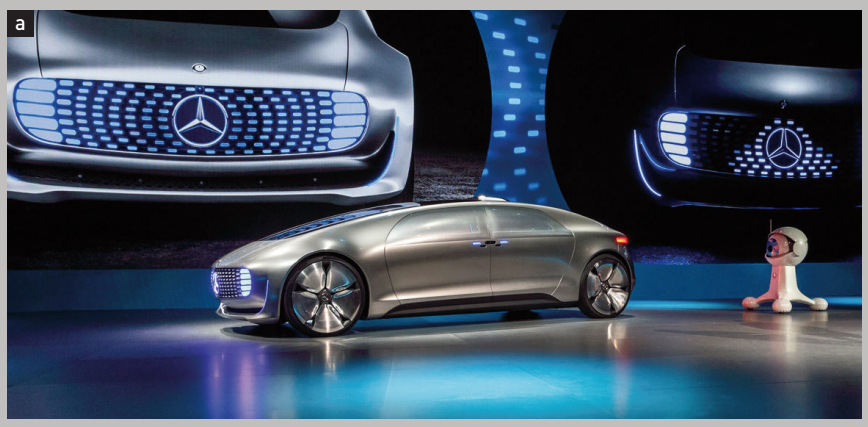
걷는 것은 이제 운동으로만, 교통문화의 혁신

퍼스널 모빌리티

글 ● 차세대융합기술연구원 **김재환**

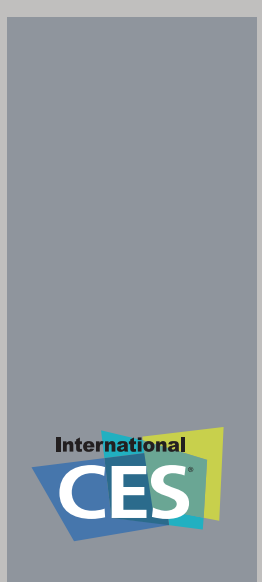
최근 몇 해 전부터 자동차의 개념이 빠르게 변화하고 있다. 미국에서 열리고 있는 세계가전전시회(Consumer Electronics Show, CES)의 전시 내용을 보면 그 변화를 실감할 수 있다[1]. CES가 자동차 업계의 첨단 기술을 선보이는, 모터쇼와는 차별화된 새로운 전시회가 되고 있기 때문이다. 이 사실만으로도 자동차는 이미 가전제품 영역 안에 들어왔다고 말할 수 있으며, 소수의 글로벌 완성차 및 부품업체가 주도해온 자동차 산업에 새로운 지각변동이 시작되고 있음을 확인할 수 있다.

이러한 변화는 '친환경', '고안전', '고편의', '고효율' 자동차 개발에 대한 강한 사회적 요구와 필요성에 기인하고 있으며, 이에 대한 자동차의 변화는 크게 세 가지로 요약할 수 있다. 첫 번째는 전기 자동차의 양산, 두 번째는 스마트카(Smart car)의 기술 고도화, 마지막 세 번째는 퍼스널 모빌리티(Personal mobility)의 등장이다. 본고에서는 이 세 가지의 변화 중에서 퍼스널 모빌리티를 중심으로 그 역사와 필요성 및 파급효과 그리고 개발 동향, 미래의 발전 모습에 대한 예측까지 다뤄보고자 한다.



INTERNATIONAL CES 2015

그림1. CES 2015 자동차 관련 전시 모습 [1]
(a) Benz 전시 모습 (b) 자동차 전시 전경 (c) Toyota 전시 모습
(d) BMW 전시 모습 (e) Audi 전시 모습



퍼스널 모빌리티의 정의와 범위

국내에서는 개인용 이동수단이라고 명명하고 있는 퍼스널 모빌리티는 일반적인 사람들에게는 아직 생소한 이름일 것이다. 그리고 일부 퍼스널 모빌리티에 대해 알고 있는 사람들도 자전거, 휠체어, 세그웨이 정도로만 알고 있을 것이나, 최근 퍼스널 모빌리티에 대한 정의와 범위는 아래와 같이 재편되고 있다.

퍼스널 모빌리티는 개인용 친환경 근거리 이동수단으로, 탑승 인원은 1인승 또는 2인승으로 제한한다. 자체적인 동력원을 포함하며, 배터리를 이용한 전기를 동력원으로 하는 모터 구동방식을 채택하고 있다. 추진방식은 차륜형으로 제한하며, 그림 2와 같이 1륜에서 4륜까지 다양한 구조를 사용하고 있다. 주행속도는 일반적으로 40km/h 이하의 속도를 기준으로 하고 있지만 도로 주행용 퍼스널 모빌리티의 경우 최대 80km/h까지 주행 가능한 모델도 있다. 주행환경은 차체 설계의 단순함으로 기본적으로는 도심형 온로드 환경을, 용도에 따라 실내 또는 실내 외 겸용 및 오프로드 환경도 대상에 포함한다.

위와 같이 퍼스널 모빌리티에 대한 범위를 좁히고 구체화한 것은 현시대적인 상황에 따른 사회적 요구뿐 아니라, 최근 발표되고 있는 퍼스널 모빌리티 모델들의 공통적인 추세를 반영한 것이다. 즉, 퍼스널 모빌리티는 시대에 따른 사회적 요구에 탄력적으로 그 모습을 변화시키고 있는 것이다. 따라서 시대적 상황에 따라 퍼스널 모빌리티가 어떻게 변화되어 왔는지에 대해서 알아보도록 하겠다.

퍼스널 모빌리티의 역사와 개발현황

퍼스널 모빌리티의 역사

보통 퍼스널 모빌리티의 역사는 자전거 또는 휠체어로부터 시작되지만, 본 리뷰에서는 현재의 퍼스널 모빌리티의 정의에 근거하여 전기 자동차의 역사로부터 퍼스널 모빌리티의 역사를 찾아보았다.

흔히 전기 자동차는 최근에 개발 됐을 것이라 생각하지만, 1830년대에 전기 자동차는 이미 개발되었다. 물론 초기에는 배터리와 같은 전기 저장장치가 없었기에 활성화 되지는 못했지만, 그 이후 배터리가 발명되면서 1900년대 초반까지는 내연기관 자동차보다 더 활발히 이용되었다[6][7]. 전기 자전거 또한 1890년대에 발명되었으나 이 당시의 전기 자동차 및 전기 자전거는 퍼스널 모빌리티라는 개념과는 거리가 있었다.

시간이 흘러 1970년대부터 내연기관 자동차들의 배기가스에 의한 대기오염 문제 및 에너지 위기로부터 전기 자동차가 다시 부각되기 시작했으나, 이미 내연기관 자동차의 성능에 익숙해진 사람들을 만족시킬 수 있는 전기 자동차 개발에는 오랜 시간이 필요했다. 이러한 원인은 전기 저장장치, 즉 배터리 성능

그림 2. 양상화된 다양한 퍼스널 모빌리티 모델 (a) 혼다의 U3-X [2] (b) 세그웨이의 i2 [3] (c) 도요타의 i-Road [4] (d) 르노의 Twizy [5]

에 문제가 있었다. 그로 인해 기술력이 부족했던 전기 자동차 대신에 전기 스쿠터가 대기오염 문제 및 에너지 위기, 빠른 도시화 문제의 해결책으로 등장하였으며, 이것이 바로 현대 퍼스널 모빌리티 개념의 첫 등장이였다. 물론 이에 앞서 전동 휠체어가 보급되었으나, 일반인을 대상으로 하는 이동성 중심의 퍼스널 모빌리티의 등장은 전기 스쿠터가 보급되면서 시작되었다. 참고로 전동 휠체어는 제 2차 세계대전의 참전 용사를 돕기 위해 고안됐으며, 1950년대에 처음 설계되었다[8].

