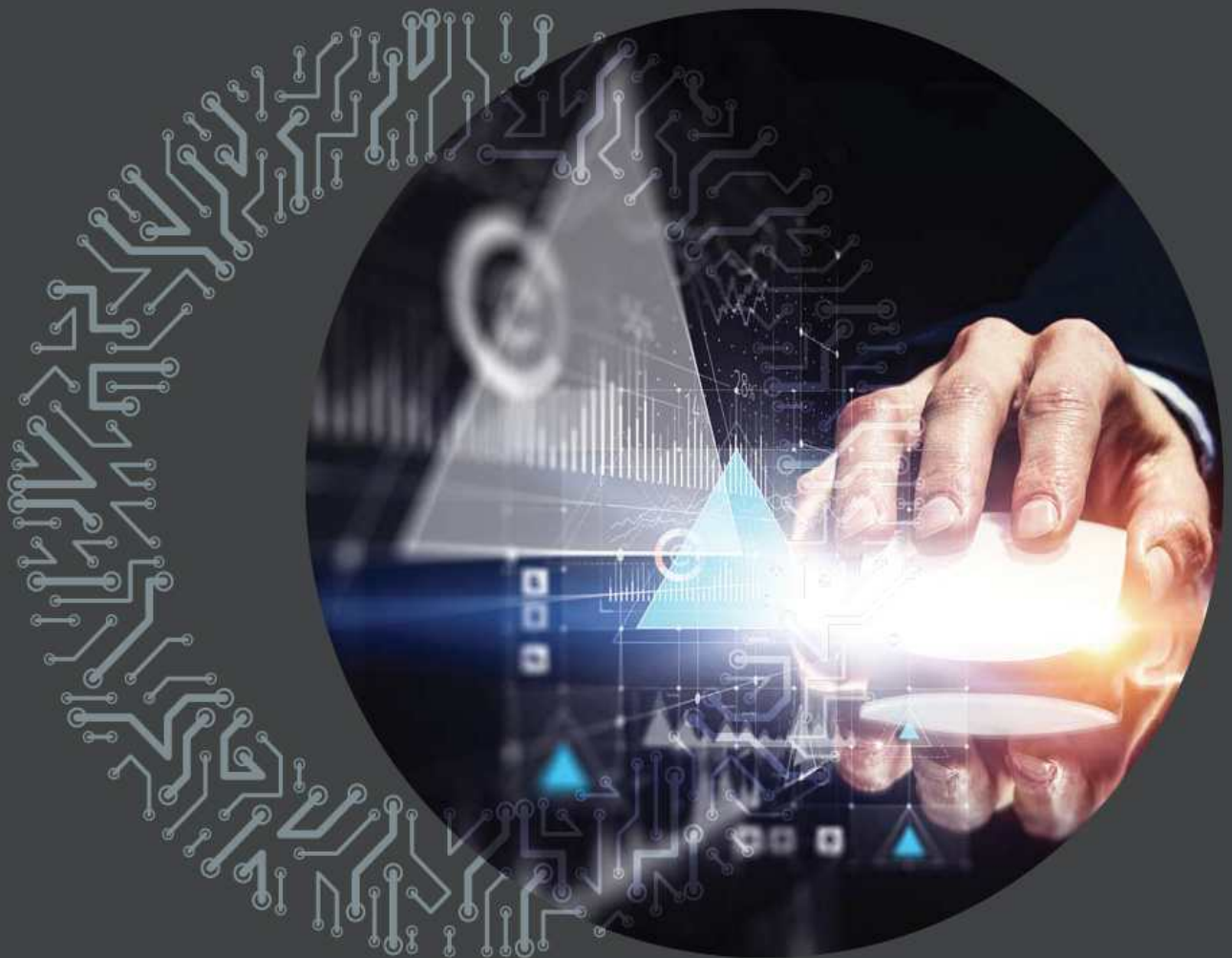


## Insight Report

## 뇌-컴퓨터 인터페이스와 결합한 휴먼증강 기술



※ 본 보고서의 내용은 필자의 개인적인 견해이며, 한국전자통신연구원의 공식 견해가 아님을 알려드립니다.



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

▼	요 약 .....	1
	I. 개관 .....	2
	II. 동향 및 전망 .....	5
	2.1 논문 계량분석 .....	5
	2.2 주요국의 정책 동향 .....	11
	2.3 주요기술 연구 동향 .....	16
	2.4 주요기업 분석 .....	24
	2.5 시장 동향 및 전망 .....	28
	III. 이슈 및 핵심가치 .....	31
	참고문헌 .....	35



## 요 약

### ■ 기술 개념 및 영역 정의

- 본 보고서에서는 휴먼증강 기술을 인지 및 신체 능력을 향상시키기 위한 체내 삽입 또는 체외 부착 가능한 제품 및 서비스 개발을 위한 BCI 기반 기술로 정의
- 적용기술 범위를 HCI 기술이 적용된 의공학, 뇌공학, 로봇공학 분야로 제한
- 인지성능향상 기술은 뇌기능 조절, 뇌 기반 외부기기 제어, 인공 뇌, 신체성능 향상 기술은 신경보철, 운동보철, 근력향상으로 분야로 구분하여 분석 수행

### ■ 정책·기술·기업 및 시장 동향

- 고령화 사회에 대응 및 인간다운 삶을 위한 기술 개발의 요구가 증가하고 이에 부응하여 휴먼증강 기술에 대한 연구가 선진국을 중심으로 국가주도로 추진 중이며 대표적으로 뇌과학, BCI, 재활·치료용 웨어러블 로봇 연구 관련 정책이 추진 중
- 최근 들어 실리콘밸리 ICT 기업들이 휴먼증강을 신성장 동력산업으로 주목하며 기술개발 및 시장에 진입하기 위해 노력 중
- 뇌지도를 작성하고 뇌이해를 기반으로 뇌기능을 조절하거나 외부기기를 제어하는 기술이 개발되고 있으며 체내 삽입형 뇌자극 장치, 뇌파측정 기반 BCI 인터페이스 장치, 거짓말탐지기, 뉴로마케팅 분야에 제품이 출시되고 시장이 형성됨
- 감각능력 중 시각과 청각 능력을 향상시키기 위한 인공망막 및 인공와우, 신체능력 향상에서는 전자의수 및 전자의족뿐만 아니라 웨어러블 로봇에 대한 연구가 활발하고 신경보철 및 운동보철 시장은 시장 점유율을 높게 가지고 시장을 주도 하는 기업이 존재하고 진입장벽이 높게 형성되어 있는 반면에 웨어러블 로봇 시장은 이제 막 형성되기 시작

### ■ 이슈 및 핵심가치

- BCI를 위한 뇌이해 기술 선점을 위해 전략 투자 포트폴리오를 확립하고 원천기술 개발 추진 및 뇌질환 진단·치료 시장을 미리 선점하고 시장지배력 강화 필요
- 휴먼증강 기술의 성숙은 단절적이고 파괴적인 영향력을 초래할 가능성 존재하기 때문에 부작용을 최소화하고 안정성을 충분히 검토하면서 관련 기술을 연구하고 실제로 기술을 적용하는 과정에서 여러 윤리적 쟁점들에 대한 점검 필요

## 휴먼증강 기술이란

- 45억년 지구의 역사에서 인간은 약 6백만년전 영장류에서 분화되어 도구를 제작하고 사용할 수 있는 호모 파베르<sup>1)</sup>로 진화
  - 석기, 청동기, 철기, 활자시대, 산업화시대, 정보화시대 등 호모 파베르가 만들어낸 도구는 사회와 시대를 규정
  - 이처럼 인간은 자신의 본성에 따라 도구를 만들어 사용하지만 도구는 인간능력 향상이나 외부와의 관계형성에 직간접적으로 영향을 미침으로써 사람과 사회의 발전에 본질적인 변화를 가져왔음
- 과학기술과 결합된 도구는 최근 400년 동안 인간능력을 획기적으로 향상
  - 도구는 어떤 목적을 이루기 위한 수단이나 방법이고 기술은 과학이론을 적용하여 사물을 인간 생활에 유용하도록 가공하는 수단으로 정의
  - 17세기 과학혁명 이래 과학기술은 삶의 질을 향상시키고 인간능력 확장에 기여
  - 인간능력 향상을 위해 농업, 예술, 경영·경제, 심리, 생물학, 의학, 유전학, 전산학, 공학에 이르기까지 다양한 학문영역에서 광범위한 연구를 진행해 왔음<sup>2)</sup>
- 최근 ICT 기술과의 융합으로 인간능력을 향상시키는 기술은 비약적으로 발전하여 휴먼증강(Human Augmentation)이라는 기술영역이 탄생
  - 인간의 수명연장과 능력향상에 대한 욕구는 과학기술과 결합하여 인간의 능력을 단순히 향상시키는 것을 넘어 인간자체를 변형하는 인공적 진화에 주목
  - 특정 영역에서 인간지능을 뛰어 넘는 인공지능이 개발되고 종래의 인간의 일을 대체하고 경우에 따라서는 더 능률적으로 해내는 기계가 등장하고 인체에 대한 생물학적 탐구가 진전되면서 인간의 정신 또는 신체능력을 향상시킨 사이보그<sup>3)</sup> 등장
  - 노화를 제거하고 인간의 인지, 정서, 신체 능력을 향상시키는 기술을 개발하고 확대함으로써 인간조건을 근본적으로 향상시킬 가능성과 그 바람직함을 긍정하는 지적·문화적 운동으로 정의되는 트랜스휴머니즘이 등장

1) 호모 파베르는 도구의 인간을 뜻하는 용어로 인간의 본질을 도구를 사용하고 제작할 줄 아는 점에서 파악하는 인간관으로 프랑스 철학자 앙리 베르그송(1859년~1941년)에 의해서 제안. 인간은 유형, 무형의 도구를 만드는 동시에 자기 자신도 만든다고 봄 (출처: 위키백과)

2) 인간향상(human enhancement)과 인간증강(human augmentation) 키워드에 의해 검색된 논문의 학문 범위

3) 사이보그는 1960년대 애스트로노틱스라는 잡지에 기고한 글에서 처음 등장한 용어로, 인간신체의 일부를 기계로 대체하여 극한의 환경에서 살 수 있게 하거나 인간능력을 뛰어넘는 슈퍼맨을 만든다는 개념에서 시작

- 트랜스휴먼니즘에 등장하는 트랜스휴먼은 인간을 증강함으로써 포스트휴먼이 되어 가는 과정에 있는 존재이며 포스트휴먼이란 현생인류를 더 이상 대변할 수 없을 정도로 철저히 변화되어 현재 기준으로는 인간으로 분류될 수 없는 존재
- 휴먼증강 기술은 인간의 단순 능력향상에서 시작하여 사이보그, 트랜스휴먼, 포스트휴먼이 되기까지의 경계를 넘나드는 광범위한 기술
- 휴먼증강에 대한 다양한 정의가 존재하며 기술개념이 정립되고 있는 분야
  - 능력향상의 범위, 적용기술의 범위, 신체의 결합여부에 따라 다양한 정의 존재
  - 기술공학적 수단을 통해 인간의 인지, 정서, 신체 능력을 통상적 범위를 넘어서는 수준까지 향상 시키는 기술(포스트휴먼시대의 휴먼, 한국포스트휴먼연구소)
  - 질병이나 치료의 목적으로 접근하기도 하지만 궁극적으로 인간능력을 향상시키는 방향의 기술(감각의 미래, 카라 플라토니)
  - 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI)와 감성컴퓨팅 등 컴퓨터와 인터넷을 이용해 인간의 생각과 감정을 제어하는 기술이 발전하면서 해당 기술을 인간에 적용하여 신체능력을 향상시키는 기술(KOTRA)
  - 신체의 일부분에 결합되어 일반인의 인지 및 신체 능력을 향상시키는 기술(인간-기계 인터페이스 하이프사이클 기술, 가트너)
  - 신체에 부착하거나 신체의 일부분으로 결합시켜 인체의 능력을 증강·보완하고 인간의 의지에 따라 조절이 가능한 모든 기술을 신체증강휴먼기술로 정의(2017년 국가미래유망기술 상시 발굴 및 준비체제 정책지원 보고서의 12대 정책 프로그램 사전 기획서 중 신체증강휴먼 보고서, 한국연구재단)
  - 인간의 신체적, 정신적 상황을 이해하고 그 능력을 보완 및 증강시킬 수 있는 기술(웨어러블컴퓨팅 기술 연구, ETRI)
- 본 보고서에는 휴먼증강을 ‘인지 및 신체 능력을 향상시키기 위한 체내 삽입 또는 체외 부착 가능한 제품 및 서비스 개발을 위한 BCI 기반 기술’로 정의
  - (능력향상의 한계) 인지 및 신체 능력의 기능 저하 치료 및 회복뿐만 아니라 향상과 관련된 기술도 포함
    - ※ 단 현재 순수 기능향상을 목적으로 하는 기술은 사회적·윤리적·법적 합의가 필요한 분야이므로 기능의 회복 및 치료 기술과 연관된 기능 향상 기술로 제한
  - (적용기술의 범위) BCI 기술이 적용된 의공학, 뇌공학, 로봇공학 분야로 제한
    - ※ 휴먼증강의 기반이 되는 기술에는 약물학, 유전공학, 소재공학 등 다양한 분야에 걸친 기술들이 존재하지만 본 보고서에서는 ICT와 연관성을 고려하여 BCI기반 기술로 제한
  - (제품 및 서비스의 범위) 신체 내부에서 외부까지 고려하되, 신체의 일부분으로

