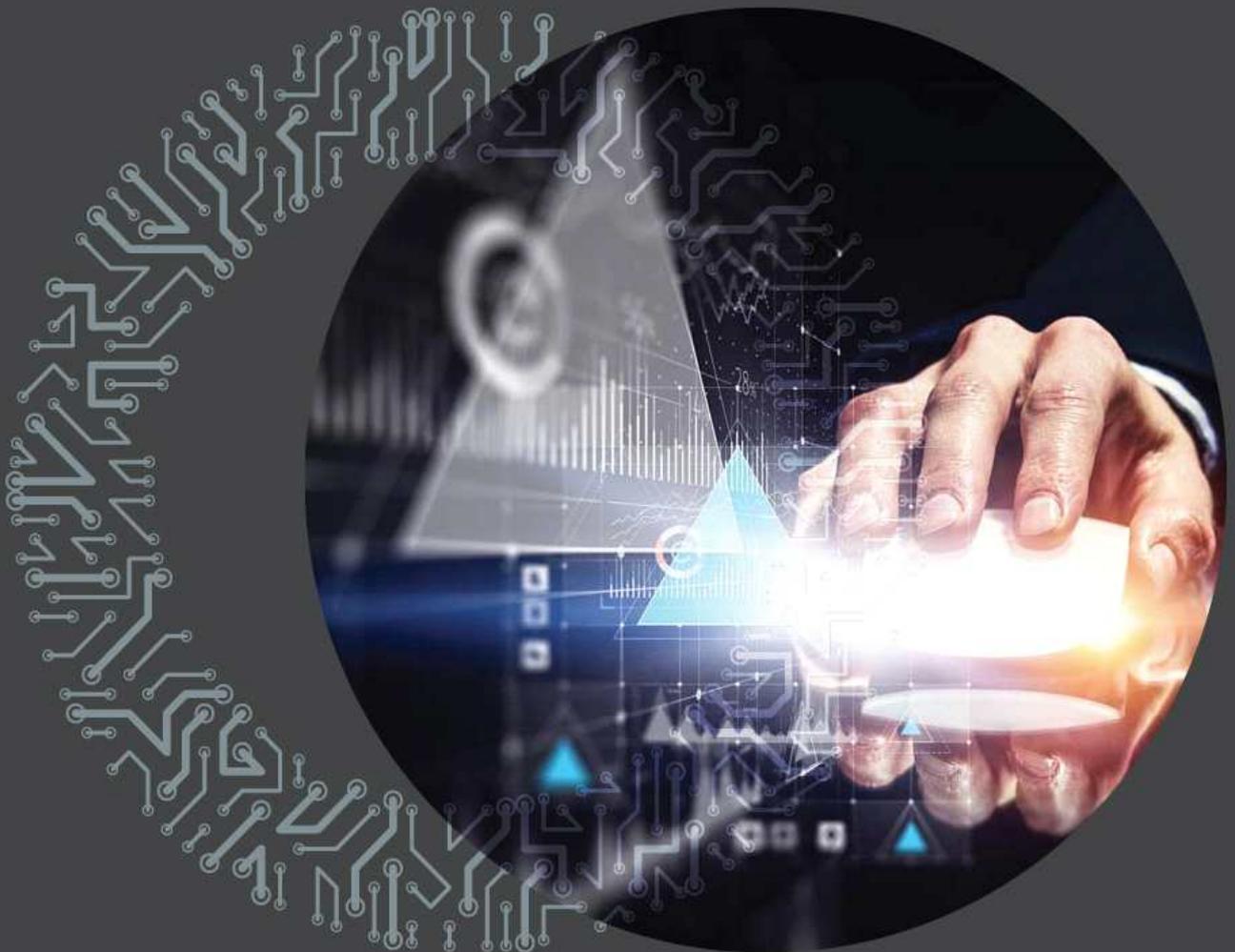


## Insight Report

# 인체 플랫폼





본 저작물은 공공누리 제4유형: 출처표시+상업적이용  
금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

↓	요 약 .....	1
	I. 기술과 인간의 진화 .....	3
	II. 기술의 전개 방향 및 특징 .....	5
	III. 인체 플랫폼의 10대 영향력 .....	11
	IV. 결론 및 시사점 .....	25
	[부록] 글로벌 기술 트렌드 분석 .....	27
	참고문헌 .....	35



## 요 약

### 1 기술과 인간의 진화

- 최근 급격한 진보를 보이는 기술은 인간의 신체 및 두뇌 기능과 결합하는 과정에서 인간을 기계화하며 인간의 생물학적 속성을 재설계하고 재정의
- 기술간 융합을 통해 인간의 생물학적 기능을 강화하려는 시도는 기술과 인체의 단순한 기능적 결합을 넘어 인체의 근본적 디지털 트랜스포메이션을 의미
- 인체의 하드웨어·소프트웨어 플랫폼화는 웨어러블, 임플란터블, 프로그래머블 특징을 통해 몸과 기계를 결합시킬 뿐만 아니라 신체를 자의적으로 조작하고 변형

### 2 기술의 전개 방향 및 특징

- 인체를 둘러싼 기술의 전개 방향

특징	내용
신체 + 두뇌	- 신체 대상 인간게놈 프로젝트에서 두뇌 대상 대규모 프로젝트로 - 인공 감각기관(눈,귀,손,피부,다리), 메모리 임플란트, 3D 뇌지도 등
HW + SW	- 신체 기능의 하드웨어적 대체에서 소프트웨어적 유전자 편집으로 - 웨어러블, IoT기반 디지털 헬스케어, 3D바이오프린팅, 합성생물학 등
비침습 + 침습	- 웨어러블 기기를 이용한 생체신호 수집에서 개인유전자 분석으로 - 디지털 헬스케어, 정량적 자아, 제2의 인간게놈 프로젝트 등
BT + IT	- BT중심의 의료 서비스는 IT 기업 주도의 디지털헬스케어로 통합·확대 - 자가 헬스케어 서비스, Direct-to-Consumer 서비스 등
전문가 + 일반인	- 전문가 중심의 연구개발에서 일반인들이 참여하는 프로젝트로 - 국가차원의 대규모 프로젝트, 바이오해커의 자가 헬스케어 프로젝트 등

- 인체 플랫폼의 특징

구분	특징
디지털화·데이터화	각종 디지털 기기와 센서를 이용하여 수집한 신체정보는 임상데이터, 유전 데이터 등과 결합하여 인체 플랫폼의 핵심 자원으로 부상
부품화·표준화	3D 바이오프린팅, 합성생물학 등은 인체를 구성하는 다양한 생체요소를 하드웨어 부품으로 인식하고 부품의 표준화를 추구
코드화·편집화	개인 유전정보를 구글링하고 소스코드로 이해하여 프로그래밍함으로써 유전자 변형 및 합성을 통해 인체를 업그레이드
네트워크화	생체인터넷, 인체인트라넷 등을 통해 인공장기, 조직, 세포, 유전자 정보를 수집, 전달하고 신체 일부 기능을 제어

### 3 인체 플랫폼의 10대 영향력

10대 영역	이슈 및 특징
① (치료) 고정밀 의료서비스	- 개인별 고정밀 의료 시대 진입 - 개인 맞춤형 DTC(Direct-to-Consumer) 서비스 증가 - 질병정보 제공을 위한 환자 참여형 네트워크 확산
② (비용) 파괴적 의료비용 감소	- 개인 유전자 분석 비용의 기하급수적 하락 - 의료와 생활의 결합으로 병원방문 진료비용 절감 - AI, 3D프린팅 등을 활용한 신약개발 기간·비용감소
③ (참여) 생산·소비·참여의 대중화	- 3D 프린팅 기술혁신과 생체조직 제작의 대중화 - 자가 인체데이터 생산 및 헬스케어 서비스 확산 - 일반인의 의료행위 참여는 환자중심 의료체계로 전환
④ (수명) 절대수명·건강수명 연장	- 인체와 기계의 결합으로 장애와 신체적 한계를 극복 - 노화방지를 위한 기술혁신 및 상업화 경쟁 치열 - 유전자 편집을 통한 유전, 만성, 난치성 질환 치료
⑤ (시장) 신규 수요·시장 창출	- 예방에서 재활까지 모든 과정의 건강증진 수요 증가 - 온라인 플랫폼을 보유한 IT 기업중심 신규 시장 창출 - IT와 BT 기술의 교차영역에서 신규 시장 확대
⑥ (산업) 기술·산업 생태계 변화	- 인체데이터 수집·분석·진단 플랫폼기술 주도권경쟁 심화 - 의료와 생활의 경계를 허물고 의료산업을 재편 - 신기술 제품화 및 신서비스 창출을 위한 규제개선 필요
⑦ (사회) 유전 양극화	- 경제적 격차가 생명 영역의 양극화를 초래 - 플랫폼화된 인간을 바라보는 사회적 차별과 갈등 - DNA 편집과 합성을 통해 후대의 유전적 우열을 결정
⑧ (기업) 독점적 상업화	- 인공지능 등 IT 핵심역량 보유 기업의 의료시장 확장 - 외생·임상·유전데이터 확보 및 통합 플랫폼 경쟁 치열 - 인체 플랫폼 기술 특허등록을 통한 지식재산권 독점화
⑨ (안전) 생명안전 및 보안위협	- 자가 헬스케어 증가에 따른 실험 안전사고 심각 - 유전자 편집·변형이 초래할 신체안전 및 생물안보 우려 - 인체해킹을 통한 생명 위협 가능성 증가
⑩ (진화) 인간과 기계의 탈경계화	- 인체 플랫폼은 인간의 기계화를 빠르게 촉진 - 인간의 생물학적 진화와 과학기술 결정론 간 충돌 - 포스트휴먼으로 인한 인간성 및 가치관 혼란 초래

### 4 시사점

- 의료·건강 부문의 특정 영역에 제한적으로 적용되었던 ICT가 모든 영역의 핵심 플랫폼으로 활용되고 BT와 강하게 융합하면서 의료 산업의 폭과 깊이를 확장
- 인체의 플랫폼화는 치료, 비용, 참여, 산업, 시장 등에서 의료 기관의 공급자 중심에서 기술 주도의 소비자 중심으로 본격적 패러다임 전환
- ICT와 BT의 고유 강점을 바탕으로 첨단 의료서비스를 제공할 수 있는 다각화 전략 수립 및 규제 개선과 산업 육성을 위한 균형적 정책 추진 필요

# I 기술과 인간의 진화

## 기술의 진보

- 급격한 기술의 발전과 디지털화의 확산으로 인한 제4차 산업혁명은 산업과 경제의 대변혁과 함께 인간의 신체와 지능을 확장시키며 인류 진화의 새로운 분기점을 만들
  - 4차 산업혁명은 지난 산업혁명의 제품·서비스 혁신, 육체한계 극복과 다른 차원에서 사회경제시스템 전반을 변혁하고 인간의 신체 기능과 지능을 확장<sup>1)</sup>
  - 이 과정에서 기술의 진보는 사회시스템과 상호작용하면서 생산성 향상을 통한 부의 성장과 함께 인간의 기대수명을 두 배 이상 증가시키며<sup>2)</sup> 인간과 공진화
  - 특히 기술적 진보는 인간의 신체와 결합하는 과정에서 질병치료, 수명연장을 넘어 인간의 신체를 기계화시키며 인간의 생물학적 속성을 재설계하고 재정의

## 기술과 인간의 대융합

- ICT, BT, NT 등 기술간 융합을 통해 인간의 생물학적 기능을 강화하려는 시도는 인간과 기계의 단순한 결합을 넘어 인체의 디지털 트랜스포메이션을 의미
  - 인체의 디지털 트랜스포메이션은 아날로그 인간의 디지털화로의 전환을 촉진하며 인간의 진화 궤적에 큰 변화를 초래
  - 인간게놈 프로젝트 이후 유전자가위 기술, 합성생물학 등의 기술발전은 인체를 구성하는 유전 정보를 인위적으로 편집, 조작, 변형하는 단계에 진입

표 1 플랫폼 관점의 기계와 인간 비교

기능	기계	인간
네트워크 (NW Platform)	- 데이터 수집, 저장, 처리 - 기계, 인간의 상호 연결 - 능동적 제어 및 서비스 제공	- 인체 내·외부 건강 정보를 수집 - 인체 외부 시스템으로 전달 - 건강, 질병관련 제어 및 서비스 제공
하드웨어 (HW Platform)	- 물리적 기능 및 동작 관리 - 하드웨어 모듈의 표준화 - 오픈소스 하드웨어	- 인공 감각기관, 장기 제작 - 인체 구성요소의 부품화, 표준화 - 오픈소스 하드웨어
소프트웨어 (SW Platform)	- 프로그램 및 공통 자원 관리 - 소프트웨어 모듈의 표준화 - 오픈소스 소프트웨어	- 유전자 분석, 편집, 합성 - 유전자, 단백질 조합의 부품화, 표준화 - 오픈소스 소프트웨어

1) 본 보고서에서는 4차 산업혁명에서 기술로 인한 사회경제적 변화 보다 인간의 신체적·정신적 변화에 초점  
 2) Matt Ridley, The Rational Optimist: How Prosperity Evolves, Harper, 2010.05.