1980년부터는 삶의 질 향상에 따라 레저 중심의 퍼스널 모빌리티가 나타났고, 자전거와 같이 전기 보다는 사람에 의해 구동이 이루어지는 퍼스널 모빌리티가 주를 이루었다. 1990년부터는 배터리 기술의 발달과 함께 전기 자전거가 양산되었다.

2001년에 미국의 발명가 딘 카멘(Dean Kamen)이 두 개의 바퀴가 장착된 킥보드 모양의 스쿠터인 세그웨이를 공개하며 새로운 퍼스널 모빌리티 모델이 등장하게 됐다[10]. 세그웨이는 '세상을 바꿀만한 발명품' 으로 소개되면서 큰 화제가 됐으며, 이를 계기로 다양한 모습의 퍼스널 모빌리티들이 등장하게 됐다. 이 때까지도 역시 이동수단보다는 레저용 성격이 강했다.

그러나 2000년에 들어오면서 대기오염 및 에너지, 도시화로 인한 문제, 교통사고 문제 등이 심각한 사회 문제로 인식되면서 2000년대 후반 자동차를 대체할 수 있는 이동수단으로써의 퍼스널 모빌리티가 탄생하게 된다.

2009년 GM과 르노에서 공개한 P.U.M.A와 Twiziy 모델의 프로토타입을 시작으로 도심 주행용 퍼스널 모빌리티들이 기존 완성차 업체를 중심으로 개발되었으며, 현재까지 지속적으로 새로운 모델들이 개발 · 출시되고 있다. 이와 함께 세그웨이와 혼다를 중심으로 휴대용 1인승 퍼스널 모빌리티 모델들도 다양하게 개발되고 있다.

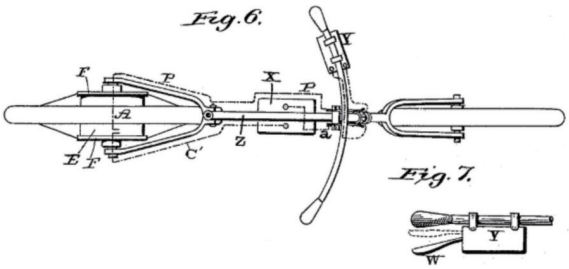
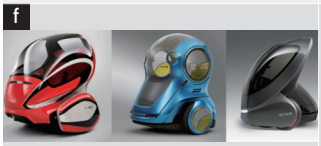


그림 3. 초창기 전기 구동 차량들
(a) 1913년 토마스 에디슨과 전기 자동차 [7]
(b) 1895년 등록된 전기 자전거 특허 [9]
(c) 1853년 개발된 전동 휠체어 [8]

2006	2008	2009
		a Honda U3-X (2009)
	b Toyota Winglet(Model S, Model M, Model L) (2008)	
c Segway (Model i2, model x2) (2006)		
		d GM P.U.M.A (2009)
		Renault Twizy prototype (2009)

그림 4. 2006년부터 최근까지 개발된 대표적인 휴대용, 도심주행용 퍼스널 모빌리티 현황

2010	2012	2013	2014
	Honda UNI-CUB (2012)		Honda UNI-CUB ß (2014)
e Toyota i-REAL (2010):start sale (2007):development		i Toyota i-Road (2013)	
	Ninebot (2012)		j Ninebot One (2014)
			Car sharing (2014)
f  GM EN-V(Pride, Laugh, Magic)(2010)			k GM EN-V 2.0 (2014)
	g Renault Twizy (2012)	Nissan New Mobility Concept (2013)	
	h MIT Hiriko (2012)		

위 그림은 2000년 후반부터 개발되었거나 현재 개발중인 대표적 퍼스널 모빌리티 모델들로, 앞서 정의한 퍼스널 모빌리티에 해당되는 대표 모델들이기도 하다.

퍼스널 모빌리티의 개발 현황

현재 개발되고 있는 퍼스널 모빌리티는 도심 주행용과 휴대용으로 구분할 수 있다.
대표적인 모델로는 도요타의 i-real과 i-road, GM의 P.U.M.A와 EN-V, MIT의 CityCar, 르노의 Twizy가 있으며, 각 모델에 대한 특징은 표1, 2와 같다.

표1. 휴대용 퍼스널 모빌리티

구분	모델		제원	특징
그림 4a	U3-X(Honda) [2]		· 길이 : 314 mm x 160 mm x 650 mm · 무게 : 10 kg · 최고속도 : 6 km/h · 최대 구동 가능 시간 : 1 시간	· 전 방향 이동가능 (큰 바퀴의 기능은 앞뒤로 움직임을 구동하고, 큰 바퀴 외각에 부착된 작은 바퀴들이 측면 방향 구동)
그림 4b	Winglet(Toyota) [13]		모델 S · 길이 : 265 mm x 464 mm x 462 mm · 무게 : 9.9 kg 모델 M · 길이 : 265 mm x 464 mm x 680 mm · 무게 : 12.3 kg 모델 L · 길이 : 265 mm x 464 mm x 1130 mm · 무게 : 12.3 kg, · 최고속도 : 6 km/h, 최대 구동 가능 시간 : 1 시간	· 3가지 타입의 모델이 사용자 각각의 편의에 맞게 개발 이동성 향상
그림 4c	Segway PT (Segway) [3]	i2	· 길이 : 650 mm x 630 mm x 1090 mm · 무게 : 47 kg (모델 i2) · 최고속도 : 20 km/h (모델 i2) · 최대이동거리 : 26~39 km (모델 i2)	· 실내 및 실외를 모두 이동 가능하도록 개발 · 완충시간 8시간~12시간
		x2	· 길이 : 670 mm x 840 mm x 1090 mm · 무게 : 54 kg · 최고속도 : 20 km/h · 최대이동거리 : 14~19 km	· 실외 이동 전용으로 개발되었고, 특히 일반도로 혹은 험지에서 이동하기 위해 타이어에 가하는 압력을 모델 i2와 비교하여 낮게 설정 · 완충시간 8시간~12시간
그림 4j	Ninebot One(Ninebot) [14]		· 길이 : 540 mm x 215 mm x 518 mm · 무게 : 12~14 kg · 최고속도 : 20~25 km/h · 최대이동거리 : 50 km	· 1개의 바퀴로 구동되어 운전자의 조작의 편의성이 낮음