결합된 제품 및 서비스로 제한

## ■ 휴먼증강 기술의 세그먼트 정의

- 휴먼증강 기술을 인지능력향상과 신체능력향상 분야로 구분
  - 생물학적 지식과 결합한 공학기술 중 BCI(Brain-Computer Interface)<sup>4)</sup>기술에 기반을 둔 인지능력 및 신체능력 향상 기술에 집중<sup>5)</sup>
- 인지능력향상 기술은 뇌기능 조절, 뇌 기반 외부기기 제어, 인공뇌 분야로 구분
  - (뇌기능 조절) 뇌기능을 진단하거나 조절하는 분야
  - (뇌 기반 외부기기제어) 뇌신호를 분석하여 외부기기를 제어하는 분야
  - (인공뇌) 사람의 뇌를 모방하여 인공적으로 구현한 뇌
- 신체능력향상 기술은 신경보철, 운동보철, 근력향상 분야로 구분
  - (신경보철) 주로 시각과 청각의 손실기능을 회복 및 복구하는 장치
  - (운동보철) 수족이 손실된 사람들을 위한 전자의수 및 전자의족
  - (근력향상) 근력회복 및 근력향상을 위한 웨어러블 로봇

그림 1. 휴먼증강 기술 세그먼트



4) BCI 기술은 인간의 뇌를 기계와 연결하여 뇌 신경신호를 실시간 해석해 활용하거나 외부 정보를 입력하고 변조시켜 인간 능력을 향상시키는 기술로, 뇌로부터 신경신호를 측정하는 방법에 따라 뇌파를 활용하면 BCI(Brain-Computer Interface) 기술, 미소전극을 활용하면 BMI(Brain-Machine Interface) 기술로 구분하였으나 2000년 중반이후 동일한 기술로 분류

5) 인지능력 향상에 가장 널리 쓰이고 전도유망한 약물적 방법, 선천성 질병치료에서 맞춤형 아기까지 가능하게 하는 유전자 기술, 세상 모든 물체를 원자나 분자수준에서 분해하고 결합하여 물질을 변형하거나 복제까지 가능한 나노기술도 대표적인 휴먼증강 기술이나 ICT기술과의 관련성을 고려하여 본 보고서에서 제외

## II 동향 및 전망

### 2.1 논문 계량분석

- 휴먼증강 분야는 기술의 태동기에 있으므로 특허분석보다 논문분석이 적합

※ 시작단계의 기술 분야이기 때문에 특허사이트에서 기술키워드 검색의 어려움 존재

#### 데이터 수집

- 논문검색사이트 SCOPUS에서 총 17,606건 수집
  - 제목, 요약, 저자가 직접 입력한 키워드에서 'human'과 함께 'enablement' 또는 'enhancement' 또는 'augmentation'이 존재하는 문서를 수집
  - 소스타입을 'journals'와 'conference proceedings'로 제한
  - 주제영역을 'computer science', 'engineering', 'neuro science'로 제한
  - 논문게재 연도를 최근 10년(2007년부터 2016년)으로 제한

#### <논문검색을 위해 SCOPUS에서 사용한 검색식>

```
TITLE-ABS-KEY(human AND (enablement OR enhancement OR augmentation)) AND (
LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "ENGI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA,
"NEUR")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar")) AND
(LIMIT-TO(LANGUAGE, "English")) AND (LIMIT-TO(SRCTYPE, "p") OR LIMIT-TO(SRCTYPE, "j"))
AND ((PUBYEAR AFT 2006) AND (PUBYEAR BEF 2017))
```

#### 연도별 기술활동

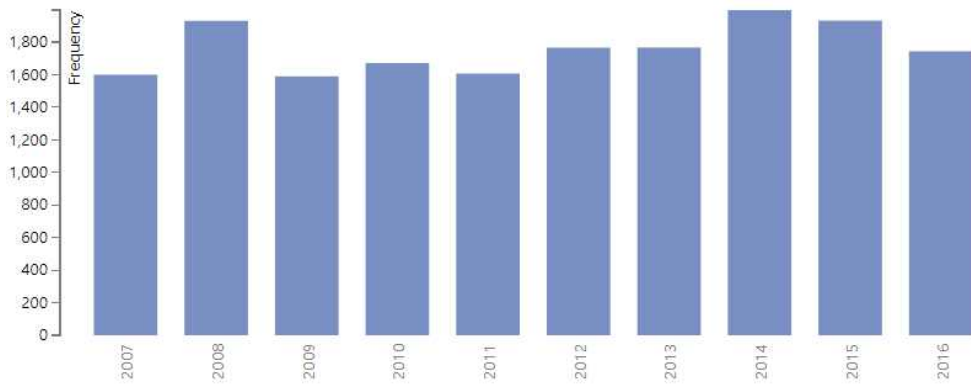
- 총 논문수 및 연도별 논문수
  - 연평균증가율(CAGR)은 1% 정도이며 최근 10년 동안 발표된 논문은 총 17,606건으로 뚜렷한 증가추세는 보이지 않음

표 1 연도별 논문 게재 현황

구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
논문수	1,600	1,931	1,590	1,672	1,607	1,766	1,767	1,997	1,932	1,744



그림 2 연도별 논문수

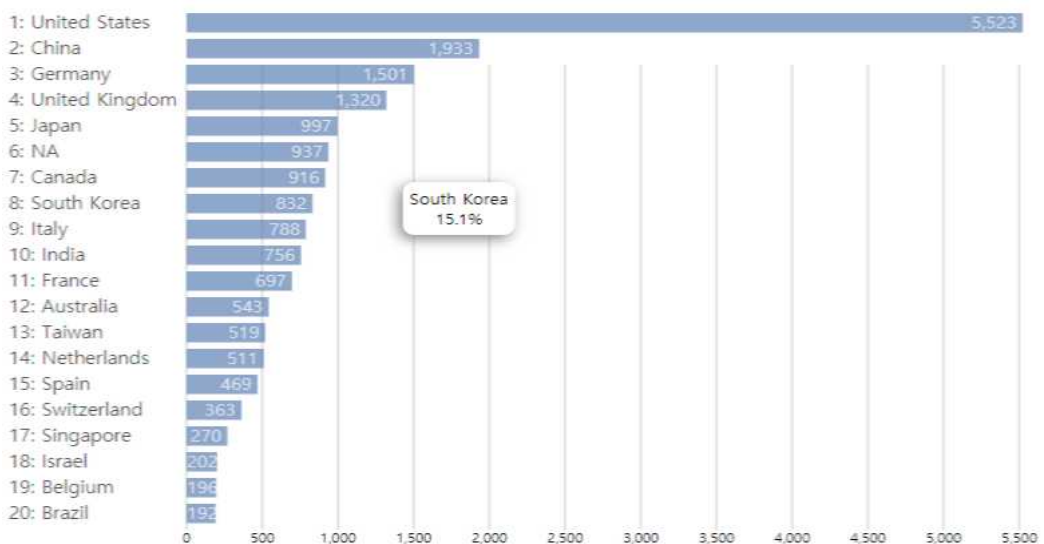


### 국가별 기술경쟁력

#### ● (양적평가) 논문수 기준 국가별 순위

- 가장 많은 논문을 게재한 국가는 미국이며, 그 다음 중국, 독일, 영국, 일본 순
- 우리나라는 8위이며 미국에 비해 15.1% 수준의 논문 게재
- 20위 국가 중 EU에 속한 7개 국가의 논문은 5,482건으로 미국 다음 순위

그림 3. 논문수 기준 연도별 국가 순위



#### ● (양적평가) 최근 10년 논문수 기준 국가별 순위 비교

- 최근 10년 동안 국가별 논문 게재 현황을 살펴보면 미국이 압도적으로 계속 1위

를 선점하고 있으며 2011년 이후 중국이 2위로 올라서고 미국과의 격차도 줄이고 있는 것으로 파악

- 우리나라는 최근으로 올수록 양적지표 측면에서 연구활동력 향상(2007년도 13위, 2008년~2009년 8위, 2010년 10위, 2011년~2012년 7위, 2013년 6위, 2014년 5위, 2015년 8위, 2016년 7위)

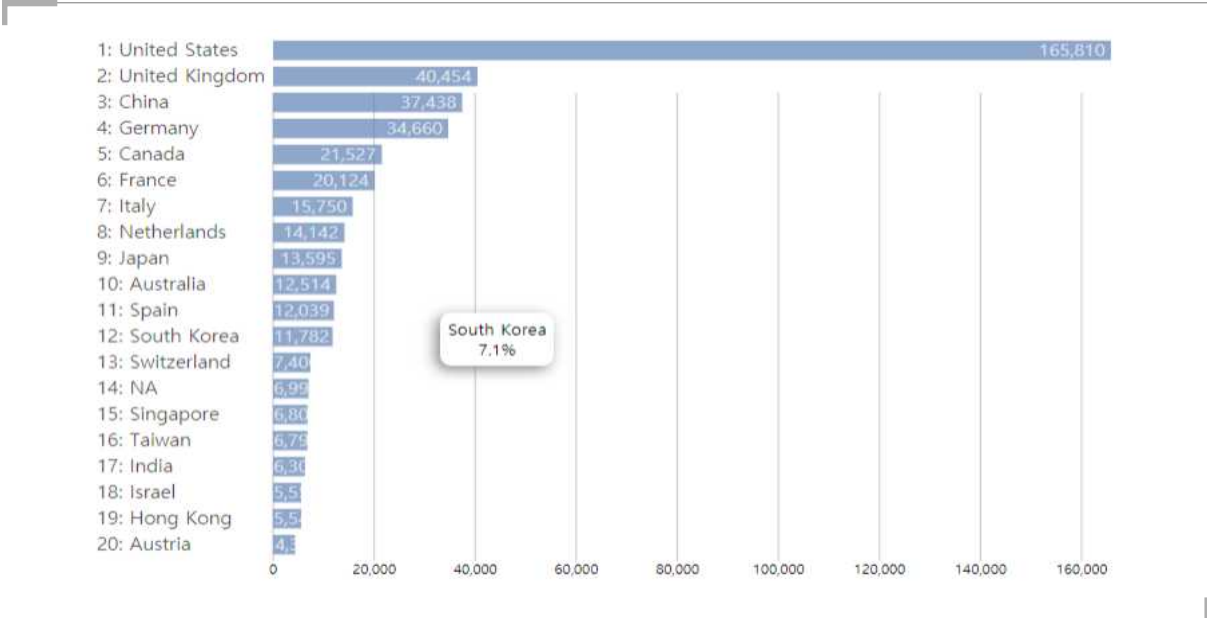
표 2 논문수 기준 최근 10년 국가별 순위

구분	상위1	상위2	상위3	상위4	상위5
2007년	미국(543)	독일(123)	영국(114)	일본(112)	중국(98)
2008년	미국(570)	독일(160)	중국(142)	영국(136)	일본(120)
2009년	미국(531)	독일(126)	영국(124)	중국(122)	캐나다(96)
2010년	미국(557)	독일(155)	중국(145)	영국(115)	일본(86)
2011년	미국(647)	중국(149)	독일(124)	영국(101)	일본(94)
2012년	미국(581)	중국(191)	독일(155)	영국(137)	캐나다(94)
2013년	미국(565)	중국(215)	독일(176)	영국(149)	이탈리아(96)
2014년	미국(590)	중국(304)	독일(182)	영국(182)	한국(109)
2015년	미국(592)	중국(306)	독일(147)	영국(126)	인도(125)
2016년	미국(447)	중국(261)	독일(153)	인도(145)	영국(136)

