

정책연구 2017-02호

뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안
2017. 11. 04
국가과학기술자문회의

발 간 등 록 번 호

12-B553050-000041-01

정책연구 - 2017 - 02호

뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안

(Leading Strategy for Neuronic Computing System based
Next-generation Artificial Intelligence)

연구 기관 : 서울대학교 산학협력단

연구 책임자 : 박 병 국

2017. 11. 04.



국가과학기술자문회의
Presidential Advisory Council on Science & Technology

발 간 등 록 번 호

12-B553050-000041-01

정책연구 - 2017 - 02호

뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안

(Leading Strategy for Neuronic Computing System based Next-generation
Artificial Intelligence)

연구 기관 : 서울대학교 산학협력단

연구 책임자 : 박 병 국

2017. 11. 04.

제 출 문

국가과학기술자문회의 지원단장 귀하

본 보고서를 "뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안"
최종보고서로 제출합니다.

2017년 11월 04일

- 주관연구기관명 : 서울대학교 산학협력단
- 연구기간 : 2017. 5. 8. ~ 11. 4.
- 주관연구책임자 : 박 병 국
- 참여연구원
 - 연구원 : 유 회 준
 - 연구원 : 황 현 상
 - 연구원 : 심 재 윤
 - 연구원 : 김 재 준
 - 연구원 : 유 승 주
 - 연구원 : 김 장 우

- 연구원 : 김 형 진
- 연구보조원 : 백 명 현
- 연구보조원 : 황 성 민
- 연구보조원 : 장 태 진
- 연구보조원 : 이 정 준

○ 참여전문가

- 전문가 : 정 두 석
- 전문가 : 김 상 범
- 전문가 : 이 주 현
- 전문가 : 정 부 연
- 전문가 : 류 현 석
- 전문가 : 최 용 수

목 차

제1장 서론	1
제1절 연구의 필요성	1
제2절 연구 목적	6
제3절 연구 내용	7
제4절 연구 방법	8
제2장 인공지능 시스템의 정의 및 발전	9
제1절 인공지능 시스템 정의 및 분류	9
제2절 범용 하드웨어 기반 인공지능의 발전	15
제3절 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능의 발전	20
제3장 국내외 인공지능 시스템 정책 현황 및 분석	24
제1절 국외 차세대 인공지능 시스템 현황	24
1. 국가 주도 프로젝트 현황	24
2. 산업 현황	33
3. 특허 현황	40
4. 전문 인력 현황	46
제2절 국내 차세대 인공지능 시스템 현황	48
1. 국가 주도 프로젝트 현황	48
2. 산업 현황	50
3. 특허 현황	52
4. 전문 인력 현황	54
제3절 현황 진단 및 시사점 분석	56

제4장 차세대 인공지능 (뉴로닉 컴퓨팅) 시스템 분야 선도 방안	64
제1절 비전 및 핵심목표	64
제2절 3대 추진 전략	68
1. 정부주도의 연구 지원 체계화	68
2. AI 플랫폼 구축 및 표준기술화	70
3. 미래 지향적 R&D 환경 조성	73
제3절 기술개발 방향	75
1. 기술개발 전략	75
2. 단기추진과제	77
3. 장기추진과제	82
제4절 기대효과	93
제5장 결론	96
[참고자료 1] 국내외 인공지능 관련 국가 주도 프로젝트별 세부 현황	100
[참고자료 2] 국내외 인공지능 관련 특허 심층 분석	133
[참고문헌]	159

표 목차

<표 3-1> EU HBP 분야별 연구목표	28
<표 3-2> 중국 ‘차세대 인공지능 발전 계획’ 6대 주요 과제	30
<표 3-3> 일본 로봇혁명의 배경과 구상	30
<표 3-4> 일본 ‘2045 연구회’ 주요 논의 사항	32
<표 3-5> 일본의 대형 과학기술 프로젝트 중 인공지능 관련 주제	32
<표 3-6> 분석대상 기술의 분류 체계	45
<표 3-7> 분석대상기술의 유효특허 모집단	45
<표 3-8> 국내 AI 기술 예산 현황	49
<표 3-9> 국내 전자정보디바이스 산업원천기술개발 사업비 예산 추이	49
<표 3-10> 국외 대비 국내 특허 경쟁력	53
<표 3-11> 대학별 전문 인력 현황	54
<표 3-12> 2015년 10대 품목 수출액 및 증감률	61
<표 6-1> BRAIN Initiative 프로젝트 투자 현황	104
<표 6-2> HBP 분야별 연구목표	115
<표 6-3> HBP의 6가지 플랫폼별 주요내용	116
<표 6-4> 출원인 Landscape	136
<표 6-5> 핵심특허 선정기준	141
<표 6-6> IBM 핵심특허군 특허 리스트	143
<표 6-7> Qualcomm 핵심특허군 특허 리스트	145
<표 6-8> BRAIN corporation 핵심특허군 특허 리스트	148
<표 6-9> VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 핵심특허군 특허리스트	150
<표 6-10> Commissariat 핵심특허군 특허 리스트	151
<표 6-11> HEWLETT-PACKARD 핵심특허군 특허 리스트	152
<표 6-12> HRL Laboratories 핵심특허군 특허 리스트	153

<표 6-13> Known Tech 핵심특허군 특허 리스트	154
<표 6-14> PANASONIC 핵심특허군 특허 리스트	155
<표 6-15> 삼성전자 핵심특허군 특허 리스트	156
<표 6-16> 서울대학교 핵심특허군 특허 리스트	157
<표 6-17> 포항공과대학교 핵심특허군 특허 리스트	158

그림 목차

<그림 1-1> 국가 핵심 기술로서 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 개발 필요성	5
<그림 1-2> 연구 방법	8
<그림 2-1> 기호적 인공지능과 연결론적 인공지능 비교	10
<그림 2-2> 인공지능 시스템의 분류	11
<그림 2-3> 현재의 인공지능 시스템에 사용되는 범용 하드웨어	11
<그림 2-4> 뉴로닉 컴퓨팅 1세대 전용 하드웨어	13
<그림 2-5> 뉴로닉 컴퓨팅 2세대 전용 하드웨어 상상도	13
<그림 2-6> 인공지능 시스템 발전 단계	14
<그림 2-7> CNN의 개략적인 구조	17
<그림 2-8> RNN의 개략적인 구조	18
<그림 2-9> 기존 범용 하드웨어와 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 전력 소모 추세	19
<그림 2-10> 인간 뇌, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템, 딥 뉴럴 넷의 분류 및 비교	20
<그림 2-11> 새로운 패러다임의 신경망 집적회로의 기본 구성 요소	21
<그림 2-12> 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 응용분야	23
<그림 3-1> 해외 국가별 차세대 인공지능 시스템 관련 국가 주도 프로젝트 현황	24
<그림 3-2> BRAIN Initiative 프로젝트 관련 투자	25
<그림 3-3> SyNAPSE 프로그램 로드맵	26
<그림 3-4> 퀄컴의 제로스 및 스냅드래곤 칩	34
<그림 3-5> IBM 트루노스 칩의 레이아웃	35
<그림 3-6> 구글의 클라우드 TPU	36
<그림 3-7> 구글 스트리트뷰 및 음성 검색 서비스	37
<그림 3-8> 인텔의 Arria 10 GX FPGA	38
<그림 3-9> 인텔 Movidius칩(좌)과 Movidius Neural Compute Stick(우)	38

<그림 3-10> Huawei의 새로운 모바일 프로세서 Kirin 970.....	39
<그림 3-11> 전체 연도별 동향.....	40
<그림 3-12> 주요 출원국 연도별 동향.....	41
<그림 3-13> 기술시장 성장단계.....	42
<그림 3-14> 주요 출원국 기술시장 성장단계.....	43
<그림 3-15> 네패스와 제너럴비전의 기술협약 체결.....	50
<그림 3-16> SK하이닉스, 스탠포드 대학교 및 램 리서치, 버숨 머티리얼즈의 공동 연구개발 협약 체결.....	51
<그림 3-17> 현황 진단 및 시사점 분석.....	56
<그림 3-18> 2016년 메모리 반도체, 시스템 반도체 시장 점유율.....	61
<그림 3-19> 국내 차세대 인공지능 시스템 기술 정책 SWOT 분석.....	62
<그림 4-1> 차세대 인공지능 선도를 위한 추진체계도.....	64
<그림 4-2> 정부주도의 연구 지원 체계화 방안.....	68
<그림 4-3> AI 플랫폼 구축 방안.....	70
<그림 4-4> 미래 지향적 R&D 환경 조성 방안.....	73
<그림 4-5> 차세대 인공지능 분야 선도를 위한 단계별 기술개발 방향.....	75
<그림 4-6> 차세대 인공지능 선도를 위한 단기추진과제.....	77
<그림 4-7> 여러 종류 메모리의 특성.....	79
<그림 4-8> 차세대 인공지능 선도를 위한 장기추진과제.....	82
<그림 4-9> 시냅스 소자에 요구되는 특성.....	85
<그림 4-10> 신경망 routing 아키텍처.....	88
<그림 4-11> 차세대 인공지능 기술의 기대효과.....	93
<그림 4-12> 차세대 인공지능 기술 활용범위 및 기대효과.....	94
<그림 6-1> BRAIN Initiative 프로젝트 개요.....	100
<그림 6-2> BRAIN Initiative 프로젝트 기관별 참여 그룹.....	101
<그림 6-3> BRAIN Initiative 프로젝트의 연구개발 체계.....	102

<그림 6-4> BRAIN Initiative 프로젝트 관련 투자.....	104
<그림 6-5> SyNAPSE 프로젝트 로드맵.....	106
<그림 6-6> 뉴로시냅틱 코어 (IBM).....	107
<그림 6-7> ‘TrueNorth’ 뉴로모픽 칩(IBM).....	108
<그림 6-8> 스탠포드 셸리(Shelley).....	109
<그림 6-9> HRL Lab 멤리스터 칩(2013).....	109
<그림 6-10> 국가로보틱스이니셔티브 기술 어플리케이션 및 목표.....	110
<그림 6-11> 국가로보틱스이니셔티브 기술 연구 개발 플로우.....	112
<그림 6-12> DARPA 무인 드론 시연.....	114
<그림 6-13> 유럽 Human Brain Project(HBP) BrainScaleS 멀티-웨이퍼 시스템.....	115
<그림 6-14> 유럽 Human Brain Project(HBP) SpiNNaker 멀티-랙 시스템 (~1억 개 뉴런).....	119
<그림 6-15> 맨체스터대 SpiNNaker 칩(2013).....	120
<그림 6-16> SpiNNaker 48-노드 보드(~10만 개 뉴런).....	121
<그림 6-17> SpiNNaker 48-노드 보드 이용 기호 인식 로봇.....	122
<그림 6-18> 3백만개의 로직 게이트를 가지는 FPGA를 내장한 Celoxica board.....	123
<그림 6-19> 3백만개의 로직 게이트를 가지는 FPGA를 내장한 Celoxica board 중국 ICT연구소의 디안나오 시리즈.....	125
<그림 6-20> 일본의 주요 스마트 제조 기관의 모식도.....	126
<그림 6-21> 엑소브레인(Exobrain) 프로젝트 개요.....	128
<그림 6-22> 신경망 모사기술개발사업 개요.....	131
<그림 6-23> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황.....	134
<그림 6-24> 주요 출원인의 세부 기술별 현황.....	138
<그림 6-25> 국가 간 특허 활동력.....	139
<그림 6-26> 최근 3년 다출원인 현황.....	140
<그림 6-27> 주요 출원인별 핵심특허군 분석.....	142

<그림 6-28> IBM 핵심특허군 분석	143
<그림 6-29> Qualcomm 핵심특허군 분석	145
<그림 6-30> Brain corporation 핵심특허군 분석	148
<그림 6-31> VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 핵심특허군 분석 ...	150
<그림 6-32> Commissariat 핵심특허군 분석	151
<그림 6-33> HEWLETT-PACKARD 핵심특허군 분석	152
<그림 6-34> HRL Laboratories 핵심특허군 분석	153
<그림 6-35> Known Tech 핵심특허군 분석	154
<그림 6-36> PANASONIC 핵심특허군 분석	155
<그림 6-37> 삼성전자 핵심특허군 분석	156
<그림 6-38> 서울대학교 핵심특허군 분석	157
<그림 6-39> 포항공과대학교 핵심특허군 분석	158

요 약 문

1. 추진배경

- 인공지능 전용하드웨어 기반의 뉴로닉(NEUron + electRONIC) 컴퓨팅 시스템 분야는 차세대 인공지능 분야 선도를 위해 세계 각국의 연구와 국가 주도 프로그램이 집중되는 분야
 - CPU, GPU 등의 범용하드웨어 기반의 인공지능이 지닌 큰 전력소모, 저속 동작의 한계를 극복하기 위해 새로운 구조의 컴퓨팅 시스템 필요
 - 미국·유럽 등은 뇌 과학 연구를 통해 인공두뇌 구현을 위한 원천기술을 확보하고 군사 분야 응용 및 상용화 추진을 위해 국가 주도의 대형 프로그램을 운영하며 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술 개발에 집중

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 시스템에서 메모리는 핵심요소로 강국인 우리나라가 선도할 가능성 충분
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 구성에 있어 두뇌의 시냅스 역할을 담당하는 메모리 소자 기술이 매우 중요해짐
 - 세계 최고의 국내 메모리 기술을 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 창의적으로 접목하여 이 분야 세계 기술 선도 및 엄청난 부가가치 창출 가능

- 시장지배, 신산업 창출 및 국가 기술 위상에 미치는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술의 파급효과가 큼
 - 4차 산업혁명의 완성도를 크게 높일 수 있는 핵심 기술로 시장 지배 경쟁력을 높이고 새로운 고품질 일자리 창출을 위한 최적기술
 - 기존 컴퓨팅 시스템이 변혁기를 맞이하고 있고, 초기단계인 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술을 주도하는 나라가 세계 정보기술 및 관련기술을 선도할 가능성이 매우 높음

- 차세대 인공지능 중심으로 반도체 시장 재편 예상, 이에 대한 대책이 없을 경우 국가 경제 위기 우려
 - 인공지능이 처리해야 할 데이터의 양이 급증하고 메모리가 단순히 프로그램과 데이터를 저장하는 연산장치의 보조적/수동적 역할에서 벗어나 연산의 핵심요소로 부상
 - 우리나라는 현재 메모리 강국이지만 향후 적극적이고 선제적인 대응을 하지 않으면 기술경쟁력이 크게 약화되고, 메모리 시장의 대부분을 잃게 될 수 있음

2. 인공지능 시스템 정의 및 발전

- 인공지능 시스템이란, 인간의 신경계를 모사하여 기억과 학습이 가능한 인공신경망을 구현할 수 있는 시스템을 칭함
 - 인공지능 시스템은 CPU, GPU와 같은 범용 하드웨어를 사용하고 그 위에서 구동되는 소프트웨어로 구현 가능하지만, 인공지능 알고리즘을 처리하기에 매우 비효율적
 - 인공신경망 알고리즘(algorithm)을 위해 개발된 새로운 대규모 병렬 컴퓨팅 시스템으로 구현하는 것이 훨씬 효율적

- 인공지능 시스템은 범용 하드웨어 기반 시스템과 뉴로닉 컴퓨팅 기반 시스템으로 분류가능하며, 후자의 경우 초저전력 동작 가능
 - 현재의 인공지능 시스템은 범용하드웨어인 고속 중앙연산장치(CPU)와 상당량의 병렬 연산이 가능한 그래픽 처리장치(GPU)를 활용한 인공지능
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 1, 2세대로 구분이 가능하며 차세대 인공지능이란 이들을 총괄하는 개념
 - 1세대: 대규모 병렬 컴퓨팅과 저전력 연산을 위한 CMOS 기반의 전용 하드웨어인 TPU와 NPU를 활용한 인공지능
 - 2세대: 초대규모 병렬 컴퓨팅과 초저전력 연산이 가능한 새로운 패러다임의 신경망 집적회로를 활용한 인공지능

- 범용 하드웨어 기반 인공지능 시스템의 경우, 대량의 데이터를 병렬적으로 연산하는 인공지능 알고리즘을 처리하기에 매우 비효율적인 구조로 되어 있음
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 생물학적 뇌와 유사한 구조로 구성요소들이 대규모 병렬적으로 구성되어 있어 대량의 데이터를 범용하드웨어 기반 인공지능 대비 1/100 ~ 1/100000의 초저전력으로 동작이 가능
- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능은 기존의 인공지능 제반 분야에서 초저전력으로 활용 가능하며 퍼스널 AI로의 활용 기대
- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 기술은 기존의 딥러닝 기반 인공지능 제반 분야, 크게 자율주행 자동차, 웨어러블 디바이스, 인지로봇 그리고 모바일 단말 분야 등 저전력이 필수적인 응용분야에서 활용될 것으로 예상
 - 저전력으로 구동이 가능하여 사용자 개개인이 클라우드 컴퓨팅이라는 제한된 환경에서 벗어나 퍼스널 AI로 사용이 가능할 것으로 기대