표2. 도심주행용 퍼스널 모빌리티

구분	모델	제원	장점	단점
그림 4d	P.U.M.A (GM) [11]	· 길이 : 1300 mm x 1400 mm x 1800 mm · 무게 : 140 kg · 최고속도 : 56 km/h · 최대이동거리 : 56 km	· 세그웨이 형태의 차량으로 실외 이동성 극대화	· 고속 운행시 불안한 승차감 및 배터리 충전 상태에 따른 밸런싱 기술의 불안함 존재
그림 4e	i-REAL(Toyota) [4]	· 길이 : 995 mm x 700 mm x 1430 mm · 무게 : 150 kg · 최고속도 : 30 km/h · 최대이동거리 : 50 km	· 'Active Lean' 기술을 적용하여 커브 구간에서도 안정적으로 이동가능	· 실내 전용으로 이동하기에는 상대적으로 크기가 크고, 실외에서 활용하기에는 불안함 존재
그림 4f	EN-V (GM) [11]	· 길이 : 1500 mm x 1400 mm x 1770 mm · 무게 : 400 kg · 최고속도 : 40 km/h · 최대이동거리 : 40 km	· 세그웨이 형태의 차량으로 실외 이동성 극대화	· 차량 크기에 비해 무겁고 배터리 충전 상태에 따른 밸런싱 기술의 불안함 존재
그림 4g	Twizy(Renault) [5]	· 길이 : 2320 mm x 1190 mm x 1460 mm · 무게 : 450 kg · 최고속도 : 80 km/h · 최대이동거리 : 100 km	· 현재(2015) 까지 개발된 퍼스널 모빌리티 중 가장 많이 판매됨 · 유럽 주요 도시에 car-sharing 프로젝트 수행	· 운전 중 탑승자의 시야가 상대적으로 안 좋음
그림 4h	Hiriko(MIT) [12]	· 길이 : 2500 mm x 1700 mm x 1700 mm (Fold mode: 1520 mm x 1700 mm x 2000 mm) · 무게 : 500 kg · 최고속도 : 90 km/h, · 최대이동거리 : 120 km	· 제자리 회전 가능 (4개의 모든 바퀴가 2방향 회전 가능) · Folding(접는)기능으로 차량의 길이 변경 가능 (주차 공간의 효율 향상)	· 제자리 회전기능으로 차량의 바퀴 평행 축이 자주 뒤틀리는 현상 발생 · 8개 이상의 구동모터 유지 및 보수가 어려움
그림 4i	i-ROAD(Toyota) [4]	· 길이 : 230 mm x 800 mm x 1445 mm · 무게 : 300 kg · 최고속도 : 30 km/h · 최대이동거리 : 50 km	· 'Active Lean' 기술을 적용하여 커브 구간에서도 안정적으로 이동가능, 카-쉐어링 프로젝트에 적합	· Active Lean 기술에 대한 신뢰성 및 기존 자동차와의 다른 방식으로 인한 사용자들의 불안함 존재
그림 4k	EN-V 2.0 (GM) [11]	· 길이 : 2200 mm x 1400 mm x 1700 mm · 무게 : 400 kg 이상 · 최고속도 : 40 km/h · 최대이동거리 : 40 km	· 자율주행 기술 탑재	· 자율주행 기술의 실효성 미흡

이처럼 2000년 후반부터 최근까지 도심 주행용 퍼스널 모빌리티가 주를 이루고 있는 이유는 앞서 언급했듯이, 대기오염 및 에너지 문제 그리고 도시화로 인한 문제, 자동차로 인해 발생되는 교통사고 문제 등에 대한 대안으로 퍼스널 모빌리티가 제시되고 있기 때문이다. 그 중 도시화로 인해 발생된 문제는 퍼스널 모빌리티가 가장 확실한 대안이기에 도시화로 인해 이미 심각한 사회 문제를 겪고 있는 유럽과 일본에서 가장 활발하게 연구개발이 이루어지고 있다. 따라서 도시화로 인해 발생되는 주요 문제들과 왜 퍼스널 모빌리티가 그 대안이 될 수 있는지에 대해서 자세히 알아보도록 하자.

퍼스널 모빌리티의 필요성과 파급효과

도시화로 인해 발생되는 대표적인 현상은 도심지역 인구 집중 현상과 1인 가구 비율 증가, 그리고 고령화 인구 증가 현상이 있다[15][16]. 우선 이 세 가지 현상들로 인해 발생되는 문제점들에 대해서 알아보고 퍼스널 모빌리티가 그것에 대한 대안으로 어떻게 제시되고 있는지 살펴보자.

도심지역 인구 집중현상

현재 전 세계 50% 이상의 인구가 도심지역에 밀집하여 교외 지역에 거주하는 인구는 정체되거나 감소하고 있는 상황이다. 유엔 인구분과 위원회(United Nations Population Division)에 따르면, 2010년에 도심지역의 인구가 교외지역의 인구를 넘어섰고 이러한 경향으로 볼 때 2050년에는 35억명인 도심인구가 63억명으로 증가할 것이며, 반면 교외지역의 인구는 34억명에서 28억명으로 감소할 것이다. 특히 이러한 도심지역 인구 집중 현상은 개발도상국에서 상당히 빠르게 진행되고 있다[18]. 이는 막대한 에너지 사용과 환경 문제 그리고 주차공간 부족 문제와 같은 사회 문제를 야기할 것이기 때문에 경제성장을 목표로 하는 개발도상국의 입장에서는 어려운 숙제가 되고 있다.

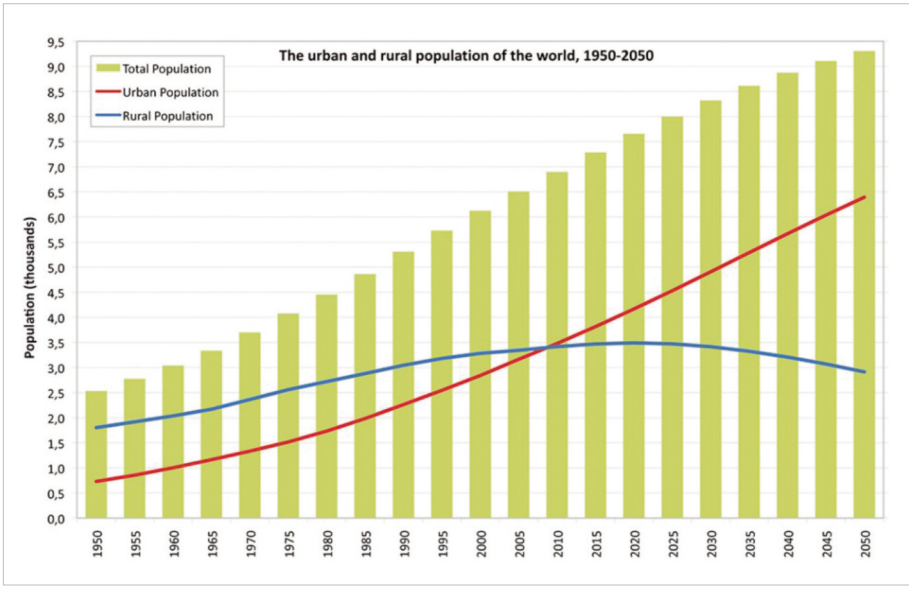


그림 5. 세계 인구 변화와 도심 및 교외지역의 인구 변화 추이 [17]

1인 가구 비율 증가현상

1인 가구의 비율도 증가하고 있다[19]. 특히 유럽의 경우 전체 가구에서 1인 가구의 비율이 31%로 굉장히 높다. 아시아, 동유럽, 남아메리카는 1인 가구의 비율이 상대적으로 낮은 편이지만 계속해서 빠르게 증가 될 것이라 예상되고 있다. 20대 인구의 결혼 시기가 늦춰지고, 여성의 경제생활 참여가 증가하면서 유발된 1인 가구의 증가는 주택 및 자동차 수의 증가 문제를 야기하며 이 역시 에너지 사용량 및 교통량 증가 문제 그리고 환경 문제와 주차공간 문제를 야기하고 있다.