## 인체의 플랫폼화

- 신체 및 두뇌 기능 강화·조작·제어기술을 통해 디지털 데이터를 기반으로 건강 상태를 예방·진단·치료하고 나아가서 몸의 일부를 대체·편집함으로써 인간의 몸이 컴퓨터의 하드웨어·소프트웨어 플랫폼처럼 인식되고 기능하는 현상<sup>3)</sup>
  - 모바일 헬스, 웨어러블, 사물인터넷, 인공지능, 바이오센서, 3D 바이오프린팅, 유전자분석, 유전자가위, 합성생물학, 정밀의학, 뇌공학 등 IT와 BT 기술은 인체 플랫폼의 핵심 영역으로 빠르게 융합
  - 인간의 기계화를 꿈꾸는 인체 플랫폼과 기계의 인간화를 지향하는 인공지능의 발전은 궁극적으로 인간과 기계의 공진화를 주도
- ※ (인체 플랫폼) 인간의 기계화 vs. (인공지능) 기계의 인간화
- 인간의 기계화를 추구하는 인체 플랫폼은 몸과 기계의 결합, 나아가서 자의적 신체 조작 및 제어를 의미하며 미래 바이오혁명을 주도하며 인공지능 등 ICT 역량 확보가 필수
  - 인체 플랫폼화는 웨어러블, 임플란터블, 프로그래머블 특징이 융합, 발전하면서 IT와 BT, 생활과 의료, 인간과 기계의 경계를 무너뜨림
  - 이 과정에서 인공지능 등 데이터 및 온라인 플랫폼 기술이 핵심 영역으로 부상하며 미래 의료시장을 재편
  - 인체 플랫폼은 치료범위, 참여주체, 의료비용, 건강수명, 산업지형, 사회적 차별, 안전 및 보안 등의 영역에서 수많은 기회와 위험을 초래

표 2 | 인체 플랫폼 관련 기술 및 특징

구분	관련 기술	특징
웨어러블 (Wearable)	디지털 디바이스, 웨어러블 기기, 사물인터넷, 바이오센서, 인공지능	- 착용하거나 부착하여 외부와 연결(NW) - 데이터수집, 건강감시, 질병예방 - 인체의 디지털화, 네트워크화
임플란터블 (Implantable)	3D 바이오프린팅, 바이오센서, 뇌공학, 사물인터넷, 인공지능	- 인체 직접 이식하거나 삽입(HW) - 데이터수집, 예방, 치료, 보조, 재활 - 인체의 부품화, 표준화
프로그래머블 (Programmable)	유전자분석, 유전자가위, 합성생물학, 정밀의학, 뇌공학, 인공지능	- DNA 분석, 편집, 합성(SW) - 개인 맞춤형 치료, 보조, 재활 - 인체의 데이터화, 편집화

3) '인체 플랫폼' 이라는 용어는 ECOSight 3.0: 미래사회 전망(ETRI, 2015.06.30.) 보고서에서 처음 사용한 신조어

## II 기술의 전개 방향 및 특징

### 인체를 둘러싼 기술의 전개 방향

- ICT, BT, NT, 뇌과학 등 개별 영역의 급격한 발전과 융합은 인간 최대의 욕망인 생명 연장의 꿈을 실현시키기 위해 인체를 대상으로 다양한 기술적 시도와 일반인들의 참여가 확대되는 중

표 3 | 인체 플랫폼의 전개 방향

구분	내용
신체 + 두뇌	- 신체 대상 인간계놈 프로젝트에서 두뇌 대상 대규모 프로젝트로 - 인공 감각기관(눈,귀,손,피부,다리), 메모리 임플란트, 3D 뇌지도 등
HW + SW	- 신체 기능의 하드웨어적 대체에서 소프트웨어적 유전자 편집으로 - 웨어러블, IoT기반 디지털 헬스케어, 3D바이오프린팅, 합성생물학 등
비침습 + 침습	- 웨어러블 기기를 이용한 생체신호 수집에서 개인유전자 분석으로 - 디지털 헬스케어, 정량적 자아, 제2의 인간계놈 프로젝트 등
BT + IT	- BT중심의 의료 서비스는 IT 기업 주도의 디지털헬스케어로 통합·확대 - 자가 헬스케어 서비스, Direct-to-Consumer 서비스 등
전문가 + 일반인	- 전문가 중심의 연구개발에서 일반인들이 참여하는 프로젝트로 - 국가차원의 대규모 프로젝트, 바이오해커의 자가 헬스케어 프로젝트 등

① (신체 + 두뇌) 인간의 감각기관과 인공장기를 생산해내는 수준에서 인간 뇌의 비밀을 밝혀 뇌의 한계를 극복함으로써 두뇌기능을 보조·제어하려는 기술간 융합연구로 빠르게 확대

- 인간의 몸을 대체하고 강화하려는 기술은 인공장기, 유전자 가위 등에서 가시적 성과를 보이면서 건강수명 연장과 사회적 불평등이라는 희망과 우려 제기

※ 눈, 귀, 손, 피부, 팔, 다리 등 인공 감각기관뿐 아니라 인공 장기 및 유전자 조작에 이르기까지 실용화 단계에 돌입

- 최근 뇌과학의 발전은 비침습적 시도뿐 아니라 침습적 방법으로 신경과학, 인지과학, 정보처리, 신경계 질환 등에 이르기까지 폭넓은 연구가 진행

※ 메모리 임플란트, 뇌지도 작성 등 대학 및 국가연구소를 중심으로 뇌 동작원리에 대한 기초연구에서 인공지능 등과 융합연구까지 가장 주목받는 분야

- ② (HW + SW) 기하급수적으로 발전하는 ICT 기술과 의료·바이오, 나노, 뇌과학 등의 융합은 신체기능을 강화·대체하는 과정에서 인간의 몸을 임플란터블한 하드웨어 수준을 넘어 프로그래머블한 소프트웨어로 다루기 시작
- 인간의 몸을 하드웨어 플랫폼으로 인식하려는 시도는 3D프린팅, 웨어러블, IoT 등의 기술을 이용한 신체기능 강화에 대한 연구개발
  - 유전자가위와 유전자합성을 이용한 DNA 변형·조작, 뇌-기계 인터페이스 등을 이용한 신체기능 변형시도는 인간의 몸을 소프트웨어 플랫폼으로 인식
  - ※ 특히 합성생물학자들은 DNA 유전정보를 컴퓨터 소프트웨어의 소스코드로 인식하고 “DNA를 프로그래밍한다”는 표현을 사용
- ③ (非침습 + 침습) 다양한 생체신호를 모니터링하여 건강관리, 질병치료 등의 효율을 높이려는 非침습 측정방식은 인간 게놈 프로젝트 이후 침습 방식으로 빠르게 확대
- 미국은 유전자정보 판독기술, 바이오·의료기술, 빅데이터 분석기술을 융합하여 개인 맞춤형 치료를 실현하기 위한 정밀의학계획을 추진 중<sup>4)</sup>
  - ※ 하버드대학교 조지 처치(George M. Church)교수는 10년 내 세포 안의 인간 게놈을 모두 합성하기 위한 ‘제 2 인간 게놈 프로젝트(HGP2)’를 주도<sup>5)</sup>
  - 자신의 유전정보나 건강정보에 적합한 약물을 스스로 처방하려는 자가 헬스케어를 추구하는 분위기는 다양한 IT 기기를 이용한 ‘정량적 자아’를 확보하려는 요구에서 비롯되어 최근에는 ‘정성적 자아’를 추구하는 흐름으로 확산
  - ※ 정량적 자아(quantified self)는 자신의 생체정보, 생활습관 등을 모니터링하여 건강 유지와 질병예방을 추구
  - ※ 정성적 자아(qualified self)는 스트레스, 뇌파 등을 측정해 행복감, 만족도 등 감성적 요인을 파악하여 일상생활 속의 정신적 측면에서 삶의 질의 개선을 추구
  - 침습적 의료기술의 발전은 유전데이터와 임상데이터에 기반을 둔 새로운 비즈니스 모델을 창출하며 ICT 기업들에게 미래 유망 사업 기회로 인식
  - ※ 네거티브 규제를 따르는 미국의 경우 Apple, Google, IBM 등이 ‘자가 관리 웨어러블 기기’를 시작으로 신기술 제품화 및 데이터기반 서비스를 활발히 개발

4) 2015년 1월 Precision Medicine Initiative를 발표하고 단기적으로 암정복을 위한 게놈분석에서 장기적으로 생활 의학정보를 공유하여 개인 맞춤형 진료 실현을 목표

5) Andrew Pollack, “Scientists talk privately about creating a synthetic human genome”, NYT, 2016.05.13.

- ④ **(BT + IT)** 글로벌 IT 기업들은 자신의 운동, 식·생활습관 등을 디지털 기기를 통해 수치로 표현하는 ‘정량화된 자아’를 넘어 대규모 유전자 데이터를 이용한 다양한 비즈니스 모델을 개발 중<sup>6)</sup>
- 향후 글로벌 경제의 약 20%는 헬스케어 산업이 차지할 것이며 헬스케어 산업은 온라인 플랫폼을 보유한 IT 기업들이 선도할 가능성이 높음<sup>7)</sup>
  - DTC(Direct-to-Consumer) 서비스는 의약분야에서 제약회사와 생명공학회사가 의사나 의료기관을 거치지 않고 소비자에게 직접 의료 서비스를 제공
  - ※ DTC 유전자검사 서비스는 2007년 11월 아이슬란드 deCODE와 미국의 23andMe 두 회사에서 거의 동시에 시작했고 약 1,000달러로 10만~100만개의 단일염기 다형성(SNP: Single Nucleotide Polymorphism) 부위 검사 서비스 제공
  - ※ 2007년 Google이 23andMe에 390만 달러를 투자한 후 당시 언론매체들은 DTC 서비스 행위를 가리켜 “당신의 유전자를 구글링한다”는 말로 표현<sup>8)</sup>
- ⑤ **(전문가 + 일반인)** 대규모 프로젝트에 기반을 둔 정부, 기업, 대학 등 제도권 내 전문가 중심 연구는 생명공학의 민주주의적 사용을 표방하며 오픈소스를 바탕으로 자유로운 공유와 전파를 주장하는 시민과학자 중심으로 확산
- 바이오해커는 2000년대 중반부터 급속히 증가했고 2004년 MIT에서 개최된 아이젼(iGEM)대회에서 가시화되었으며 2008년 바이오해커를 표방하는 온라인 집단인 DIYbio가 등장하며 대중화
  - 바이오해커는 인류에게 유익한 유전자 부위의 염기서열 또는 건강정보를 알아내고 이를 활용해 기존 생명체를 변형하는 사람을 뜻하며 변형 대상인 생명체를 미생물과 식물에서 점차 인체로 확대하는 추세
  - ※ DIY-Bio, Biohacker, DIY-medicine 등의 용어는 문헌에 따라 적용 대상, 범위 등 조금씩 다른 의미로 사용되고 있으나 일반 시민들이 중심이 되어 생명체를 대상으로 작업을 수행한다는 측면에서 혼용하여 사용해도 무방
  - Labs-on-a-chip의 경우 초미세 회로의 반도체 기술과 나노기술, 생명공학기술 등의 집적으로 손톱만한 크기의 칩을 통해 실험실에서 할 수 있는 연구를 일상에서 가능하도록 만든 장치로 빠르고 간단하며 저렴하게 질병을 자가 진단 가능

6) Razib Khan and David Mittelman, “Rumors of the death of consumer genomics are greatly exaggerated”, *Genome Biology*, Vol. 14, pp.139-141.

7) Gregory Stock, Asian Leadership Conference 2016.

8) Marina Levina, “Googling your genes: personal genomics and the discourse of citizen bioscience in the network age”, *Journal of Science Communication*, Vol. 9, Issue 1, 2010.03.

## 인체 플랫폼의 특징

- 인간의 몸과 모든 신체 활동을 데이터로 정의하고 인체 구성요소를 부품화, 표준화, 네트워크화하며 개인 유전자를 편집하고 조작

표 4 | 인체 플랫폼의 4대 특징

특징	내용
디지털화·데이터화	각종 디지털 기기와 센서를 이용하여 수집한 신체정보는 임상데이터, 유전데이터 등과 결합하여 인체 플랫폼의 핵심 자원으로 부상
부품화·표준화	3D 바이오프린팅, 합성생물학 등은 인체를 구성하는 다양한 생체요소를 하드웨어 부품으로 인식하고 부품의 표준화를 추구
코드화·편집화	개인 유전정보를 구글링하고 소스코드로 이해하여 프로그래밍함으로써 유전자 변형 및 합성을 통해 인체를 업그레이드
네트워크화	생체인터넷, 인체인트라넷 등을 통해 인공장기, 조직, 세포, 유전자 정보를 수집, 전달하고 신체 일부 기능을 제어

### ① 디지털화·데이터화

- ICT 영역에서 웨어러블, IoT 등의 기술을 활용하여 인간의 외부 활동에 대한 데이터화와 BT 영역에서 유전자 분석, 정밀의학 등 인체 내부 정보에 대한 데이터화로 구분
- ※ (인체 외부 데이터) 디지털 디바이스를 이용하여 수집한 외생데이터 기반의 정량적 자아(Quantified Self)<sup>9)</sup>
- ※ (인체 내부 데이터) 유전데이터와 임상데이터를 대상으로 진행된 인간게놈 프로젝트, 정밀의학, DTC서비스, DNA 앱스토어<sup>10)</sup> 서비스
- 사람은 일생동안 1,100TB의 외생 데이터, 6TB의 유전 데이터, 0.4TB의 임상 데이터를 생성하며 건강에 미치는 영향력은 각각 60%, 30%, 10% 로 평가<sup>11)</sup>
- 결국 개인의 모든 신체정보가 데이터로 수집되고 개인 유전자 정보를 통한 맞춤형 의료서비스가 가능한 헬스케어는 20년 안에 보편화될 것<sup>12)</sup>

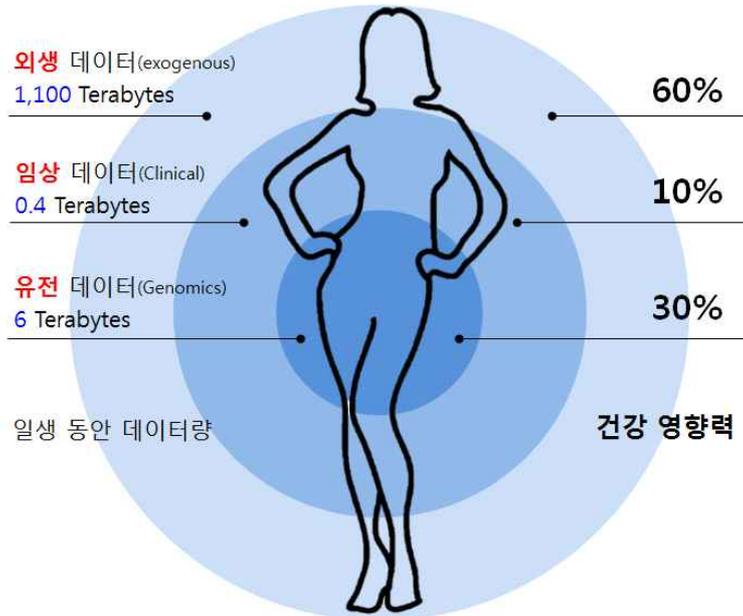
9) '수치화된 자아'라는 뜻으로 정량적 수치에 기초한 자가 건강관리를 의미하며 디지털 기기와 앱을 통해 운동량, 칼로리, 심박수 등을 체크하여 '정량적인 수치'로 일상적인 건강관리를 직접 자가 진단하는 기술

10) 유전자 정보를 온라인으로 판매하고 개인 맞춤형 정보를 구입할 수 있는 신사업 모델로 MIT 10 Breakthrough Technologies 2016에 선정

11) Laura McGovern et al., "The Relative Contribution of Multiple Determinants to Health Outcomes," Health Affairs, Vol. 33, no.2, 2014.