3. 국내외 인공지능 시스템 정책 현황 및 분석

- 미국의 SyNAPSE, 유럽의 HBP 등 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능에 대한 다양한 국가 주도 대형 프로그램 수행 중
- 미국은 SyNAPSE, BRAIN Initiative 등 산업체 및 대학들이 공동으로 진행하는 대형 국가 프로그램을 진행하고 있으며 IBM의 TrueNorth는 그 결과물 중 하나임
 - 유럽연합 주도로 사람의 두뇌를 모사하는 '가상두뇌'를 목표로 하는 Human Brain Project 수행 중
 - 중국은 범국가적 프로젝트인 China Brain Project를 통해 기초 뇌 연구부터 뉴로닉 컴퓨팅 시스템, 군사용 드론 등 폭넓은 인공지능 연구 개발 진행 중
 - 일본은 인공지능 분야의 연구에 대한 프로젝트는 상대적으로 저조하나 강점을 보이던 로봇 분야의 대형 프로젝트 (Robot Revolution Initiative) 진행 중

- 국내 차세대 인공지능 시스템 정책은 국가 프로그램 부재, 산발적 과제 및 예산 부족 등 체계적인 대응 미흡
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 기술 선도가 유리한 상황이고 이 분야에서 거대한 신산업 및 신시장 창출이 예상되고 있으나, 이에 대한 국가의 체계적인 대응이 부족
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 관련 국가 주도 대형 프로그램의 부재로 개인 연구자가 진행하는 단기적이고 산발적인 과제가 소규모로 진행 중
 - 미래창조과학부가 발표한 2017년 인공지능기술 R&D 예산에 따르면 총 1,630억 원 중, 인공지능 소프트웨어 분야에 738억 원, 뇌과학 등 기초과학 분야에 633억 원, 인공지능 하드웨어 분야에 258억 원을 투자하는 것으로 되어 있어, 거의 대부분이 소프트웨어와 기초과학에 치중
 - 인공지능 하드웨어 분야 258억 원 예산에서 대부분 CMOS 기반의 가속기 (GPU, CPU 등)에 집중되어 있고, 뉴로모픽 칩에 대한 예산은 30억 원에 불과할 정도로 절대 부족
 - 뉴로닉 컴퓨팅 기술은 기존의 직렬연산 컴퓨팅 구조에서 대규모 병렬 처리 구조로 전환되는 컴퓨팅 패러다임 변화의 선두주자이나, 현재 장기적이고 체계적인 국가전략과 이를 실현할 수 있는 정책이 부재하고, 적절한 예산이 확보되어 있지 않은 상황

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야는 기술 발전의 초기 단계로, 차세대 인공지능 선두주자(first-mover)로서의 가능성 충분
 - 신경계 모방을 위한 두 가지 필수 요소인 뉴런/연결 모델 지원과 대규모 아키텍처 설계를 모두 탑재한 현존 시스템은 없고, 전력 소모 등에서 한계를 가지고 있어 전 세계적으로 뉴로닉 컴퓨팅 분야는 아직 초기 단계임
 - 현재 압도적 우위를 차지하고 있는 국내 메모리 반도체와 비약적으로 성장한 시스템 반도체 기술을 바탕으로 차세대 인공지능 국가전략을 세우고 정부가 주도하고 기업이 참여하는 연구/개발/상용화 정책을 수립한다면

뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야에서 선도적 역할을 할 가능성이 높음

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 적절한 대책이 없을 경우 향후 반도체 시장 전반의 점유율 감소 등 국가 주력 산업의 위기 우려
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에서는 프로세서와 메모리가 동일 칩에 포함되거나 적층 구조로 구현될 것으로 예상되므로 혁신적인 프로세서-메모리 융합구조에 대한 연구 개발 및 설비 투자가 필요하나, 현재 세계적인 메모리 호황을 맞은 기업들은 증산 및 단기적인 개발에 집중 투자
 - 메모리를 포함하는 프로세서인 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 의해 새로운 메모리의 수요가 대폭 증가할 것으로 예상되나 이에 대한 적절한 대책이 없어 향후 메모리 시장의 점유율 감소가 예측됨
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 중심으로 세계 반도체 시장이 새롭게 재편되고 이러한 흐름을 따라가지 못할 경우 반도체 시장 전반의 점유율 감소로 이어질 것
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술은 엄청난 파급효과가 예상되므로 국가가 주도하여 로드맵과 장기적인 전략을 만들고 국내 반도체 관련기업의 적극적인 참여를 이끌어 내야 함

4. 차세대 인공지능 (뉴로닉 컴퓨팅) 시스템 분야 선도를 위한 방안

□ 3대 추진 전략

- 정부주도의 연구 지원 체계화를 통해 신속하게 차세대 인공지능 시스템 분야 선도
 - “뉴로닉(NeuronIC)” 프로그램 추진: 차세대 인공지능 관련 연구 프로세스를 총괄하고 방향성을 제시할 수 있는 국가 프로그램 추진 및 전문가로 구성된 프로그램 위원회 구성
 - 국제 기술 교류 추진: 정부주도로 차세대 인공지능 시스템 분야 관련 국제 기술 교류 및 국제 공동연구를 추진하여 세계 시장에서 기술 선도를 위한 발판 마련
- AI 플랫폼을 구축하여 다양한 아이디어들을 구체화할 수 있는 발판을 마련하고, 세계시장에서의 표준기술화
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 파운드리화: 대학, 연구소, 중소·벤처 기업이 우수한 국내 메모리 반도체 기술을 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 쉽게 제작할 수 있는 환경을 조성하고 퍼스널 AI 플랫폼 구현 기반 마련
 - 중소·벤처 기업 - 대기업 간 상생 생태계 조성: 중소·벤처 기업과 대기업이 협력하여 표준화된 AI 플랫폼을 구축하고, 이를 중소·벤처 기업들이 이용하여 다양한 제품을 개발할 수 있도록 상생 생태계 조성
- 차세대 인공지능 연구 활성화를 위한 미래 지향적 R&D 환경 조성
 - 산·학·연의 연구 역할 분담: 산·학·연 각 기관의 강점을 살려 상호보완적인 연구 환경 조성
 - 핵심 전문 인재 유치 및 양성: 부족한 인력보충을 위해 10년간 핵심 전문 인력 약 2,000명 양성을 목표로 하는 인재 유치 및 양성 프로그램 수립

□ 기술개발 방향

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 선도를 위해 기술의 성숙도에 따라 단기추진, 장기추진과제로 기술개발 진행
 - 단기추진과제: 병목 현상 해소를 위한 고대역폭 메모리 개발, 대규모 병렬 프로세서 및 대용량 메모리 시스템 기반의 인공지능 가속기 개발, 메모리 칩에 프로세서가 집적된 집적회로(Processor In Memory, PIM) 개발
 - 장기추진과제: 시냅스 가중치를 저장할 수 있는 고집적 메모리 개발 및 뉴런 회로와의 연결 최적화를 통한 초저전력 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 연구와 새로운 패러다임의 컴퓨팅 하드웨어 구현

5. 기대효과

- 인간 수준의 에너지 효율을 가진 초저전력 인공지능 패러다임
 - 독립형 기기에 탑재하여 어디에서나 사용자가 직접 제어가 가능한 인공지능, 즉 퍼스널 AI로의 패러다임 전환
- 인공지능 기술 세계 시장 경쟁력 확보
 - 세계적 우위에 있는 메모리 기술을 기반으로 뉴로닉 컴퓨팅 기술 분야에서 선두주자로 나아가기 위한 미래 산업 기반 구축 및 성장동력 창출
- 새로운 산업 및 시장 창출 가능
 - 소프트웨어 기반 인공지능 기술의 한계를 극복하고 새로운 산업 및 시장을 창출, 양질의 일자리를 창출하여 국가 경쟁력 및 삶의 질을 높이는데 기여

- 미래 인공지능 산업을 주도할 핵심 인력 양성
 - 다가올 미래 인공지능 산업을 이끌어갈 융·복합적 핵심 인력을 양성할 수 있는 시스템 및 제도적 기반 마련

- 정보기술 분야에서의 국제적 위상 제고
 - 미래의 새로운 인공지능인 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야에서 세계 표준기술화 주도 및 플랫폼 구축을 통한 인공지능 생태계 조성 주도

제1장 서론

제1절 연구의 필요성

□ 소프트웨어 기반 인공지능의 한계와 차세대 인공지능

- 막대한 컴퓨팅 자원을 바탕으로 한 소프트웨어 기반 인공지능이 제 4차 산업 혁명 주도 중
 - 제 4차 산업 혁명은 인공지능, 로봇공학, 사물 인터넷(IoT), 무인 운송 수단, 3차원 인쇄, 나노 기술과 같은 6대 분야를 포함하며 세계적으로 새로운 산업시대를 위한 변화가 가속화 되고 있음
 - 제 4차 산업 혁명은 단순한 기술의 발전을 넘어서 현재 전 세계 모든 산업 구조에 변화를 가져와 사회경제적, 지정학적, 인구학적으로 단절되었던 모든 분야에 대한 경계를 허물고 융합적인 트렌드의 플랫폼으로서 영향력을 강화해 나갈 것임
 - 특히, 6대 기술 중 가장 핵심이 되는 분야는 인공지능으로, 현재는 소프트웨어 기반의 딥러닝(Deep Learning) 기술이 분야 전반을 주도하는 중
 - 이러한 소프트웨어 기반 기술은 연산을 순차적으로 처리하는 폰 노이만 컴퓨팅에 적합하도록 개발된 기존의 디지털 하드웨어에서 운용되어 막대한 컴퓨팅 자원과 엄청난 전력 소모를 요구

- 뉴로닉(neuronic, neuron + electronic) 컴퓨팅 시스템은 기존 범용 하드웨어 기반 인공지능의 전력 소모 문제를 해결 가능한 새로운 패러다임으로 주목받고 있음
 - 소프트웨어 기반 인공지능은 기존의 하드웨어(CPU, GPU)를 범용으로 사용하기 때문에 슈퍼컴퓨터가 필요하고 비효율적인 연산 구조로 인해

막대한 양의 전력을 소모함

- 이를 해결하기 위해 기존의 CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) 기술을 바탕으로, 딥러닝 알고리즘에 특화된 NPU(Neural Processing Unit), TPU(Tensor Processing Unit) 등의 새로운 하드웨어의 개발이 진행 중

(이 보고서에서는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대라 칭함)

- 더 나아가 실제 신경계의 뉴런과 시냅스를 전자소자로 모방하여 연산장치의 크기와 전력소모를 획기적으로 줄일 수 있는 새로운 패러다임의 기술 개발 연구가 필요함

(이 보고서에서는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대라 칭함)

○ 뉴로닉 컴퓨팅 시스템이 차세대 인공지능 선도를 위한 핵심 분야가 될 것임

- 소프트웨어 기반 인공지능의 문제점을 극복하기 위한 방안으로 하드웨어에 기반을 둔 차세대 인공지능과 이를 구현하기 위한 뉴로닉 컴퓨팅 기술의 중요성이 부각됨

- 향후 인공지능을 단일 chip으로 구현하는 초저전력 반도체 기술이 반도체 산업 전반의 패러다임(paradigm) 변화를 가져올 것으로 예상되는 바, 이에 대한 대응책 마련과 연구개발 정책 수립이 반드시 필요

□ 세계 주요국의 차세대 인공지능 시스템 관련 정책

○ 미국은 SyNAPSE 프로젝트와 BRAIN Initiative 프로젝트 수행 중

- 미국은 국가 주도로 제조 산업 전반의 활성화와 혁신을 위한 R&D 투자 및 인프라 확충 추진

- 2008년부터 국방고등연구계획국 (DARPA)이 IBM과 HRL을 주축으로 한 산학연 컨소시엄을 구성하여 진행해 온 SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics) 프로그램을 통해 인간의 뇌 수준을 재현할 수 있는 칩을 개발하고 무인 운송 수단, IoT(Internet of Things, 사물

인터넷)와 같은 핵심 기술에의 적용을 추구해 왔음

- 2016년부터 10년간 지속적으로 3.4조 원의 예산이 투입될 것으로 예상되는 BRAIN(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative 프로그램을 통해 신경과학과 새로운 컴퓨팅 기술에 기반을 둔 인공지능 시스템 구축을 목표로 하고 있음
- 미국의 대표 반도체 회사인 인텔에서도 인공지능 구현을 위한 통합 전략을 발표

○ 유럽은 HBP (Human Brain Project) 수행 중

- 2013년부터 26개국, 135개의 연구 기관이 참여하는 HBP (Human Brain Project)를 운영을 통해 인간 뇌와 비슷한 규모를 가진 인지, 학습이 가능한 인공지능 컴퓨터의 개발을 목표로 하고 있음

○ 동아시아(중국, 일본) 역시 뇌 연구와 인공지능을 지원하기 위한 프로젝트 수행 중

- 과거 메모리 반도체 분야를 선도했던 일본에서는 브레인 마인드 (Brain/Mind) 프로젝트와 로봇 레볼루션 이니셔티브를 진행하고 있음
- 국가적 투자 전략으로 반도체 강대국을 노리는 중국은 뇌 연구와 인공지능을 국가 전략으로 채택 (차이나 브레인 프로젝트)

□ 우리나라의 차세대 인공지능 연구 정책 방향

○ 소프트웨어 기술에 중점을 둔 정책 방향

- 지난 2016년 3월 진행된 구글 딥마인드의 알파고와 인간 이세돌의 바둑 대국 이후로 인공지능에 대한 관심이 획기적으로 증가
- 그 결과 최근 한국정보화진흥원 (NIA)에서 국내외 환경변화와 급속한 기술발전에 따른 정책적 대응방안 100선을 내놓고 2022년까지 중점적으로 추진해야할 22개의 과제를 선정

- 미래창조과학부에서는 2017년 인공지능 관련 연구개발에 1630억 원 투자, 이중 인공지능 소프트웨어 분야에 738억 원, 인공지능 하드웨어 분야에 258억 원을 투자하는 것으로 나타남
- 인공지능 하드웨어 분야 258억 원 예산마저 그 안을 들여다보면 대부분 CMOS 기반의 가속기 (GPU, CPU 등)에 집중되어 있고, 뉴로모픽 칩에 대한 예산은 30억 원에 불과할 정도로 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 투자 절대 부족

□ 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 국가 주도 프로젝트 필요성

- 세계 최고 수준의 메모리 반도체 기술을 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야 원천기술 개발 가능
 - 우리나라는 지난 수십 년간 반도체 강국의 지위를 지켜 왔으며 특히 인공지능에서 핵심적인 역할을 담당하는 메모리 분야에서 압도적인 우위 차지
 - 이러한 토대 위에 아직 전 세계적으로 초기 단계에 있는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 분야의 연구개발에 대한 적극적인 지원 정책을 마련하고 실현해 나갈 필요 있음
 - 현재는 뉴로닉 컴퓨팅 기반 차세대 인공지능 시스템 관련 국가 주도의 대형 프로그램의 부재로 개인 연구자가 진행하는 단기적이고 산발적인 과제가 소규모로 진행 중
 - 세계적으로 성공한 소프트웨어 기반의 딥 러닝 인공지능 분야와 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 분야의 기술적 연계를 통한 혁신을 이루어 낸다면 우리가 세계를 선도하는 입장에서 차세대 인공지능 산업의 패러다임 변화를 이끌어 갈 수 있을 것으로 기대



<그림 1-1> 국가 핵심 기술로서의 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 개발 필요성

제2절 연구 목적

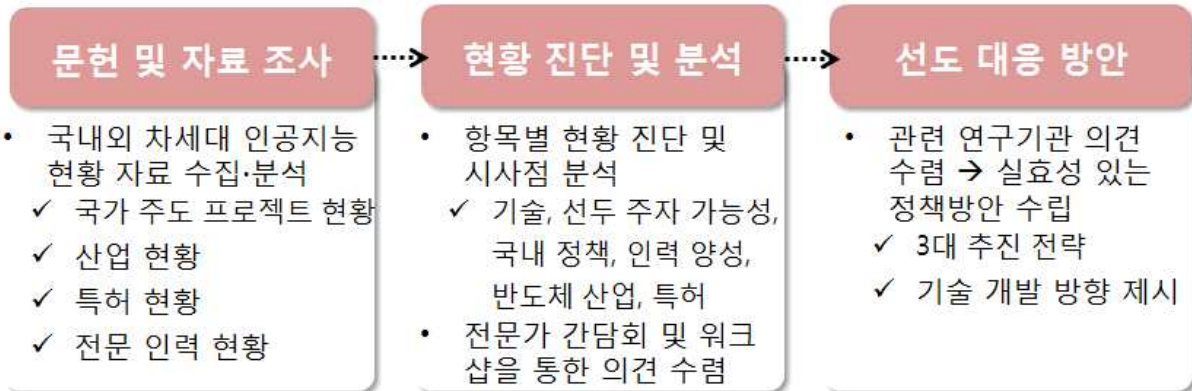
- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 기술을 중심으로 국내외 연구개발 동향, 지적재산권 현황 및 산업 응용에 대한 분석
 - － 미국·유럽 등에서 수행 중인 국가 주도 프로젝트로 인한 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야 연구개발 결과물 조사
 - － 국내외 특허 분석을 통하여 현재 우리나라의 특허시장점유율 분석 및 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야 발전 가능성 조사