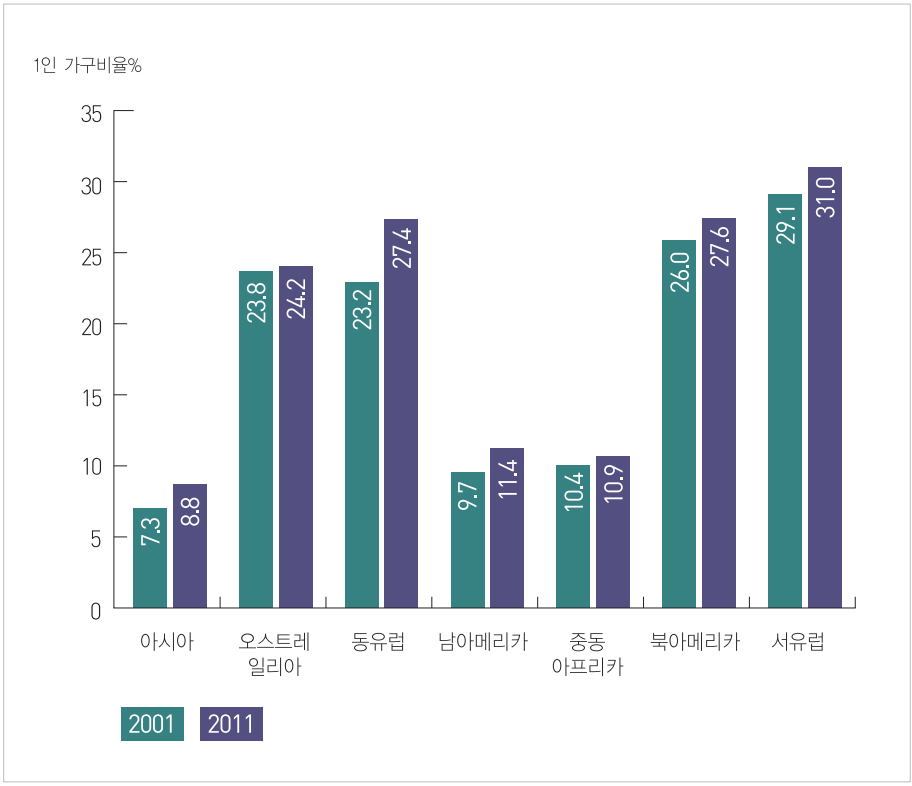


그림 6. 1인 가구 변화 추이 (2001 ~ 2011년) [19]

고령화 인구 증가 현상

마지막으로 도심지역의 고령화 인구 증가 현상이 있다. 2050년에는 전 세계 인구 중 65세 이상의 인구 비율이 15% 이상이 되는 고령화 사회가 예견되고 있다[17]. 2025년에 일본의 경우는 60세 이상의 인구가 전체 인구의 1/3 이상이 될 것이고, 중국의 경우는 현재 미국의 전체 인구 수와 비슷한 2억 9천만명의 인구가 60세 이상일 것으로 예상되고 있다. 이러한 고령화 문제로 인해 사회적으로 이들을 위한 편의 시설과 운송 시스템 등 복지와 관련된 다양한 변화가 요구되고 있다. 또한 고령 운전자에 의한 교통사고가 지속적으로 증가하고 있는 상황에서 이들을 위한 새로운 이동 시스템에 대한 필요성도 높아지고 있다.

퍼스널 모빌리티의 필요성 및 파급효과

앞서 살펴본 이 세 가지 현상들로 인해 발생되는 문제점들을 정리하면, 에너지 사용량 및 교통량 증가 문제, 환경 문제, 주차공간 부족 문제가 있다. 그리고 여성 및 고령자를 위한 운송 시스템의 변화와 교통사고를 줄일 수 있는 방안 제시가 요구되고 있다. 기존 자동차 그리고 그 시스템의 변화 없이 이러한 문제들을 해결한다는 것은 매우 어렵다. 2010년 발행된 'Reinventing the Automobile: Personal Urban Mobility for the 21st Century' 에서는 퍼스널 모빌리티가 에너지 효율 효과와 안전성 증대 효과 그리고 주차 문제에 대한 해결 효과를 가져와 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 대안임을 언급하고 있다[15].

에너지 효율 효과

도심 주행용 퍼스널 모빌리티의 가격은 전기 자전거 및 전기 스쿠터에 비해 비싸겠지만 세단 및 SUV 가격에 비해서는 저렴할 것이다. 또한 450kg 이하의 차량 무게에 4kWh 리튬-이온 배터리와 두 개의 5kW 모터 정도를 사용한다면 도심 지역의 운행에 요구되는 속도와 이동 거리를 충분히 만족할 수 있기 때문에 도심 운행에 있어서 차량 금액 대비 에너지 효율상 이득이 있다고 볼 수 있다[15]. 참고로 인구 밀도가 높은 지역에서의 평균적인 차량의 속도는 16km/h 이하를 유지하고 있으며, 도심에서는 24 ~ 40km/h 속도 범위에서 운행되고 있다.

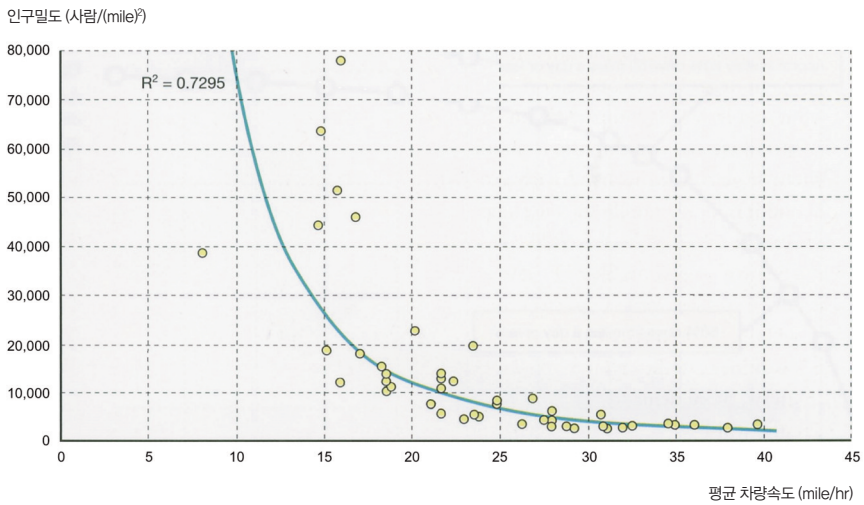


그림 7. 인구 밀도 증가에 따른 차량의 평균 속도 감소 추이 [15] [20]

안전성 증대 효과

퍼스널 모빌리티의 가장 큰 특징은 기존 자동차와 비교했을 때, 안전성이 높다는 것이다. 일반적인 형태의 자동차와 비교했을 때, 주행하는 퍼스널 모빌리티는 현저히 작은 운동에너지를 가지게 된다. 따라서 도심 지역서 기존 자동차에 비해 교통사고 발생률 및 사고로 인한 피해가 줄어들 수 있다. 속도에 따른 차량과 보행자간의 충돌 사망 비율을 연구한 결과에 따르면, 시속 32km에서는 5% 미만의 사망율을 보이지만, 시속 64km이상에서는 보행자 사망율이 85%에 이른다[15][21].