12) Gregory Stock, Asian Leadership Conference 2016.

그림 1. 인체 데이터 구성 및 영향력



## ② 부품화·표준화

- 재생의학 분야에서 사용하는 바이오프린팅은 생명체를 구성하는 다양한 물질을 3D 프린터의 재료로 사용해 인체를 구성하는 각종 장기를 생산
- 합성생물학은 생명체를 구성하는 유전자, 단백질 등을 합성하여 고성능, 고효율의 생물학적 시스템을 생산하기 위해 생물 구성요소를 부품화, 표준화, 모듈화
- ※ 합성생물학은 다양한 생체요소를 부품으로 인식하고 누구나 동일한 실험 결과를 도출할 수 있도록 부품의 표준화를 추구하여 표준생물학부품목록(Registry of Standard Biological Parts) 형태로 인터넷에 공개
- 재생의학과 합성생물학은 인간의 몸을 하드웨어 플랫폼으로 인식하여 생체요소를 부품화, 표준화함으로써 인체의 일부 기능을 강화·대체하고 인체를 변형시키는데 필요한 시간과 노력을 단축시킴으로써 생명공학의 탈속련화를 가속시킬 전망

## ③ 코드화·편집화

- 유전자 가위, 합성생물학 등은 DNA의 유전정보를 컴퓨터 소프트웨어의 소스코드로 이해하여 이를 편집하고 조작하여 신체를 변형
- CRISPR-Cas9 유전자가위 기술은 특정부위의 DNA를 제거·첨가·수정하는 기술로 새로운 방식의 치료법 개발 뿐 아니라 다양한 분야의 산업적 응용 가능
- 합성생물학은 기존의 DNA, 세포, 개체 등을 수정·편집하는 유전공학과 달리 공학적 접근을 통해 자연에 존재하지 않은 생물 구성요소와 시스템까지 설계하고 제작

- ※ iGEM은 세계 최대 규모의 합성생물학 행사이자 바이오해커 대회로 2004년 MIT에서 최초로 개최되었으며 IT 분야의 오픈소스<sup>13)</sup> 소프트웨어 정신을 계승
- 결과적으로 인간의 몸을 코드화·편집화한다는 것은 단순히 인간의 몸을 하드웨어를 넘어 소프트웨어 플랫폼으로 인식함으로써 자신의 몸과 뇌의 기능까지 변형하려는 시도를 증가시킬 것

#### ④ 네트워크화

- HCI(Human-Computer Interaction), BCI(Brain-Computer Interface) 등은 인간과 기계의 커뮤니케이션 패러다임의 근본적 변화를 초래
- ※ 2016년 1월 DARPA는 두뇌에 얽은 칩을 이식하여 무선통신을 통해 외부 영상을 전달할 수 있는 NESD(Neural Engineering System Design) 프로그램 발표
- 센서와 통신기술, 나노기술을 이용하여 인체, 조직, 세포, 유전자 정보를 수집·분석·예측하고 제어할 수 있는 생체인터넷<sup>14)</sup> 또는 인체 인트라넷 등의 용어 등장
- ※ 피부 패치용 센서를 이용하여 호흡·심장박동·혈압 등을 측정하고 동맥경화를 감지하며, 뇌와 체내에 이식한 센서를 통해 뇌전증을 감지하고 약물을 전달하는 등의 기술 개발 중<sup>15)16)</sup>
- DNA인터넷<sup>17)</sup>은 수 백만 명의 환자들의 임상정보, 유전정보 등을 데이터베이스화하고 이를 공유하기 위한 기술 표준으로 GA4GH, Google 등이 대표적
- 삼성, Apple, Google 등 글로벌 IT 기업들은 다양한 웨어러블 기기에서 시작하여 인체의 네트워크화를 통해 생체정보를 수집·분석하는 플랫폼 경쟁에 돌입
- 인간의 몸과 뇌가 신경 세포와 뉴런의 네트워크로 정의될 수 있고 나아가 인간의 몸이 부품화, 표준화되어 각종 인공기기로 대체되고 체내외 센서와 연결
- ※ 인체내부의 캡슐내시경용 In-body 인체통신과 센서 네트워크용 On-body 인체통신 기술 등 인체의 네트워크화 기술 개발 본격화<sup>18)</sup>
- 체내 이식 센서는 독성문제, 인체 적합성, 전원공급 등 피부 패치에 비해 복잡성과 안전성이 매우 높기 때문에 상용화시 기술적 난제 해결이 중요
- 또한 인체의 데이터화, 표준화, 편집화는 네트워크화와 결합되어 인체해킹 시대를 대비한 생명에 관한 윤리적·정책적 이슈를 낳음

13) iGEM 대회에서 표방하는 오픈소스 정신에서 소스는 특정 기능을 수행하는 유전정보를 의미

14) Internet of Biosignal (Biometrics or Biometry)

15) Sungjun Park et al., "Sub-0.5 V Highly Stable Aqueous Salt Gated Metal Oxide Electronics", Scientific Report, 2015.08.14.

16) Elizabeth Gibney, "The Body Electric", Nature, Vol. 528, 2015.12.03.

17) MIT 10 Breakthrough Technologies 2015에 선정됨

18) 생체통신 및 Bio ICT 융합 워크샵 발표자료, 한국통신학회, 2016.08.10.

### III 인체 플랫폼의 10대 영향력

#### 인체 플랫폼이 가져올 미래사회 변화

- 인간의 기계화를 추구하는 인체 플랫폼의 기술혁명은 치료의 범위, 참여주체, 소요비용, 수명연장, 신규 시장, 산업 생태계 등 긍정적 기대와 함께 유전 양극화, 기업 독점, 안전위협, 가치관 혼란 등 사회적 논란을 발생

표 5 인체 플랫폼화가 가져올 미래사회 10대 영향력

10대 영역	이슈 및 특징
① (치료) 고정밀 의료서비스	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개인별 고정밀 의료 시대 진입</li> <li>- 개인 맞춤형 DTC(Direct-to-Consumer) 서비스 증가</li> <li>- 질병정보 제공을 위한 환자 참여형 네트워크 확산</li> </ul>
② (비용) 파괴적 의료비용 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개인 유전자 분석 비용의 기하급수적 하락</li> <li>- 의료와 생활의 결합으로 병원방문 진료비용 절감</li> <li>- AI, 3D프린팅 등을 활용한 신약개발 기간·비용감소</li> </ul>
③ (참여) 생산·소비·참여의 대중화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3D 프린팅 기술혁신과 생체조직 제작의 대중화</li> <li>- 자가 인체데이터 생산 및 헬스케어 서비스 확산</li> <li>- 일반인의 의료행위 참여는 환자중심 의료체계로 전환</li> </ul>
④ (수명) 절대수명·건강수명 연장	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인체와 기계의 결합으로 장애와 신체적 한계를 극복</li> <li>- 노화방지를 위한 기술혁신 및 상업화 경쟁 치열</li> <li>- 유전자 편집을 통한 유전, 만성, 난치성 질환 치료</li> </ul>
⑤ (시장) 신규 수요·시장 창출	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예방에서 재활까지 모든 과정의 건강증진 수요 증가</li> <li>- 온라인 플랫폼을 보유한 IT 기업중심 신규 시장 창출</li> <li>- IT와 BT 기술의 교차영역에서 신규 시장 확대</li> </ul>
⑥ (산업) 기술·산업 생태계 변화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인체데이터 수집·분석·진단 플랫폼기술 주도권경쟁 심화</li> <li>- 의료와 생활의 경계를 허물고 의료산업을 재편</li> <li>- 신기술 제품화 및 신서비스 창출을 위한 규제개선 필요</li> </ul>
⑦ (사회) 유전 양극화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 경제적 격차가 생명 영역의 양극화를 초래</li> <li>- 플랫폼화된 인간을 바라보는 사회적 차별과 갈등</li> <li>- DNA 편집과 합성을 통해 후대의 유전적 우열을 결정</li> </ul>
⑧ (기업) 독점적 상업화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공지능 등 IT 핵심역량 보유 기업의 의료시장 확장</li> <li>- 외생·임상·유전데이터 확보 및 통합 플랫폼 경쟁 치열</li> <li>- 인체 플랫폼 기술 특허등록을 통한 지식재산권 독점화</li> </ul>
⑨ (안전) 생명안전 및 보안위협	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자가 헬스케어 증가에 따른 실험 안전사고 심각</li> <li>- 유전자 편집·변형이 초래할 신체안전 및 생물안보 우려</li> <li>- 인체해킹을 통한 생명 위협 가능성 증가</li> </ul>
⑩ (진화) 인간과 기계의 탈경계화	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인체 플랫폼은 인간의 기계화를 빠르게 촉진</li> <li>- 인간의 생물학적 진화와 과학기술 결정론 간 충돌</li> <li>- 포스트휴먼으로 인한 인간성 및 가치관 혼란 초래</li> </ul>

## ① 고정밀 의료 서비스

- 정밀의료, 4P의료 등은 인체의 플랫폼화를 더욱 가속시킴으로써 의사와 진료 중심에서 사용자와 예방 중심으로 의료 서비스의 중심축을 이동시킬 것
  - 이는 인공지능, 유전자 합성 등 ICT와 BT 기술의 급격한 발전으로 인해 개인 특성에 맞게 예방에서 치료에 이르기까지 보다 세밀한 서비스를 제공할 수 있음을 의미
  - ※ Christensen(2008)은 의료 패러다임이 ‘정밀의료’로 전환될 것으로 주장, Galas & Hood(2009), Auffray 등(2010)은 미래의료가 맞춤(Personalized), 예측(Predictive), 예방(Preventive), 참여(Participatory)의 ‘4P의료’로 발전할 것으로 전망
- 유전자에 기반을 둔 개인 맞춤형 치료를 지향하는 DTC 서비스 회사들은 바이오 해커 집단과 협력의 폭을 확대하는 추세
  - 23andMe, Patientslikeme 등은 특정 질병에 관심이 있는 회원들을 모집하여 유전정보와 질병과의 연관성을 탐구하고 개인 맞춤형 치료에 활용할 수 있는 치료법의 효과와 부작용 등을 제공
  - 국내의 경우 지난 2015년 ‘생명윤리 및 안전에 관한 법률’이 개정됨으로써 개인 유전자 분석 및 관련 서비스가 활발해 질 전망

### < 생명윤리 및 안전에 관한 법률 >

제50조(유전자검사의 제한 등) ① 유전자검사기관은 과학적 증거가 불확실하여 검사 대상자를 오도(誤導)할 우려가 있는 신체 외관이나 성격에 관한 유전자검사 또는 그 밖에 국가위원회의 심의를 거쳐 대통령령으로 정하는 유전자검사를 하여서는 아니 된다.

② 유전자검사기관은 근이영양증이나 그 밖에 대통령령으로 정하는 유전질환을 진단하기 위한 목적으로만 배아 또는 태아를 대상으로 유전자검사를 할 수 있다.

③ 의료기관이 아닌 유전자검사기관에서는 다음 각 호를 제외한 경우에는 질병의 예방, 진단 및 치료와 관련한 유전자검사를 할 수 없다. <개정 2015.12.29.>

1. 의료기관의 의뢰를 받은 경우

**2. 질병의 예방과 관련된 유전자검사로 보건복지부장관이 필요하다고 인정하는 경우**

④ 유전자검사기관은 유전자검사에 관하여 거짓표시 또는 과대광고를 하여서는 아니 된다. 이 경우 거짓표시 또는 과대광고의 판정 기준 및 절차, 그 밖에 필요한 사항은 보건복지부령으로 정한다.