- 현재의 문제점 진단 및 핵심 전략과 정책방안 제안
 - － 우리나라가 절대적 우위를 차지하고 있는 메모리 반도체와 비약적으로 발전하고 있는 시스템 반도체 기술을 발판으로 4차 산업혁명의 핵심기술인 차세대 인공지능 분야에서 선도적 역할을 할 수 있는 기반을 마련
 - － 궁극적으로 동물의 신경계를 닮은 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구조를 개발할 수 있는 체계적 정책방안 수립
 - － 빠르게 변화하는 세계 산업 환경에 대한 적응력 높임
 - － 소프트웨어 기반 인공지능과 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능의 융합을 통한 시너지 효과를 발휘하여 해당 분야의 선두주자로서 우리나라가 세계를 이끌 수 있는 연구개발 정책 방향을 제안

제3절 연구 내용

- 국내외 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 연구개발 동향 및 특허 현황 분석
- 주요국 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 정책 환경 분석
- 차세대 인공지능 분야 선도를 위한 핵심 정책 제시
 - － 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 발전 방향 예측 및 단계별 대응 전략 마련
 - － 대규모 병렬 구조와 초저전력 연산에 기반을 둔 차세대 인공지능 시스템 개발을 위한 정책 방향 설정
 - － 차세대 인공지능 분야 사업화 및 생태계 조성 방안 제시
 - － 전문 연구 인력 육성 방안 제시
- 제공할 연구 성과
 - － 국내외 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 핵심 기술
 - － 관련 기술 산업 전망 및 특허 분석
 - － 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 관련 핵심 전략 및 정책방안 수립

제4절 연구 방법



<그림 1-2> 연구 방법

○ 문헌 및 특허 조사

- 국·내외 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술 관련 연구 및 특허 현황 자료 수집·조사·분석

○ 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술 동향 및 국가별 추진 정책 조사

- 국·내외 국가 주도의 기 추진 정책 및 효과 자료 수집·조사·분석

○ 전문가 간담회 및 워크숍을 통한 의견수렴 및 반영

○ 관련 연구기관의 의견 수렴을 통한 실효성 있는 정책방안 수립 추진

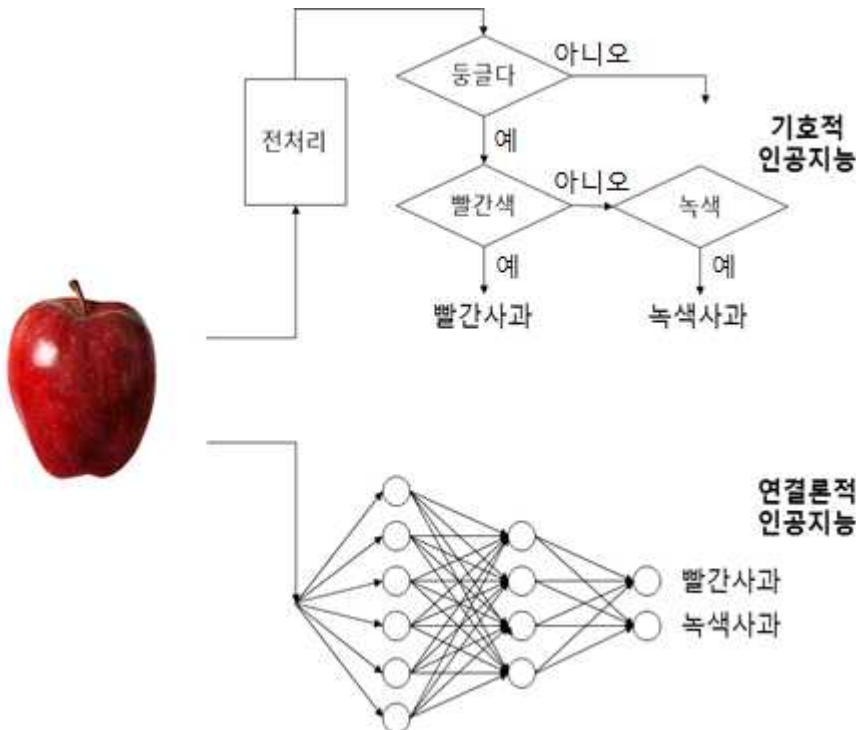
제2장 인공지능 시스템 정의 및 발전

제1절 인공지능 시스템 정의 및 분류

□ 인공지능의 개념

- 개념적으로 기호적, 연결론적 인공지능으로 분류를 할 수 있고, 현재 연결론적 인공지능의 총아인 인공신경망이 압도적 우위에 있음
 - 존 매카시(John McCarthy)가 1956년 처음 인공지능이라는 용어를 사용한 이래 인공지능 연구는 황금기와 침체기를 여러 번 거치며 현재 심층학습(deep learning)이 주도하는 새로운 황금기를 맞이함
 - 인공지능의 발전 역사를 간단하게 보면 딥러닝 이전의 상징 추론과 논리 연산 위주의 기호적(symbolic) 인공지능과 딥러닝(deep learning)으로 대변되는 연결론자(connectionist) 관점의 인공지능으로 나누어 볼 수 있음
 - 기호적(symbolic) 인공지능: 추상적 개념에 대한 기호적 연산을 사용하는 방법론으로 모든 것을 프로그래밍에 의해 처리하려는 시도. 규칙(rule) 기반의 추론을 바탕으로 최적의 상태에 대한 순차적인 탐색으로 추론결과를 도출함. 표현에 중점을 두기 때문에 학습이 어렵고, 학습 또는 추론의 입력 데이터가 불완전할 경우 적용 어려움. 순차적이고 복잡한 연산을 사용하는 기존의 컴퓨팅 하드웨어와 잘 맞음
 - 연결론(connectionism)적 인공지능: 대규모의 단순한 계산으로 추론을 수행하고 간단하지만 효과적인 학습 방법을 가짐. 불완전한 입력 및 학습데이터에 대해서도 추론과 학습을 할 수 있어 범용성 큼. 초대규모 병렬 연산이 필수적이어서 기존의 컴퓨팅 하드웨어와 잘 맞지 않음
 - 현재 연결론적 인공지능의 총아인 인공신경망(artificial neural network)이 압도적인 우위에 있음. 다수의 고속 중앙연산장치(central processing unit, CPU)와 상당량의 병렬 연산이 가능한 그래픽 처리장치(graphic processing

unit, GPU)가 결합한 범용 하드웨어 기반의 인공지능이 각광을 받고 있음



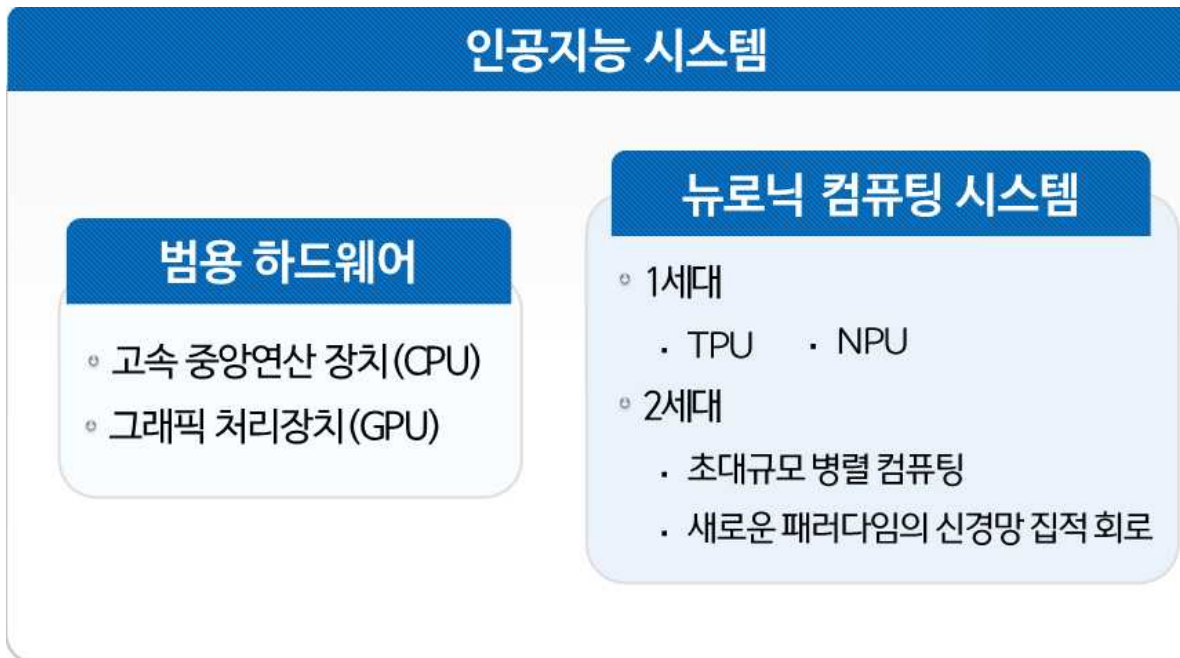
<그림 2-1> 기호적 인공지능과 연결론적 인공지능의 비교

순차적으로 모든 규칙들을 처리하여 결과를 도출해내는 기호적 인공지능과는 달리, 연결론적 인공지능에서는 계산은 단순하지만 병렬적으로 연결된 네트워크를 통해 추론과 학습이 이루어짐

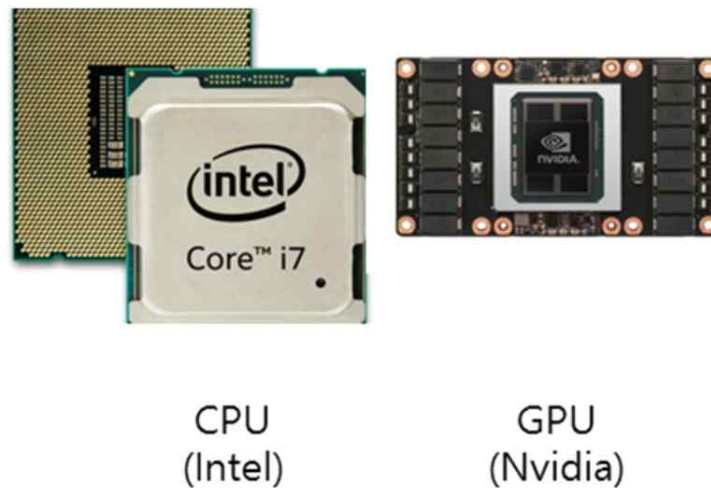
□ 인공지능 시스템의 정의

- 인공지능 시스템이란, 인간의 신경계를 모사하여 기억과 학습이 가능한 인공신경망을 구현할 수 있는 시스템을 칭함
- 인공지능 시스템은 CPU, GPU와 같은 범용 하드웨어를 사용하고 그 위에서 구동되는 소프트웨어로도 구현 가능하지만, 인공신경망 알고리즘(algorithm)을 위해 개발된 새로운 대규모 병렬 컴퓨팅 시스템으로 구현하는 것이 훨씬 효율적이며 고속 처리가 가능함

□ 인공지능 시스템의 분류



<그림 2-2> 인공지능 시스템의 분류

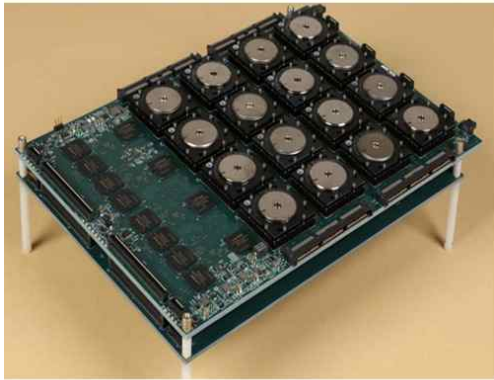


<그림 2-3> 현재의 인공지능 시스템에 사용되는 범용 하드웨어
이들 중 인공지능에 사용될 수 있는 GPU는 데스크탑 이상의 컴퓨터에만 장착할 수 있는 고성능 범용 (general-purpose) GPU 뿐이며, 노트북이나 모바일 기기에서는 사용 불가

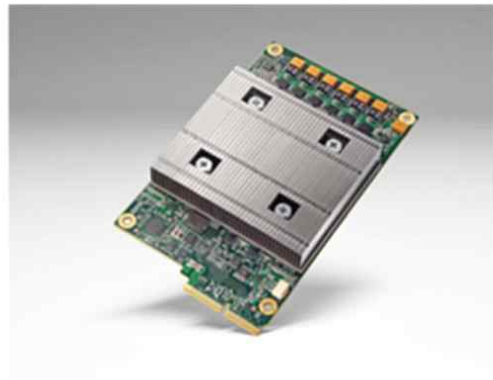
- 현재의 인공지능 시스템은 CPU, GPU 등의 범용 하드웨어 기반으로 구현
 - 범용하드웨어인 고속 중앙연산장치(CPU)와 상당량의 병렬 연산이 가능한 그래픽 처리장치(GPU)를 활용한 인공지능

- 인공 지능 시스템 중 최근 부상하는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 1, 2세대로 구분할 수 있으며 차세대 인공지능이란 이들을 총괄하는 개념
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템이란 TPU, NPU 등 '머신 러닝'이라는 특수한 목적을 가지고 제작된 모든 하드웨어로 구현되는 시스템뿐만 아니라 궁극적으로는 자연의 신경계와 같은 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구조로 이루어진 하드웨어를 기반으로 구현되는 인공지능 시스템을 뜻함
 - 세대구분
 - 1세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템: 대규모 병렬 컴퓨팅과 저전력 연산을 위한 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) FET (Field Effect Transistor) 기반의 전용 하드웨어인 TPU (Tensor Processing Unit)와 NPU(Neural Processing Unit)를 활용한 인공지능
 - 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템: 초대규모 병렬 컴퓨팅과 초저전력 연산이 가능한 새로운 패러다임의 신경망 집적회로를 활용한 인공지능
 - 차세대 인공지능이란 뉴로닉 컴퓨팅 1세대와 2세대를 총괄하는 개념
 - 1세대에서는 인공지능 알고리즘을 효율적으로 구동할 수 있는 전용 또는 집적된 메모리와 연산기 (TPU, NPU) 구조가 주축이 됨
 - 1세대에서는 현재 양산되는 메모리를 사용하거나 데이터 전송 대역폭을 넓은 메모리가 사용되고, 특히 현재 메모리에 연산기를 집적하는 형태가 사용될 것으로 예상됨
 - 2세대 시스템에서는 인공지능 하드웨어의 기본 구성요소(building block)인 뉴런과 시냅스에 기존의 소자와 회로를 벗어나 스파이킹 인공 신경망 (spiking neural network, SNN) 기반의 새로운 개념이 도입되고, 시스템 설계에서도 새로운 아키텍처와 연산 방식에 기반을 두고 있어 컴퓨팅 기술에 패러다임 변화가 일어날 것으로 예상

- 2세대에서는 생물학적 시냅스를 모방하는 소자에 기존 메모리를 창의적으로 변형하여 사용하거나 새로운 형태의 메모리 소자가 필요하고, 뉴런모방 소자/회로와 아키텍처, 그리고 알고리즘이 하나의 시스템으로 융합하는 형태로 발전



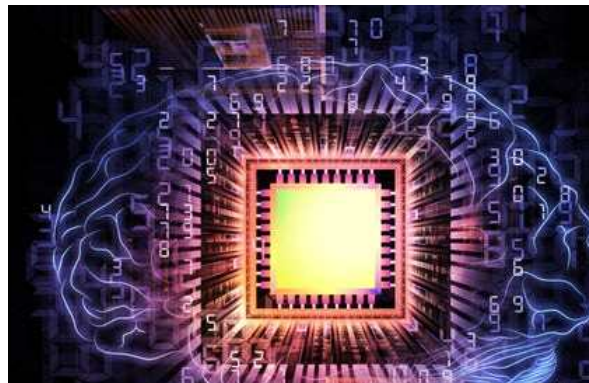
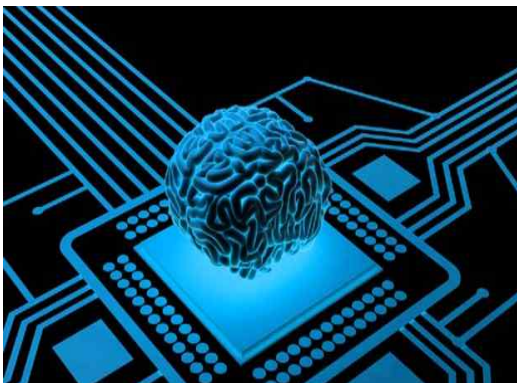
NPU Board (Truenorth)
(IBM)



TPU Board
(Google)

<그림 2-4> 뉴로닉 컴퓨팅 1세대 전용 하드웨어

IBM의 NPU (Neural Processing Unit) board는 16개의 Truenorth chip으로 구성되었으며, Google의 TPU (Tensor Processing Unit) board는 4개의 tensor processing chip으로 구성됨



<그림 2-5> 뉴로닉 컴퓨팅 2세대 전용 하드웨어 상상도

뇌를 모방한 신경망 집적회로로써 기본 빌딩블록인 뉴런회로, 시냅스 소자로 구성되어 컴퓨팅 기술의 패러다임 변화를 일으킬 것임

▶ 출처: NEW ATLAS, "Neuromorphic chips could help reverse-engineer the human brain", 2013.08.5.