주차 문제에 대한 해결 효과

일반 자동차와 비교하여 현저히 크기가 작은 퍼스널 모빌리티는 인구 밀도가 낮은 도심지역과 교외지역에서는 큰 효과를 볼 수 없지만, 반대의 경우 큰 효과를 얻을 수 있다. UCLA 경제학자인 돈 쇼프(Don Shoup)교수의 저서 "The High Cost of Free Parking"에서는 도시에서 길거리 주차에 사용되는 비용은 상당히 큰 액수로, 주차 공간을 줄이는 것은 거리 혼잡과 주차에 부과되는 비용을 줄임과 동시에 감소된 공간을 더욱더 가치 있고 생산적인 방법으로 사용할 수 있게 해 준다고 한다[22]. 현재 도심 지역의 주차 공간을 새로 만드는 것은 힘든 상황으로 주차된 차량의 밀도를 높이는 방법이 가장 효과적인 방법이라 할 수 있다. MIT 미디어랩에서 개발 중인 CityCar와 일반 자동차의 주차 공간을 비교하면, 일반 자동차 1대가 주차되는 공간에 최대 3대의 CityCar가 주차될 수 있어[15] 주차 차량의 밀도를 높일 수 있다. 또한 일반 자동차보다 주차가 더 쉽다는 장점도 가지고 있다. 일반적으로 주차 공간의 상황과 차량의 크기 및 주차 형태에 따라서 100% 주차 공간을 모두 이용하기 힘들지만, 퍼스널 모빌리티의 경우 크기가 작고 이동능력(제자리 360도 회전 능력 등) 및 자동 주차 기능 추가가 용이하므로 주차 공간을 더 효율적으로 사용할 수 있다. 앞에서 언급한 퍼스널 모빌리티의 작은 크기, 높은 기동성 그리고 자동 주차 기능이 구현되면 100대의 퍼스널 모빌리티가 주차되는 공간은 100대의 일반 자동차가 주차할 수 있는 공간에 비해 1/3 또는 최대 1/4까지 줄어들 수 있다. 이를 통해 도시는 절약되는 공간을 유용하게 다른 용도로 개발할 수 있고 차량 이용자는 낮은 주차요금을 지불하게 되는 이득을 얻을 수 있다.

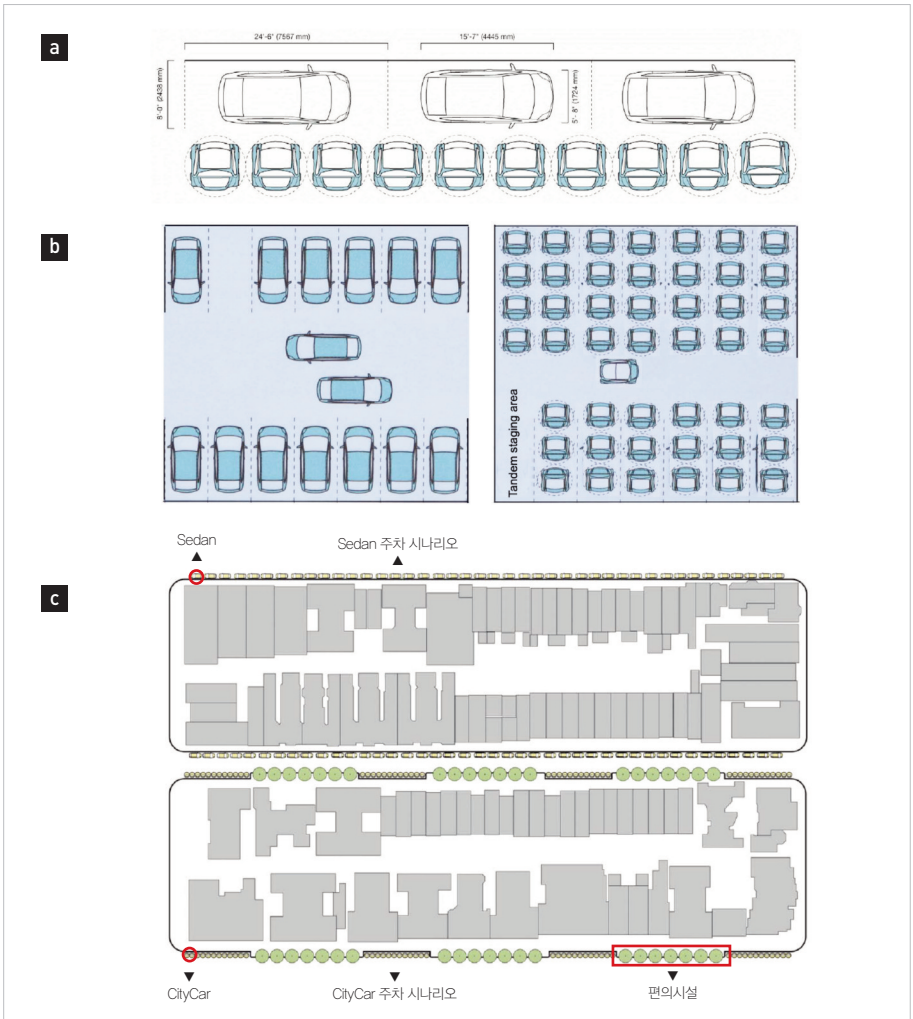


그림 8. 퍼스널 모빌리티(CityCar)와 일반 차량(sedan)을 이용한 주차 공간 이득 비교[15][21]

(a) 도시 길거리 주차 공간 비교, CityCar 3.3대 : Sedan 1대 (b) 주차장 주차 공간 비교, CityCar 46대 vs Sedan 14대 (c) 시나리오를 통한 비교, CityCar 96대 및 편의시설 vs Sedan 86대

지금까지 언급한 세 가지 파급효과를 정리해보면, 퍼스널 모빌리티는 기존 자동차와 비교해 작은 크기와 가벼운 중량 그리고 저속 주행을 한다는 특징으로 배터리를 이용한 도심 주행에 있어서 높은 에너지 효율을 낼 수 있으며 적은 운동에너지로 교통사고 발생률과 피해를 최소화하며, 주차 밀도를 높여 공간 사용 효율과 경제적 효과를 가져올 수 있다. 또한 자동차와 비교해 주행 조작이 쉽고 시야 확보가 수월하기 때문에 여성 및 고령 운전자들에게 운전에 대한 부담을 줄여줄 수 있다는 효과도 있다. 즉, 이는 앞서서 언급한 도시화에 따른 문제점들에 대한 대안이 될 수 있다는 말이다. 이러한 이유로 현재 유럽과 일본에서는 도심 지역의 새로운 교통 및 운송 시스템으로써 퍼스널 모빌리티를 시범운영하며 현실화시키고 있는 상황이다. 그렇다면 퍼스널 모빌리티가 실제로 어떻게 활용되고 운용되고 있는지에 대해서 알아보겠다.

퍼스널 모빌리티의 활용

가장 대표적인 활용 사례로는 프랑스 그로노블(Grenoble)에서 운영되고 있는 카-쉐어링 프로젝트가 있다[23][24][25]. 이 프로젝트는 전기차 공유 서비스에 대한 3년간의 시범운영 프로젝트로, 그로노블에 있는 도시인 그로노블-알프스 메트로폴(Grenoble-Alpes Metrople)과 EDF, Sodetrel, Toyota, Cite lib 이렇게 4개의 업체가 참여해 2014년 10월부터 시작됐다.