- 생체정보에 대한 오픈정신을 표방하는 바이오해커 집단은 유전정보의 공개와 자유로운 공유 그리고 우선 연구되어야 할 분야에 대한 선택 등 유전정보 연구의 민주적 활용을 전개하며 연구혁명을 주도
  - 이런 활동은 자신의 건강을 직접 관리하고, 의약품 개발 방향에 결정적 영향을 미친다는 측면에서 새로운 의료 모델을 제시
  - ※ 신약개발 과정의 가장 까다로운 절차는 인체를 대상으로 안전성과 약효를 확인하는 임상단계로 자신의 유전정보와 생체정보는 물론 실험 결과를 공개하는 사람들의 수가 확대된다면 임상시험 단계에 소요되는 비용과 시간을 상당히 줄일 수 있을 것
  - 결과적으로 개인 유전정보에 기반을 둔 맞춤형 치료를 활성화시킴으로써 글로벌 제약사의 비즈니스 모델을 Blockbuster에서 Nichebuster로 전환시킬 전망
  - ※ 환자별 질병치료가 세분화되면 잠재 환자수가 줄어들고 이에 따라 연구개발 조직이 질환별로 세분화됨으로써 유전정보 기반 환자 맞춤형 신약 개발이 활발해 질 것

표 6 | 질병정보 제공 네트워크<sup>19)</sup>

정보 제공	진행 주체	내용
환자 직접 참여	CureTogether	환자의 증상과 치료결과에 관한 정보를 수집하고 서로 비교할 수 있도록 공개
	Patientslikeme	환자가 자신의 건강정보를 공유하고 기업들은 이 정보로부터 개별 특성을 분석
	Genomera	환자들이 건강정보를 수집할 수 있는 온라인 플랫폼을 제공하고 사람들의 참여를 유도할 수 있는 방안 실행
환자 부분 참여	Genetic Alliance	환자의 혈액과 조직샘플을 생물은행에 보관, 대학 및 기업 간 협력 유도
	23andMe	환자 자신의 유전정보와 형질 정보를 기업 연구 프로젝트에 제공
	Personal Genome Project	유전체의 염기서열 전체나 일부, 특성 등의 데이터를 자원자로부터 수집
	Sage Bionetworks	환자의 의료 정보를 질병 연구 데이터와 연결한 결과를 연구자들에게 공개하여 데이터 분석을 유도
환자 참여 없음	Cancer Commons	암 환자들의 유전체정보를 수집하여 암 치료에 관한 새로운 모델을 제공
	C3N Project	환자들의 음식, 운동 및 의료 정보 등을 통합하여 환자의 주치의에게 제공
	NextBio	병원, 연구소, 공공기관 등에서 수집한 질병 및 분자수준 데이터를 의약품 개발자에게 제공

19) Jef Akst, "Do-It-Yourself Medicine," The Science Magazine, 2013.03.01.

## ② 파괴적 의료비용 감소

- 2014년도 미국의 국립 인간 유전체 연구소 (National Human Genome Research Institute) 발표에 따르면, 유전자 분석 비용이 무어의 법칙보다 빠른 속도로 하락<sup>20)</sup>

- ◎ 1980년대에 발명된 유전자 분석 기술은 2000년대 중반까지 큰 기술적 발전을 보이지 않았으나 차세대 유전자 분석 기술이 등장한 2006년 이후 급진적 성과를 보이며 발전하고 있음
  - 1998년 최초의 유전체 분석은 ‘sanger sequencing’이라는 방법을 사용하여 30억 개의 인간 유전체를 500개씩 순차적으로 진행하였고 소요 비용이 약 1억 달러
  - 2000년 중반 453 system 회사가 개발한 ‘pyrosequencing’ 기술이 등장한 이후 유전체 분석 비용 또한 급락하기 시작
  - 2014년 초 유전자 분석 기업인 일루미나(Illumina)에서 개발한 HiSeq X10 기기를 이용하여 분석비용이 약 1,000달러 수준으로 하락
  - 2015년 중국의 BGI(Beijing Genome Institute)는 자신이 보유한 ‘Complete Genomics 플랫폼’을 이용하여 2019년까지 분석비용이 1달러까지 감소하도록 기술 개발 중임을 발표
- ◎ 유전체 분석 분야의 이러한 발전은 “18개월마다 회로의 집적도가 2배씩 증가한다”는 무어의 법칙으로 대변되는 IT 기술의 발전 속도보다 더욱 빠른 속도로 진행되고 있으며 앞으로 이 추세는 계속될 전망

- 사물인터넷, 디지털 기기 등 ICT 기술과 헬스케어가 융합된 다양한 디지털 헬스<sup>21)</sup> 서비스는 의료비용 감소는 물론 접근의 용이성으로 인해 사용자 참여를 증가시킬 전망
- ※ 디지털 헬스 5대 트렌드<sup>22)</sup> : 인공지능, 웨어러블·가상현실의 결합, 원격의료, 3D 프린팅, 나노기술기반 의약품 개발
- 헬스케어 IoT 기술은 환자들이 병원에 방문하여 발생하는 비용의 약 75%를 절감할 수 있으며 병원 방문을 통해 이루어진 영상 진료의 50%가 원격진료로 대체 가능
- ※ 디지털 헬스케어를 통해 진단의 부정확성과 불필요한 진료가 줄어들어 미국 내에서 연간 3,050억 달러의 의료비용이 감소될 전망<sup>23)</sup>
- 또한 빅데이터, 인공지능, 3D프린팅 등이 신약개발 프로세스의 혁신을 주도하며 시간과 비용측면에서 일대 혁신을 예고
- ※ Medidata Solutions, Berg 등은 클라우드 기반 빅데이터 분석, 인공지능 기술 등을 적용하여 신약개발 기간을 획기적으로 단축함으로써 신약개발 프로세스를 혁신

20) NIH National Human Genome Research Institute, “DNA Sequencing Costs: Data,” 2015.05.24.

21) 디지털 헬스라는 용어는 2013년 초 ‘포브스’에 의해 올해의 키워드로 선정되었고 2014년부터 ‘오바마케어’가 시행되면서 일반인들에게 널리 사용되기 시작

22) Bruce Carlson, “Projected 2015 Trends in the Healthcare Industry”, Kalorama Information, 2015.01

23) Kyle D. Conlee, The Digital Revolution Comes to U.S. Healthcare, Internet of Things, Goldman Sachs, Vol 5, 2015.06.

### ③ 생산과 소비, 참여의 대중화

#### ● 생산의 대중화

- 미국 바이오테크 스타트업 BioBots는 3D 바이오프린터의 구입비용을 획기적으로 절감하여 생체조직 제작의 대중화를 통해 대규모 임상시험 없이 개개인의 질병 특성에 맞는 치료가 이루어지는 1인용 의약품 시대를 주도
  - ※ BioBots는 생체조직을 만들 수 있는 5,000달러 수준의 3D 프린터를 공개하며 의약품 테스트와 임상前 실험에 활용을 목표로 연구개발 중<sup>24)</sup>
- 오픈소스 하드웨어 기반 3D 바이오프린터 기술을 활용하여 일반인이 가정에서 바이러스 치료용 백신 정보를 받아 직접 백신을 제조할 수 있을 전망<sup>25)</sup>
  - ※ BioCurious의 바이오프린터 프로젝트, 유전정보와 오픈소스 하드웨어를 활용한 바이오해커 집단 프로젝트 등이 대표적

#### ● 소비의 대중화

- 개인 컴퓨터 가격이 1,000달러에 근접하면서 대중화되어 ICT 혁명을 촉발한 것처럼 개인 유전체 분석비용이 1,000달러 이하로 하락하면서 바이오혁명을 초래
- 특히 ‘4P의료’는 사용자 참여를 위한 진입 장벽을 낮춤으로써 ‘자신의 몸은 자신이 관리한다’는 맞춤, 예측, 예방의 대중화를 확산시킬 것
- 또한 ICT 기술의 급격한 발전은 바이오기술과 융합하면서 자가 헬스케어 서비스 (정량적·정성적 자아, Lab-on-a-chip) 시장을 활성화할 전망

#### ● 참여의 대중화

- 바이오해커와 같이 자신의 몸을 대상으로 직접 실험하거나 의료행위에 참여하는 소비자 집단의 증가는 현재의 의료시스템 전반을 획기적으로 변환시킬 전망
- 기존 의료 서비스 공급자 중심의 헬스케어 체계는 사용자 또는 소비자의 정보에 대한 접근이 쉬워지고 치료 방법이 다양해짐에 따라 환자 중심의 새로운 체계로 전환
  - ※ 환자와 일반인들이 자신의 의료기록을 직접 작성하고 소셜 네트워크로 유사 질환 정보를 공유하며 이를 공급자에게 제공하는 등 자신의 신체정보를 직접 알아내고 실험 및 관리하는 행위 증가<sup>26)</sup>

24) Techcrunch Disrupt NY 2015, 2015.05.04.

25) Dan Cossins, "Venter supports DNA printers", The Scientist, 2012.10.17.

26) Cyberchondriacs는 자신의 건강정보를 온라인을 통해 습득하고 공유하는 소비자를 일컫는 용어

#### ④ 절대수명과 건강수명 연장

##### ● 신체적 한계 극복

- 질병 예방, 진단, 치료뿐만 아니라 신체와 지적 장애를 보완하고 나아가서 몸과 기계의 결합을 통해 신체적 한계를 극복
- 웨어러블 기기를 몸에 착용하여 가상·증강현실 기술을 활용함으로써 시각장애를 극복<sup>27)</sup>하거나 몸에 혼합형 팔다리를 부착하여 신체를 보강하는 기술 현실화
- 기술의 도움으로 손상된 기능을 회복시키려는 시도 외에도 인공장기, 메모리 임플란트 등 기계와 신체를 결합하여 정상인의 신체 기능을 증강시키는 기술 개발
- ※ 시력회복 수준을 넘어 주변 환경 정보를 제공하고 어두운 곳에서 사용할 수 있는 적외선 시각, 녹화, 확대 기능 등을 갖춘 인공눈, 인간의 청각 범위를 넘는 인공귀, 인공근육 기능의 외골격 장치 등이 대표적

##### ● 노화 방지

- 인체의 플랫폼화는 절대수명을 연장시킬 뿐 아니라 만성질환, 희귀난치질환 등에 따른 기대수명과 건강수명 간 격차를 좁힘으로써 건강한 노후를 보장
- ※ 2011년 기준, 기대수명(81.2세)과 건강수명(70.7세, 일생 동안 살면서 질병 없이 건강한 상태로 사는 기간) 간 격차 : 10.5년<sup>28)</sup>
- 기하급수적 ICT 기술의 발전과 BT 기술의 혁신은 노화 방지 및 암, 치매 등 노화 관련 질병을 극복하게 함으로써 인간의 건강수명을 획기적으로 연장
- ※ 하버드대, MIT 연구진은 피부에 바르면 잔주름을 지워 노쇠한 피부를 대체하고 습진·건선 등의 피부병 치료에도 활용할 수 있는 실리콘기반 인공피부 개발<sup>29)</sup>
- ※ Calico<sup>30)</sup>, Human Longevity<sup>31)</sup> 등은 IT·BT 융합기술을 바탕으로 인간의 생명 연장을 실현하기 위해 설립한 기업
- 유전자가위 기술의 안전성이 입증될 경우 유전 질환, 만성 질환, 난치성 질환 등의 유일한 치료 수단으로 활용될 수 있으며 유전적 형질이 후대에 전해지는 가능성을 사전에 차단

27) [http://www.ted.com/talks/chieko\\_asakawa\\_how\\_new\\_technology\\_helps\\_blind\\_people\\_explore\\_the\\_world#t-553890](http://www.ted.com/talks/chieko_asakawa_how_new_technology_helps_blind_people_explore_the_world#t-553890)

28) 미래창조과학부, 바이오의약품 산업 육성의 중요성: 바이오미래전략 참고자료, 2015.03.

29) Betty Yu et al., "An elastic second skin", Nature Material, 2016.05.09.