□ 인공지능 시스템의 발전

- 인공지능 시스템 연구는 딥러닝을 필두로 급격히 발전되었으나 큰 전력소모로 인해 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 필요성 대두
 - 1950년대 시작된 인공신경망 연구는 활성화함수(activation function)의 잘못된 선택과 네트워크를 학습시키기 위한 고성능 컴퓨터의 부재로 침체기를 맞음
 - 새로운 활성화함수인 '정류선형유닛', IT 산업의 눈부신 발전에 따른 '방대한 데이터', CPU, GPU의 발전을 통해 다시 활발하게 연구되기 시작
 - 그러나 독립적인 처리-기억장치 인터페이스를 가짐으로써 나타나는 병목현상에 의해 큰 전력소모, 저속 동작이라는 한계를 보이기 시작하면서 학습을 효율적으로 진행하기 위한 '특수한 목적을 가진 1세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템인 NPU, TPU가 최근 2015년부터 등장
 - 또한 기존 컴퓨팅 방식에서 탈피, 인간의 뇌 동작을 모사하여 혁신적으로 새로운 컴퓨팅 아키텍처를 구성하는 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 연구가 활발히 진행

범용 HW (1950년대 후반~)	뉴로닉 1세대 (1980년대 후반~)	뉴로닉 2세대 (2010년대~)
<ul style="list-style-type: none"> • 1950년대 후반 ➢ 퍼셉트론에 기반한 인공신경망 개념도입 • 1980년대 후반 ➢ 다층 퍼셉트론의 도입과 역전파 알고리즘 개발로 인공신경망 부흥기 도래 • 2010년 ➢ 사라지는 기울기 문제를 해결한 활성화함수(정류선형유닛) 채택으로 전성기 맞음 	<ul style="list-style-type: none"> • 1980년대 후반 ➢ 최초의 인공신경망 집적회로 개발 • 2015년 ➢ 퀄컴 : 인공지능 전용 하드웨어인 제로스(Zeroth) NPU 개발 • 2016년 ➢ 구글 : 텐서플로우 기반 딥러닝 구현을 위한 전용 하드웨어 (TPU) 개발 	<ul style="list-style-type: none"> • 2010년대 초반 ➢ 인간의 뇌 수준에 해당하는 초저전력, 초대규모 병렬 뉴로모픽 시스템에 대한 연구 시작 • 현재 ➢ 학계, 연구소, 산업체 (퀄컴, IBM)에서 재료, 소자 수준에서부터 컴퓨팅 시스템 전반에 이르는 연구 진행 중

<그림 2-6> 인공지능 시스템 발전 단계

제2절 범용하드웨어 기반 인공지능

□ 범용 하드웨어 기반 인공지능의 발전

- 다층 퍼셉트론 기반 인공지능(multi-layer perceptron, MLP)의 발전
 - 80년대 중반 활발히 연구된 다층 퍼셉트론(multi-layer perceptron, MLP)과 역전파(逆傳播, back-propagation) 알고리즘은 현재 인공지능 기술의 근간임
 - 기계학습 관점에서 보면 퍼셉트론(perceptron)은 하나의 분류(classification)에 속하는 확률출력하는 분류기이고, 이러한 분류기의 집합을 여러 층(layer)으로 구축한 MLP는 다양한 분류작업을 잘 수행할 수 있음

- 퍼셉트론 기반 인공지능 연구는 실제 응용에 적용하기 힘든 문제점들로 90년대 들어 침체기를 맞이함
 - 첫째, 큰 문제를 풀기 위해 층이 많은 인공신경망을 학습해야 하는데 '사라지는 기울기(vanishing gradient)' 문제로 3층 이상의 학습이 현실적으로 불가능
 - 둘째, 큰 인공신경망은 많은 학습데이터를 필요로 하는데 양질의 대량 학습데이터를 준비하는 비용이 매우 컸음
 - 셋째, 큰 인공신경망을 많은 학습데이터로 학습시키려면 엄청난 계산량을 필요로 하는데 이를 가능하게 할 고성능 컴퓨터가 없었음

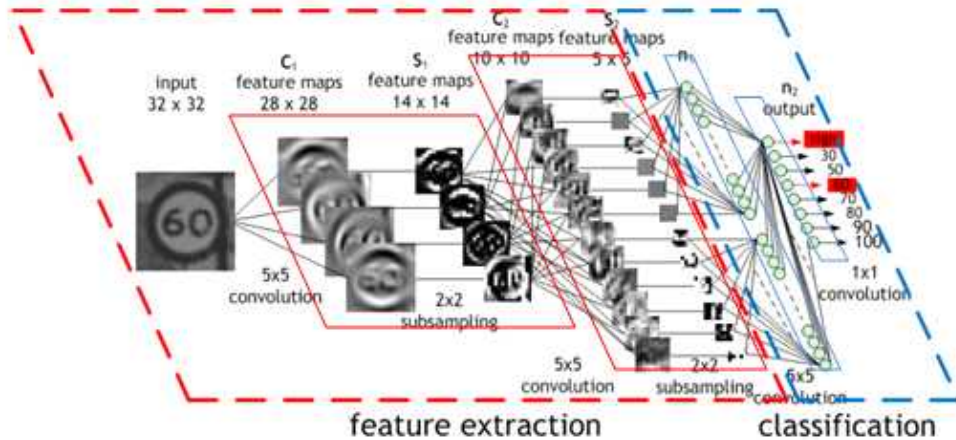
- 새로운 활성화함수, 발전된 하드웨어 등을 통해 딥러닝 기반 인공지능 연구가 다시 부흥기에 접어들음
 - 현재의 딥러닝 기반 인공지능 기술은 위의 3가지 문제를, 정류선형유닛(Rectified Linear Unit, ReLU)이라는 새로운 활성화함수 사용, 학습데이터 확보를 위한 대규모 투자, 그래픽 처리장치(Graphic Processing Unit, GPU)를 이용한 계산능력의 획기적 개선으로 해결함

- MLP는 현재 서버 시스템에서 상품추천 등에 이용되고 있으나, 추후 딥러닝의 주류는 CNN(Convolutional Neural Network), LSTM(Long-Short Term Memory)을 포함한 RNN(Recurrent Neural Network), GAN(Generative Adversarial Network), 기억망(記憶罔, Memory Network) 등이 될 것으로 예상하고, 이와 함께 알파고(AlphaGo)에서 그 유용성이 입증된 강화학습(Reinforcement Learning)이 병행 사용될 것으로 예상됨
- 구체적으로 CNN은 영상기반 데이터에, RNN(LSTM)은 음성 등 시계열(時系列, time series) 데이터에, GAN은 정답을 가지지 못한 일반적인 데이터를 학습데이터로 사용하는 비감독학습(非監督學習, unsupervised learning)의 중요한 방법으로, 기억망은 장기기억이 요구되는 응용에 주로 사용될 것으로 예상됨

□ 범용하드웨어 인공지능 최신 동향

○ 정적 이미지 처리 (Convolutional Neural Network, CNN)

- CNN은 이미지 분류(classification), 사물관별(object detection), 화면분할(segmentation) 등의 vision 분야에서 최근 비약적인 발전을 이룸
- 이미지 분류의 경우 잔차 네트워크(residual network)와 인셉션 모듈(inception module) 개념을 적용한 네트워크가 현재 사람의 분류능력을 넘어서는 성능을 제공
- 사물관별은 한 번에 출력(분류, 사각형)을 내는 방식과 2단계로 처리하는 방식 각각에 있어 자율형자동차와 증강현실(Augmented Reality, AR) 응용에 적용될 수준의 고성능 네트워크들이 제시되고 있음
- 화면분할의 경우 증강현실의 핵심기술로 사용되며 단순 계층 분류 뿐 아니라 개별적인 사례 수준까지 분할 가능한 네트워크가 개발되어 실제 증강현실 애플리케이션(예, 페이스북(Facebook)의 카메라 효과 플랫폼(camera effects platform))에 적용되고 있음

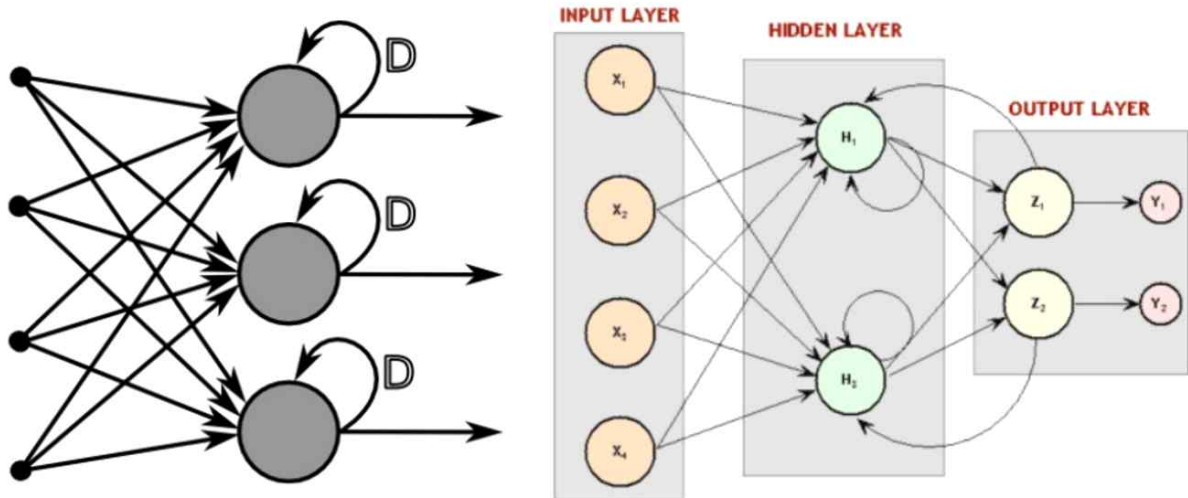


<그림 2-7> CNN의 개략적인 구조

범용하드웨어 기반 인공지능 중 가장 활발하게 사용되고 있는 CNN의 개략적인 구조로, 합성곱(convolution)과 압축(pooling)을 반복하여 이미지의 특징 (feature)을 뽑아내고 이를 통해 이미지를 분류 (classification)해냄

▶ 출처: PARE, "Efficient mapping of the training of Convolutional Neural Networks to a CUDA-based cluster"

- 자연어 처리와 같은 시계열(time series) 데이터 처리 (Recurrent Neural Network, RNN)
 - RNN은 자연어 처리를 기반으로 한 음성인식과 문장(text)에 기반한 번역의 두 가지 중요 응용에서 꾸준한 기술개발과 함께 실적용이 동시에 진행되고 있음
 - 음성인식에서는 기존의 은닉 마르코프 모델(Hidden Markov Model, HMM) 기반 방식들이 RNN으로 빠르게 대체되고 있으며, 번역 역시 실제 서버 시스템에서는 번역 작업의 절반이상에 RNN 기반 번역 알고리즘을 적용(예, Facebook)
 - RNN 구조는 LSTM (long-short term memory) 및 이의 최적화 구조(예, Gated Recurrent Unit, GRU)가 널리 사용되며, RNN이 가지는 장기기억 문제를 해결하기 위해 RNN에 추가의 기억장치를 가지는 기억망(memory network) 구조가 제안됨
 - 장기기억(예, 긴 text를 그래프구조로 인식), 문맥인식(예, image to text를 위한 사용자 별 자주 사용하는 hash tag 인식) 등을 필요로 하는 응용을 중심으로 활발한 연구가 시작되고 있음



<그림 2-8> RNN의 개략적인 구조

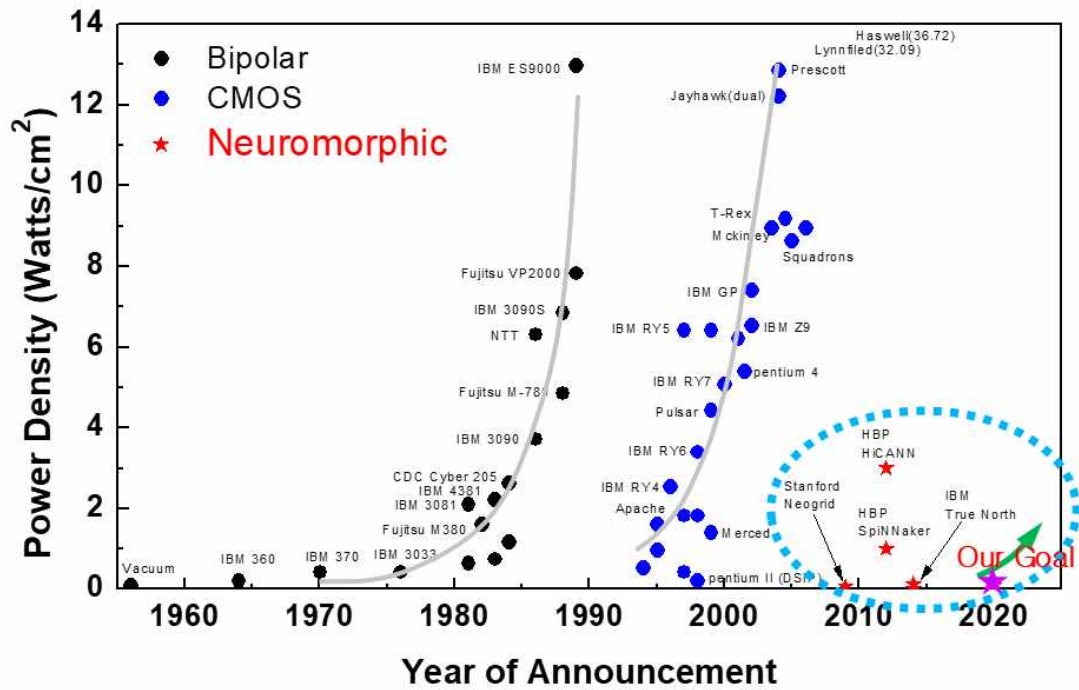
범용하드웨어 기반 인공지능 중 RNN의 개략적인 구조로, 자기 자신의 이전(과거) 상태와 재귀적으로 연결되어 있어 음성인식, 동영상 분류 등 순차적인 정보를 가진 데이터를 다루는 문제에 사용됨

▶ 출처: <https://www.slideshare.net/microlife/from-neural-networks-to-deep-learning>

□ 범용 하드웨어 인공지능의 한계점

- 범용 하드웨어 구조는 인공지능 알고리즘에서 필요로 하는 계산 구조와 상이하여 대량의 데이터를 처리하기에 비효율적
 - 현재 인공지능 알고리즘 구현에 사용되는 범용 하드웨어는 계산을 맡은 CPU 또는 GPU와 프로그램과 데이터를 저장하는 메모리로 이루어지는데, 이들 간의 연결부분이 프로그램, 데이터 전송 성능을 결정하는 처리장치-기억장치(processor-memory) 병목 문제가 존재
 - 인공지능 알고리즘은 대량의 데이터에 대한 단순한 계산이 특징이므로 복잡한 프로그램을 필요로 하지 않고, 대량의 데이터 전송 및 계산 능력이 필요함
 - 계산기의 수가 아주 적은 기존 범용 프로세서, 그리고 데이터 전송능력이 현저히 낮으며 전력을 많이 소모하는 기존 처리장치-기억장치 인터페이스로는 고속, 저전력 인공지능 알고리즘을 수행하기 어려움

Power Density and Future




* R. Dick, U. of Michigan

<그림 2-9> 기존 범용 하드웨어와 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 전력 소모 추세

기하급수적으로 증가하고 있는 범용하드웨어의 전력소모에 비해 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능은 초저전력 동작이 가능함. 현재 판매되는 Intel의 i7의 경우 100W/cm²에 이를 정도로 굉장히 많은 전력 소모가 발생함

▶ 출처: R. Dick, University of Michigan, updated by J-H Lee

제3절 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능

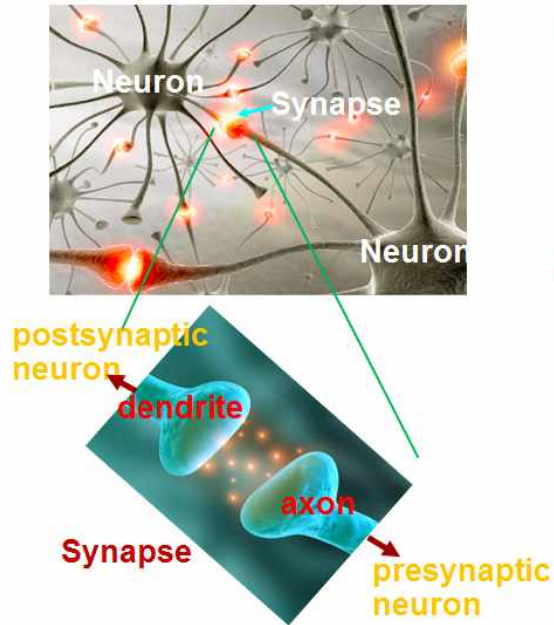
	인간 뇌	뉴로닉 컴퓨팅 시스템		딥 뉴럴 넷
신경모델		스파이킹 뉴럴 넷 (SNN)	Deep Belief Networks (DBN) Recurrent Neural Networks (RNN) Convolutional Neural Networks (CNN)	
		하드웨어 기반	하드웨어 기반	소프트웨어 기반
구현	뉴런 어레이 시냅스 어레이	뉴런 어레이 (I&F)	뉴런 어레이 (activation)	폰 노이만 아키텍처
		시냅스 어레이 (STDP)	시냅스 어레이 (Back propagation)	
		Analog, Digital (Reconfigurable)	Analog, Digital (G^+ , G^-)	
전력소모	극도로 낮음	아주 낮음	낮음	아주 높음
성숙도	완벽?	아주 낮음	낮음	높음