그림 9. 프랑스 그로노블 카-쉐어링 프로젝트 개념도 [24]

그로노블-알프스 메트로폴은 프랑스 알프스에 위치한 도시로, 49개의 마을과 450,000명이 살고 있으며, "주요 경제 개발 허브 도시"로 지정된 프랑스의 12개 대도시 중 1개 도시이다. 이 프로젝트를 위해, 도요타는 퍼스널 모빌리티 총 70대(i-Road 35대와 CMOS 35대)를 투입하였고 EDF의 자회사인 Sodetrel은 27대의 충전 스테이션을 지하철역 및 버스정류장 근처에 설치하였다. 현재 추가적으로 120개의 충전 스테이션과 다른 플러그인 자동차를 위한 41개의 충전 스테이션도 투입할 예정이다. EDF는 프랑스의 에너지 발전 및 공급 회사로, 에너지 공급과 서비스를 진행하고 있으며, Cite lib은 카-쉐어링 네트워크 시스템 구축 및 운영을 담당하고 있다.

카-쉐어링은 사용자가 그로노블-알프스 메트로폴에서 운영하는 도시 정보 웹사이트에 접속해 목적지를 입력하면 대중교통과 연계된 경로 탐색과 이용 가능한 퍼스널 모빌리티에 대한 정보를 제공해준다. 사용자는 제공되는 정보를 이용해 원하는 퍼스널 모빌리티를 예약하고 이용하게 된다.

그림 10. 프랑스 그로노블시 카-쉐어링 실제 -이용 방법 [23]

아직까지는 시범운영을 시작한지 얼마 되지 않았기 때문에, 퍼스널 모빌리티를 활용한 카-쉐어링 서비스가 제시했던 사회적 문제에 대한 대안으로써 얼마만큼의 파급효과를 가져오는지 확인할 수는 없다. 하지만, 3년간의 시범운영을 통해 운영에 대한 많은 노하우를 축적하고 개선해야 할 점들을 찾아 반영한다면, 분명히 만족할 만한 파급효과를 얻을 수 있다고 확신한다.

퍼스널 모빌리티의 미래

이처럼 퍼스널 모빌리티는 도시화 및 자동차로 인에 발생된 문제들의 대안으로써 그 가치를 인정받고 있으며, 퍼스널 모빌리티를 기반으로 하는 새로운 교통 및 운송 시스템으로서도 충분한 가치가 있음을 확인할 수 있다. 하지만 저자는 고도로 개인화된 이동형 서비스 공간인 퍼스널 모빌리티의 진정한 가치는 기술로 진보된 문화를 창조할 수 있는 새로운 융합 플랫폼으로의 발전 가능성에 있다고 생각한다.

고도로 개인화된 이동형 서비스 공간이라는 것은 지금까지의 자동차가 제공했던 획일화된 내부구조 및 서비스와 다르게, 탑승자 개인의 선택 및 누적된 정보를 기반으로 다양한 서비스가 이루어지게 되며, 주행 조작으로부터 자유로워져 이동 중에 안전하게 서비스를 누릴 수 있는 공간이라는 것이다. 즉, 보다 진보된 스마트 폰을 타고 다닌다고 생각하면 될 것이다. 현재의 스마트 폰은 크기에 대한 제약 때문에 소프트웨어 중심의 서비스가 대부분이지만, 퍼스널 모빌리티는 충분한

공간을 활용한 고신뢰 및 다정보의 서비스를 제공할 수 있게 될 것이다. 따라서 저자는 이것이 스마트 폰 이상의 파급효과를 불러올 수 있을 것으로 예견하고 있으며, 이를 위해서는 퍼스널 모빌리티가 자율주행 기술과 함께 인터넷 기반의 서비스 기술들과의 융합이 반드시 필요하다고 생각한다.

앞서 소개했었던 GM의 EN-V는 자율주행이라는 기술을 기반으로 이와 같은 미래 비전을 가지고 진화하고 있는 대표적인 모델이다. 보통 자율주행을 안전이라는 측면에서만 바라보는 것이 대부분일 것이다. 물론 현재에 있어서 가장 우선순위는 안전이겠지만, 궁극적으로 운전이라는 행위로부터 완전히 자유롭게 되면서 목적지까지의 이동 중 다양한 서비스 및 활동을 할 수 있게 되는 것이 그 핵심이다. 현재 자율주행 기술이 아직 상용화되지 못하고 있지만 그것은 지금의 자동차를 대상으로 하고 있기 때문이다. 즉, 고속주행과 다양하고 복잡한 교통환경을 극복해야 하는 어려움 때문인 것이다. 그러나 퍼스널 모빌리티는 저속주행을 기본으로 하고 있으며, 근거리의 정형화된 환경에서의 자율주행을 대상으로 하고 있기 때문에 퍼스널 모빌리티를 통한 자율주행 상용화는 그 시점을 앞당길 수 있을 것이다.

또한 퍼스널 모빌리티는 지금의 자동차와 같이 대량생산 시스템이 아닌, 공통 플랫폼 시스템을 활용한 다품종 소량생산 시스템으로 발전할 것이며, 이는 개인을 위한 고도의 맞춤형 편의 서비스를 가능하게 할 것이다. 젊은이, 고령자를, 장애인을 위한 맞춤을 넘어, 영화를 좋아하는 사람을 위한, 쇼핑을 좋아하는 사람 등을 위한, 청각에 문제가 있는 사람을 위한, 오른쪽 다리가 불편한 사람을 위한 맞춤 퍼스널 모빌리티는 최초 설계에서부터 개인의 요구사항을 반영한, 하드웨어에서 소프트웨어까지 지금의 자동차와는 완전하게 다른 개념으로 진화할 것이다. 이를 위해서는 레고 블록과 같이 모듈화가 이루어져야 하는데, 그 이유는 모듈화만이 다품종 소량생산에 대한 생산비용 절감 및 사용자의 요구에 따른 재조립을 가능하게 해 주기 때문이다.

따라서 이러한 미래의 퍼스널 모빌리티의 구체적인 활용방안 및 서비스에 대한 연구와 고민이 필요한 시점이라고 생각한다. 현재 저자가 소속된 차세대융합기술연구원에서는 자율주행 기술과 다양한 융합 기술을 기반으로 미래형 퍼스널 모빌리티를 연구 개발하고 있으며, 1단계로 실내외 자율주행 가능한 퍼스널 모빌리티인 SPM(Smart Personal Mobility) 프로토타입을 독자 모델로 개발해 내부적으로 시험운행하고 있다[25]. 또한 2단계로 다수의 SPM들이 인터넷에 연결되어 자율주행을 기반으로 하는 미래형 카-쉐어링에 대한 연구를 진행하고 있으며, 이와 함께 탑승자의 건강상태를 실시간으로 모니터링하고 인터넷을 통해 그 정보를 데이터베이스화 해 개인 의료 서비스에 활용하는 융합 연구도 계획하고 있다. 즉, 목적지까지 자율주행으로 이동하면서 퍼스널 모빌리티 실내 및 시트에 장착된 센서들을 이용해 개인의 건강상태 정보를 획득하고 획득된 정보는 실시간으로 의료기관 및 주치의의 서버로 전송돼 신뢰성 높은 개인 의료 서비스 및 헬스 케어 서비스를 받을 수 있도록 하는 것이다. 물론 현재까지는 개인 정보에 대한 보안 문제로 인하여 구현이 불가능하나, 원격 의료 서비스 발전과 함께 조만간 실현이 될 수 있을 것으로 기대된다.