● (질적평가) 논문의 피인용수 기준 국가별 순위

- 논문 피인용수 기준 미국은 압도적 1위이며 그 다음 영국, 중국, 독일, 캐나다 순
- 논문수 기준과 비교했을 때 영국이 2위로 부상했으며 우리나라는 8위에서 12위로 하락(미국 기준 7.1%정도의 논문 피인용수 보유)

그림 4. 논문 피인용수 기준 연도별 국가 순위



- 20위 국가 중 EU에 속한 7개 국가의 논문의 피인용수 합은 141,525건

● (질적평가) 최근 10년 논문 피인용수 기준 국가별 순위 비교

- 최근 10년 동안 국가별 논문 피인용수를 살펴보면 미국이 압도적으로 1위를 선점하고 있으며 2011년 이후 중국이 2위 위치
- 우리나라는 2011년 이후로 연구영향력 향상(2007년 18위, 2008년 13위, 2009년 10위, 2010년 12위, 2011년 6위, 2012년 8위, 2013년 10위, 2014년 7위, 2015년 8위, 2016년 13위)

표 3 논문 피인용수 기준 연도별 국가 순위

구분	상위1	상위2	상위3	상위4	상위5
2007년	미국(30,233)	영국(9,154)	중국(5,140)	독일(4,557)	호주(2,608)
2008년	미국(29,319)	영국(6,186)	독일(5,520)	캐나다(3,520)	중국(3,473)
2009년	미국(31,531)	영국(9,106)	프랑스(4,877)	캐나다(4,666)	독일(4,537)
2010년	미국(19,882)	독일(5,354)	중국(5,121)	프랑스(3,703)	영국(3,568)
2011년	미국(14,814)	중국(4,025)	독일(3,125)	영국(2,552)	캐나다(2,237)
2012년	미국(14,678)	중국(4,138)	독일(3,976)	영국(3,273)	캐나다(2,072)
2013년	미국(11,266)	중국(3,839)	독일(3,680)	영국(3,084)	이탈리아(1,636)
2014년	미국(7,939)	중국(4,636)	독일(2,147)	영국(2,038)	캐나다(91,509)
2015년	미국(4,569)	중국(2,769)	독일(1,200)	영국(908)	이탈리아(780)
2016년	미국(1,579)	중국(1,061)	영국(585)	독일(564)	일본(325)

☞ 휴먼증강 4대 강대국 및 한국을 포함한 국가별 중점 연구분야 분석

- 미국, EU, 일본, 중국과 함께 우리나라를 포함하여 분석
- 논문의 인덱스키워드<sup>6)</sup>의 출현빈도를 활용하여 국가별 중점 연구분야 분석
  - 국가별 경쟁력이 있는 분야를 점검하기 위하여 국가기준 평균이상의 피인용수를 갖는 논문을 대상으로 분석

표 4 국가별 평균 피인용수 이상 논문분석 데이터

구분	평균피인용수	최대피인용수	총 논문수	평균피인용수 이상 논문수(비중)
미국	32.6	5,136	5,523	1,251(22.7%)
EU	25.6	2,727	5,706	1,355(23.7%)
일본	16.1	230	997	234(23.5%)
중국	23.0	1,670	1,933	397(20.5%)
한국	16.1	447	832	195(23.4%)

6) SCOPUS는 검색기능 향상을 위하여 저자가 기입한 키워드를 기반으로 자체 기술 키워드를 참조하여 저자 키워드를 정제 후 인덱스 키워드 제공

- 평균 인피용수와 최대 피인용수 역시 미국이 가장 높으며 그 다음 EU, 중국 순
- 일본은 상대적으로 평균 피인용수 및 최대 피인용수 모두 최하위

● 국가간 공통 연구주제 분석

- 국가별 출현빈도 상위 50개 키워드 중 공통 키워드 추출
- 5개 국가의 키워드를 모두 합하면 총 78개가 존재하며 이중에서 공통 키워드는 23개 존재(이 중 비기술 용어 2개 삭제)
- 인간과 동물에 대한 연구, MRI 영상 처리 및 인식, 컴퓨터 보조 기술에 관한 연구가 중점적으로 이루어지는 것으로 파악

표 5 출현빈도 상위 50개 키워드 중 5개 국가의 공통 키워드

주제	키워드
인간	human, male, female
동물	nonhuman, animal
영상처리 및 인식	image enhancement, image processing, contrast enhancement, image interpretation, pattern recognition, magnetic resonance imaging, nuclear magnetic resonance imaging
컴퓨터 보조	computer assisted, computer assisted diagnosis, automated
재현가능성	reproducibility, reproducibility of result, controlled study
기타	algorithm, sensitivity and specificity, methodology

● 공통주제를 제외한 국가별 연구주제 분석

- 미국과 EU는 50개의 키워드가 모두 동일한 것으로 보아 거의 유사 연구 진행 중
- 미국, EU는 인간의 뇌 연구에 중점을 두고 있는 것으로 파악
- 일본은 고령화 사회 대비를 위한 기술개발에 주안점을 두고 인간 중심 연구 진행 중
- 중국과 우리나라는 다른 국가들과 차별화된 연구주제를 일부 선택하고 있으며 주로 동물 연구주제와 관련

표 6 출현빈도 상위 50개 키워드 기준 국가간 연구 중첩비율

	미국	EU	일본	중국	한국	평균
미국	-	100%	66.7%	47.8%	49.2%	65.9%
EU	100%	-	58.7%	39.4%	44.9%	60.8%
일본	66.7%	58.7%	-	54.7%	66.7%	61.7%
중국	47.8%	39.4%	54.7%	-	59.7%	50.4%
한국	49.2%	44.9%	66.7%	59.7%	-	55.1%

- 중국과 우리나라는 상대적으로 동물실험 규제가 약하고 중국은 이를 잘 활용하여 미국과의 공동연구를 활발하게 수행함으로써 이 분야에서의 최신기술을 빠르게 흡수하고 있는 상황

그림 5. 5대 국가의 공통 키워드를 제외한 출현빈도 상위 50개 키워드의 워드클라우드



## 2.2 주요국의 정책 동향

### 가. 뇌 연구 전반의 정책 동향

#### 해외 정책 동향

- 미국, EU, 일본, 중국은 21세기를 뇌의 세기로 규정하고 막대한 연구비 투자 중
  - 1960년대 우주를 정복하는 국가가 세계를 지배한다는 냉전시대의 모토는 뇌를 정복하는 국가가 미래를 주도한다로 변경
  - 과거 냉전시대 소련과의 경쟁에서 시작된 달 탐사 프로젝트에 비견될 만큼 해외 각국의 뇌 연구 관련 투자 규모 방대
  - 미국과 유럽은 뇌 연구에 배정된 투자금액의 대부분을 뇌공학 기술개발에 배당
  - 고령사회에 대비하고 건강하고 행복한 삶의 기틀을 마련하기 위해 추진

표 7 해외 뇌연구 관련 프로젝트

국가	정책
미국	- 국립보건원(NIH) 인간커넥톰 프로젝트 투자 (2010년) - 오바마 정부는 BRAIN Initiative 발표 (2013년)
EU	- 국가간 컴소시엄인 HBP 발표 (2012년)
일본	- 문부과학성의 'Strategic Research for Brain Science' 프로젝트 (1997년) - Brain/MINDS 사업 착수 (2014년)
중국	- China Brain Project 발표 (2016년)

#### ● (미국) 인간커넥톰 프로젝트

- 1986년 시작하여 미국 위스콘신주립대 존 화이트 교수가 20년에 걸쳐 1mm 크기의 꼬마선충 뇌에 있는 302개의 신경세포와 그들간의 연결쌍 약 7,000여개에 대한 지도 완성
- 사람은 1,000억개의 신경세포가 존재하고 이들간의 연결인 시냅스는 100조 이상으로 알려져 있어 현 하드웨어 기술로는 구현하기 어려움
- 현재는 신경세포 사이의 연결성지도를 만드는 일과 뇌 영역들 사이의 연결성 지도를 만드는 일로 나누어서 함께 진행 중

#### ● (미국) BRAIN(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative

- 2013년 4월 오마부 정부에서 발표한 국립보건원(NIH), 국방고등연구계획국(DARPA), 국립과학재단(NSF) 등 16개 유관기관이 연합한 국가주도의 뇌연구 프로젝트
- 미국 역사상 최대 규모의 민간부분 연구 프로젝트로 10년간 30억달러 투자
- 혁신적인 뇌공학 기술을 개발하여 유럽, 일본, 중국 등과의 뇌과학 분야 경쟁에서 선도적 위치를 선점하겠다는 목표
- 인간커넥톰 프로젝트에 이어 860억개의 신경세포를 연결하는 수조개의 시냅스 구조인 뇌활동지도의 제작이 목표
- 인간게놈 프로젝트의 연구성과처럼 뇌와 관련된 연구의 기초자료로 활용 계획
- 뇌질환 치료는 물론 인지기능향상, 뇌모방 기계설계 등에 활용될 것으로 기대

#### ● (유럽) HBP(Human Brain Project)

- 2012년 25개국 135개 기관이 뇌과학 연구를 공동으로 추진하는 프로젝트
- 10년간 10억 유로 투자규모로 유럽 역사상 가장 큰 규모의 프로젝트
- 슈퍼컴퓨터 등 ICT와 결합하여 인공뇌를 만든 것이 목표
- 미래의 의학 및 컴퓨터 분야에 적용하기 위한 프로젝트로, 뉴로모픽컴퓨팅, 뉴로로보틱스 분야의 플랫폼을 구축할 계획
- 인공뇌에 뇌질환을 발병시키고 그 치료법을 컴퓨터를 통해서 찾아내는데도 활용될 것으로 기대

#### ● (일본) Strategic Research for Brain Science

- 1997년 일본은 뇌 연구개발에 대한 장기적인 구상 발표
- 이화학연구소(RIKEN)내 뇌과학연구원(BSI: Brain Science Institute)을 98년 설립
- 2010년 약 3천억원의 예산 지원
- 우울증, 치매, 발달장애 치료를 위한 뇌연구 및 BCI 기술 개발이 목표

#### ● (일본) Brain/MINDS(Brain Mapping by Integrated Neurotechnologies for Disease Studies)

- 2014년부터 진행되는 300억원 규모의 연구 프로젝트
- 뇌의 이해, 뇌의 보호, 뇌의 창조 및 육성이 목표
- 비단 원숭이 뇌지도 작성, 뇌지도 작성에 도움이 되는 최첨단 기술개발, 인간의 뇌지도 및 임상 연구 등 3개 프로젝트 추진

## ● (중국) China Brain Science

- 2016년에 15년 계획으로 MoST(Ministry of Science & Technology)와 NSFC(Natural Science Foundation China)에서 뇌 연구 프로젝트 발표
- 대뇌의 감지능력 탐구, 감정 형성과정 연구 및 지능기술 개발에 관한 연구 수행
- 알츠하이머 등 뇌질환 이해 및 치료에 활용할 계획