<그림 2-10> 인간 뇌, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템, 딥 뉴럴 넷의 분류 및 비교
범용하드웨어 기반 인공지능에서 1세대, 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 기반 시스템으로 갈수록 기술의 난이도는 증가하나 현재까지 기술 성숙도는 매우 낮은 단계에 머물러 있음

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 새로운 패러다임의 신경망 집적회로로 기존의 컴퓨팅 방식을 상당 부분 대체할 수 있는 잠재력 보유
 - 기존의 컴퓨팅 구조와는 달리, 생물학적 인간의 뇌와 규모 및 기능적 측면에서 유사한 구조의 컴퓨팅 아키텍처를 추구하는 새로운 패러다임의 신경망 집적회로가 제안됨
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 인간의 신경계에서 중추역할을 하는 기본 구조인 시냅스와 뉴런을 전자 소자와 회로를 통해 모방하여 대규모 병렬 처리가 가능
 - 범용 하드웨어 대비 1세대의 경우 1/100, 2세대의 경우 1/100000 정도의 저전력으로 많은 양의 데이터를 처리할 수 있어 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대에 대한 연구는 향후 세계적인 추세에서 기존의 컴퓨팅 방식을 상당 부분 대체할 잠재력을 가짐

▶ 출처: ILSVRC(ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition), 2014

- 기존 메모리 소자의 변형 및 차세대 메모리 소자를 활용한 시냅스 모방 소자와 이를 구동하기 위한 뉴런 회로를 구축하여 시스템적인 레벨에서의 구현에 대한 연구가 활발히 진행 중
- 퀄컴, IBM 등도 더 적은 전력을 사용하면서 고차원적인 연산을 빠르게 수행하는 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 칩 연구에 공을 들이고 있는 추세



Biological Terminology

- 시냅스 : 뉴런 사이 연결
- 시냅스가중치: 연결 강도세기

Synaptic Functionalities

- STDP : Spike Timing Dependent Plasticity
- 기억 강화(Potentialiation) & 기억 약화 (Depression)
- 장기기억(Long-Term Memory) & 단기기억(Short-Term Memory)
- 흥분성 & 억제성 시냅스

<그림 2-11> 새로운 패러다임의 신경망 집적회로의 기본 구성 요소
 인간의 두뇌를 모방한 집적회로를 구성하기 위해서는 생물학적인 시냅스의 기본적인 기억 기능 및 신호를 처리하기 위한 뉴런이 필수적

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능은 기존의 딥러닝 기반 인공지능의 다양한 제반 분야에서 활용 가능
 - 인공지능 관련 시장전망은 인공지능에 대한 정의, 기술 및 시장의 범위 등 조사기관마다 상이한 점이 있지만, 연평균 82.9% 수준의 성장이 기대됨
 - IBM의 경우 2025년 까지 2,000조원, 맥킨지의 경우 2025년 까지 7,000조원의 시장 규모를 전망한다고 밝힘
 - ▶ 출처: 4차 산업혁명을 주도하는 인공지능(AI) 기술의 시장 동향 및 주요 이슈 종합분석, 2016.8
 - 범용하드웨어 기반 인공지능의 경우, 시스템을 학습하고, 사용하는데 큰 전력소모를 수반하기 때문에 클라우드 컴퓨팅과 같은 제한된 환경으로만 사용자들에게 제공 가능
 - 앞으로 등장할 새로운 패러다임의 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능의 경우 저전력으로 구동이 가능하여 사용자 개개인이 클라우드 컴퓨팅이라는 제한된 환경에서 벗어나 Personal AI로 사용이 가능할 것으로 기대됨
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 기술이 활용될 예상 제품시장은 기존의 딥러닝 기반 인공지능 제반 분야, 자율주행 자동차, 웨어러블 디바이스, 인지로봇 그리고 모바일 단말 분야 등 저전력이 필수적인 응용분야임
 - 자율주행 자동차의 경우 방대한 양의 데이터 학습을 통해 저전력으로 신속한 판단 기능을 제공할 수 있으며, 연결성(connectivity) 기반 지능형 교통 서비스 실현, 차량 최적화 및 안전주행 유도가 기대됨
 - 인지로봇의 경우 외부환경을 스스로 인식하고 상황을 판단하여 자율적으로 동작하는 기계의 구현이 가능하고, 의료, 국방, 해양 탐사, 실버용 등 다양한 분야에서 지능화된 서비스 창출이 가능할 것으로 예상됨
 - 사람의 동작을 학습하고, 실제 작업 현장에 투입될 수 있는 휴머노이드 로봇 등을 통하여 특히 우리나라의 큰 문제점으로 전망되는 저출산 고령화 사회의 노동력을 대체할 것으로도 기대됨
 - 웨어러블 디바이스의 경우, 웨어러블 기기를 활용한 생체 데이터의 분석을 통한 스마트 헬스케어, 주변의 상황에 맞추어 자율적으로 재생 혹은 정지하는 영상 기기, 길찾기, 교통편 등 사용자의 궁금한 사항에 즉각적으로 반응하여 답변을 알려주는 지능형 서비스 등에 사용될 것으로

기대됨

- 초저전력, 초소형으로 동작하는 인공지능은 인체 삽입형 초소형 기기, 환경감시용 센서, 안전 및 국방용 초소형 로봇, 스마트 글라스, 휴대폰 등 기존 범용 하드웨어 기반의 인공지능이 불가능한 분야에도 응용되어 4차 산업혁명의 완성도를 크게 높일 것으로 기대됨
- 가정용 전자기기인 TV, 냉장고, 컴퓨터, 청소기, 인공지능 스피커, 그리고 각종 IoT용 센서에 탑재되어 전력소모는 물론이고 클라우드 형태의 서버와의 통신을 크게 줄여줄 수 있어 그 효율성은 매우 높을 것으로 예상됨
- 학습 및 인식, 추론 등이 가능하다는 점에서 질병 진단, 금융 관련 투자 및 신용평가 및 심사 등 인간이 수행할 수 있는 거의 모든 분야의 활동에서 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 시스템이 사용될 것으로 예상됨

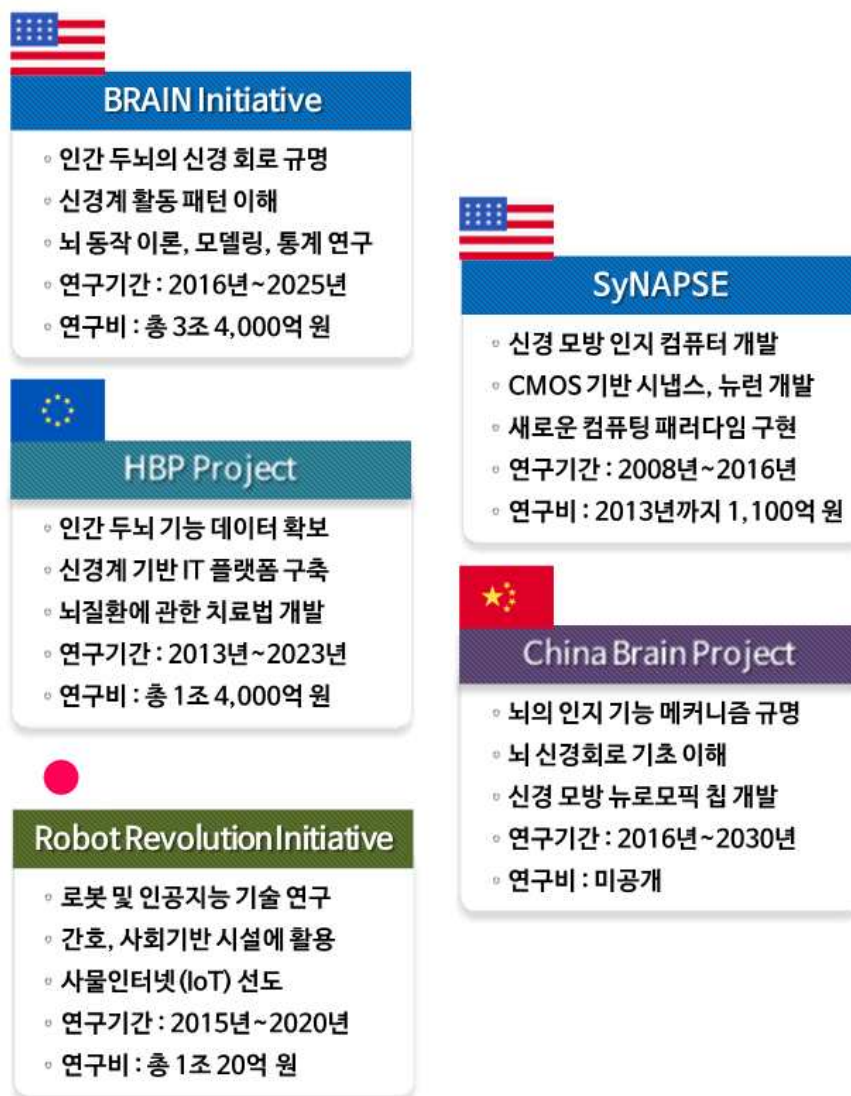


<그림 2-12> 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 응용분야

제3장 국내외 차세대 인공지능 시스템 현황 및 분석

제1절 국외 차세대 인공지능 시스템 현황

1. 국가 주도 프로젝트 현황



<그림 3-1> 해외 국가별 차세대 인공지능 시스템 관련 국가 주도 프로젝트 현황¹⁾

1) 프로젝트 세부현황은 [참고자료 1] 참조

□ 미국

- 범국가적 대형프로젝트인 BRAIN(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative를 통해 두뇌활동 메커니즘 규명 및 응용기술 개발, 산업화 진행 중

OBAMA'S BRAIN

The White House has set lofty objectives for its BRAIN Initiative. Now it is up to the participants (purple) to develop a strategy for the programme.

PRIVATE RESEARCH

- The Allen Institute for Brain Science
\$60 million annually
- Howard Hughes Medical Institute
\$30 million annually
- Kavli Foundation
\$4 million annually for 10 years
- Salk Institute for Biological Studies
\$28 million

FEDERAL AGENCIES

(First year funding)

- Defense Advanced Research Projects Agency
\$50 million
- National Institutes of Health
\$40 million
- National Science Foundation
\$20 million

OBJECTIVES

- Provide the knowledge for addressing debilitating disorders.
- Develop new imaging technologies and understand how information is stored and processed in neural networks.
- Understand how brain activity leads to perception, decision-making and, ultimately, action.
- Produce a sophisticated understanding of the brain, from individual genes to neuronal circuits to behaviour.

RESEARCH COMMUNITY

- The National Science Foundation convened workshops to solicit ideas.
- The National Institutes of Health set up a 'dream team' of 15 scientists that is producing reports based on community feedback.

<그림 3-2> BRAIN Initiative 프로젝트 관련 투자

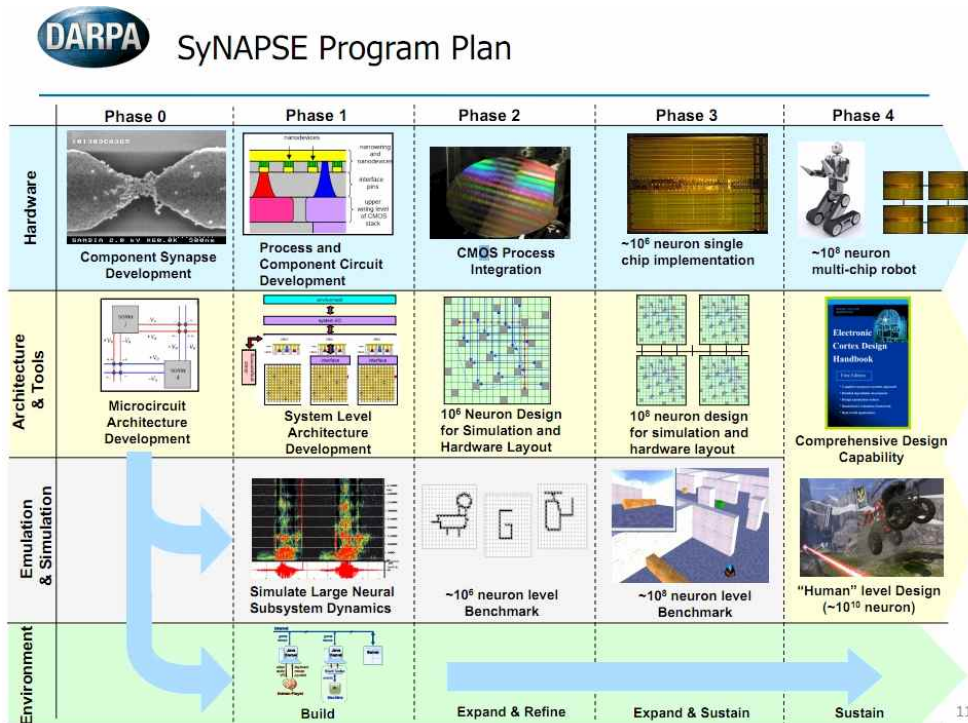
BRAIN Initiative는 뇌의 활동을 이해하고, 새로운 이미지 기술을 개발하는 목표를 가지며, 민간에서 총 12억 2000만 달러, 연방정부에서 총 17억 4000만 달러를 투자

▶ 출처: Helen Shen, "Neurotechnology: BRAIN storm", 2011.11.11.

— 오바마 대통령이 범정부 차원에서 백악관 산하 과학기술정책사무국(Office of Science and Technology Policy: OSTP)이

- 주도하는 국가 대형 프로젝트로 2013년 4월 BRAIN Initiative를 발표
- 2016년~2025년 까지 두뇌활동의 전체적인 기능을 규명하는 연구 및 이를 활용한 응용 기술 개발, 산업화를 동시에 진행하는 BRAIN Initiative에 총 3조 4,000억 원의 연구비를 투입
- BRAIN Initiative는 기초 연구에 집중하면서도 기업의 참여를 유도하여 기술개발과 산업화가 거의 동시에 이루어져 기술개발 후 상용화까지의 시간 지연(time lag)을 최소화하는 전략을 채택하고 경쟁 프로젝트가 될 수도 있는 유럽연합과 국제 협력 관계를 유지

- 미국 국방부 산하 방위고등연구계획국(Defense Advanced Research Project Agency: DARPA)는 두뇌의 인공지능을 모방하여 새로운 구조의 인지컴퓨터를 개발하는 SyNAPSE(Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics) 프로젝트 진행 중



<그림 3-3> SyNAPSE 프로그램 로드맵

단계적으로 하드웨어 측면에서 시냅스를 구성하고, 회로 제작을 거쳐서 CMOS 통합과정을 완성한 후에 단위 칩당 뉴런의 갯수를 증가시켜 최종적으로 멀티 칩 로봇을 만드는 것이 목표

▶ 출처: http://www.theregister.co.kr/2011/08/18/ibm_darpa_synapse_

- 두뇌 신경질의 인지기능을 구현하는 새로운 구조의 인지컴퓨터 개발을 목표로 4가지 핵심기술(하드웨어, 컴퓨팅 구조, 전산모사, 학습환경)을 연구함
- 미국 방위 고등연구 계획국 (DARPA)에서 2013년까지 총 1억 달러 투자 (한화 약 1,100억 원 이상)
- 2008~2016년 동안 5 단계(Phase 0~4)로 IBM, HRL Lab 및 4개 대학(스탠포드, 보스턴, 조지 메이슨, 포틀랜드)과 공동으로 SyNAPSE 프로젝트를 통해 국가 주도 추진하였으며, 그 결과 현재까지 가장 높은 처리 능력을 가진 뉴로닉 컴퓨팅 시스템으로 평가받는 IBM의 TrueNorth 칩 개발