그림 11. 차세대융합기술원에서 개발한 자율주행 가능 퍼스널 모빌리티 SPM[25]

너무도 빠르게 새로운 기술이 발표되고 생각지도 못했던 모습들로 우리의 삶이 변화되고 있는 지금, 미래의 모습을 예측한다는 것은 쉬운 일이 아닐 것이다. 하지만, 퍼스널 모빌리티는 앞서서 살펴본 것처럼, 사회적 요구와 필요에 의해 진화해 가고 있는 대표적인 기술이기 때문에, 저자가 바라보는 미래 모습 그 이상으로 다가올 것이라고 확신한다. 그리고 그것은 새로운 산업과 문화, 서비스를 창조할 것이다. 따라서 우리는 산업과 문화, 서비스가 이루어질 수 있는 실증단지, 더 나아가 스마트 시티와 같은 미래의 도시 구축에 관심을 가져야 한다. 즉, 기술만을 위한 실증이 아닌, 사람들의 삶 속에서 운용되며 이와 연계된 산업, 문화, 서비스들이 스스로 생겨나거나 사라지며 새로운 생태계를 만들어가는 실증 도시가 필요하다. 이것이 퍼스널 모빌리티의 미래, 우리의 미래를 위한 가장 현실적이고 적극적인 노력이 될 것이다.

김재환 jhkim13@sun.ac.kr

학력 · 국민대학교 자동차전자제어시스템 박사
· 국민대학교 자동차전자제어시스템 석사
· 국민대학교 자동차공학 학사

경력 · 現 차세대융합기술연구원 선임연구원
· 前 국민대학교 자동차기술연구소 연구원

참고문헌

[1] http://www.cesweb.org

[2] http://world.honda.com/U3-X

[3] http://www.segway.com

[4] http://www.toyota-global.com/innovation/personal_mobility

[5] https://www.renault.co.uk/vehicles/new-vehicles/twizy.html

[6] Gijs Mom, "The Electric Vehicle: Technology and Expectations in the Automobile Age", Johns Hopkins University Press, 2004

[7] http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_vehicle

[8] http://en.wikipedia.org/wiki/Motorized_wheelchair

[9] https://www.electricbike.com/e-bike-patents-from-the-1800s

[10] http://en.wikipedia.org/wiki/Segway_PT

[11] http://www.gm.com/vision/design_technology/emerging_technology.html

[12] http://www.media.mit.edu/news/citycar

[13] http://www.toyota.com.hk/innovation/personal_mobility/winglet.aspx

[14] http://www.ninebot.com/index.html

[15] Willam J. Mitchell, Christopher E. Borroni-Bird, and Lawrence D. Burns, "Reinventing the Automobile: Personal Urban Mobility for the 21st Century", the MIT Press, 2010

[16] Mitchell L. Moss and Hudh O' Neill, "Urban Mobility in the 21st Century", NYU Rudin Center for Transportation Policy, 2012.

[17] United Nations Population Division, Department of Economic and Social Affairs

[18] Jesse H. Ausubel, Cesare Marchetti and Perrin Meyer, "Toward Green Mobility: The Evolution of Transport", European Review, vol. 6, no. 2, pp. 137-156, 1998.

[19] Euromonitor International from national statistics

[20] Federal Highway Administration

[21] Smart Cities

[22] Donald Shoup, "The High Cost of Free Parking", Chicago: Planners Press, 2005 and 2011

[23] http://www.toyota-global.com/innovation/smart_mobility_society/news_and_events/grenoble

[24] http://www.autoblog.com/2013/03/15/toyota-grenoble-ev-car-sharing-program-will-include-i-road

[25] http://aict.snu.ac.kr

국가 R&D 현황 분석

최근 3년간(2011~2013년) 퍼스널 모빌리티와 관련된 연구개발사업을 분석해보았다.

| 과제 선별 기준 |

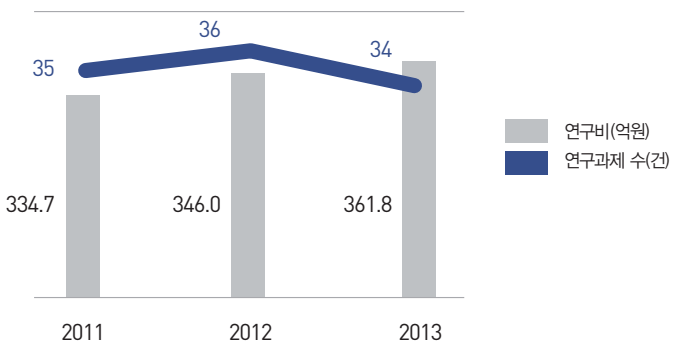
연구요약문 내 아래 키워드를 포함하고 있는 과제를 선별한 후 연구내용을 바탕으로 분석 대상 선정
(퍼스널 모빌리티) or (전기차) or (카쉐어링)

*전동 휠체어 등은 본 퍼스널 모빌리티 범주 안에 포함되지 않기 때문에 제외하였으며, 전기차의 경우 퍼스널 모빌리티 외의 범위까지 포함하는 내용이나 핵심 기술은 공유하고 있기 때문에 같이 분석함

분석 결과 최근 3년간 총 105건의 과제에 1,042억원의 연구비가 투자됨

- 연구비는 조금씩 증가하고 있지만 과제 건수는 큰 변화가 없음
- 퍼스널 모빌리티 구현을 위한 기술 뿐 아니라 퍼스널 모빌리티 활용에 대한 연구(카쉐어링, 전기 인프라 구축 등)도 상당수 진행 중임

연도별 연구비와 연구과제 수

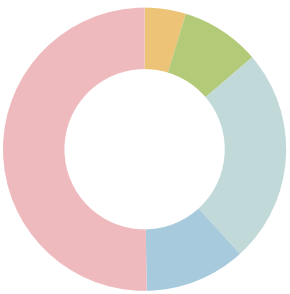


연구수행주체 **자동차 부품연구원 등 기타 주체*에 의한 연구 수행이 절반(50%)을 차지하며, 대기업(24%), 중소기업(12%) 순으로 연구가 이루어지고 있음**

*전자부품연구원, 한국기계전기전자시험연구원, 한국산업기술시험원, 한국스마트그리드사업단, 한국자동차공학회, 경북그린카부품진흥원, 울산테크노파크

- 다른 연구 주제들과는 크게 다르게 대학의 연구 비율이 5%에 지나지 않으며, 출연연구소의 연구비율도 9%로 낮음
- 퍼스널모빌리티는 본문에서 살펴본 동향대로, 시제품을 넘어 현재 상용화를 앞두고 있는 기술이기 때문에 연구개발이 기업체를 중심으로 이루어지고 있으며, 이러한 기업체의 제품 생산을 지원할 수 있는 기타 주체들에 의한 연구가 활발한 것으로 분석됨

연구수행주체



24% 대기업 255.3
12% 중소기업 120.1
50% 기타 523.7
5% 대학 49.0
9% 출연연구소 94.3

단위(억원)

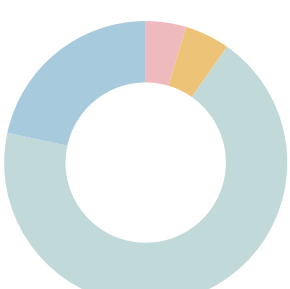
연구수준 **연구개발단계도 개발연구가 압도적으로 높은 비율(69%)을 차지하고 있으며,**

- 높은 개발연구 비율 대비 기초연구와 응용연구는 각각 4%와 5%로 낮게 나타나고 있으며, 이는 퍼스널 모빌리티 구현과 관련된 기술들의 수준이 거의 완성단계에 진입해 있음을 의미함
  - 기술들의 완성 수준에 도달해 있음에도 불구하고 차세대 플랫폼과 제반 구축(실증, 보안 기술등)을 위해 기초, 응용연구도 진행되고 있음
  - 기타연구의 경우 대다수가 퍼스널 모빌리티 또는 전기차의 운용과 관련 시스템 제반환경에 대한 연구가 대다수를 차지함