## ■ 국내 정책 동향

- 1998년에 제정한 뇌연구촉진법을 기반으로 뇌연구촉진기본계획을 수립
- 1998년 10년 계획으로 시작된 1차 기본계획에서는 기초연구기반을 조성하고 뇌연구 주체별 연구역량을 강화가 목적
  - 한국뇌과학 창립(1998년)하고 뇌프런티어사업(2003년~2013년)을 통해 기초원천연구 기반을 확보
  - 창의적 연구진흥사업, 우수연구센터사업, 국가지정연구실사업 등을 통하여 뇌분야 인력을 양성
- 2008년 10년 계획으로 시작된 2차 기본계획에서는 다학제 융합에 기반한 선도적 핵심역량 강화와 산학연 협력연구기반 구축이 목적
  - 뇌분야 핵심원천기술 역량 확보와 뇌질환 등 사회문제 해결을 위한 뇌과학원천기술개발사업을 추진
  - 뇌연구원(2011년), KIST 뇌과학연구소(2011년), IBS 뇌과학이미징연구단(2013년)을 설립
  - 2차 기본계획의 투자현황을 보면 2008년 493억원에서 2015년 1,243억원으로 2배 이상 증가(연평균 14.4% 증가)
- 2016년 미래창조과학부는 2023년까지 뇌연구 강국을 목표로 뇌과학 발전전략을 발표
  - 2014년 기준 선진국 대비 72%인 기술수준을 2023년까지 90%로 향상을 목표로 4개의 핵심 뇌기술 조기 확보 과제 및 4개의 뇌연구 생태계 확충 과제를 추진
  - 핵심 뇌기술 확보를 위해서 특화 뇌기능 지도 작성, 미래선점 뇌기술 개발, NI-AI 연계 뇌 연구 강화, 뇌질환 극복 연구 심화 과제를 추진
  - 뇌 연구 생태계 확충을 위해 연구인력의 융합화, 연구자원의 안정적 확보, 세계 뇌 연구역량 활용 및 협력 강화, 미래 뇌산업 준비 등 과제를 추진



## 나. 뇌-컴퓨터 인터페이스 관련 정책 동향

### ▣ 해외 정책 동향

- (미국) DARPA는 인지와 신체 능력 재활을 위한 다수의 프로젝트 수행
  - 1974년 사람의 생체신호와 뇌신호를 활용하여 사람과 기계간의 직접적인 상호작용을 가능하게 하여 사람의 정서 및 인지능력을 파악하기 위한 목적으로 수행한 Closed Coupled Man/Machine Systems 프로젝트로 BCI 연구에 투자 시작
  - 최근 인지와 신체기능 재활 목적과 훈련 및 성과 향상을 목적으로 하는 BCI 관련 다수 프로젝트 추진

표 8 | 인지와 신체 기능 재활 목적의 DARPA의 BCI 프로그램

프로그램	연구목표
Revolutionizing Prosthetics (2006년)	인간의 감각운동 기능 재활
REMIND (2009년~2014년)	기억회복을 위한 BCI 시스템 개발 ※ Restorative Encoding Memory Integration Neural Devices
REPAIR (2010년~2015년)	뇌가소성을 설명할 수 있는 multi-scale의 생물학적 수학 모델 개발 ※ Reorganization and Plasticity to Accelerate Injury Recovery
RE-NET (2010년~2015년)	장기간 사용할 수 있는 안전하고 안정적인 BCI 시스템 개발

- (유럽) BNCI Horizon 2020: The Future of Brain/Neural Computer Interaction
  - 2010년부터 2011년까지 총 2년 동안 50만유로의 예산을 지원받아 수행되었던 Future BNCI 프로젝트의 후속 프로젝트
  - 2013년 11월부터 2015년 4월까지 90만유로의 예산을 지원받아 8개의 연구기관, 3개의 산업체, 2곳의 사용자 조직이 참여하여 추진
  - 기능이 저하된 사람들의 인지, 정서, 신체 능력을 향상시키기 위한 연구개발 및 윤리적 이슈 및 사회적 니즈 발굴을 포함한 BNCI 연구로드맵 완성이 목표
- (중국) 미국, 유럽, 일본 등과 비교하여 뇌 연구 및 관련 BCI 지원 정책이 늦었지만 알고리즘 및 아이디어를 겨루는 대회인 BCI Competition에서 지속적으로 좋은 성적 달성 중

## 국내 정책 동향

- 국가 차원의 뇌 연구의 중요성이 부각되면서 뇌 연구내에서 BCI 연구를 지원
  - 뇌과학 발전전략의 미래선점 뇌기술 개발 과제에서 ICT 융합을 통한 뇌기능 증진 기술, 로봇팔 제어를 위한 뇌감각 신호 활용기술 등 BCI 관련 기술 개발을 포함
- 미국과 유럽 등이 뇌연구와 관련하여 대부분의 예산을 뇌공학에 투자하는 것과 대조적으로 우리나라는 뇌공학에 대한 투자가 최하 순위

### 다. 재활 및 치료용 웨어러블 로봇 관련 정책 동향

## 해외 정책 동향

- (미국) 미국 로보틱스 로드맵에서 재활로봇 연구 추진을 제시(2016년 11월 발표)
  - 재활치료 및 생활지원에서의 로봇활용 연구 추진
  - 전자의수 및 전자의족 및 웨어러블 로봇 관련 연구 추진
  - 뇌졸중, 치매 등 신경근계 질환 대응을 위하여 BCI 기반 웨어러블 로봇 연구 추진
- (유럽) 유럽 로보틱스 전략 연구 아젠다 2020에서 재활로봇 연구 추진을 제시 (2016년 12월 발표)
  - 뇌신호 및 생체신호 기반 재활 및 치료용 웨어러블 로봇 관련 연구 추진

## 국내 정책 동향

- 2014년 창조경제 실현을 위한 융합기술 발전전략의 15대 국가전략 융합기술에 신체기능 복원 및 재활치료 기술개발 포함
- 2017년 보건복지부는 산업통산자원부와 한국로봇산업진흥원과 함께 로봇보급사업의 일환으로 의료재활로봇 사업 확대 추진
  - 2012년 보행재활로봇, 2013년 상지재활로봇, 2015년 체간보정재활로봇 및 손재활로봇, 2015년 엔드이펙터형 보행재활로봇, 2016년 착용형 보행보조로봇, 2017년 외골격제어형 보행재활로봇과 상지재활로봇 중심으로 추진
- 우리나라도 2016년에 발표한 대한민국 로봇산업 기술로드맵에서 의료·재활 로봇을 중점 추진 연구분야로 제시

## 2.3 주요 기술 연구 동향

### 가. 인지능력 향상

#### (1) 뇌 기능 조절 분야

#### (뇌이해) 뇌 구조와 기능을 이해하여 생각·감정 등을 읽어내는 기술

##### 연구개발 동향

- 2006년 미국 No Lie MRI사는 진실을 말할 때 활동하는 뇌부위와 거짓을 말할 때 활동하는 뇌부위가 다르다는 점에 착안하여 MRI 기반 거짓말 탐지 기술을 개발
- 2008년 일본 국제전기통신기초기술연구소(ART) 연구팀은 fMRI<sup>7)</sup>로 측정된 뇌영상을 분석하여 사람이 보고 있는 문자나 도형을 알아맞추는 기술 개발에 성공
  - ※ fMRI는 현재까지 뇌 영역별 기능을 관찰할 수 있는 가장 좋은 공간 해상력을 가졌으나 실시간으로 측정하기 어려우며 대형 측정기가 필요하다는 단점 존재
- 정지영상을 재현하는 기술에서 더 나아가 2011년 미국 UC 버클리대 잭 갈란트 교수팀은 사진뿐만 아니라 동영상을 윤곽측면에서 약 75% 정도 일치율로 재현하는 기술을 개발
- 2010년 그리스 아리스토텔레스대 바미디스 교수팀은 뇌파(EEG)<sup>8)</sup> 센서를 이마에 부착해 유쾌한 감정과 불쾌한 감정을 80%이상 정확도로 읽어내는데 성공
  - ※ EEG는 편리하고 안전하고 저가격으로 실시간 뇌 활동정보를 측정할 수 있으나 심장박동, 눈 깜빡임 등 잡음신호에 취약하고 낮은 공간해상도를 갖는 단점이 존재
- 2012년 미국 MIT 솔로베이 교수팀은 이마에 부착하는 근제외선분광(NIRS) 센서로 사용자의 정신적 업무량을 측정하고 휴식필요 여부를 알려주는 장치를 개발
  - ※ NIRS는 fMRI에 비해서 가격이 저렴하고 EEG에 비해서 정확하기 때문에 미래의 뇌 신경신호를 수집하는 기술로 활용하기에 적합하다고 평가됨
- 최근에는 뇌파와 뇌자도(MEG)<sup>9)</sup>의 높은 시간적 해상도와 fMRI의 높은 공간적 해상

7) 약 1,000억개에 달하는 뇌의 신경세포를 하나하나 관찰하는 대신 뇌를 가상의 격자로 구분하고 격자단위로 뇌의 활성화를 측정. 격자를 복셀(voxel)이라고 부르며 하나의 복셀은 50만~200만개의 신경세포를 포함. 뇌가 활동할 때 많은 양의 산소를 필요로 하는데 산소를 가진 산화헤모글로빈의 양이 증가하면 자기공명영상에 변화가 발생하는 현상을 이용

8) 뇌파는 신경세포가 활동하면서 발생하는 미세전류가 두피에 만들어내는 전위차를 머리 표피에 부착한 전극으로 측정하는데 것인데 두피와 뇌 사이에 위치하는 두개골에 전류가 잘 흐르지 않아 전기신호의 크기가 감소하고 신호의 왜곡이 발생. 더욱이 뇌의 여러 영역에서 발생하는 신호들이 서로 중첩되어 특정한 영역의 뇌 활동만 분리하여 관찰하기 어렵다는 문제 존재

9) 뇌자도는 신경세포가 활동하면서 발생하는 전기신호에 대응하는 자기장의 변화를 측정한 것으로 뇌파보다 공간해상력이 우수

도를 결합해서 보다 빠르고 정밀하게 뇌 활동을 관찰할 수 있는 멀티모달 신경영상 기술도 개발 중

- 미국 MIT 미디어랩의 팬틀랜드 교수팀은 DARPA의 지원을 받아 외상후스트레스 장애(PTSD)를 스마트폰을 이용해서 진단하는 연구 프로젝트 진행 중

#### ● 활용분야

- 파킨스병, 뇌전증, 강박증, 틱장애, 만성통증, 우울증 등 뇌질환 진단에 활용
- 거짓말탐지 기술은 범인이나 테러리스트를 판별하는데 활용
- 고객의 잠재의식과 제품에 대한 선호를 읽어 뉴로마케팅 등 분야에 활용
- 사용자의 마음을 반영하는 감성인터페이스를 갖춘 가전기기 개발에 활용

### 📖 (뇌자극) 뇌에 전자장치를 이식하고 뇌의 기능을 조절하는 기술

#### ● 연구개발 동향

- 뇌기능 조절이나 뇌질환 치료를 위한 뇌 임플란트는 이미 30여년 전부터 활용 중이며, 대표적인 장치는 심부뇌자극 장치로 뇌의 심부에 가늘고 긴 바늘을 꽂아 펄스형태의 전류를 흘려보내서 뇌의 활동을 조절
- 심부뇌자극 장치의 대표적인 회사인 메드트로닉사는 최근 뇌에서 생성되는 세로토닌이나 도파민과 같은 호르몬을 측정할 수 있는 화학센서가 함께 들어 있어 자극 전류를 알아서 조절해주는 기술을 개발 중
- 현재는 자기장이나 전류를 사용해서 뇌를 자극하고 있지만 빛, 소리, 마이크로파를 활용해서도 뇌의 상태를 조절하는 기술도 개발 중
- 특정 신경세포만 선택 자극할 수 있는 광유전학 기술<sup>10)</sup>이 뇌자극 대체기술로 부상
- 펜실베니아대와 UCLA는 DARPA로부터 3,750달러를 투자받아 기억력 및 계산능력 등을 향상시킬 수 있는 뇌 자극 장치를 개발 중
- 테슬라는 바이오인공지능 기업 뉴럴링크를 설립하고 뇌에 작은 전극을 이식하는 신경레이스 기술을 개발 중이라고 2016년에 발표
- 국내에서는 미래부 뇌과학원천기술개발사업 지원을 받은 인천성모병원 연구팀이 치매 직전 단계의 인지능력저하 환자에게 뇌 전기자극으로 기억력을 향상시킨 실험결과를 2017년에 발표