30) 죽음의 문제를 풀기위해 2013년 설립한 Google의 자회사

31) Peter H. Diamandis, J. Craig Venter, Robert Hariri 등이 BT 분야의 합성생물학, 유전자분석, 줄기세포 치료법 등은 ICT 분야의 인공지능, 무한 컴퓨팅, 네트워크 등의 기하급수적 기술과 결합하여 의학적, 과학적, 사회학적으로 가장 큰 난관인 노화 및 노화 관련 질병을 정복하기 위해 2013년 설립

## ⑤ 신규 수요 및 시장 창출

### ● 건강 증진에 관한 수요 증가

- 의료 진단 및 치료 중심의 의료시장 수요는 기술의 발전과 함께 예방에서 재활에 이르기까지 수요의 폭과 깊이가 빠르게 확장
- 특히 IT 기업들은 건강한 인간의 몸과 뇌에 관한 연구를 가장 강력하고 분명한 미래 수요로 인식하고 대규모 투자를 진행

표 7 | 글로벌 IT 기업들의 투자 동향

투자 기업	연구 기관	연구 분야	투자 금액
Google	Calico	노화방지	7억 5,000만 달러
	23andMe	파킨슨병	1억 5,000만 달러
MS	Allen Institute	뇌과학, 암정복	7억 900만 달러
Facebook	Breakthrough Initiative	생명연장분야 과학자 수상	매년 300만 달러
Amazon	Grail	신경질환, 암정복	1억 달러
SAP	Dievini Hopp Biotech Holding GmbH & Co. KG	파킨슨병, 인공장기	4억 7,000만 달러
Oracle	Ellison Medical Foundation	노화방지	4억 3,000만 달러
PayPal	Methuselah Foundation	노화방지	3,500만 달러

### ● 뇌 질환 치료 관련 스타트업 증가

- 최근 뇌 관련 바이오 스타트업이 VC로부터 펀딩을 받으며 부상하고 있으며 인지 역량 향상 및 스트레스 완화 등에 초점
- 정신질환 및 신경체계 질환 치료를 목표로 애플리케이션을 통한 명상, 뇌기능증진제 복용, 게임을 통한 인지 훈련, 웨어러블 디바이스 활용 등의 서비스를 개발 중

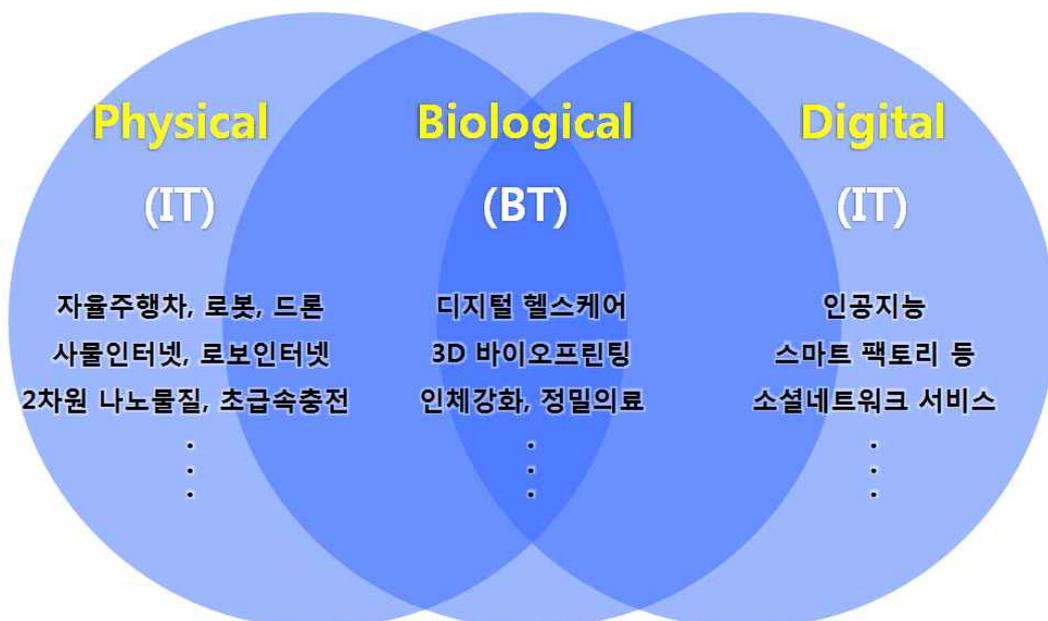
표 8 | 뇌연구 관련 대표적 스타트업

스타트업	연구 내용	투자 금액
Neuronetics	우울증을 치료하기 위한 비침습적 기술 개발	1억 5,850만 달러
BrainsGate	중추신경계 관련 질병 치료 기술 개발	7,950만 달러
Lumosity	인지 역량 향상을 위한 뇌 훈련 게임 개발	6,740만 달러
Headspace	스트레스를 이완하고 집중력 및 창의력을 향상시키는 기술 개발	3,970만 달러
Lantern	정서적 안정을 위해 맞춤형 인지 행동 치료 개발	2,140만 달러
Muse	정신 건강을 돕는 뇌 신호 분석 및 음향기술 개발	1,670만 달러
Thync	저수준 전기 신호를 통해 활력과 안정을 돕는 웨어러블 기기 개발	1,300만 달러

## ● IT와 BT 교차영역이 낳을 신규 시장

- ICT 기술과 BT 기술이 교차하는 인체 플랫폼 영역의 디지털 헬스케어 시장은 미래 성장 가능성이 가장 큰 분야
- 헬스케어 쉐 과정에서 기존 의료, 제약회사 보다 온라인 플랫폼을 보유한 IT 기업들이 인체 데이터에 대한 수집, 분석, 판독 등을 통해 신규 시장 창출 주도
- ※ Qualcomm은 집안에서 환자의 의료정보를 기록하고 클라우드로 전송하여 환자의 행동을 추적, 관리하도록 돕는 서비스 기업 Capsule Technologies를 인수(2015.09)
- 인공장기 및 생체조직 생산은 의약품 테스트와 임상 단계에 활용되어 신약개발 기간과 비용을 획기적으로 단축시키며 개인 맞춤형 신약 및 진료 시장을 창출
- 유전자 분석 기술의 발전은 정밀의료 실현과 함께 개인 맞춤형 치료 시장을 폭발적으로 성장시킬 전망
- 이 과정에서 산업적 응용을 위해 반드시 필요한 유전자 해독 및 디지털화를 위한 하드웨어 및 소프트웨어 플랫폼 기술을 보유한 기업에게 엄청난 기회를 제공
- Klaus Schwab<sup>32)</sup> WEF 회장은 제4차 산업혁명을 이끌 기술을 물리적 현실영역, 디지털 가상영역, 바이오 생명영역 등 3대 메가트렌드로 구분하였고 인체 플랫폼은 IT와 BT가 교차하는 바이오 생명영역에 해당

그림 2. 제4차 산업혁명과 인체 플랫폼



32) Klaus Schwab, The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, 2016.01.15.

## ⑥ 기술과 산업 생태계 변화

### ● 기술 생태계

- 인체의 플랫폼화는 인간의 데이터화를 전제로 기술 경쟁이 진행되기 때문에 데이터 플랫폼 핵심역량을 보유한 글로벌 IT 기업들의 영향력이 확대될 전망
- 기술 경쟁 과정에서 개인의 모든 인체 데이터(외생·임상·유전)를 통합하여 맞춤형 헬스케어 서비스를 제공하기 위한 데이터 독점 및 플랫폼 경쟁 치열
- ※ Apple은 Health 앱을 통해서 웨어러블 디바이스 및 휴대용 의료기기를 통해 외생 데이터와 임상 데이터를 통합 관리하려는 전략을 추진
- ※ IBM은 Watson Health Cloud를 통해 외생 데이터, 유전 데이터, 임상 데이터 등을 통합·관리하기 위한 개방형 건강관리 플랫폼 전략을 추진
- ※ Google은 안드로이드OS에 기반한 스마트폰과 웨어러블 디바이스로부터 생산되는 헬스케어 데이터를 시작으로 외생, 유전, 임상 데이터의 통합 전략 추진

### ● 산업 생태계

- 디지털 건강관리 및 유전자 분석 기술의 발전으로 기존 임상데이터 위주의 인체 플랫폼 관련 산업 생태계는 IT 기업 주도로 확장되는 추세
- 인체의 디지털 트랜스포메이션은 인체의 모든 정보를 디지털 데이터화하기에 기존 병원 중심의 의료 서비스의 범위를 확장시키고 진입장벽<sup>33)</sup>을 낮추면서 의료 산업의 경쟁 구도를 다극화
- 즉, 실리콘밸리를 중심으로 BT와 IT 전문기술로 무장한 신생 기업의 출현과 데이터 플랫폼 분야의 강점을 가진 기존 IT 기업들의 영역 확장은 기존 의료기관 및 바이오 기업들에게 새로운 기회와 도전
- 그러나 인간의 생명을 다루는 영역이라는 의료 산업의 특수성으로 인해 전통적인 산업의 디지털화와 달리 신생기업과 글로벌 IT 기업들은 기존 의료기관을 중심으로 협력·상생하며 자신들의 입지를 넓혀갈 것
- 네거티브 규제를 따르는 미국의 경우 신기술의 제품화 및 데이터기반 신서비스 창출로 산업 생태계가 빠르게 확장되며 산업 간 경계를 해체
- 국내의 경우 다양한 데이터 인프라 간 통합 활용에 대한 원칙이 없어 글로벌 산업 주도권 확보에 난항 예상

33) 의료기술의 발전이 전문가에 대한 의존성을 낮추어 의료산업 진입장벽을 낮춘다는 의미

## ⑦ 유전 양극화

- 개인 맞춤형 치료, 항노화 예방 등 개인 유전체 분석, 인공지능, 인공장기, 줄기세포 등 첨단 기술을 이용한 의료서비스 및 치료제가 고가로 제공될 경우, 금전적 여유가 있는 사람들만 혜택을 누릴 수 있어 치료의 형평성과 사회적 갈등을 낳을 가능성이 높음
- ※ 경제적 격차가 생명영역의 유전적 격차로 이어질 수 있기에 기술 비평가인 Bill McKibben은 권력과 부, 교육에서 일어난 전 세계적 차원의 양극화를 우리 생명 분야로까지 확장하는 결과를 만들 것이라고 비판

### ◎ 부(富)의 피라미드

- 2015년 Global Wealth Report<sup>34)</sup>에 따르면 세계 인구의 0.7%(성인 기준, 34 백만 명)가 전체 부의 45.2%(USD 112.9 tm)를 보유
- 반면 세계 인구의 71.0%(3,386 백만 명)는 전체 부의 3.0%(USD 7.4 tm)를 보유하고 있으며 부의 양극화가 심화
- 2016년 OECD에 따르면 한국의 소득 불평등 지수는 0.32로 조사 대상 33개국 가운데 이스라엘(0.41), 미국(0.35), 터기(0.34)에 이어 네 번째로 불평등도가 높음

### ◎ 의료 양극화

- 기술의 발전 속도는 유전자 분석 비용 등 의료비용을 하락시키고 있으나 신기술을 이용한 고품질의 치료법과 개인 맞춤형 신약 등에서 의료 양극화가 심화되는 추세
- 즉 소득 격차에 따라 이용 가능한 헬스케어와 의료 행위의 차이가 심해지고 이는 유전적 격차로 이어져 사회적 문제와 갈등을 야기한다는 것이 문제
- 특히 웨어러블에서 임플란터블, 프로그래머블로 발전하는 인체 플랫폼 기술의 특성은 유전 양극화에 직접적인 영향을 미칠 것이기에 생명윤리를 포함한 정책적 대응 필요

- 4P<sup>35)</sup>로 대표되는 의료 패러다임의 변화는 자신을 몸을 강화하고 변형시킬 수 있을 뿐만 아니라 유전자 편집, 합성생물학 등의 기술적 힘을 이용하여 자의로 생명체를 설계하고 편집하는 등 유전 양극화에 대한 논란을 발생
- 즉, Programmable 특성을 포함한 인체 플랫폼은 한 세대의 부의 불평등이 후대의 신체적 우열을 결정하기에 단순히 의료 양극화를 넘어 유전 양극화를 초래
- ※ 23andMe의 경우 2014년 10월, 부모의 유전정보를 토대로 자식의 유전정보를 예측할 수 있는 소프트웨어를 개발하고 관련 특허를 취득
- 인간 생명을 자의적으로 조작하여 신체 우열을 결정하는 유전 양극화는 플랫폼화된 인체를 바라보는 사회적 차별과 함께 인간의 존엄성에 대한 글로벌 이슈를 제기

34) James Davies, Rodrigo Lluberas and Anthony Shorrocks, Credit Suisse Global Wealth Databook 2015.

35) Predictive, Preventive, Personalized, Participatory

## ⑧ 독점적 상업화<sup>36)</sup>

### ● 인공지능과 디지털 헬스케어

- 인공지능을 이용하여 외생·유전·임상데이터를 1차 가공한 결과물을 생산하여 디지털 헬스 산업의 글로벌 시장을 독점할 경우 후발 주자들이 격차를 줄이기는 역부족
- ※ IBM, Google, Apple 등은 외생데이터를 시작으로 유전데이터, 임상데이터를 통합 관리할 수 있는 의료 데이터 플랫폼을 바탕으로 의료 생태계 장악 경쟁 본격화

### ● 3D 바이오프린팅

- 3D 바이오프린팅의 재료로 사용된 유전자변형 미생물과 하드웨어가 모두 특허로 등록되어 독점적 상업화될 가능성이 열려 있음
- ※ BioCurious의 BioPrinter Community Project는 유전자변형 미생물을 재료로 삼아 새로운 생체 물질 제작이 목표

### ● 유전자 가위

- 농생명공학 기업들은 크리스퍼 유전자가위 기술을 이용하여 유전자변형 작물의 수와 유형을 증가시키기 위한 연구를 진행하고 있으며 동시에 상업적 권리를 독점하기 위한 특허권에 대한 투자를 공격적으로 진행<sup>37)</sup>
- 유전자변형 기술을 이용한 종자 사업 규모는 연간 400억 달러에 이르고 Monsanto, Dow, DuPont, Syngenta 등 소수의 글로벌 기업이 지배
- ※ DuPont은 CRISPR-Cas9를 이용한 옥수수, 콩 등 농작물 변형작물에 대한 특허권을 보유한 Caribou 기업에 대한 공격적 투자 발표

### ● 합성생물학

- DNA 유전정보 활용 시 특허등록을 통한 지식재산을 보호할 수 있는 길이 열려 있어 DTC 유전자검사 서비스 회사나 생명공학 회사에 의해 독점적 상업될 가능성이 높음
- ※ 전 세계적으로 생명공학의 산물에 대한 저작권을 인정하고 있지 않기 때문에 지식 재산 보호방법으로 특허가 유일
- ※ 2012년 5월 28일, 23andMe는 파킨슨병 환자를 치료할 수 있는 유전자(SGK1) 돌연 변이를 특허로 등록

36) 소수의 선발 기업들에게 글로벌 경쟁력이 집중되어 세계 1등 기업이 시장 생태계를 장악하는 성능 편향성과 기술 종속성이 매우 강한 특성

37) Antonio Regalado, "DuPont Predicts CRISPR Plants on Dinner Plates in Five Years", MIT Technology Review, 2015.10.08.