- 연구개발성격도 제품 생산 및 제반 환경 구축의 연구가 주를 이루어 기타 개발(37%)과 미분류(38%)의 비율이 높게 나타난 반면, 아이디어 개발은 1%로 굉장히 낮게 나타남
  - 이는 퍼스널 모빌리티의 기술 구현은 원천기술적 측면보다 생산적 측면과 활용적 측면에서의 문제들만을 남겨두고 있음을 의미함

- 연구개발단계와는 반대로 기술수명주기적 측면에서는 도입기와 성장기가 각각 35%와 34%로 가장 높게 나타남
  - 이는 퍼스널 모빌리티 관련 전기차 관련 기술이 이제 막 활성화된 기술임을 의미하며, 앞으로 시장에서의 활용 가능성이 더욱더 증대될 수 있음 의미함

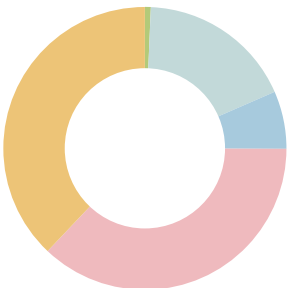
연구개발단계



69% 개발연구 715.4
22% 기타 22.5
4% 기초연구 47.9
5% 응용연구 53.7

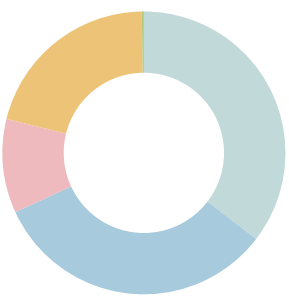
단위(억원)

연구개발성격



18% 제품 또는 공정 185.4
6% 시작품개발 68.7
37% 기타개발 385.9
38% 미분류 395.4
1% 아이디어개발 7.0
단위(억원)

기술수명주기



35% 도입기 369.1
33% 성장기 341.1
11% 성숙기 111.9
21% 기타 218.0
0% 미분류 2.4
단위(억원)

연구분야 **국가과학기술표준분류와 미래유망 신기술분류(6T), 국가기술지도분류(NTRM)를 분석한 결과 기계, 에너지/자원을 중심으로 한 ET의 기반주력산업 가치창출 위주로 연구가 진행됨**

- 퍼스널 모빌리티의 핵심이 되는 플랫폼과 구동기에 대한 연구 위주로 이루어져 기계(50%), 에너지/자원(20%) 분야 연구가 대다수를 차지함
  - 이어 퍼스널 모빌리티의 활용적 측면에서 전기/전자, 정보/통신, 건설/교통 분야의 연구도 활발히 이루어지고 있는 것으로 나타남

- 퍼스널 모빌리티의 구동 특성 상 환경적 문제를 해결할 수 있다는 퍼스널 모빌리티의 장점이 ET 분야로 반영(48%)되어 많은 연구가 진행되고 있는 것으로 나타남
  - 퍼스널 모빌리티를 활용한 카쉐어링 같은 부분에 대한 연구와 이를 위한 스마트 그리드와 같은 제반 환경 연결 기술 연구로 인해 IT 분야도 12%를 차지함
  - 하지만 대다수의 퍼스널 모빌리티 관련 기술은 동력 부분을 제외하고는 6T 분야에 매칭하기 어려움이 있어 포함되지 않는 비율이 40%에 이르는 것으로 나타남

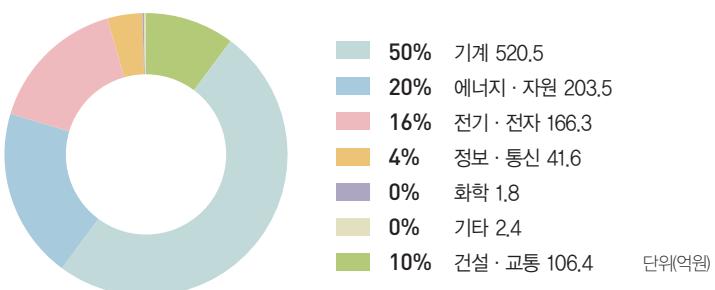
• NTRM 분석 결과, 기반주력산업 가치창출 기술이 69%로 대다수를 차지하고, 퍼스널 모빌리티의 장점이 반영된 환경/에너지 프론티어 진흥으로도 많이 분류(23%)됨

– 퍼스널 모빌리티의 많은 기술을 공유하는 전기차가 현재 차세대 자동차로 많은 각광을 받고 있기 때문에, 우리나라 기반주력산업 중의 하나인 자동차 산업의 가치창출 기술로 분류됨

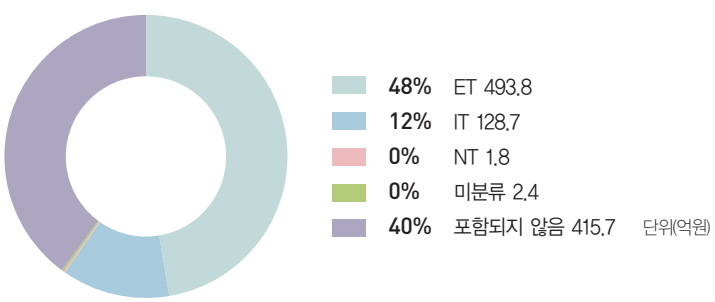
– 또한 전기차 관련 기술들이 환경적 측면에서도 많은 사회적 변화를 가져올 것으로 예측되기 때문에, 환경/에너지 프론티어 진흥으로도 많이 분류됨

– 카쉐어링과 같은 퍼스널 모빌리티의 활용 관점에서의 연구 등으로 정보–지식–지능화 사회 구현도 3% 정도 분류됨

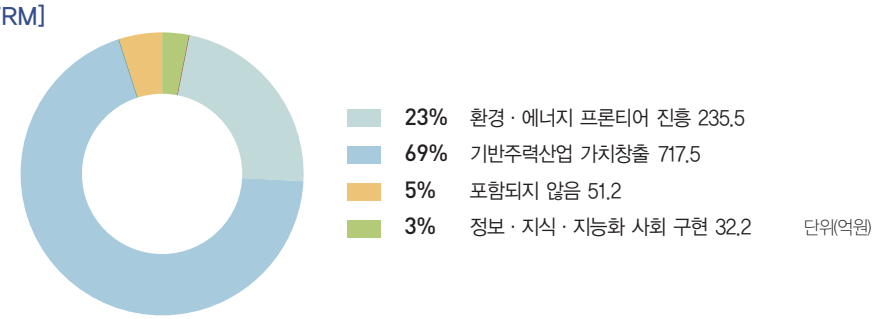
연구분야 [국가과학기술표준분류]

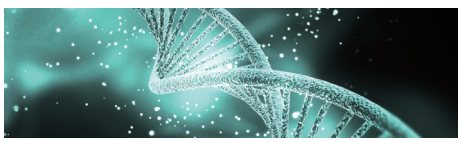


연구분야 [6T]



연구분야 [NTRM]





GENOME SEQUENCING & APPLICATION
–
PERSONAL MOBILITY

융합연구정책센터 KIST
Convergence Research Policy Center (136-791) 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 tel. 02-958-4984