10) 2004년 해조류에서 추출한 채널로돕신2라는 단백질을 바이러스를 이용해서 신경세포에 넣은 다음 특정한 파장의 빛을 쬐이면서 단백질이 발현된 신경세포의 활동을 마음대로 조절하는 기술

## ● 활용분야

- 파킨스병, 뇌전증, 강박증, 틱장애, 만성통증, 우울증 등 뇌질환 치료에 활용
- 기억력 향상 기술은 치매 예방 및 뉴로-러닝 분야에 활용 가능

## (2) 뇌 기반 외부기기 제어 분야

### 📖 (뇌-컴퓨팅시스템 연결) 뇌 활동정보를 기반으로 외부기기를 제어하는 기술

#### ● 연구개발 동향

- 2000년 미국 듀크대 미겔 니콜렐리스 교수팀은 원숭이의 대뇌 운동영역에서 미세전극<sup>11)</sup>을 측정 후 실시간 분석하여 로봇팔을 구동시키는데 성공
- 2004년 미국 브라운대 브레인게이트 연구팀은 미세전극을 사지마비 환자의 뇌에 이식해 생각만으로 TV, 이메일 등 전자기기들을 제어할 수 있는 기술 개발
- 2012년 브라운대, 메사추세츠종합병원, 국가보훈처, 스탠퍼드대, 케이스리저브대 공동연구팀은 미세전극을 활용한 기술로 로봇팔을 제어해 커피를 마시는 실험에 성공
- 2012년 피츠버그대 앤드류 슈왈츠 교수는 미세전극을 활용한 기술로 거의 인간의 팔과 유사한 움직임이 가능한 자유도 7을 가지는 로봇팔을 구동시키는 기술 개발
- 브라질 정부가 2013년 1월부터 1,500만달러를 투자하여 전세계 25개국 150여명의 연구진이 참여한 대규모 프로젝트의 결과로 2014년 6월 월드컵 이벤트 행사에서 하반신 마비 환자가 웨어러블 로봇을 착용하고 머리에 착용한 헬멧에서 측정된 뇌파신호를 활용해 월드컵 공인구를 차는 실험에 성공
- 미국 파인스타인 의학연구소의 채드 보턴 박사는 팔이 마비된 장애인이 로봇이나 인공팔 같은 기계의 도움을 받지 않고 스스로 팔을 움직일 수 있게 해주는 기술을 개발
  - ※ 장애인의 대뇌 피질에 신경신호를 분석할 수 있는 전극을 이식하고 손목에는 신경신호를 인식할 수 있는 전극을 패치 형태로 붙이며, 여기에 인공지능의 머신러닝 알고리즘을 적용해 뇌가 내리는 명령이 담긴 다양한 신호를 정확하게 해석할 수 있는 기술 개발
- 2005년 독일 괴팅겐대 제레미 힐 교수는 세계 최초로 청각의 선택적 주의집중을 검출해서 식물인간 환자들이 '예/아니오'의 간단한 의사소통 가능한 기술을 개발
- 2012년 네덜란드 마스트리히트대 베티나 소르거 교수는 fMRI 장치를 활용해 글자를 타이핑할 수 있는 일명 정신적 타자기를 개발

11) 신경세포 바로 위에서 바늘 모양으로 생긴 전극을 꽂아서 측정하는 방법으로 보통 여러개의 바늘을 사용하기 때문에 미세전극배열이라고도 칭함

※ 뇌파를 이용해 문자를 입력하는 방식이 가장 효율적인 기술. 그 중에서 가장 많이 사용되는 방식은 집중하고 있는 문자가 반짝이는 순간 발생하는 P300정보를 검출하는 방식

- 2017년 페이스북은 뇌파를 이용해 생각만으로 1분에 100단어를 타이핑하는 것을 목표로 ‘브레인 타이핑 기술’을 연구하고 있다고 발표
- 국내에서는 한국과학기술연구원(KIST)에서 2014년부터 2020년까지 6년간 365억원의 R&D 비용을 투입하여 생각대로 움직이는 인공팔 개발 중

● **활용분야**

- 전신마비 환자를 위한 전자기기, 로봇팔, 로봇다리 등 기기 제어에 활용
- 마비 환자의 팔, 다리 등을 직접적으로 제어하는 기술에 활용
- 식물인간 상태 환자와의 의사소통에 활용

**(3) 인공 뇌 분야**

 **(뉴로모픽칩) 뇌의 정보처리 능력을 모방한 차세대 반도체 기술**

● **연구개발 동향**

- 2005년 스위스 연방공대 헨리 마크램 교수 주도 하에 뉴로모픽 기술 개발을 시작
- 퀄컴, IBM, HP 삼성 등은 차세대 정보저장 소자 및 인지학습 기능이 탑재된 뉴로모픽칩을 개발 중
- 2009년부터 2018년까지 진행 예정인 뉴로모픽칩 개발 연구에서 DARPA는 인간 뇌와 유사한 규모인 약 100억개의 멤리스터가 뉴런코어라고 불리는 트랜지스터(10나노 크기)<sup>12)</sup>들을 거미줄처럼 연결하는 뉴로모픽 칩 시냅스(SyNAPSE) 개발
  - ※ 현재 SyNAPSE를 구동하는데 필요한 에너지는 대략 1킬로와트로 유사 규모에서 인간이 필요로 하는 에너지 20와트에 비해 50배 정도 큼
- 국내에서는 포스텍에서 신경세포 회로에 관한 연구를 진행하고 있으며 512개 뉴런을 집적한 뉴런코어칩 연구결과를 2014년에 발표

● **활용분야**

- 인공장기 개념의 생물학적 인공뇌 개발을 통해 신경계 질환 모델 구축에 활용
- 뇌질환 치료법뿐만 아니라 인지기능 향상 원리를 찾는 데도 활용 가능

12) 10나노 크기는 1억분의 1미터 크기로 트랜지스터가 1나노 이하로 작아지면 원자의 활동이 트랜지스터 기능에 직접적인 영향을 미쳐 반도체 칩에 오류가 발생할 가능성 증가

## 나. 신체능력 향상

### (1) 신경보철 분야

#### (인공망막) 빛을 전기신호로 변환하여 뇌로 전달하는 기술

##### ● 연구개발 동향

- 인공망막은 광수용체가 손상되어 뇌가 빛을 인지하지 못한 경우 카메라로 촬영한 영상을 분석해서 수술을 통해 미리 이식해 놓은 전극을 직접 자극하여 대뇌 시각 피질로 정보를 제공하는 기술을 채택
- 2013년 최초로 미국 FDA(식품의약품안전청)의 승인을 받은 인공망막 아르구스2가 2014년 초부터 시각장애인들에게 시술되기 시작
- 독일 레티나 임플란트는 1,500개의 전극을 단 인공망막을 임상 실험 중
- 광유전학 기술<sup>13)</sup>을 시력향상 기술에 활용하기 위한 연구도 진행 중
  - ※ 전류는 퍼져 흐르므로 여러 신경세포를 자극하지만 빛은 직진성을 가지기 때문에 아주 좁은 영역의 신경세포만 선택적으로 자극하는 것이 가능하여 광유전자 기술에 많은 기대와 관심이 집중
- 2011년 5월 미국 남캘리포니아대 앨런 호사저 교수팀은 광유전학 기술을 이용해 눈이 먼 생쥐의 시력을 기초적인 수준까지 회복시키는데 성공
  - ※ MIT테크놀로지 리뷰라는 잡지에 따르면 2017년 최초의 광유전학 인공 망막 기술을 시도할 예정
- 2015년 스위스 로잔공대 에릭 트렘블라이 교수팀은 캘리포니아대 조 포드 교수팀과 공동으로 약 2.8배 확대가 가능한 두께가 1.5mm 정도의 망원 콘택트렌즈를 개발
- 2015년 캐나다 가쓰 웹 박사는 시력저하가 있는 사람의 시력을 교정해주는 것은 물론 건강한 눈을 가진 사람의 시력도 3배나 향상시켜주는 콘택트렌즈를 개발
- 노인의 시력 기능저하 회복 목적으로 호주 멜버른 대학교와 연방정부, 바이오회사 컨소시엄인 바이오닉비전에서 인조 다이아몬드 눈을 개발하고 시각장애인 대상으로 상대방의 표정을 인식하고 책을 읽는 임상시험 진행 중
- 일본 오카야마 대학 연구팀은 OUREP라고 부르는 새로운 인공망막 기술을 개발 중
  - ※ OUREP는 얇은 폴리에틸렌 필름에 특수색소를 입힌 것을 망막 바로 아래층에 끼워 준 후 빛을 비추면 바로 아래에 위치한 시신경을 직접 자극해 주는 기술

##### ● 활용분야

13) 2004년 신경세포에 해조류에서 추출한 채널로돕신2라는 단백질을 바이러스를 이용해서 넣은 다음 특정한 파장의 빛을 비추어 단백질이 발현된 신경세포의 활동을 마음대로 조절하는 기술

- 시각성능 저하를 유발하는 녹내장, 당뇨망막병증, 색소성망막염 등 안과 질병 치료에 활용 가능
- 시각능력 향상 기술에 활용 가능

## 📖 (인공와우) 소리를 전기신호로 변환하여 뇌로 전달하는 기술

### ● 연구개발 동향

- 인공와우는 머리밖에 귀걸이 형태의 마이크 장치로부터 소리신호를 받아와서 주파수에 따라 분리한 다음 수술을 통해 미리 내이에 이식해 놓은 전극에 각 주파수에 해당하는 전류를 흘려보내는 기술을 채택
- 인공와우는 이 분야의 1위 기업인 호주의 코클리어 회사가 1982년에 최초 개발
- 2012년 전세계에서 인공와우 시술을 받은 사람의 수는 32만명을 넘어섰고 인공와우는 대표적인 신경보철의 성공 사례
- 최근에는 뇌의 감각피질에 직접 전극을 부착하고 미세한 전류를 흘려 자극함으로써 소리를 듣거나 사물을 볼 수 있는 기술이 대체 기술로 부상
- 미국 프린스턴대와 존스홉킨스 공동연구팀은 소리를 전기신호로 변환해 청각신경에 전달할 수 있는 기술 개발
- 또한 사람의 가청 주파수보다 훨씬 높은 소리를 들을 수 있는 연구도 수행 중

### ● 활용분야

- 청각성능 저하를 유발하는 질병 치료에 활용 가능
- 청각능력 향상 기술에 활용 가능

## 📖 뇌의 감각피질에 직접 전극을 부착하고 감각능력을 향상시키는 기술도 개발 중

### ● 감각은 외부세계에서 얻은 정보를 뇌가 이해할 수 있는 전기신호로 변환<sup>14)</sup>

- 뇌의 감각정보 처리방식은 각 감각에 대하여 무차별함에도 불구하고 외부로부터 감각을 받아들이는 연구는 개별적으로 진행
- 감각피질에 직접 접근하는 기술 방식은 감각능력 향상기술을 단일하게 접근하는 계기 마련 가능

14) 감각신경 말단에서는 화학물질(미각, 후각)과 주변에너지(시각: 빛, 청각: 소리, 촉각: 압력 및 파장)를 수용체에서 감지하고 이들을 뇌가 이해할 수 있는 전기신호로 변환