## ⑨ 생명안전 및 보안위협

### ● 유전자 가위와 생명 안전

- 체내에 유전자 전달의 기술적 한계로 인해 살아있는 생체에 직접 유전자를 주입하거나 전신적 질환의 경우 치료의 위험성 존재
- ※ 현재 기술 수준은 살아 있는 생체에 직접 유전자를 주입하여 치료하는 In vivo 치료는 제한적으로 적용, 환자에게서 조직을 체외로 뽑아내어 원하는 유전자로 변형시킨 후 다시 체내로 주입하는 ex vivo 형태의 유전자 치료가 주로 개발

### ● 신약 개발과 생명 안전

- 바이오기술은 생명을 대상으로 하기에 문제가 발생하면 회복이 어려울 수 있는 비가역적 특성이 있으므로 사전규제가 발달하고 규제완화 조치에 대한 사회적 저항이 큼<sup>38)</sup>
- ※ Thalidomide(1961년), Jesse Gelsinger(1999년), X-SCID(2003년) 사건 등
- 특히 바이오 기술은 일반화될 수 있는 공통 원칙이 설정되기 어려워 개별 특성에 따른 세분화가 필요
- ※ 희귀의약품의 경우 임상시험 참여자 조건이 다른 의약품에 비해 완화될 필요가 있으며 기술융합이 가속화되면서 기존 규제 또한 변화 필요성 증가

### ● 실험 안전

- 바이오해커 집단의 경우 3D 바이오프린팅을 이용하여 하드웨어 영역까지 확장하고 있고 자신의 신체를 대상으로 변형을 시도하는 사례가 늘어남에 따라 실험과정의 안전사고 문제가 새로운 이슈로 부상
- ※ 3D 프린팅을 이용하여 바이러스 백신을 제조하는 과정에서 데이터 전송과정의 오류 등으로 인해 예상치 못한 결과가 발생하여 치명적 문제가 발생할 경우 책임소재 불분명
- 자신의 신체를 대상으로 실험을 수행하는 바이오해커의 경우 자신의 건강정보, 약물정보가 질병과 얼마나 연관되어 있는지 명확히 밝혀지지 않을 수 있기 때문에 안전 문제가 심각
- ※ 하나의 질병에 관여하는 유전자는 여러 개일 가능성이 있고 특정 질병에 대한 유전자를 모두 가지고 있다고 하더라도 환경에 따라 다르게 반응
- ※ 인간게놈 프로젝트의 결과 인간의 유전자는 약 3만~4만 개에 이르나 이들 유전자의 복합적 상호작용을 통해 약 10만 개의 단백질 제조 가능

38) 이명화, 융합바이오 활성화를 위한 규제개선(발표자료), STEPI, 2016.05.26.

## ● 생물 안보 및 안전성

- 테러집단에 의해 유전자변형 미생물을 제작하여 생물무기로 악용될 수 있으며 심지어 개인맞춤형 생물무기가 발생할 가능성도 제기됨

※ 합성생물학계의 전문가들은 2017년이 되면 거의 모든 종류의 바이러스와 병원성 박테리아가 합성될 것이라고 예상

- 바이오해커 집단이 표준생물학부품목록에 등록된 부품을 이용하여 독성 물질을 제조할 수 있을 뿐만 아니라 유전자변형 생명체를 만들 경우 인체와 환경에 예상치 못한 부작용이 발생할 가능성이 있음

## ● 네트워크화에 따른 보안 위협

- 생체 인터넷 또는 인체 인트라넷 시대로의 돌입은 건강관리 혁명을 가져올 것이나 환자의 정보를 탈취하는 등 생체정보 해킹뿐 아니라 인체 내부에 삽입된 기기와 센서의 전력 공급을 중단시킴으로써 생명의 위협을 초래할 가능성 등 포괄적 인체보안 대비 필요
- 인체데이터의 경우 건강 및 의료정보의 온라인 전송, 클라우드 기반 데이터 저장 등 기존의 대응적 경계 보안(perimeter defense) 방식의 한계로 인해 능동형 보안 기술이 요구됨<sup>39)</sup>

39) 글로벌 보건산업 동향, Vol. 191, 한국보건산업진흥원, 2016.01.01.

## ⑩ 인간과 기계의 탈경계화

### ● 인간의 기계화

- 포스트휴먼, 트랜스휴먼 등의 논의는 근대적 휴머니즘을 넘어 새로운 정체성을 갖는 기계화된 인간에 대한 사회적 이해를 요구
- 인체 플랫폼은 기술적 관점에서 바라본 인간의 기계화를 의미하며 인간의 육체적, 정신적 능력을 보완해주는 도구 이상의 인체의 궁극적 디지털 트랜스포메이션
- ※ Ray Kurzweil에 따르면 인간은 신경학적으로 컴퓨터, 칩 등에 의존하게 되면서 2029년이면 기계와 완전히 융합하게 될 것으로 전망<sup>40)</sup>
- ※ 미국 국가정보위원회의 ‘Global Trends 2030: Alternative Worlds’ 보고서에서 2030년이면 기술의 발전으로 인해 ‘슈퍼 휴먼’이 등장할 것으로 예측<sup>41)</sup>

### ● 기계의 인간화

- 최근 인공지능의 놀라운 기술 발전은 로봇, 사물인터넷 등과 결합하여 외부 환경과 상호작용하면서 인간을 이해하기 시작
- 기계와 기계, 기계와 인간 사이의 커뮤니케이션 방식의 변화는 인간과 기계의 관계가 주종관계가 아닌 상호 협력적 관계로의 재설정을 요구<sup>42)</sup>
- 인간화된 기계는 인간을 닮고 모방하는 단계에서 시작하여 궁극적으로는 인간과 전혀 다른 방식으로 정보를 수집하고 학습하며 상호작용하며 진화할 것<sup>43)</sup>

### ● 인간과 기계의 경계

- 인간의 기계화와 기계의 인간화는 인간과 기계 사이의 경계를 흐리게 하며 앞으로 인간은 기계와 다르다는 믿음을 유지하기 어렵게 할 것<sup>44)45)</sup>
- 보다 중요한 점은 기술의 발전으로 인한 인간의 미래에 대한 철학적 고민에 앞서 인간의 삶을 보다 풍요롭게 할 수 있는 기술적·산업적 기회 창출 방안 마련
- 인간의 생물학적 특성이 ICT와 융합하는 인체의 디지털 트랜스포메이션 과정에서 관련 기술과 산업 생태계의 폭과 깊이가 유례없이 확장될 것

40) Ray Kurzweil, How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed, Viking Press, 2012.11.

41) National Intelligence Council, Global Trends 2030: Alternative Worlds, 2012.12.

42) 이원태, “포스트휴먼시대 인간과 기술의 소통모델: 네트워크 사이보그”, STEPI, Future Horizon, Vol. 26, 2015.

43) 호세 코르데이로(Jose Luis Cordeiro), “인간의 경계 : 휴머니즘에서 포스트휴머니즘까지”, 제1회 세계인문학 포럼 발표자료, 325-334, 2011.11.

44) 브루스 매즐리시, 네 번째 불연속-인간과 기계의 공진화, 사이언스북스, 2001.

45) Yuval Noah Harari, Sapiens: A Brief History of Humankind, HarperCollins Publisher, 2015.02.

## IV 결론 및 시사점

### 기술·산업적 시사점

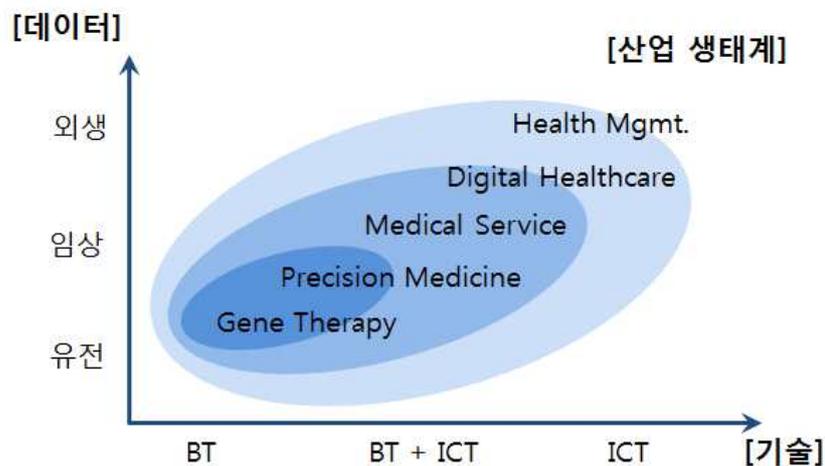
#### ● (기술) ICT, 예방에서 진단까지 핵심 플랫폼으로 확장

- 인체 플랫폼은 ICT 기술 관점에서 인간의 생물학적 특성을 디지털 데이터로 재정의하는 인체의 '디지털 트랜스포메이션'을 의미하며,
- 첫째, 임상데이터에 제한적으로 적용되었던 ICT 기술이 외생 및 유전데이터까지 통합하여 예방에서 진단에 이르는 모든 프로세스의 필수 플랫폼으로 사용되고
- 둘째, 빅데이터, 머신러닝, 인공지능, 클라우드 등의 ICT 기술은 유전자 분석, 정밀의학 등의 BT 기술과 빠르게 융합하며 기술 영역을 확장하고 있다는 점

#### ● (산업) 기존 산업 영역의 폭과 깊이를 확장

- 지금까지 의료영역은 다른 산업들과 완전히 독립된 영역으로 생활과 분리되어 존재해 왔다면 인체의 플랫폼화로 인해,
- 첫째, ICT 핵심역량을 보유한 글로벌 기업과 신생기업들은 기존 의료기관과 전략적 협력을 통해 의료산업에서 자신의 입지를 개척하는 동시에
- 둘째, 기존 의료기술을 확보한 기관 및 기업들은 고정밀 서비스를 제공하기 위해 인체의 디지털 트랜스포메이션 관련 ICT 핵심기술을 내재화하며 서비스 영역을 확장

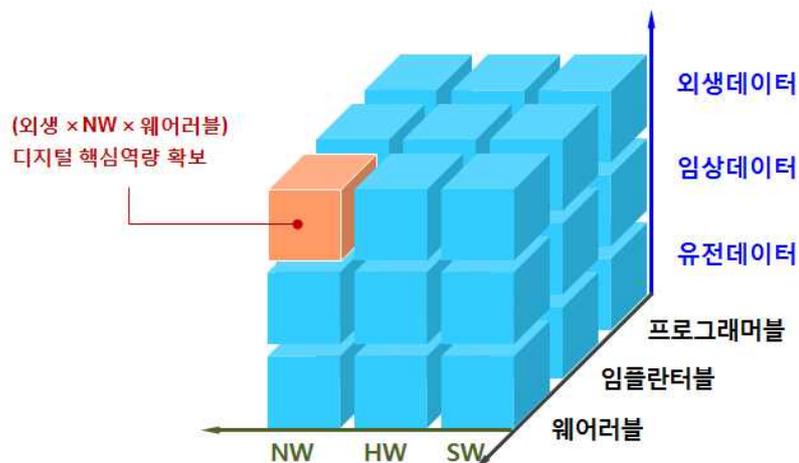
그림 3. 기술 융합 가속 및 산업 생태계 확장



## R&D 및 정책 방향

- (R&D 방향) ICT, BT 고유 영역의 강점을 바탕으로 기존 의료 서비스를 디지털화, 지능화할 수 있는 다각화 전략 수립
  - (ICT 관점) 시장 지배력이 높은 웨어러블 기기 중심의 외생데이터를 바탕으로 임상, 유전 데이터를 통합하고 알고리즘 기술역량을 확보하여 의료기관 및 BT기업들과 전략적 제휴
  - (BT 관점) 임상데이터와 임플란터블 기기를 활용한 유전데이터 기반 고정밀 서비스와 외생데이터 기반 헬스케어 서비스를 제공하기 위한 ICT 핵심역량을 내재화
  - 세계 최고의 임상 의료 기술력과 ICT 역량을 보유한 장점을 활용하여 개방과 협력을 통한 산업적 규모의 인체 데이터 확보와 신기술 개발·적용 생태계 구축 전략 시급

그림 4. 핵심역량 확보 다각화 전략



- (정책 방향) 인체 플랫폼은 인간의 생명과 직결되는 인체를 대상으로 기술을 적용하는 만큼 생명윤리법, 개인정보보호법 등 규제 문제와 기술혁신과 글로벌 산업 육성 정책을 균형적으로 추진 필요
  - (규제) 포지티브 규제를 따르는 국내의 경우 신기술의 제품화 및 데이터기반 신서비스 제공 과정에서 규제의 과학화, 합리화, 선진화 관점의 접근과 개선이 필요<sup>46)</sup>
  - (육성) 미래 신사업과 핵심 역량 확보를 위해 산·학·연 협력과 기업 간 경쟁을 유도할 수 있는 보다 공격적 산업 육성 전략 필요
  - 결과적으로 인체의 플랫폼화는 인간의 몸을 디지털 기술을 통해 재정의하여 건강과 질병을 예방, 진료, 관리함으로써 보다 풍요롭고 건강한 미래사회를 실현

46) 최윤희, 융합바이오테크 기반 바이오헬스케어산업 생태계, 제62회 과총포럼, 2016.07.05.