□ 유럽

- 유럽연합 주도로 사람의 두뇌를 모사하는 ‘가상두뇌’를 목표로 하는 Human Brain Project 프로젝트 수행 중
 - 심각한 질병들을 치료하고 예방하기 위하여 인간 두뇌 메커니즘에 대한 연구가 활발하게 진행되었으나, 수백억 개의 뉴런과 수십조의 시냅스로 구성된 두뇌를 직접 연구하는 것은 한계가 존재
 - 이러한 한계를 극복하고자 유럽연합에서는 사람의 두뇌를 정확하게 모사하는 ‘가상두뇌’를 만드는 과제를 EU 6대 미래유망기술 중 하나로 선정하고, 10년간 10억 유로를 투입한 Human Brain Project(HBP)를 시작
 - 또한, HBP 프로젝트는 인간의 뇌를 컴퓨터로 구현, 두뇌 시뮬레이션을 통한 질병 예방 및 치료를 넘어, 새로운 컴퓨팅 구조를 설계하여 새로운 인공지능 플랫폼 구현이 목표
 - HBP의 주요 임무는 뇌의 구조 및 기능에 관한 데이터 확보, 슈퍼컴퓨터와 소프트웨어로 구성된 IT 플랫폼 구축, 대표적인 뇌질환에 대한 치료법 제시, 뇌에 대한 이론체계 수립

<표 3-1> EU HBP 분야별 연구목표
 뇌과학 등의 기초분야 및 플랫폼 개발에 집중

분 야	투자규모 (단위: 유로)	연구목표
Application	2억 2100만	• 신경과학, 의학 및 컴퓨팅 기술에 의한 프로토타입 개발
ICT Platforms	4억 5600만	• 신경과학 및 임상연구의 가속을 위한 통합형 ICT 플랫폼 개발
Theory	7200만	• 뇌 활동영역 간의 관계를 파악하여 수학적인 모델 개발
Data	3억 1600만	• 일반화된 뇌지도를 위한 필수적인 데이터를 생성

□ 중국

- 범국가적 프로젝트인 China Brain Project를 통해 기초 뇌 연구부터 뉴로닉 컴퓨팅 시스템, 군사용 드론 등 폭넓은 인공지능 연구 개발 진행 중
 - 급격한 경제성장을 이루며 세계 2위의 경제 대국으로 성장한 중국은 2007년 이후 세계금융위기와 중국내 경제 환경 변화로 인해 경제 성장률이 감소
 - 이를 극복하기 위해 중국은 4차 산업혁명을 통한 저성장 극복 및 신성장 동력 확보를 시도
 - 특히 미국, 유럽, 일본 등 세계 주요국에서 인공지능에 관한 중요성을 높이 평가함에 따라, 중국 최대 정치행사인 양회(兩會)에서 마이두 리엔홍(李彦宏)회장에 의해 범국가적 프로젝트로 China Brain Project를 기획
 - 민간 공동으로 인공지능을 중국의 차세대 성장동력으로 육성하고, 인간·기기 간 상호작용, 무인자동차, 군사·민간용 드론 등의 분야를 망라하는 대규모 인공지능 개발 프로젝트, 범국가적 지원을 통해 인공지능 최강국을 목표로 함
 - 15년간 체계적인 중장기적 계획을 통해 인간 두뇌의 기본 메커니즘 연구부터 시작하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 구현, 그리고 무인 자동차, 군사용 드론까지 폭넓은 연구 개발을 목표로 설정

- 2018년까지 인공지능 기술을 중국 차세대 성장동력으로 육성하기 위해 2016년 5월 4개 부처 (국가발전개혁위원회 · 과학기술부 · 공업화신식화부 · 중앙인터넷 · 정보관공실 등) 공동으로 '인터넷 플러스(+) 인공지능 3년 액션플랜' 발표
 - 4차 산업혁명에 대한 국가적 차원의 대응을 통해 2020년까지 인공지능 시장 규모를 약 1조 6,500억 원까지 예상하며 세계 인공지능 시장 진입 시도
- 2017년 7월 '차세대 인공지능 발전 계획'을 발표하여 2030년까지 국가 인공지능 핵심 산업의 규모를 키우고 세계 인공지능 산업 선도를 위한 중장기 발전계획 제시
- 인공지능은 새로운 국가 경쟁력의 지표로써 미래를 선도하고, 국가 안보를 향상 시키며 국가 발전의 새로운 엔진이라는 인식 확대
 - 인공지능 산업 세계 선도를 위해 3단계로 나누어 각각의 단계에 이루어져야 할 연구 및 산업 규모에 대한 목표를 설정
 - (1단계) 2020년까지 세계 선진국 수준의 차세대 인공지능 이론 및 기술 수준 확보를 목표로 핵심 산업 1500억 위안 이상, 연관 산업 1조 위안 이상 규모 육성
 - (2단계) 2025년까지 인공지능 기본 이론의 중요한 돌파구를 달성하여 기술 및 응용프로그램에 있어 세계 최고 수준 달성을 목표로 하며, 이를 위해 핵심 산업 규모 400억 위안, 연관 산업 규모 5조 위안 확대 육성
 - (3단계) 2030년까지 인공지능 이론, 기술, 시스템의 새로운 세대를 형성하고 관련 법률, 정책 시스템 및 안전 제어 체계 확립을 목표로, 이에 따른 핵심 산업 규모 1조 위안, 연관 산업 규모 10조 위안 이상 확대 육성
 - 각 단계별 전략 달성을 위한 6대 주요 과제를 설정하여 세계 인공지능 발전 추세를 빠르고 정확하게 파악하고 이를 통한 과학 기술 혁신 능력 기반 강화 추진

<표 3-2> 중국 '차세대 인공지능 발전 계획' 6대 주요 과제

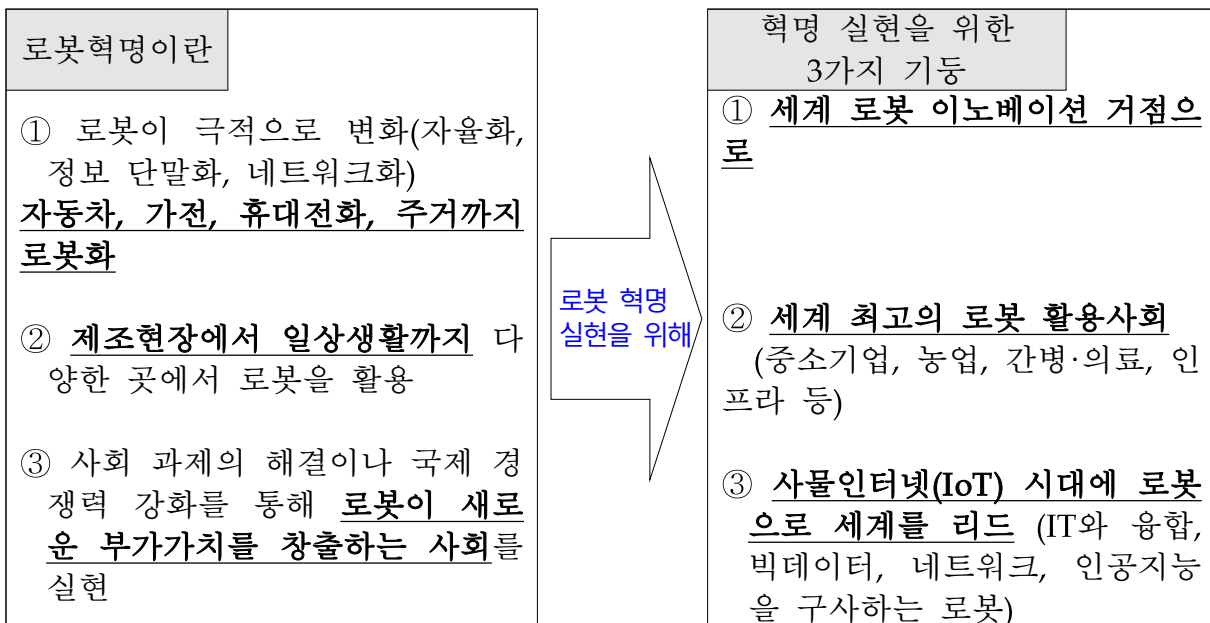
주요 과제	세부 내용
개방적이고 협력적인 인공지능 기술혁신 시스템 구축	새로운 기초 이론 확립, 차세대 시스템 구축 인공지능 플랫폼 개발, 고급 인재 육성
새로운 고효율 지능형 경제 육성	새로운 인공지능 산업 육성, 지능형 기업 개발 인공지능 혁신 산업 단지 조성
안전하고 편리한 지능형 사회 건설	지능형 교육, 지능형 의료 시스템 개발 행정, 사법, 도시, 환경 등 사회적 인프라 관리
군사 및 민간 분야 인공지능 통합 및 강화	군사 및 민간 개발 통합 구현 국방 과학 연구 장려 및 군사 기술 플랫폼 강화
안전하고 효율적인 지능형 인프라 시스템 구축	지능형 정보 인프라 구축 5세대 이동통신 네트워크 시스템(5G) 개발
차세대 인공지능 관련 주요 과학 기술 프로젝트 수행	인공지능 요구 사항을 반영하고, 상대적으로 약한 분야와의 연결을 위한 프로젝트 강화

▶ 출처: http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm

□ 일본

<표 3-3> 일본 로봇혁명의 배경과 구상

일본이 가지는 로봇 분야의 강점을 내세워 로봇을 활용한 다양한 분야에서의 무인화 추진



▶ 출처: 한일산업기술협력재단, 2015

- 인공지능 분야의 연구에 대한 프로젝트는 상대적으로 저조한 편, 강점을 보이던 로봇 분야에 대한 대형 프로젝트 (Robot Revolution Initiative) 진행 중
 - 경제산업성(經濟産業省)은 자국 경제성장의 핵심전략으로 로봇혁명을 추진하기 위해 로봇신전략(Japan's Robot Strategy)을 발표('15.1)
 - 2007년(R&D) 로봇을 통한 부가가치 창출이 기대되는 제조업, 서비스, 간호·의료, 인프라·재난대응·건설, 농림·수산·식품산업 등 5개 분야를 2020년(5년간)까지 집중 지원
 - * 정부는 제도개선 등으로 로봇개발에 대한 민간투자를 확대하여 1,000억엔 규모의 로봇 프로젝트를 추진하고, 이를 통해 5년간 관련 시장 규모를 현재의 4배인 2조 4,000억엔으로 확대
 - (인력 양성) 글로벌 전개에 대비하여 국제표준화에 노력하고 로봇 개발·도입에 기여하는 실증 실험 필드 정비, 로봇 도입·활용을 최전선에서 추진하는 인재 육성
 - (표준화 및 규범제정) 세계 로봇 혁명을 리드하기 위해서 통신, 인터페이스, OS 등의 호환성 확보와 국제 표준화와 다양한 로봇 관련 규범 제정 노력
 - (로봇 혁명 이니셔티브(Robot Revolution Initiative) 협의회 창설) 산·관·학을 연계하여, 니즈(needs)와 시즈(seeds)의 매칭, 모범 사례 공유·보급, 국제 프로젝트, 국제표준 획득, 데이터 보안, 국제협력 등 추진
 - 총무성은 인공지능의 발전가능성과 사회에 미치는 영향을 종합적으로 전망하고, 관련 분야에서 국제경쟁력 강화 대책 마련 목적으로 '인공지능화가 가속화 되는 ICT 미래상에 관한 연구회(2045 연구회)' 구성('15.2)
 - (전문가 구성) 정보통신, 인공지능, 뇌 과학, 인지 심리학 분야 등 공학을 비롯해 인문학 등 다양한 영역의 전문가가 참여
 - (주요 의제) 인공지능화가 가져올 구체적 분야의 변화, 사회에 미치는 영향, 인공지능 산업 전개 및 국제경쟁의 전망*, 정책방안 등
 - * 인공지능을 연구하는 우수인력은 외국계 기업이 가지고 있다"며, 일본의 인공지능 개발 연구가 늦어지고 있음을 우려 (가와카미 노부오, 가도카와·단코 회장)
 - * 인공지능 기술을 가진 국가나 기업의 독점이 진행될 위험 지적 (마츠오 유타카, 동경대 교수)

- 일본은 로봇을 제외한 인공지능 분야의 연구는 저조한 편이며, 국가 과학기술 프로젝트에서도 인공지능 등을 주제로 하는 것도 많지 않은 상황

**<표 3-4> 일본 '2045 연구회' 주요 논의 사항
인공지능 활용 방안 및 뒤늦은 연구 개발에 대한 대책 논의**

이점	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능이 인간의 능력을 상회 • 인간의 기억을 데이터로 만들어 외부에 보존가능 • 힘든 일은 로봇에게 맡길 수 있음 	⇒	논의 사항	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능으로 무엇을 할 수 있는가 • 인공지능을 어떻게 사용할 것인가 • 해외에 비해 늦은 일본의 연구개발 체제를 어떻게 할 것인가
우려	<ul style="list-style-type: none"> • 인간이 로봇을 제어할 수 없을 가능성 있음 			

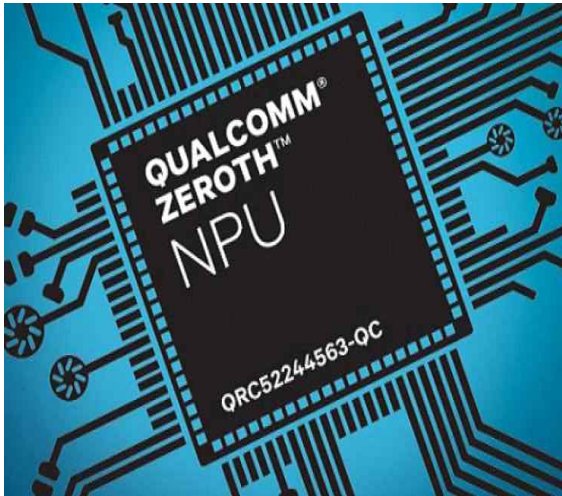
**<표 3-5> 일본의 대형 과학기술 프로젝트 중 인공지능 관련 주제
인공지능 분야에 대한 투자는 상대적으로 저조하며 특히 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 투자는 많지 않음**

프로그램명	인공지능 관련 내용
최첨단 연구개발지원 프로그램(FIRST)1,000억엔('09)	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능 연구는 전체 30개 테마 중 1개 테마 (39.5억엔) • 초거대 데이터 기반 시대를 위한 초고속 데이터 베이스 엔진의 개발과 해당 엔진을 중심으로 한 전략적 사회서비스의 실증·평가
혁신적 연구개발추진 프로그램(ImPACT) 550억엔('13)	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능 연구는 전체 12개 테마 중 2개 테마 • 양자인공뇌를 양자 네트워크에 연결하는 고도지식사회 기반의 실현(山本喜久教授)
전략적 이노베이션 프로그램(SIP) 500억엔('14)	<ul style="list-style-type: none"> • 인공지능 연구는 전체 10개 테마 중 1개 테마 (25.35억 엔)의 일부 • 자율주행시스템(渡邊浩之, 토요타 자동차 고문)

2. 산업 현황

□ 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 최신 산업 동향

- Qualcomm : Zeroth (NPU) 개발을 통해 모바일 SOC 상에서의 효율적인 인공지능 구현
 - 퀄컴에서는 Zeroth program을 통해 휴대용 단말기 AP의 코프로세서(co-processor) 형태로 연결 가능한 NPU(Neural Processing Unit)라는 뉴로시넵틱 하드웨어를 개발하고 있음
 - Zeroth는 인간처럼 주변 환경을 인지할 수 있는 NPU로 개발됨. 인간의 두뇌는 각종 감각기관으로부터 오는 막대한 데이터를 병렬적으로 처리하고, 입력신호의 임계치가 넘을 때만 신호를 보냄으로써 에너지 소모 역시 낮추는 방법을 사용
 - 또한 연구범위를 확장하여 온디바이스 딥 러닝(On-Device Deep Learning)을 통해 모바일 SOC(System-On-Chip)상에서 대규모 심층신경망(Deep Neural Network)이 효율적으로 동작하도록 구현
 - Zeroth 연구 팀은 스냅드래곤 로버(Snapdragon Rover)라 명명한 로봇을 통해 장난감을 식별, 분류해서 사용자가 선택한 사물함에 물체를 집어넣는 학습 진행을 시연한 바 있음



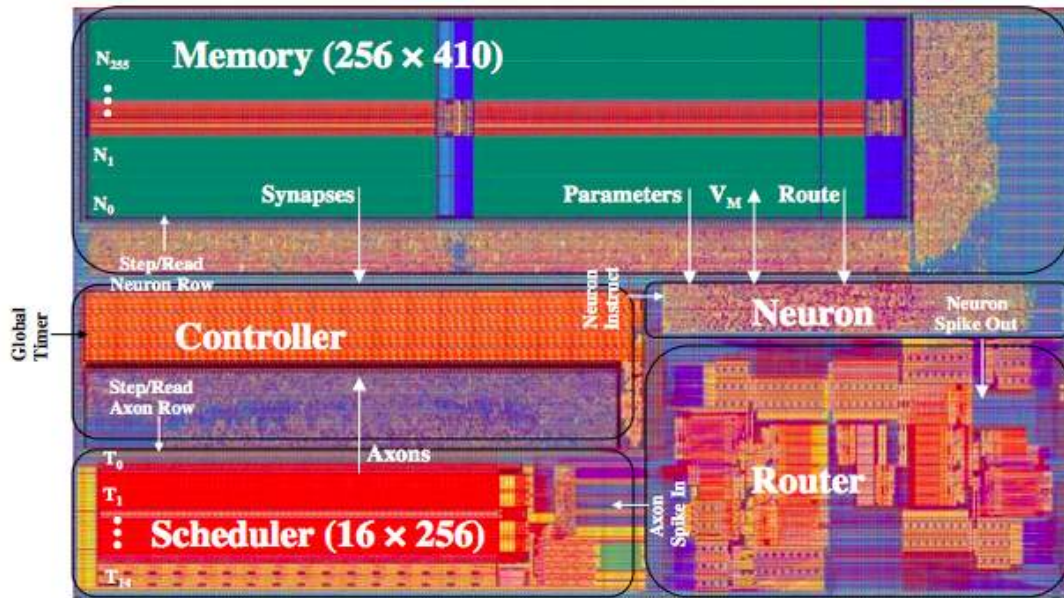
<그림 3-4> 퀄컴의 제로스 및 스냅드래곤 칩
 대규모 병렬 구조를 가지고 있으며 인간의 두뇌와 같이 데이터 병렬처리가 가능한 퀄컴의 제로스는 모바일 프로세서로 많이 사용되고 있는 스냅드래곤 칩에 탑재되어 출시되었음