## (2) 운동 보철 분야

### (전자의수) 뇌와 상호작용 가능한 전자의수

#### 연구개발 동향

- 팔 근육에서 나오는 생체신호인 전압을 측정해 팔에 힘을 주면 신호를 분석하여 주먹을 쥐고 팔에서 힘을 빼면 손가락을 펴는 전자의수가 개발
- 영국 회사 오픈 바이오닉스는 전자의수를 누구나 쉽게 따라 만들 수 있도록 3D 프린팅 설계 도면을 완전 공개
- 독일 회사 빈센트 시스템즈는 최근 손끝의 압력을 뇌로 전달하는 기능이 포함된 전자의수를 최초로 상용화하는데 성공
  - ※ 손의 감각신경에서 뇌로 전달하는 전자신호가 완벽하게 해독된다면 손의 각 부분을 자극할 수 있는 스마트 글러브 제작 가능. 실제로 사물을 만지지 않고도 만지는 듯한 감각을 재현할 수 있는 이러한 장갑이 개발된다면 AR·VR 및 게임·엔터테인먼트 산업에 일대 혁신을 가져올 것으로 기대
- 2016년 11월 피츠버그대 로버트 곤트 교수팀은 뇌와 손 사이를 잇는 감각신경이 끊어진 경우 대뇌의 감각영역을 직접 전류로 자극해 전자의수의 촉각을 뇌로 전달하는데 성공
- 한국과학기술연구원은 총 365억원의 예산을 지원 받아 지난 2014년부터 2020년 완료를 목표로 생각대로 움직이고 느낄 수 있는 인공팔 개발을 진행 중
  - ※ 팔의 신경신호다발에 센서를 직접 연결해 뇌에서 내린 명령이 신경신호를 타고 팔 근육에 직접 전달되는 기술을 개발 중

### (전자의족) 뇌와 상호작용 가능한 전자의족

#### 연구개발 동향

- MIT 미디어랩 바이오메타트로닉스 연구팀 휴 허 박사는 첨단보행도구를 개발하고 사람의 생각을 전자의족에 전달할뿐만 아니라 전자의족이 센서를 통해 감지한 자극을 뇌로 전달하는 실험에도 성공
- 2017년 한국기계연구원은 인체와 유사한 발목의 움직임을 구현하고 고출력·경량 로봇 의족을 개발
  - ※ 사용자의 걷는 방식을 분석해 로봇 의족을 조정하여 자연스럽게 걸을 수 있도록 지원

### (3) 근력 향상 분야

#### (웨어러블 로봇) 외골격형 로봇이나 슈트형 로봇

##### ● 연구개발 동향

- 웨어러블 로봇은 로봇을 구성하는 재료와 구조, 구동방식에 따라 외골격형(hard-type) 로봇과 슈트형(soft-type) 로봇으로 구분
- 외골격형 로봇은 초기에 사용자의 근력의 크기를 증가시켜주거나 상당한 무게의 군사용장비를 운반할 수 있도록 도와주기 위한 목적으로 개발
  - ※ 1960년대 미 해군의 지원을 받아 GE가 최초의 외골격형 로봇 Hardiman를 개발
  - ※ 2009년에 개발된 HULC(Human Universal Load Carrier)가 군사목적으로 개발된 대표적인 외골격형 로봇임
- 군용 외골격 로봇의 기술은 운동능력이 부족하거나 상실된 환자의 운동을 보조하거나 대체해주는 형태로 확장
- 슈트형 로봇은 DARPA의 지원을 받아 군인들의 근지구력 향상을 목적으로 하버드대의 Wyss연구소에서 2006년 개발한 Soft ExoSuit가 대표적
- 최근에는 사람이 걸을 때 다리 근육이나 힘줄의 움직임을 모방해 걷기, 달리기, 높이뛰기 등의 동작에 필요한 에너지를 줄여주는 기술도 개발 중
- 우리나라도 2010년대에 들어서 국내 대학과 연구소 중심으로 웨어러블 로봇 연구가 활발하게 이루어졌으며 한양대의 엑사시스템즈, 한국생산기술원의 ROBIN, SG로보틱스의 ANGELEGS 등이 대표적인 기술개발 사례
- 2016년 서울대학교에서 불편한 상지운동에 의해 생활에 제약을 받는 뇌졸중 환자를 위한 슈트형 상지운동 보조 로봇을 개발
- 우리나라는 방위사업청과 국민안전처가 민군 공동활용 가능한 웨어러블 근력증강 로봇 기술을 2020년까지 개발할 예정

##### ● 활용분야

- 운동능력이 부족하거나 상실된 환자를 위한 재활과 트레이닝 분야에 활용
- 근력이 약해진 고령자의 보행과 생활을 지원하기 위해 복지 분야에 활용
- 무거운 물건을 운반하는 근로자의 근력을 향상시키기 위해 산업현장에 활용
- 무거운 군사장비 운반 및 군인들의 근지구력 향상을 위해 국방 분야에 활용

## 2.4 주요 기업 분석

### 가. 인지능력 향상

#### ☐ 뇌기능 조절

- 저가의 헤어밴드형 뇌파측정기가 전 세계 30여개 업체에서 판매 중
  - 헤어밴드형 뇌파측정기 중 일부기기는 뇌파를 측정하여 스마트기기와 실시간으로 통신하며 사용자의 의도와 감정을 파악하여 뇌기능 조절 기능을 내장
  - 대표적인 기업은 호주 Emotiv사로 뇌파를 이용해서 사용자의 흥분, 지루함, 당혹감과 같은 감정상태를 탐지하여 게임속 캐릭터의 표정과 행동을 바꾸어 주는 게임인터페이스 장치를 개발
    - ※ Emotiv사가 개발한 EPOC은 전세계에 수만대 판매되었으며 최근에는 스마트기기와 연결해서 사용할 수 있는 앱도 제공
  - 미국 스타트업 기업 PuzzleBox는 사람의 뇌파를 활용해 장난감 헬리콥터를 원격 조종하는 Puzzle Orbit 제품을 출시
  - 국내 연구진들이 실리콘밸리에 설립한 NeuroSky도 뇌파를 이용하여 게임이나 장난감에 접목한 제품을 출시

표 9 | 뇌기능 조절 주요 기업 및 제품

기업명	제품명	특징
Emotiv (호주)	EPOC, EPOC+, Insight	전세계 대부분의 국가에서 상업용으로 판매 가능 16개의 센서가 내장되어 30여 종류의 의도 및 감정 인식 시선, 인상, 미소 등 표정변화 탐지
Advanced Brain Monitoring (미국)	B-Alert X10	무선으로 EEG, EOG, ECG 신경신호를 측정 가능 FDA가 무선기능 승인
NeuroSky (미국)	MindWave	10개의 응용앱 내장
PuzzleBox (미국)	PuzzleBox Orbit	뇌파를 활용해 장난감 헬리콥터 조정
MyndPlay (영국)	BrainBandXL	마인트컨트롤 기능 내장 집중, 눈깜빡임 등 탐지
Interaxon (캐나다)	Muse	실시간 뇌파 데이터를 스마트폰에 디스플레이 명상 및 집중에 활용

- 뇌에 전극판을 삽입하여 뇌질환을 치료
  - 메드트로닉스와 사이버노릭스 등 미국 4개 기업이 세계시장 100% 점유

● **고객의 뇌파를 분석하여 뉴로 마케팅에 활용**

- 미국 Neurofocus사는 뇌파측정장치로 고객의 잠재의식과 제품에 대한 선호를 파악하여 마케팅 서비스 제공 중

● **두뇌훈련용 제품도 등장**

- 영국 Foc.us에서는 머리에 낮은 직류전기를 흘리는 장치를 판매 중. Foc.us는 의학적 효과가 있다고 광고하지는 않지만 사용자들은 기분, 계산능력, 기억력을 상승시켰다고 인터넷상에서 주장

**뇌 기반 외부기기 제어**

● **전신마비 환자들을 위한 정신적 타자기가 상품화**

- 오스트리아 Guger Technology사는 2012년 일반 가정에서 사용할 수 있는 LCD 화면과 뇌파측정기가 일체화된 정신적 타자기 출시

● **뇌 기반 외부기기 제어기술은 BCI 기반 신체능력 향상을 위한 제품에서 채택 중**

- 미국 기업인 BrainGate사는 심각한 신경근계 환자들을 위한 뇌와 컴퓨터의 상호 작용 기능을 갖춘 BrainGate Neural Interface System을 출시

**나. 신체능력 향상**

**인공망막 및 인공와우**

● **1998년에 설립된 미국 의료기기 전문기업 Second Sight사가 인공망막 출시**

- 망막에 전극판을 삽입해서 빛을 감지하는 장치인 Argus 판매 중
- 최근에는 선글라스에 달려 있는 소형카메라로 촬영한 영상을 전기신호로 변환하여 뇌의 시각피질에 전달하는 오리온 개발 중

표 10   신경보철 주요 기업 및 제품		
기업명	제품명	특징
Second Sight (미국)	Argus2	망막에 전극판을 삽입해서 빛을 감지하는 장치
Cochlear (호주)	Nucleus	내이에 전극판을 삽입해서 소리를 감지하는 장치

## ● 다수의 기업이 인공와우를 판매 중

- 호주(Cochlear), 오스트리아(MED-EL) 등의 기업이 과점으로 공급하고 있는 시장
- 세계 1위 기업은 Cochlear사로 30여년 동안 100여개 국가에서 30만명 이상에게 인공와우를 공급하고 있으며 전세계 시장의 73%를 점유

## 📖 전자의수 및 전자의족

### ● 전자의수 분야에서 세계 1위 기업은 Touch Bionics사

- 1960년대 설립된 Touch Bionics사는 40여간의 노하우를 바탕으로 2007년 세계 최초로 판매용 전자의수 i-Lime을 개발
- 가장 최신 i-Lime 제품은 24 종류의 서로 다른 그립 동작이 가능<sup>15)</sup>하고 손가락 끝부분에 압력을 측정할 수 있는 센서가 부착되어 물체를 잡을 때 압력조절 가능

### ● 기존 재활치료기기 전문기업이 첨단 ICT기술을 도입하여 제품 출시 중

- 전자의수 및 의족은 고가의 재료로 개인맞춤형으로 소량생산되기 때문에 매우 고가
- 3D 프린팅 기술을 도입하여 가격 경쟁력 확보 전략을 세우는 기업들 등장

## 📖 웨어러블 로봇

### ● 웨어러블 로봇은 재활치료를 목적으로 하는 의료용으로 가장 많이 출시되었으며 보행지원 로봇으로도 일부 출시 중

- 현재 세계 근력보조로봇 시장의 주축은 Ekso Bionics와 Rewalk Robotics사로 연간 100~140대의 로봇을 판매 중
- Hocoma사의 로봇 재활 시스템인 Locomat은 5억원이라는 고가의 가격에도 불구하고 전세계적으로 300대 이상 판매
- 생활지원 로봇의 도입으로 착용성 및 활동성이 높은 슈트형 로봇에 대한 관심 증가

### ● 산업 제조현장에서 웨어러블 로봇이 도입 및 시범 운영되기 시작

- 2017년 10월 BMW는 미국 스파턴버그 공장에 상체와 하체용 웨어러블 로봇 도입. 조끼형태의 상체로봇은 위를 보고 작업하는 일이 많은 라인에 도입되었으며 무릎을 굽힌 채 작업하는 근로자들을 위해서 다리와 허리를 받쳐주는 하체용 로봇 도입. 현재 40대의 로봇을 운용중에 있으면 연말까지 60대로 확대 도입 예정