## 부록 | 글로벌 기술 트렌드 분석

### MIT Media Lab 프로젝트 분석

- 2016년 상반기 MIT Media Lab에서 수행 중인 470개 프로젝트 가운데 인체 플랫폼과 관련성이 높은 21개 프로젝트를 선별적 분석

표 9 | MIT Media Lab 프로젝트

프로젝트명	내용	비고
Artificial Gastrocnemius	- 인공기관을 무릎에 장착하여 정상적으로 걸을 수 있는 힘을 제공 - 팔다리가 절단된 사람들의 신진대사 비용(metabolic cost)과 인공장치로 인한 EMG 패턴이 가상의 비복근(gastrocnemius)과 결합할 때 큰 효과를 기대	웨어러블 임플란터블
Biomimetic Active Prosthesis for Above-Knee Amputees	- 최소한의 전기화학적 에너지를 사용해 생체모방 도보장치 개발 - 땅에 발을 딛는 과정에서 유의미한 에너지를 생성해 낼 수 있는 로봇 무릎 인공장치를 개발 - 에너지를 배터리에 저장하여 계단 오르기와 같은 보행 운동 시 로봇 무릎 인공장치에 에너지를 공급	웨어러블
Control of Muscle-Actuated Systems via Electrical Stimulation	- 전기자극을 활용하여 근육-작동 시스템 통제 방법 개발 - 근육을 움직이고 글루코타민을 연료로 활용하는 센티미터 단위의 로봇 시스템을 개발	웨어러블
Dancing Control System for Bionic Ankle Prothesi	- 보스턴 마라톤 폭탄 테러로 무릎 아래가 절단된 여성이 춤을 출 수 있는 기능을 복원 시킬 수 있도록 생체공학 발목 보철물을 개발 중	웨어러블 임플란터블
Effect of a Powered Ankle on Shock Absorption and Interfacial Pressure	- 사지 절단 수술을 받은 사람이 겪는 심각한 수술 후 합병증을 해소하기 위한 기술 - 기존 수동 보철물과 다르게 탄성 보철물을 이용하며, 하부 사지 보철에 센서 및 액추에이터의 형태로 기술을 통합	웨어러블 임플란터블
FitSocket: Measurement for Attaching Objects to People	- 새로운 모듈형 전자 시스템을 개발하여, 다중축 다관절 활성 보철물을 신속히 프로토타이핑 함 - 이 시스템은 필요한 하드웨어 및 정밀한 모션 컨트롤이 가능하도록 소프트웨어, 데이터 수집 및 네트워킹 제공	임플란터블
Human Walking Model Predicts Joint Mechanics, Electromyography, and Mechanical Economy	- 인간의 보행 시 다리 근육과 힘줄의 기계적 동작 연구 - 보행 시 관절에 에너지를 저장하기 위해 힘줄과 근육 대신에 스프링과 클러치를 사용	웨어러블
Load-Bearing Exoskeleton for Augmentation of Human Running	- 뛰어다니는 동작에서 신진 대사량을 줄이기 위한 착용형 외골격을 개발	웨어러블
Neural Interface Technology for Advanced Prosthetic Limbs	- 절단수술을 받은 사람이 자신의 다리에 존재하는 잔여 말초신경을 활성화하여 전원보철물 제어 수단을 개발	임플란터블

Powered Ankle-Foot Prosthesis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보철물의 기계 설비 및 제어 시스템 아키텍처 제공</li> <li>- 인간의 발목, 특히 빠르게 걷는 중의 발목 동작 연구</li> </ul>	웨어러블 임플란터블
Sensor-Fusions for and EMG Controlled Robotic Prosthesis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사지절단 환자가 땅 위를 걸을 때 사용하는 신진대사 에너지 효율을 높이기 위한 힘을 공급하는 로봇 인공장치 개발</li> <li>- 사지절단이 되지 않은 부위 및 온전한 사지의 명령신호를 사용해서 로봇 발목이 성공적으로 방향을 찾는 기능을 향상하는 방안을 연구</li> </ul>	웨어러블 임플란터블
Tethered Robotic System for Understanding Human Movements	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인체의 힘을 적용하고 동시에 힘, 변위 및 기타 생리학적 특성을 측정, 제어함으로써 인간과 상호 작용하는 기계장치의 효능 연구</li> </ul>	웨어러블
Variable-Impedance Prosthetic (VIPr) Socket Design	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 보행 시 하지 관절의 생체공학적 작동과 물리적 개입의 신진대사 효과를 연구</li> <li>- 외부충격이 인간의 몸에 어떻게 적용되는지를 연구하여 신체와 기계의 효과적인 상호작용을 위한 방안을 강구</li> </ul>	웨어러블
Volitional Control of a Powered Ankle-Foot Prosthesis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 하퇴절단자의 남은 사지에 인공기관을 투입하여 근전계 활동을 결합함으로써 자신의 신체를 스스로 컨트롤을 할 수 있도록 함</li> </ul>	웨어러블 임플란터블
Optogenetics and Synthetic Biology Tools	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유전적으로 부호화된 시약으로 특정 세포를 타깃 삼아 그 세포의 생리작용을 제어</li> <li>- 뉴런의 전기적 활동, 세포 신호, 급속한 생리 작용을 빛을 이용하여 정확히 통제하여 뇌 손상 치료에 활용</li> </ul>	프로그래머블
Prototype Strategies for Treating Brain Disorders	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 인공기관을 통해 잃어버린 감각을 회복시키고, 신경병리적 활동을 통제하고, 신경회로의 계산능력을 증대</li> </ul>	임플란터블 프로그래머블
Tools for Mapping the Molecular Structure of the Brain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 뇌를 이루고 있는 분자의 위치와 정체를 매핑할 수 있는 수단으로 특히 ExM(Expansion microscopy)이라 부르는 3D 형태의 도구를 개발</li> </ul>	프로그래머블
Tools for Recording High-Speed Brain Dynamics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 뇌의 계산활동을 실행하기 위해 뉴런이 어떻게 작동하는지, 뇌 질환 환자에게선 이러한 계산이 어떻게 빛나가는지 시각화하여 보여줌</li> <li>- 뇌질환 환자의 생물지표 혹은 약물 부작용의 지표를 제공하는데 활용 가능</li> </ul>	프로그래머블
Understanding Normal and Pathological Brain Computations	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 뇌 특정 부위의 분자, 세포, 회로 수준에서 유기체의 행동 및 병리적 상태의 메커니즘 연구</li> </ul>	프로그래머블
GeneFab	<ul style="list-style-type: none"> <li>- DNA 분자를 신속하게 제조하는 기술로 DNA 오류 교정, 유전자 합성의 고처리율을 위한 미세유체공학, 게놈 단위 엔지니어링 연구</li> </ul>	프로그래머블
Scaling Up DNA Logic and Structures	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 새로운 유전자 로직 및 데이터 로깅 시스템뿐만 아니라 상업적 스케일로 생산할 수 있는 DNA 구조 연구</li> <li>- 염색체 및 DNA 구조의 기하급수적 증분에 대한 2단계 접속논리(cascaded logic)를 연구</li> </ul>	프로그래머블

## Gartner 기술 분석

● 2016년 가트너에서 발표한 하이퍼 사이클 보고서를 참조하여 인체 플랫폼과 관련이 있는 기술 27개를 선별하여 분석

※ (A) Hype Cycle for Healthcare Provider 2016: 6개, (B) Hype Cycle for Wearable Devices 2016: 14개, (C) Hype Cycle for Consumer Engagement with Healthcare and Wellness 2016: 7개

표 10 | Gartner 기술 분석

기술명	내용	비고
Precision Medicine	- 개인의 유전자, 생리, 해부, 환경, 라이프스타일을 고려한 질병 진단, 치료, 예방 기술 - 유전자약, 환자와의 실시간 소통, 3DP 관절 임플란트 등에 의한 모든 헬스케어 포함	프로그래머블
3D Bioprinted organ transplant	- 장기와 같은 살아있는 기관을 생산하는 기술	임플란터블
Nanomedicine	- 뼈, 근육, 신경 조직의 손상을 치료하기 위해 분자단위에서 수행되는 고난도 전문 의료기술	프로그래머블
3DP-aided hip/knee implant	- 컴퓨터 단층촬영 (CT)을 통해 맞춤형 임플란트 3DP 모형 제작	임플란터블
Genomics Medicine	- 기능유전자학, 단백질 유전정보학, 후생유전자학, 영양 유전자학, 유전자약학 등 인간 유전자지도에 의해 촉발된 의과학적 모델 활용 의료기술	프로그래머블
3D Bioprinted Human Tissue	- 자신의 세포를 재료로 3DP를 이용하여 뼈, 혈관, 근육 조직, 피부조직 등 살아있는 조직을 생산	임플란터블
Perspiration Analysis Patch	- 땀을 통해 인체 수화(水和) 작용, 화학 분비물, 질병 감염, 약물 사용 여부 등을 검사, 분석하는 무선연결 패치	웨어러블
Smart Contact Lenses	- 당뇨병 환자의 포도당 수준을 추적해 주는 임상의학적 기능(Google) - 내장된 카메라와 센서가 장착된 렌즈를 장착, 눈 깜박임을 통해 독특한 증강현실을 체험(삼성)	웨어러블
Exoskeleton	- 재활, 장애인 및 군사 보조기구, 건설현장 등에서 보다 정확하고 안전한 신체활동을 지원 - 3DP을 통한 비용절감이 필요하며 현재 맞춤형 용도로 약 25개의 모델 출시	웨어러블
Epidermal Electronics	- 피부에 타투형으로 부착하는 형태로 심박동 변화, 체온, 근육 긴장도, 혈액산소농도 등을 모니터링하여 임상 데이터를 전송하거나 촉각에 반응하며 헬스케어, 전문 스포츠 분야에서 활용될 전망	웨어러블

Skin Bio Patch	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 중요한 생체 신호나 바이오 데이터를 피부로부터 센싱하여 무선 연결된 허브 및 스마트폰에 전송</li> <li>- 심박률 데이터, 수화(水和)수준, 근육 활동량, 약물 복용 등을 검사할 수 있다는 점에서 스포츠, 의료 분야에서 활용 가능</li> </ul>	웨어러블
Electromyography Wearables	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 피부에 부착하여 근전도를 측정하는 웨어러블 기기로 근육이 수축할 때 전기 신호를 생성하여 근육 활동, 피로도, 조정수준에 대한 피드백을 실시간 제공</li> <li>- 현재까지 피트니스 웨어러블 디바이스는 손목형, 스마트워치형이 대세이나, EMG 센서를 이용하여 부상을 피하고 운동을 최적화하는 도구가 부상</li> </ul>	웨어러블
Gait Analysis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 카메라와 센서를 이용하여 보행 상태를 확인, 평가</li> <li>- 파킨슨병과 뇌졸중의 초기 증상을 파악하고, 보폭의 최적화 지점을 찾아 보행시 부상 위험을 감소</li> </ul>	웨어러블
Wearable Blood Pressure Monitors	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 사용자 동작 중에도 혈압을 정확하게 측정할 수 있는 손목형 웨어러블 디바이스</li> <li>- 고혈압 초기 단계를 분별하여 뇌졸중과 같은 심혈관계 질환을 예방할 수 있고 향후 원격의료장치로 활용 가능</li> </ul>	웨어러블
Head-Mounted EEG	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 머리에 장착하여 뇌활동을 모니터하고 기록하는 기기로 건강증진을 위한 용도로 개발 중</li> <li>- 생체피드백을 통해 집중력에 장애가 있는 사람들, 스트레스 및 긴장도가 높은 환자들에게 유익</li> </ul>	웨어러블
Impact Monitor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 뇌진탕과 같은 머리에 가해지는 물리적 충격의 크기와 방향을 충격 즉시 측정</li> <li>- 데이터가 모바일 앱을 통해 관계자들에게 전송되어 충격 수준을 진단, 두상 및 중추신경계 이상 여부를 즉각적으로 판단할 수 있음</li> </ul>	웨어러블
Smart Footwear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 압력 및 가속도계 등의 센서를 발에 부착하여 몸의 움직임을 파악, 노인 케어 및 재활치료에 활용</li> </ul>	웨어러블
Mobile ECG Devices	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 심장활동의 전기신호를 측정, 심장박동 데이터를 모바일 데이터 플랫폼으로 전송, 원격 진료에 활용</li> </ul>	웨어러블
Noninvasive Glucose Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 혈액채취 및 침습적으로 당뇨병을 측정하는 기술과 달리 본 기술은 전자자기장 신호 및 소리, 침, 눈물과 같은 체액, 그리고 호흡 등 비침습적 당뇨병 모니터링 기술</li> </ul>	웨어러블
Smart Garments	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 옷감에 부착된 센서를 이용하여 생체데이터, 심박을 추적, 칼로리 소모, 스트레스 관리 등을 측정</li> <li>- 위험한 업무를 수행하는 직원의 심박률, 스트레스, 호흡수준 등을 모니터하여 안전 수준을 향상</li> </ul>	웨어러블
Biometric Earbuds	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오디오 청취 기능과 함께 생체데이터를 측정할 수 있는 이어폰 디바이스로 모니터링 기능 및 목소리 무선 전송이 가능하여 다양한 훈련 상황에 활용</li> </ul>	웨어러블
Healthcare Consumer Persuasion Analytics	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 환자의 임상, 실험, 사회 환경, 행동 데이터를 분석하여 개인의 건강에 영향을 미치는 중요 요인을 이끌어 내고 행동수정 등을 제안</li> </ul>	웨어러블

In-Vehicle Occupant Health Monitoring	- 자동차 내 센서, 알고리즘을 통해 생체물리학적 요인을 측정하여 운전자의 건강 상태를 체크 (예: 심장박동을 측정하는 좌석, 땀분비 수준을 측정하는 핸들)	웨어러블
Personal Health-tracking Devices	- IoT 홈과 연동하여 사용자의 건강데이터를 실시간 모니터링하여 관련 서비스 업체에 전달하거나 개인 건강 데이터를 보험사 및 의사에게 공유 가능	웨어러블
Medication Compliance Management	- 환자의 체내 약물 농도를 실시간으로 측정하여 약물 복용해야 하는 적절한 시기를 환자와 가족들에게 다양한 방식으로 알림	웨어러블
Personal Health Management Tools	- 소비자가 자신의 건강을 관리하는데 도움을 주는 통합 기능체제로, 식단, 운동량, 만성질환 등을 관리하는 프로그램을 생성	웨어러블
Mobile Health Monitoring	- 만성 질환 환자의 생리학적 상태를 실시간 모니터링하여 분석 결과를 의사에게 전송	웨어러블