▶ 출처: <http://www.qualcomm.com>

<https://www.theverge.com/2016/5/2/11538122/qualcomm-deep-learning-sdk-zeroth>

<http://www.anandtech.com/show/9028/qualcomm-announces-snapdragon-820-and-zeroth-platform>

- IBM : 인간 두뇌 기능을 모방한 칩 TrueNorth (NPU)를 통해 이미지 인식 등의 기능에서 초저전력 동작 선보임
 - IBM에서는 인간 두뇌 기능을 모방하기 위해 설계한 트루노스(TrueNorth) 칩을 개발하였고, 오늘날의 컴퓨터와 성능 비교를 위한 테스트 및 벤치마크 작업을 지속적으로 진행 중
 - IBM에서 2016년 공개한 NS16e라는 새로운 컴퓨터에는 각 트루노스 칩에 약 4096 개의 뉴런 processor와 32 MB의 시냅스용 메모리를 가지는 16개의 트루노스 칩을 탑재하여 초당 1,200~2,600 프레임으로 이미지 데이터를 분류할 때 불과 25~275 밀리와트(mW)의 전력만을 소비하며, 초당 24프레임으로 생성하는 이미지에서 패턴을 식별, 인식할 수 있다고 밝힘



<그림 3-5> IBM 트루노스 칩의 레이아웃

시냅스로 사용되는 메모리 (Static Random Access Memory, SRAM) 부분과 데이터 처리를 수행하는 뉴런 부분이 구성되어 있으며 이들을 효율적으로 제어하고 연결하기 위한 Axon과 Router 주변 회로들로 구성되어 있음

▶ 출처: Peter Clarke, "IBM Seeks Customers For Neural Network Breakthrough", 2014.08.7.

- Google : TPU (Tensor Processing Unit) 라는 자체 뉴로닉 컴퓨팅 하드웨어를 개발하여 구글이 제공하고 있는 인공지능 서비스에서 활용 중
 - TPU(Tensor Processing Unit)는 딥러닝(Deep learning) 구현을 위한 구글의 오픈소스 프레임워크(open source framework)인 텐서플로우(TensorFlow)와 함께 사용되는 하드웨어임
 - 또한 TPU는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)으로, 벡터와 행렬 연산의 병렬처리를 통해 데이터 분석 및 딥러닝에 최적화된 새로운 종류의 프로세서
 - 성능은 최신 GPU 및 CPU보다 15배에서 30배 빠르면서 소비전력(1W) 당 인공지능 연산 성능은 30배에서 80배까지 향상되었다고 주장
 - 실제 구글의 어플리케이션으로는 구글투데이(Google Today), 스트리트뷰(Street View), 알파고(AlphaGo), 음성 검색 등에 TPU를

사용한다고 밝힘

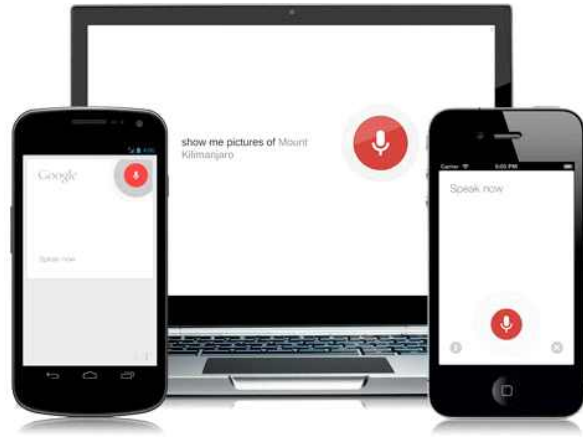
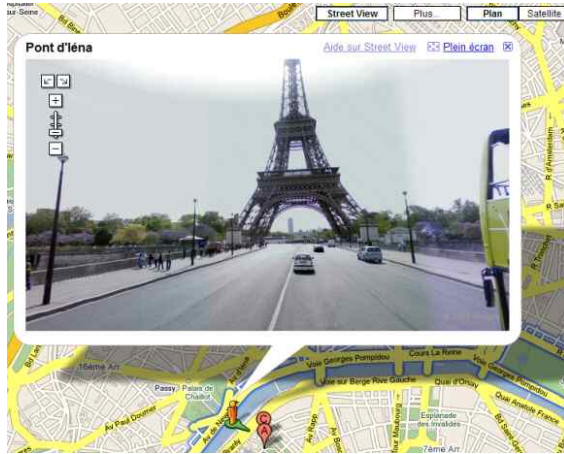
- 최근 구글에서는 2017년 5월 17일에 진행되었던 구글 I/O 컨퍼런스에서는 2세대 TPU 기술이라고 밝힌 '클라우드 TPU'도 공개
 - 클라우드 TPU는 연산성능 45테라플롭스(TFLOPS)짜리 칩 4개를 탑재하여 180TFLOPS 성능을 갖는 모듈로 만들어졌는데, 이 프로세서 모듈카드 64개를 고속 인터커넥트로 연결해 11.5페타플롭스(PFLOPS)의 'TPU 팟(pod)' 또한 개발하였다고 밝힘. (1페타플롭스는 부동소수점연산을 1초에 1015번 해낼 수 있는 성능)
- 1세대 TPU에서는 학습에 수반되는 '모델 대상 패턴매칭' 연산에 CPU와 GPU 사용을 병행하였다면, 새로 발표한 2세대 클라우드 TPU의 경우에는 학습 및 추론 등 전체 머신러닝 연산을 TPU로 모두 처리할 수 있다는 점이 큰 차이점이며, 향후 더 발전된 모습의 TPU를 지속적으로 제시할 것으로 예상됨



<그림 3-6> 구글의 클라우드 TPU

TPU로 구성된 구글의 2세대 클라우드 데이터 센터로서 현재 구글에서 제공하고 있는 인공지능 검색 서비스와 관련된 연산을 수행하고 있음

- ▶ 출처: Nicole Hemsoth, "FIRST IN-DEPTH LOOK AT GOOGLE'S NEW SECOND-GENERATION TPU", 2017.05.17.



<그림 3-7> 구글 스트리트뷰 및 음성 검색 서비스

스트리트뷰는 이미지 인식 기능을 이용하여 건물에 부착되어 있는 숫자 및 표지판의 거리 이름을 읽어 정확한 위치를 파악함. 또한 인공지능을 활용한 음성 인식 검색 서비스 제공

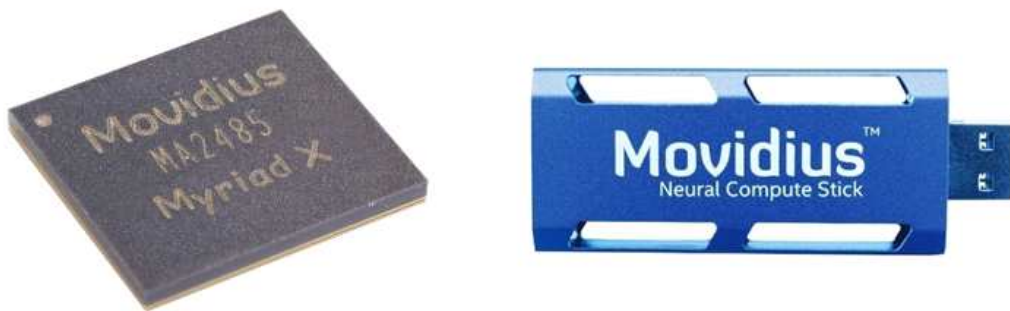
▶ 출처: <https://www.google.com/intl/es419/insidesearch/features/voicesearch>

- Intel : Arria 10이라는 FPGA 기반의 딥러닝 가속기, Movidius라는 VPU(Vision Processing Unit)을 개발하여 기존 CPU를 넘어 다가오는 차세대 인공지능 시장에 대비 중
 - Arria 10, Movidius는 딥러닝 프레임워크인 Caffe와 호환 가능한 딥러닝 최적화 가속기
 - Arria 10은 Intel이 2015년 인수한 알테라의 FPGA 기술을 기반으로 만든 딥러닝 가속기로 최대 1.5테라플롭스(TFLOPS)의 부동소수점 계산이 가능하며, 25images/sec/watt의 이미지 처리 성능을 보임
 - 데이터 수집, 전송 및 다양한 IoT기기에서 수집된 정보를 기반으로 실시간 결정을 내릴 수 있으며, 다양한 애플리케이션에 맞춰 특정 시스템 구현이 가능함
 - Movidius는 단 1W의 전력으로 100기가플롭스(GFLOPS) 이상의 연산 성능을 발휘하는 VPU로 저전력 구동이 필수적인 자율주행, IoT, 모바일 기기 등에 활용
 - 2017년 7월에는 세계 최초의 USB형 CNN 딥러닝 가속기인 Movidius Neural Compute Stick을 출시



<그림 3-8> 인텔의 Arria 10 GX FPGA
 FPGA 기반의 PCIe 인터페이스를 채용한 딥러닝 가속기로 러닝 프레임 워크인 Caffe를 지원하며 8GB의 DRAM 및 128MB의 Flash 메모리를 내장하고 있음

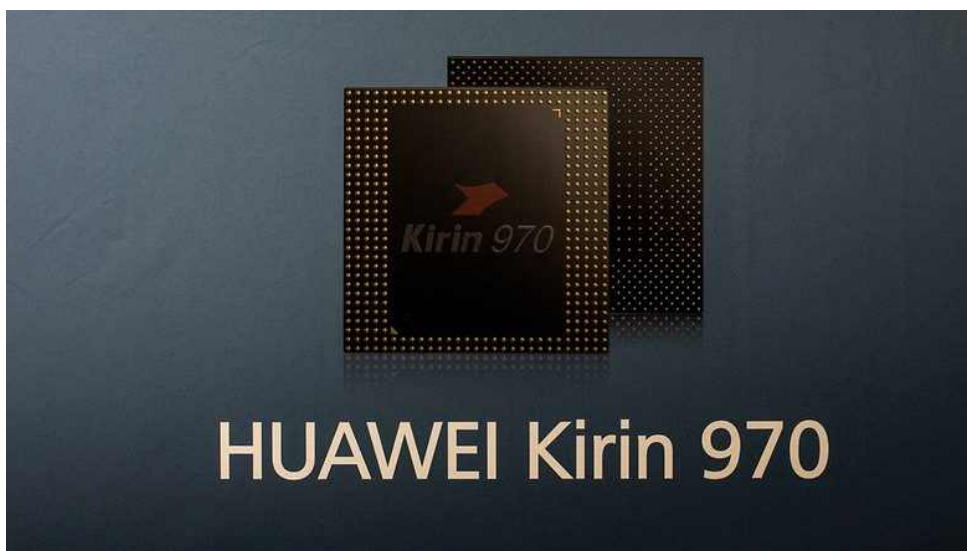
▶ 출처: https://www.altera.com/products/boards_and_kits/dev-kits/altera/acceleration-card-arria-10-gx.html



<그림 3-9> 인텔 Movidius칩(좌)과 Movidius Neural Compute Stick(우)
 은 디바이스 딥러닝 애플리케이션을 위한 딥러닝 가속기로 초저 전력으로 수 백 기가플롭스의 데이터를 처리하며 16비트 및 32 비트 부동 소수점 처리를 지원하여 고성능을 발휘

▶ 출처: <https://www.movidius.com/>

- Huawei : NPU(Neural Processing Unit)을 탑재한 모바일 AP(Application Processor)인 Kirin 970 발표
 - 중국 Huawei에서는 8개의 코어를 가진 CPU와 기존 Kirin 960보다 20%의 성능을 향상시킨 GPU를 탑재한 모바일 AP Kirin 970을 발표
 - 특히, Kirin 970에는 16비트 부동소수점을 1.92테라플롭스(TFLOPS)의 성능으로 연산 가능한 NPU를 동시에 탑재하여 인공지능 관련 연산시 기존보다 50배의 전력효율로 25배의 성능을 낼 수 있음

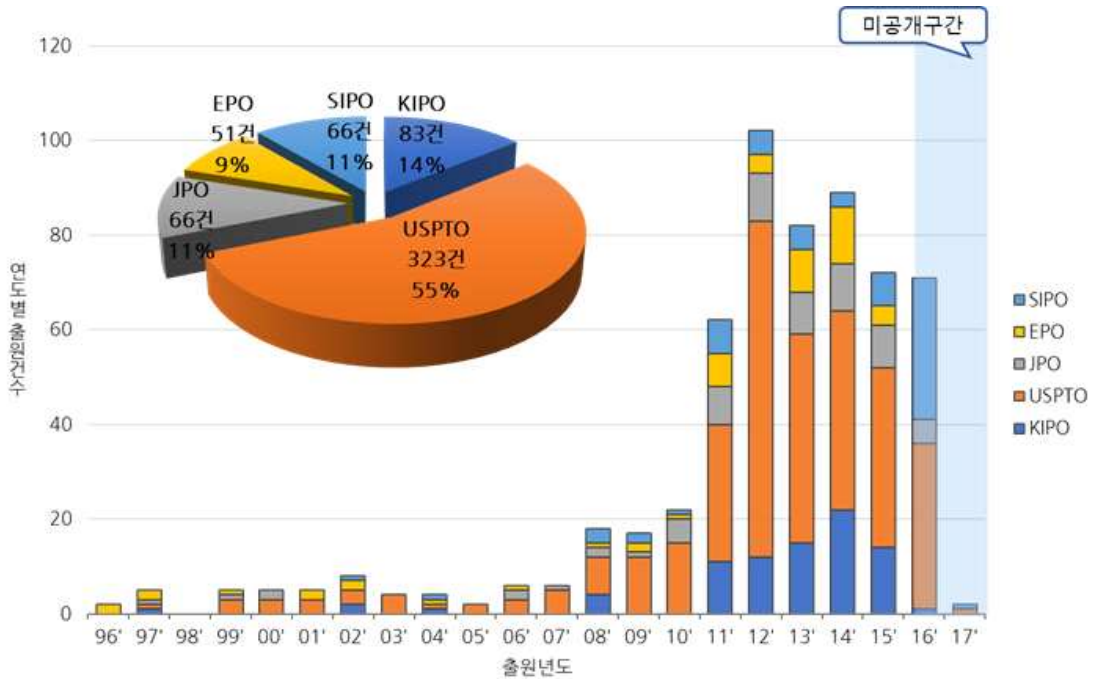


<그림 3-10> Huawei의 새로운 모바일 프로세서 Kirin 970

▶ 출처: <https://www.digitaltrends.com/mobile/huawei-kirin-970-ai-news/>

3. 특허 현황

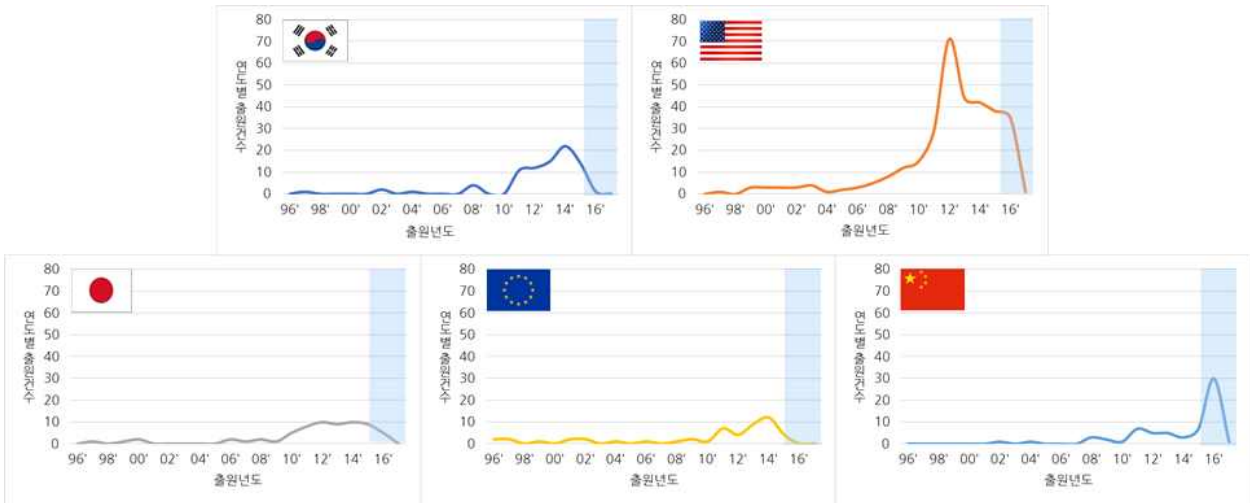
- 주요 출원국 연도별 특허동향 분석 결과 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야의 경우 미국 주도의 특허 출원이 진행되고 있으며 최근 중국의 급격한 약진이 두드러짐