15) 인간의 손으로 할 수 있는 복잡한 동작의 약 10% 정도에 미치는 수준

- 2017년 11월 미국 자동차업체 포드는 미시간주의 공장 2곳에 조끼처럼 상체에 착용하는 웨어러블 로봇을 시범 운용한다고 발표
  - 아우디는 스위스 누니사와 함께 탄소섬유로 하체용 웨어러블 로봇을 개발해 독일 잉골슈타트 공장에서 시범 운용 중
  - 일본은 주요 공항에서 웨어러블 로봇을 도입하고 생산성 향상 검증 중
    - ※ 나리타공항에서 사이버다인의 HAL을 도입하고 수하물 운반시 사용 중(2017년 3월)
  - 현대자동차는 의료용 및 산업용 웨어러블 로봇을 내년부터 상용화할 계획
  - 상의용 웨어러블 로봇의 도입으로 근로자의 상체에 들어가는 힘의 30~40% 경감 기대
  - 하의용 웨어러블 로봇은 허리와 무릎의 부하를 40~50% 경감을 기대
  - 웨어러블 로봇의 도입으로 생산성 향상뿐만 아니라 근로자의 근골격계 질환을 예방까지 기대 가능
- 의료용, 산업용으로 개발된 외골격형 로봇은 대부분 군사용으로도 사용 가능
- 미국 Ekso Bionics사와 Raytheon사는 미 육군을 위한 웨어러블 로봇을 개발
    - ※ 미 육군 보도자료에 따르면 현재 미 육군 병사 중 전투배치 부적합으로 분류된 2만명 중 절반은 전투 중 부상자이고 나머지 절반은 무거운 짐을 운반하지 못하는 등 신체적 제약이 있는 병사들이라고 함

표 11 | 근력향상을 위한 웨어러블 로봇 주요 기업 및 제품

기업명	제품명	특징
Ekso Bionics (미국)	HULC eLEGS EksoVest Fortis	HULC(90kg의 균장을 메고 16km 행군 가능)는 군용로봇 eLEGS는 재활치료용 로봇 EksoVest, Fortis 산업용 로봇
Raytheon (미국)	XOS	미 육군을 위한 군용로봇 개발
Cyberdyne (일본)	HAL	척추손상을 환자를 위한 보행지원 로봇 ※ 2013년 2월 기준 약 330대의 약 150개 시설에 임대 하체 근력향상을 위한 산업용 로봇 ※ 일본 주요공항에서 하물적재 작업에서 시범운용 중
Honda (일본)	Walking Assist	노약자를 위한 보행지원 로봇
Hocoma (스위스)	Lokomat	트레드밀과 함께 동작하는 로봇 재활 시스템 ※ 국내 5대 도입
Rewalk Robotics (이스라엘)	Rewalk	노약자 및 척추손상 환자를 위한 보행지원 로봇

## 2.5 시장 동향 및 전망

### 시장의 범위 및 구성

- 휴먼증강 기술은 체내삽입형 기술과 체외부착형 기술로 구분
  - 전극판 등을 뇌에 삽입하여 뇌기능을 조절하는 제품군과 인공망막 및 인공와우로 대표되는 신경보철 제품들이 대표적인 체내삽입형 기술이 적용된 제품군
  - 체외부착형 기술이 적용된 제품으로는 뇌파측정이 가능한 헤드셋, 전자의수와 전자의족, 웨어러블 로봇이 대표적
- 응용분야는 의료·재활·헬스케어, 뉴로-러닝·뉴로-게임, 뉴로-마케팅, 스마트홈 제어, 기타 분야로 구분
- 적용 산업은 의료, 국방, 제조 및 기타 산업으로 구분

그림 6. 시장 범위 및 구성

제품 구분		주 활용 분야			주 적용 산업		
체내 삽입	체외 부착	헬스케어	뉴로-게임 뉴로-마케팅	스마트홈 제어	의료	국방	제조

### 시장 규모 및 전망<sup>16)</sup>

- 전세계 시장규모는 2014년 1,299만달러에서 연평균 43.5%로 성장하면서 2020년 약 11.3억달러까지 고속 성장 전망
  - 인구의 고령화와 생산인력부족 등 사회 트렌드와 이러한 트렌드 속에서 나타나는 각종 사회문제를 해결하기 위하여 휴먼증강 기술에 대한 수요가 증가하고 관련 제품들이 출시되면서 연평균 43.5%로 가파르게 상승할 것으로 기대

※ Grand View Research사는 BCI 시장을 2015년부터 2022년까지 7년간 연평균 11.5%씩 성장하면서 2014년 7,237만달러에서 2020년 13.9억달러 규모로 성장할 것으로 예측. BCI 제품군 활용분야로 의료·재활·헬스케어, ICT기기·자동차·드론, 게임·영화, 국방·훈련·교육 분야를 고려

16) 2015년에 시장조사기관 Markets&Markets이 발표한 Human Augmentation Market: Global Forecast To 2020 자료 참고

● 체내삽입형 기술 시장과 체외부착형 기술 시장 비율은 4 vs 6 정도

- 뇌기능 조절 제품군과 신경보철 제품군을 대표 제품군으로 갖는 체내삽입형 기술 분야는 뇌졸중환자, ADHD 환자 등의 증가로 인한 제품 수요 증가로 2014년 5,460만달러에서 2020년 4.6억달러 시장으로 성장 예상(연평균성장률 42.7%)

※ 세계보건기구에 따르면 미국의 경우 매년 50만명, 유럽은 110만명 뇌졸중 환자가 발생

※ 미국 4세에서 17세 아이 중 11%가 ADHD로 분류되고 있으며 이 수치는 점점 증가하는 추세

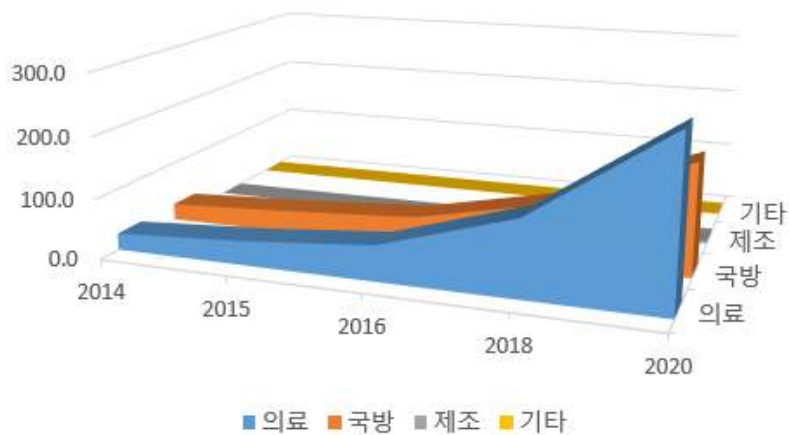
- 재활치료분야 및 산업현장에서의 로봇도입 증가 등으로 체외부착형 기술 분야는 2014년 7,530만달러에서 2020년 6.7억달러 시장으로 성장 예상(연평균성장률 43.5%)

● 의료 및 국방 분야에서 대부분의 시장이 형성되어 있으며 이들 분야는 지속적으로 성장할 것으로 기대

- 고령인구 증가에 따른 뇌졸중 환자 및 외래환자 증가로 시장이 가장 가파르게 상승할 것으로 예상되는 분야는 의료분야로 2014년 2,710만달러에서 2020년 2.7억달러까지 상승 예상(연평균증가율 46.9%)

※ WinterGreen Research(2014년)에서는 재활로봇시장을 2015년 5.7억달러에서 2020년 17.3억 달러 규모로 발전할 것으로 전망

그림 7. 산업분야별 시장



(단위: 백만달러)

- 대부분의 BCI 초기 연구가 국방에서 활용할 목적으로 개발되었고 그 결과 국방분야는 2014년에 가장 큰 규모의 시장인 2,740만달러를 형성하고 있었으며 2020년 1.8억달러까지 지속적으로 상승 예상(연평균증가율 37.1%)



● 그 밖에 제조, 게임, 교육 등의 분야에서 신시장 창출 기대

- 2017년부터 자동차 공장 등 제조분야에서 웨어러블 로봇이 본격적으로 도입되고 있어 이 분야에서 향후 시장 발전 기대
- 기타 시장에서는 인간의 무의식을 파악하여 제품 선호도 조사 등에 활용하는 뉴로마케팅 시장이 주목할만 시장으로 떠오르고 있음

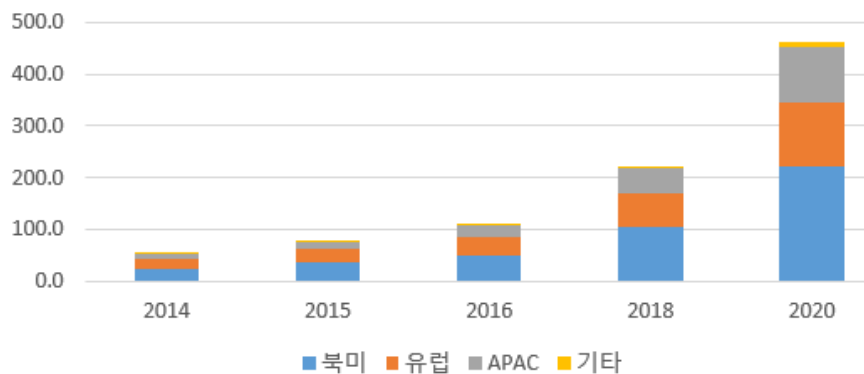
※ P&G, 구글, 갭, 코카콜라, 유니레버, 디즈니 등 포춘 선정 1000대 기업 중 다수의 기업이 인간의 무의식에 기반한 심리 조사 서비스를 마케팅에서 활용 중

- BCI기술이 고도화되어 감성인터페이스로 스마트홈제어에 활용되면 폭발적인 시장이 형성될 수 있을 것으로 기대되며 또한 인지성능 향상 기술이 교육분야에 적용되면 파괴적인 기술이 될 것으로 전망

● 북미 시장이 가장 크게 형성되어 있으며 아시아 시장의 성장세가 가장 큼

- 가장 크게 형성된 시장은 북미 시장으로 2014년 2,530만달러이며 2020년 2.2억달러까지 성장할 전망(연평균증가율 43.5%)
- 그 다음 시장은 유럽시장으로 2014년 1,920만달러이며 2020년까지 1.2억달러로 성장할 전망(연평균증가율 36.2%)
- 아시아 시장은 2014년 890만달러로 작게 시장이 형성되어 있지만 연평균증가율 51.5%로 가장 크게 성장할 것으로 예측되고 있으며 2020년에는 1.1억달러 시장을 형성할 것으로 예상

그림 8. 지역별 시장



(단위: 백만달러)

### III 이슈 및 핵심가치

#### 휴먼증강 기술의 개념은 정립 중이며 일부 기술이 제품화 단계로 진입

- 가트너는 휴먼증강 기술을 기술시작단계(Innovation Trigger)로 소개
  - 2006년에 이어 2017년에 발표한 HMI(Human-Machine Interface)와 신기술(Emerging Technology) 분야의 하이프사이클에서 휴먼증강 기술을 기술시작단계로 소개
  - 휴먼증강을 주목할만한 핵심기술이라고 분석하고 있으며 시장에 주류 기술로 흡수되기까지 10년 이상 걸릴 것으로 예측
- 기술 및 기업 동향에 따르면 실험실 수준의 가능성을 입증하는 연구가 많은 부분을 차지하고 있으며 일부 기술은 제품화 성공
  - 뇌 구조와 기능을 이해하여 생각·감정 등을 읽어내는 기술은 뇌질환진단, 거짓말 탐지기, 뉴로마케팅, 감성인터페이스를 갖춘 가전기기 개발에 활용 가능하고 뇌파를 활용한 게임 및 오락인터페이스, 거짓말탐지기, 뉴로마케팅에서 일부 제품 출시
  - 뇌에 전자장치를 이식하고 뇌의 기능을 조절하는 기술은 뇌질환치료뿐만 아니라 나아가 인식능력 향상 기술 개발에 활용 가능하고 뇌에 전극판을 삽입하여 뇌질환을 치료하는 시장이 형성되어 있음
  - 뇌 정보를 기반으로 외부기기를 제어하는 기술은 전신마비 환자를 위한 타자기, 로봇팔, 로봇다리 제어, 마비환자의 팔다리를 직접 제어하거나 식물인간 상태의 환자와의 의사소통 등에 활용 가능하고 정신적 타자기 등 일부 제품이 출시
  - 감각능력 중 시각과 청각 능력을 향상시키기 위한 연구가 주이며 대표적인 제품 사례는 인공망막 및 인공와우이며 최근에는 대뇌의 감각피질에 직접 자극을 주어 시각과 청각 성능을 향상시키는 기술도 개발 중
  - 전자의수와 전자의족은 운동보철 분야의 대표적인 제품화 사례이며 뇌 및 생체신호를 받아 전자의수와 전자의족을 구동 시키고 뇌로 전달하는 기술이 개발 중
  - 재활, 보행지원, 국방에서 근력 향상을 위한 웨어러블 로봇이 시장을 형성하고 있으며 최근에는 자동차, 항공 등 산업현장에서 웨어러블 로봇을 도입하기 시작
  - 이 중 뇌구조와 기능을 이해하는 뇌기능 조절 기술은 나머지 기술 영역(뇌 기반 외부기기제어, 인공 뇌, 신경보철, 운동보철, 근력향상)에 주춧돌이 되는 기술로 그 파급효과가 매우 큼