## DARPA 프로그램 분석

- 2013년 4월 오바마 대통령이 Brain Initiative를 발표한 이후 DARPA 차원에서 이를 지원하기 위한 프로그램으로 2016년 8월 현재 10개 과제가 진행 중

표 11 | DARPA and the Brain Initiative 프로그램

프로그램명	내용	비고
Electrical Prescriptions (ElectRx)	- 신경섬유 크기의 디바이스를 삽입하여 장기 기능의 신경 조절을 통해 면역, 신체 및 정신질환 치료 연구 - 말초신경계를 모니터링하고 특정 부위를 조정하여 수술과 약물 치료 없이도 만성염증질환 및 정신건강을 회복	임플란터블
Hand proprioception and touch interfaces (HAPTIX)	- 신경계와의 인터페이스 장치를 개발하여 사지절단 환자들에게 자연스러운 감각을 느낄 수 있게 하는 것이 목적	임플란터블 웨어러블
Neural Engineering System Design (NESD)	- 뇌에 초소형 칩셋을 삽입하여 무선방식으로 외부세계의 시각 등 디지털 정보를 전달하는 기술	임플란터블
Neuro Function, Activity, Structure and Technology (Neuro-FAST)	- 뇌활동을 더욱 분명하게 해독함으로써 뇌에 위협이 되는 요인의 특징을 잡아내고 행동 기능을 향상시키기 위해 뇌 기제의 핵심이 되는 요소를 개발	웨어러블
Reliable Neural-interface Technology (RE-NET)	- 근육-신경 간 인터페이스를 통해 사지절단 환자가 고급 기능의 보철기구를 통제하기 쉽게 할 뿐만 아니라, 감각 기관의 피드백을 직접적으로 느끼게 하는 기술	임플란터블
Restoring Active Memory (RAM)	- 트라우마성 뇌 손상 혹은 신경학적 질병으로 사건을 저장하고 기억을 회상하는 문제가 있는 환자들을 대상으로 임플란트형 무선 신경-인터페이스 의료 디바이스 개발	임플란터블
Restoring Active Memory-Replay (RAM Replay)	- 개인의 특정 사건을 보다 잘 기억할 수 있도록 기억의 형성과 회복에 관한 신경 재생 역할 연구	프로그래머블
Revolutionizing Prosthetics	- DARPA 프로그램으로 이미 개발된 인공 팔 기능을 보다 정교한 동작이 가능하도록 개선, 발전시켜 안전한 폭발물 제거 등으로 활용 가능	웨어러블
System-based Neurotechnology for emerging therapies (SUBNETS)	- 신경심리학적 질병을 치료하기 위해 단일 뉴런 기록 및 재생 관련 임플란트형 폐회로 진단 및 치료 시스템 개발	임플란터블
Targeted Neuroplasticity Training (TNT)	- 뇌의 뉴런 연결을 강화하는 말초신경을 활성화하여 인지 기술 학습의 속도와 효과를 개선하는 플랫폼 기술 개발	프로그래머블

## Biohacker 사례 분석

- 기술의 발전은 개인 맞춤형 치료뿐만 아니라 자신의 신체를 대상으로 직접 실험하고 치료하며 정보를 공유하는 바이오해커들의 활동을 증가시킴

표 12 | 바이오해커 활동 사례

바이오해커	내용	출처
Tim Cannon	- 자신의 팔에 블루투스 칩을 이식하여 체온 정보를 휴대폰으로 전송하는 기술 개발	<a href="http://www.livescience.com/40892-biohacker-tim-cannon-cyb.org.html">http://www.livescience.com/40892-biohacker-tim-cannon-cyb.org.html</a>
Boheemen, Bruins, Jelmer Cnossen (Amplino project)	- 혈액 한 방울로 40분 이내에 간단하고 저렴한 가격으로 진단 가능한 유전자정량증폭 진단법을 활용한 말라리아 진단장치를 개발	<a href="http://amplino.org/">http://amplino.org/</a>
Raymond McCauley	- 유전자 내 SNP 구성에 따라 비타민 체내 흡수율이 달라지는 정도를 연구하여 스스로 비타민 B 복용의 필요성을 강구	<a href="http://www.nature.com/nm/journal/v16/n9/full/nm0910-953.html">http://www.nature.com/nm/journal/v16/n9/full/nm0910-953.html</a>
Eric Valor	- 루게릭병 환자 벨러는 신약후보물질에 들어 있는 아염소산나트륨이 증상 완화 효과가 있음을 착안, 인터넷에서 직접 구입하고 전문가 조언을 거쳐 적정 수준의 농도와 양을 투여 받아 자가 치료 후 증상 호전	<a href="http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/34433/title/Do-It-Yourself-Medicine/">http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/34433/title/Do-It-Yourself-Medicine/</a>
Grindhouse Wetware/ Kevin Warwick's lab at Reading University	- 손가락 끝에 자석을 삽입하여 자기장을 느끼고, 금속물질에 대해 감각을 느끼는 등 감각 기능을 증강시키고자 함	<a href="http://io9.gizmodo.com/what-you-need-to-know-about-getting-magnetic-finger-imp-813537993">http://io9.gizmodo.com/what-you-need-to-know-about-getting-magnetic-finger-imp-813537993</a>
Science for the Masses	- 밤, 연기가 자욱한 날, 색조유리 등을 투과해 볼 수 있게 시력을 향상시키는 안약 개발	<a href="http://scienceforthemasses.org/wp-content/uploads/2015/03/AReviewonNightEnhancementEyedropsUsingChlorine6.pdf">http://scienceforthemasses.org/wp-content/uploads/2015/03/AReviewonNightEnhancementEyedropsUsingChlorine6.pdf</a>
Stelarc	- 자신의 몸을 캔버스로 사용하는 아티스트 - 생체 적합한 귀 형태의 세포지지대를 팔에 이식함으로써 와이파이로 연결하는 등의 예술 활동을 펼침	<a href="http://io9.gizmodo.com/5912041/for-extreme-artist-stelarc-body-mods-hint-at-humans-possible-future">http://io9.gizmodo.com/5912041/for-extreme-artist-stelarc-body-mods-hint-at-humans-possible-future</a>
Eduardo Kac	- 해파리의 초록 형광 단백질을 추출하여 토끼 수정란 핵 속의 유전자에 이음으로써, 푸른 빛 아래서 녹색으로 빛나는 몸을 지닌 유전자 변형 토끼 "Alba" 를 생산	<a href="http://www.wired.com/2001/04/bunny/">http://www.wired.com/2001/04/bunny/</a>
Lisa Park	- 목소리를 빛으로, 정서를 음악으로 표현하는 등 생체신호를 이용하여 예술작품 구현	<a href="http://thecreatorsproject.vice.com/blog/meet-biohacker-artist-lisa-park">http://thecreatorsproject.vice.com/blog/meet-biohacker-artist-lisa-park</a>

Nikolas Badminton	- 손에 칩을 삽입하여 스마트폰을 작동	<a href="http://www.huffingtonpost.ca/2015/10/11/nik-badminton-biohacking_n_8277720.html">http://www.huffingtonpost.ca/2015/10/11/nik-badminton-biohacking_n_8277720.html</a>
Pelling Lab.net	- 식물에 세포를 심어 인체 면역 시스템의 거부 반응이 적은 세포지지대(scaffolds)를 재배	<a href="http://www.wired.co.uk/article/ted-fellows-andrew-pelling-biohacker">http://www.wired.co.uk/article/ted-fellows-andrew-pelling-biohacker</a>
Martijin Wismeije	- NFC 태그를 피부에 이식하여 비트코인으로 지불 기능 수행	<a href="https://www.finextra.com/newsarticle/28077/biohacker-demos-bitcoin-payments-by-chip-implant">https://www.finextra.com/newsarticle/28077/biohacker-demos-bitcoin-payments-by-chip-implant</a>
Kevin Warwick	- 가로 23mm, 너비 3mm의 유리캡슐에 담긴 컴퓨터 칩과 전자석 코일을 팔의 신경조직에 이식하여 신경신호를 디지털화, 신경조직과 컴퓨터의 상호작용을 연구 - 아내의 팔에도 동일한 절차로 칩을 이식하여, 인터넷을 통해 움직임, 생각, 감정 신호가 서로에게 어떻게 전송되는지를 분석	<a href="http://www.kevinwarwick.com/">http://www.kevinwarwick.com/</a>

## ※ | 참고문헌

- [1] 김훈기, 바이오해커가 온다, 글항아리, 2015.07.06.
- [2] 브루스 매즐리시, 네 번째 불연속-인간과 기계의 공진화, 사이언스북스, 2001.
- [3] 이명화, 융합바이오 활성화를 위한 규제개선(발표자료), STEPI, 2016.05.26.
- [4] 이승민 외, ECOsight 3.0: 미래사회 전망, ETRI, 2015.06.30.
- [5] 이원태, “포스트휴먼시대 인간과 기술의 소통모델: 네트워크 사이보그”, STEPI, Future Horizon, Vol. 26, 2015.
- [6] 최윤희, 융합바이오기술 기반 바이오헬스케어산업 생태계, 제62회 과총포럼, 2016.07.05.
- [7] 호세 코르데이로(Jose Luis Cordeiro), “인간의 경계 : 휴머니즘에서 포스트휴머니즘까지”, 제1회 세계인문학 포럼 발표자료, 325-334, 2011.11.
- [8] \_\_\_\_\_, 글로벌 보건산업 동향, Vol. 191, 한국보건산업진흥원, 2016.01.01.
- [9] Andrew Pollack, “Scientist talk privately about creating a synthetic human genome”, NYT, 2016.05.13.
- [10] Angela McIntyre, Megan Reinhart, Hype Cycle for Wearable Devices 2016, Gartner, 2016.07.18.
- [11] Antonio Regalado, “DuPont Predicts CRISPR Plants on Dinner Plates in Five Years”, MIT Technology Review, 2015.10.08.
- [12] Betty Yu et al., “An elastic second skin”, Nature Material, 2016.05.09.
- [13] Bruce Carlson, “Projected 2015 Trends in the Healthcare Industry”, Kalorama Information, 2015.01.
- [14] Dan Cossins, “Venter supports DNA printers”, The Scientist, 2012.10.17.
- [15] DARPA and the Brain Initiative, <http://www.darpa.mil/program/our-research/darpa-and-the-brain-initiative>
- [16] Elizabeth Gibney, "The Body Electric", Nature, Vol. 528, 2015.12.03.
- [17] James Davies, Rodrigo Lluberas and Anthony Shorrocks, Credit Suisse Global Wealth Databook 2015.

- [18] Jef Akst, "Do-It-Yourself Medicine," The Science Magazine, 2013.03.01.
- [19] Jeff Cribbs, Richard Gibson, Hype Cycle for Consumer Engagement With Healthcare and Wellness 2016, Gartner, 2016.07.13.
- [20] Klaus Schwab, The Fourth Industrial Revolution, World Economic Forum, 2016.01.15.
- [21] Kyle D. Conlee, The Digital Revolution Comes to U.S. Healthcare, Internet of Things, Goldman Sachs, Vol 5, 2015.06.
- [22] Laura McGovern et al., "The Relative Contribution of Multiple Determinants to Health Outcomes," Health Affairs, Vol. 33, no.2, 2014.
- [23] Marina Levina, "Googling your genes: personal genomics and the discourse of citizen bioscience in the network age", Journal of Science Communication, Vol. 9, Issue 1, 2010.03.
- [24] Matt Ridley, The Rational Optimist: How Prosperity Evolves, Harper, 2010.05.
- [25] MIT Media Lab, Research Groups and Projects, <https://www.media.mit.edu/research/groups-projects>
- [26] National Intelligence Council, Global Trends 2030: Alternative Worlds, 2012.12.
- [27] NIH National Human Genome Research Institute, "DNA Sequencing Costs: Data," 2015.05.24.
- [28] Razib Khan and David Mittelman, "Rumors of the death of consumer genomics are greatly exaggerated", Genome Biology, Vol. 14, pp.139-141.
- [29] Ray Kurzweil, How to Create a Mind: The Secret of Human Thought Revealed, Viking Press, 2012.11.
- [30] Sungjun Park et al., "Sub-0.5 V Highly Stable Aqueous Salt Gated Metal Oxide Electronics", Scientific Report, 2015.08.14.
- [31] Vi Shaffer, Laura Craft, Hype Cycle for Healthcare Providers 2016, Gartner, 2016.07.14.
- [32] Yuval Noah Harari, Sapience: A Brief History of Humankind, HarperCollins Publisher, 2015.02.

## 저자소개

---

이승민 ETRI 미래전략연구소 기술경제연구본부 미래사회연구실 책임연구원  
e-mail: todtom@etri.re.kr Tel. 042-860-1775

송근혜 ETRI 미래전략연구소 기술경제연구본부 미래사회연구실 UST연구생  
e-mail: ghsong0227@etri.re.kr Tel. 042-860-6702

## 인체 플랫폼

- 인간과 ICT 대응합, 인체의 디지털 트랜스포메이션 -

---

발행인 : 김봉태

발행처 : 한국전자통신연구원 미래전략연구소

발행일 : 2016년 9월 30일

---

**ETRI** 한국전자통신연구원  
미래전략연구소

305-700 대전광역시 유성구 가정로 218  
전화 : (042) 860-3874, 팩스 : (042) 860-6504

\* 주의 : 본서의 일부 또는 전부를 무단으로 전재하거나 복사하는 것은  
저작권 및 출판권을 침해하게 되오니 유의하시기 바랍니다.