## ❏ 고령화 사회에 대응 및 인간다운 삶을 위한 기술 개발의 요구가 증가하고 이에 부응하여 휴먼증강 기술에 대한 연구가 활발

- 우리나라를 비롯해 미국, 유럽, 중국, 일본 등은 뇌 연구를 위시로 BCI 및 웨어러블 로봇 연구에 막대한 예산을 편성하고 R&D 및 정책지원 강화
  - 미국은 유전자 염기 서열을 밝히는 인간 게놈 프로젝트에 이어 최대 규모의 연구비를 인간의 뇌지도 작성 분야에 투자
  - 유럽은 유럽 역사상 가장 큰 규모의 HBP를 추진하고 인공뇌 개발에 중점 투자
  - 우리나라도 2016년 뇌연구 발전전략을 마련하고 투자 중
  - 이 밖에 뇌-컴퓨터 인터페이스 기반 기술 개발을 위한 연구 및 국방, 의료, 산업 현장에서 활용할 수 있는 웨어러블 로봇에 대한 연구도 병행 추진 중
- 최근 들어 실리콘밸리 ICT 기업들이 휴먼증강을 신성장 동력산업으로 고려하고 기술개발 및 시장에 진입
  - 테슬라는 뉴럴링크 코퍼레이션을 2017년 설립하고 인간 뇌에 초소형 칩을 삽입해 뇌 활동을 모니터링할 수 있는 전자그물망 기술 개발을 추진 중
  - 첫 제품은 우울증이나 뇌전증 등 뇌질환 치료를 목적으로 하고 있지만 전문가들은 이 기술이 성공할 경우 인간의 특정 기능을 높이는 뇌성형 수술도 가능할 것으로 전망
  - 페이스북은 2017년 F8(페이스북 개발자 회의)에서 생각만으로 글자를 타이핑하는 브레인 타이핑 기술을 연구하기 시작했다고 발표
  - 더불어 피부에서 뇌로 직접 자극을 전달해 의사소통할 수 있는 기술 개발도 선언

## ❏ BCI를 위한 뇌기능 조절 기술 개발 및 정책지원을 확대하고 뇌질환 진단 및 치료를 위한 시장에 중점 투자 필요

- 뇌과학 기술 선점을 위한 전략적 투자 포트폴리오 재정립 필요
  - 우리나라는 선도국들이 뇌공학 분야에 대부분의 예산을 투자하고 있는 것과는 달리 뇌질환, 뇌인지, 뇌신경생물학, 뇌공학 순으로 연구예산 배정
  - 뇌과학 발전전략에서 미래기술 선점을 위한 뇌기술 개발 과제의 소과제로 BCI기술 개발이 편성되어 있음
  - 뇌공학에 기반을 휴먼증강 분야의 우위를 선점하기 위해서는 우리나라도 선진국

## 수준의 뇌공학 분야에 대한 투자 확대 필요

### ● 뇌이해 기술의 입력 데이터로 역할을 하는 뇌신호 측정 기술 개발에 투자

- 선진국에서는 비침식형뿐만 아니라 침식형 측정 기술이 모두 발달해 있으며 두 가지 기술을 통합해 뇌신호를 측정하는 기술도 연구 개발 중

※ 비침식형 측정 방법에는 뇌파(EEG), 뇌자도(MEG), 근적외선분광(NIRS), 기능적자기공명영상(fMRI) 등이 존재

※ 침식형 측정 방법은 대뇌 피질에 직접 전극을 이식해 측정하는 방법

- 국내에서는 비침식형 뇌신호 측정 기술인 뇌파(EEG) 기반의 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술에 치중하고 있으나 이 분야에서 우수한 기술도 확보하고 있기 때문에 이를 기반으로 비침식형 기술 개발로 확장 연구 필요

※ 고려대학교 이상훈 교수 연구팀은 뇌에서 발생하는 전기신호를 아주 높은 감도로 측정할 수 있는 새로운 디자인의 용량결합 전극을 개발해 세계적으로 주목을 받음

※ 멀리 떨어진 신경세포들을 연결하는 신경섬유 다발의 구조를 뇌를 해부하지 않고 MRI 기계만을 이용해서 관찰할 수 있는 확산텐서영상(DTI)라고 불리는 새로운 영상 기술 분야에서 국내 뇌공학자들은 세계적인 수준

### ● 침식형 장치 개발을 위해서는 소재 및 에너지원 연구 개발도 중요

- 체내에서 이물질로 받아들이지 않는 소재 개발 중요
- 편리하고 지속적인 사용이 가능한 장치 개발을 위해서는 생체에서 만들어진 미약한 에너지만으로도 작동이 가능한 초저전력 전자시스템 개발 필요

※ 뇌공학의 발전은 전자공학, 재료공학, 화학공학, 나노공학의 발전과 함께 하므로 이들 학문과의 융합연구가 갈수록 중요

### ● 뇌질환 진단 및 치료 제품 시장을 미리 선점하고 시장지배력 강화 필요

- 파킨스병, 뇌전증, 강박증, 틱장애, 만성통증, 우울증, ADHD, 뇌졸중 등 뇌질환 인구의 증가로 뇌질환 진단 및 치료 제품 시장은 지속적으로 고속성장 전망
- 뇌기능 조절 기술은 뇌질환 진단 및 치료에서뿐만 아니라 인지기능 향상기술 개발에 활용 가능하고 인지기능 향상기술이 본격적으로 교육분야 도입되면 파괴적이고 단절적 신규 시장을 형성할 것으로 전망됨
- 또한 감성인터페이스 기술과 접목되어 스마트홈제어에 활용되면 2차 시장의 성장에도 기여할 것으로 기대

## 📖 기술개발과 함께 해결해야할 과제

- 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술의 발전은 사생활 침해의 우려 존재

- 뇌로부터 정보를 직접적으로 획득하는 기술은 개인의 사생활을 보호할 우려가 있기 때문에 이를 방지하기 위한 법제도 개선 및 정보보호 기술 개발도 병행 필요

● 휴먼증강 기술의 성숙은 단절적이고 파괴적인 영향력을 초래할 가능성 존재

- 현재 개발되고 있는 휴먼증강 1세대 기술들은 주로 인지 및 신체 능력이 저하된 사람들을 대상으로 어느 정도 기능을 회복시켜 주는 기술들이지만 향후에는 인간의 능력을 본질적으로 향상시켜 자연이 허락한 것 이상의 인지 및 신체 능력을 갖는 방향으로 2세대 기술 개발이 이루어질 것으로 예상
- 이러한 2 세대 기술들이 개발되면 인간의 본성을 변형시킬 수 있다는 우려 속에 휴먼증강 기술은 강한 정서적 거부감과 도덕적 불안감을 불러일으키고 있기도 함
- 따라서 기술개발로 파생될 수 있는 부작용을 최소화하고 안정성을 충분히 검토하면서 관련 연구를 수행하고 실제로 기술을 적용하는 과정에서 여러 윤리적 쟁점들을 점검하는 무엇보다도 중요

## ※ | 참고문헌

- 전황수, 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 및 개발 동향, 전자통신동향분석, 2011.10.
- 장준영, 윤장우, 이전우, 배창석, 정호영, 이주연, 김주엽, 임지연, 민옥기, 뉴로시넵틱 인지컴퓨팅 기술 동향, IITP 주간기술동향, 2014.12.
- 남창수, 김성필, D. Kruskenki, A. Nijholt, 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술에 대한 국내외 연구개발 동향 조사 최초보고서, KSEA, 2015.12.
- Human Augmentation Market: Global Forecast to 2010, Markets and Markets, 2015.
- Innovations in Human Enablement and Enhancement Technologies, Technavio, 2016.03.
- 윤장우, 뇌과학 기반 인지컴퓨팅 기술 동향 및 발전 전망, IITP 주간기술동향, 2016.05.
- 배창석, 인공지능 및 인지 컴퓨팅 기술 동향, IITP 주간기술동향, 2016.03.
- 뇌과학 발전전략, 미래창조과학부, 2016.05.
- 김동화, 뇌-컴퓨터 인터페이스 기술 소개와 전망, NIA ICT Explorer, 2016.10.
- A Roadmap for US Robotics From Internet to Robotics, 2016.11.
- Robotics 2020 Multi-Annual Roadmap: for Robotics in Europe, Horizon 2020 Call ICT-2017, SPARC, 2016. 12.
- 노화대응 신체활력 기술개발 현황 및 제언, 한국보건사업진흥원 R&D조사분석팀, 2016.
- 중소·중견기업 기술로드맵 2017-2019, 중소기업기술정보진흥원, 2017.01.
- 배명남, 이강복, 방효찬, 인지 IOT 컴퓨팅 기술 동향, 전자통신동향분석, 2017.02.
- 김도영, 이재호, 박문호, 최윤희, 박윤옥, 뇌파신호 및 응용 기술 동향, 전자통신동향 분석, 2017.04.
- 이재호, 김도영, 박문호, 최윤희, 박윤옥, DNA 응용 기술 동향, 전자통신동향분석,

2017.04.

2017 국가미래유망기술 상시발굴 및 준비체계 정책지원 보고서, 한국연구재단, 2017.06.

대한민국 로봇산업 기술로드맵, 산업통산과학부 & 한국산업기술평가관리원, 2017.06.

김문구, 국내외 휴먼증강 기술 동향, ETRI 내부보고서, 2017.06

김문구, 국내외 인지컴퓨팅 동향, ETRI 내부보고서, 2017.07.

김광훈, 고령화 사회 도래 및 핵심기술로 지속성장 기대, 뇌-컴퓨터 인터페이스(BCI), KISTI 마켓리포트, 2017.07.

Hype Cycle for Human-Machine Interface, Gartner, 2017.07.

Hype Cycle for Emerging Technologies, Gartner, 2017.07.

감각의 미래, 카라 플라토니 저, 흐름출판, 2015.

뇌를 바꾼 공학 공학을 바꾼 뇌, 임창환 저, MID, 2015.

바이오닉맨, 임창환 저, MID, 2015.

포스트휴먼 시대의 휴먼, 한국포스트휴먼연구소·한국포스트휴먼학회 편저, 아카넷, 2016.

4차산업혁명 - 이미 와 있는 미래, 롤랜드버거 저, 다산출판, 2017.

## 저자소개

---

정 선 화 ETRI 미래전략연구소 기술경제연구본부 산업전략연구그룹 책임연구원  
e-mail: sh-jeong@etri.re.kr Tel. 042-860-6511

최 병 철 ETRI 미래전략연구소 기술경제연구본부 산업전략연구그룹 그룹장  
e-mail: cbc@etri.re.kr Tel. 042-860-1223

## ICT 기술과 결합한 휴먼증강 기술

---

발 행 인 : 한 성 수

발 행 처 : 한국전자통신연구원 미래전략연구소 기술경제연구본부

발 행 일 : 2017년 12월

---

**ETRI** 한국전자통신연구원  
미 래 전 략 연 구 소

(34129) 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.