<그림 3-11> 전체 연도별 동향

미국의 특허 출원이 55%로 과반 이상을 차지하고 있어 현재 기술선도가 미국 중심으로 이루어지고 있다는 것을 확인할 수 있으며, 중국에서의 출원이 급격하게 증가하고 있는 것 또한 볼 수 있음

- [TOTAL] 인공지능 시스템 기술의 전체 특허동향을 살펴보면, 2000년대 중반까지 특허출원이 저조하였으나, 2010년 급격하게 특허출원이 증가하였음. 2011년 이후 미국에서의 출원이 급격하게 증가하고 있으며, 중국에서의 특허 출원 또한 증가하고 있는 것으로 분석됨
- 본 기술 분야는 주로 미국에서의 특허 출원이 절반이상으로 미국에 의해 주도되고 있으며, Qualcomm, IBM 및 BRAIN이 가장 많은 특허를 출원한 것으로 분석되며, 특히 최근, VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 등 중국에서 특허출원이 증가하고 있기 때문일 것으로 분석됨



<그림 3-12> 주요 출원국 연도별 동향

국가별 추세를 보면, 미국에서 가장 활발한 연구가 진행되고 있으며 한국도 일정 출원건수를 유지하고 있음. 중국의 경우 최근구간에서 폭발적인 관심을 보이는 것으로 판단됨

- [KIPO] 한국의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 2010년 이후 특허 출원 건수가 증가하고 있는 추세를 보이며, 최근까지 일정 출원 건수를 유지하고 있음
- [USPTO] 미국의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 2010년 이후부터 출원건수가 급격하게 증가한 후, 최근까지 지속적으로 일정 출원 건수를 유지하고 있으며, 타 국가 대비 월등하게 많은 특허를 출원하고 있어 본 기술분야에 대한 관심도가 매우 높음을 알 수 있음. 또한 인용도 지수(CPP)와 시장력 지수(PFS)가 커서 기술력이 높으면서 시장 확보력이 높은 것으로 분석됨
- [JPO] 일본의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 특허 모집단의 수가 적어 정확하진 않지만 2010년 이후 특허 출원건수가 증가하여 일정 출원건수를 유지하고 있는 것으로 분석됨
- [EPO] 유럽의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 특허 모집단의 수가 적어 유의미한 분석을 하기에 적합하지 않으나, 2010년 이후 특허 출원건수가 증가하고 있는 추세를 보이고, 특히 2014년에 가장 많은 특허를 출원한 것으로 나타나 최근 본 기술 분야에 대한 관심도가 높아지고 있는 것으로 분석됨
- [SIPO] 중국출원의 연도별 특허 동향을 살펴보면, 특허 모집단의 수가 적어 유의미한 분석을 하기에 적합하지 않으나, 2011년 이후 특허 출원건수가 증가하여 일정 출원건수를 유지하고 있는 것으로 분석됨.

특히, 최근 구간(2015년 이후)에 급격하게 특허출원 수가 증가하고 있어 본 기술분야에 대한 관심도가 높아지고 있는 것으로 분석됨

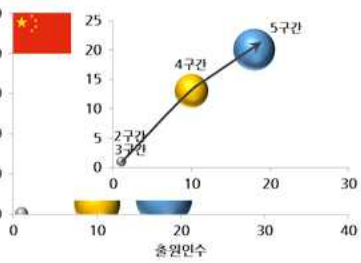
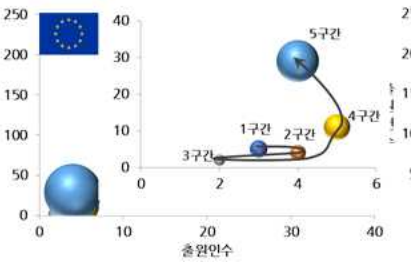
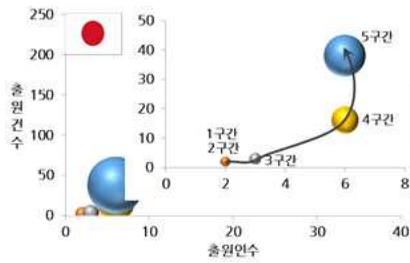
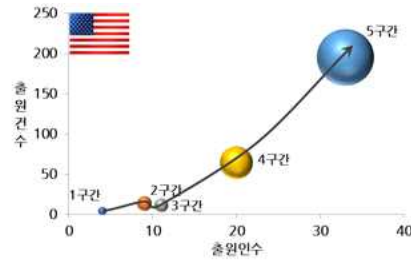
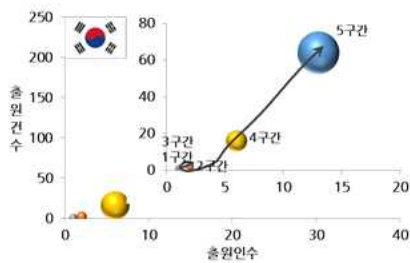
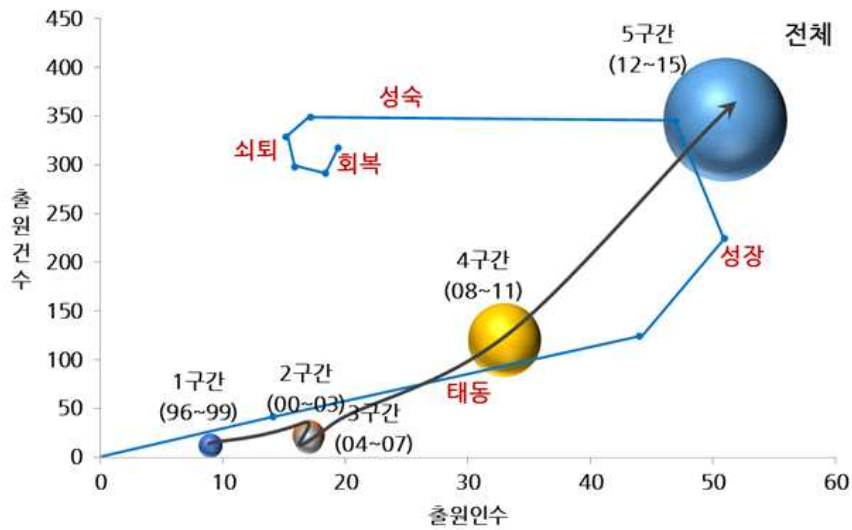
- 기술 성장단계 분석 결과 아직 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야의 경우 태동기 또는 성장기 수준으로 분석됨



<그림 3-13> 기술시장 성장단계

특허 출원건수 및 출원인의 증감 추이로 기술시장의 성장단계 분석 태동기에서 회복기까지의 5단계로 구분

- 특허 출원 동향으로 파악한 기술시장 성장단계는 상기와 같은 다섯 단계로 구분할 수 있음. 태동기는 신기술이 출원하여 특허건수가 출원인의 건수 증가가 미미한 단계이고, 성장기는 관련 시장규모(또는 기대 시장규모)의 확대에 따라 출원인의 수와 출원건수가 함께 증가하는 단계임. 성숙기는 시장이 성숙되어감에 따라 경쟁에서 살아남은 기업만이 연구개발 활동을 하여 출원인이 감소하며 출원건수가 정체되는 단계이고, 쇠퇴기는 시장규모가 축소되면서 출원인과 출원건수가 모두 감소하는 단계임. 회복기는 일부 분야에서 나타나는 현상인데 새로운 모멘텀의 출현에 의하여 다시 연구개발 활동이 활발해지면서 출원건수와 출원인수가 다시 증가하는 단계임
- 인공지능 시스템 기술의 기술시장 성장단계를 파악하기 위하여 1996년부터 2015년까지 4년 단위의 구간으로 나누었으며, 각 구간은 1구간(1996년~1999년), 2구간(2000년~2003년), 3구간(2004년~2007년), 4구간(2008년~2011년) 및 5구간(2012년~2015년)임



<그림 3-14> 주요 출원국 기술시장 성장단계

세계적인 추세를 보면 현재 인공지능 관련 기술시장은 태동, 성장 단계에 있는 것으로 판단됨

- 인공지능 시스템 기술 분야의 전체 및 해당 국가의 기술위치를 포트폴리오로 나타낸 것으로, 전체 출원 중 최근의 출원 동향을 5개 구간으로 나누어 각각의 구간별 출원인 수 및 출원 건수를 나타내어 특허출원동향을 통한 기술위치를 살펴볼 수 있음
- <그림 3-9>에서 살펴본 바와 같이, 인공지능 시스템 기술은 1구간인 1996년부터 5구간인 2015년까지는 전반적으로 출원인수와 출원 건수가 증가하고 있으며, 5구간에서 출원인 수와 출원 건수가 급격하게 증가하고 있어 세계시장 관점에서 기술시장은 태동기와 성장기 사이로 분석됨

- [KIPO] 한국특허의 기술위치는 3구간까지는 출원인 수와 출원건수가 적었으나 이후 지속적으로 출원인 수와 출원 건수 모두 증가하고 있으며, 특히, 4구간과 5구간에서의 출원인 수와 출원 건수의 상승폭이 큰 것으로 분석됨
 - [USPTO] 미국특허의 기술위치는 1구간부터 5구간까지 출원인 수와 출원 건수가 지속적으로 증가하는 성장기에 있는 것으로 나타나며, 타 국가 대비 출원인수와 출원 건수가 월등하게 높은 것으로 분석됨
 - [JPO] 일본특허의 기술위치는 4구간까지는 출원인 수와 출원 건수가 증가하였으나, 5구간에서는 다소 감소하고 있는 것으로 나타나지만, 전체적인 출원 동향으로 보았을 때 최근 구간에서의 특허출원이 증가하고 있는 것으로 분석됨
 - [EPO] 유럽특허의 기술위치는 일본과 비슷하게 4구간까지는 출원인수와 출원 건수가 증가하였으나, 5구간에서는 다소 감소하고 있는 것으로 나타남. 유럽의 전체적인 특허출원 동향으로 보았을 때 최근 구간에서의 특허출원이 증가하고 있는 것으로 분석됨
 - [SIPO] 중국의 기술위치는 1구간부터 5구간까지 전반적으로 출원인수와 출원 건수가 증가하는 추세를 보이고, 특히 4구간 이후 급격하게 출원인수와 출원 건수가 증가하고 있는 것으로 분석됨. 향후 본 기술 분야에 대한 연구개발은 크게 증가할 것으로 예상됨
- 특허분석 결과 메모리 반도체 관련 분야에서 파생된 특허들이 차지하는 비중이 크고, 향후 뉴로닉 컴퓨팅 분야의 핵심 기술은 메모리 관련 기술이 될 것으로 전망
- 분석대상 기술분류체계: 인공지능 시스템 기술을 정량분석 대상으로 동향분석(정량분석)을 실시하였으며, 동향분석에서의 기술 분야와 심층 분석 기술 분야를 동일하게 적용
 - 출원인 기준으로 분석하며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있음. 따라서 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2016~2017년 출원된 특허는 그 정량적

의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 ~ 2015년 12월까지 한정함

- 유효특허는 아키텍처(AA) 154건, 뉴런 회로(AB) 203건, 시냅스 소자(AC) 169건 및 학습 알고리즘 설계(AD) 63건을 포함

<표 3-6> 분석대상 기술의 분류 체계

뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 구성하는 시냅스, 뉴런 회로 및 이를 구성한 아키텍처와 학습을 위한 알고리즘 설계로 분류함

대분류	중분류	검색개요 (기술범위)
차세대 인공지능 시스템 기술 (A)	아키텍처 (AA)	- 초저전력 인공지능 반도체의 기본구조를 정의하는 아키텍처, 구조, 설계와 관련된 기술
	뉴런 회로 (AB)	- 고집적 뉴런을 위해 회로, 칩, 프로세서, 가속기와 관련된 기술
	시냅스 소자 (AC)	- 시냅스 소자와 관련하여 회로, 메모리, 메모리스터 및 크로스바와 관련된 기술
	학습 알고리즘 설계 (AD)	- 초저전력 인공지능 반도체 구현을 위한 학습 알고리즘 설계와 관련된 기술

<표 3-7> 분석대상기술의 유효특허 모집단

미국 주도의 특허출원이 진행되는 모습을 확인할 수 있고 초창기 연구인만큼 학습 알고리즘 보다는 구성 요소 등에 연구가 집중되고 있음

대분류	중분류	유효특허 선별결과					
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	중국 (SIPO)	합계
차세대 인공지능 시스템 기술 (A)	아키텍처 (AA)	17	106	3	8	20	154
	뉴런 회로 (AB)	22	114	32	20	15	203
	시냅스 소자 (AC)	40	69	27	21	12	169
	학습 알고리즘 설계(AD)	4	34	4	2	19	63
총 계		83	323	66	51	66	589

4. 전문 인력 현황

- 미국의 경우 산업체를 중심으로 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 연구팀이 있으며, IBM과 TrueNorth 프로젝트를 수행하는 200여 개의 대학, 정부 연구소 등지에 3천여 명의 전문인력이 있는 것으로 추정
 - IBM
 - 뉴로닉 컴퓨팅 관련 연구 성과를 논문 발표 등을 통하여 비교적 상세하게 공개하는 IBM의 경우 다른 기관과 비교했을 때 상대적으로 현재 연구에 참여하고 있는 인력에 대한 정보가 풍부함.
 - IBM의 경우, 30명 정도의 박사급 연구원이 관련 연구를 수행 중(<https://resedit.watson.ibm.com/researcher/concepts.php>). 상변화 메모리, 멤리스터와 같은 차세대 메모리 소자와 공동연구를 하고 있는 인력 다수 포함됨. 전자공학, 재료공학, computational neuroscience 과 같은 다양한 분야의 연구원들이 참여하고 있음.
 - TrueNorth 프로젝트를 통해 협력하는 200여 대학, 정부 연구소, 사기업체의 인력을 포함할 경우 전체 연구인력 규모는 더욱 증가.
 - Google
 - TPU 하드웨어 설계 등에 100여 명 정도의 다양한 인력이 참여하여 연구 진행 중 (The 44th International Symposium on Computer Architecture (ISCA), 2017년 6월).
 - Intel
 - Intel CEO가 2017년도에 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 집중적으로 투자하고 있다고 언급한 것으로 보아 상당한 규모의 연구 인력이 참여하고 있는 것으로 추정됨 (출처: <http://www.pcworld.com/article/3168753/components-processors/intel-researches-tech-to-prepare-for-a-future-beyond-todays-pcs.html>).

- 중국에서 China Brain Project를 통해 다른 기술 선도국과 경쟁 보다는 보완하는 식으로 대응 전략을 마련을 목표로 하며, 수백여 명이 연구에 참여하는 것으로 추정이 되나 향후 폭발적으로 핵심 인력이 증가될 것으로 예상
 - Chinas first artificial brain(2008-2011) 프로젝트에서 The Artificial Brain Lab(ABL)은 약 20 명의 연구원들이 연구를 진행하였고, china brain project에 수백여 명의 전문 연구원들이 편성 되어 있을 것으로 예상
 - 인공지능 육성 3년 액션 플랜(2016~2018)에서는 바이두, 알리바바, 텡셴 등 대표적인 후보기업이 참여하고 있으며, 바이두는 연간 인공지능 연구원 200여 명을 더 고용할 계획을 밝힌 바 있음
 - 인공지능 관련 기업 및 투자 유치 등 미국에 이어 2 번째로 많이 있는 것으로 미루어보아 빠른 시일 내에 전문 인력이 폭발적으로 증가할 것으로 예상

제2절 국내 차세대 인공지능 시스템 현황

1. 국가 주도 프로젝트 현황

- 국내 인공지능 R&D 예산 현황은 소프트웨어 인공지능과 기초과학연구에 집중되어 있고 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능에 대한 투자는 현저히 낮은 상황
 - Exobrain 프로젝트, 딥뷰 프로젝트, AI 국가프로젝트 등 현재 추진 중인 국가 주도 프로젝트의 경우 대부분 소프트웨어 인공지능에 집중
 - 미래창조과학부가 발표한 2017년 인공지능기술 R&D 예산에 따르면 2016년 1,106억 원 대비 47% 증가한 총 1,630억 원 투입
 - AI SW(739억 원), AI HW(258억 원), 기초기술(633억 원) 총 3개 분야에 대해 총 1,630억 원 투입
 - AI SW: AI 국가전략 프로젝트(239억 원), 플래그십 프로젝트(145억 원), AI 로봇 융합(100억 원), 기타 AI R&D 주요 과제(255억 원)
 - AI HW: 지능형반도체(166억 원), 슈퍼컴퓨팅(62억 원), 뉴로모픽칩(30억 원)
 - 기초기술: 뇌인지·뇌공학 분야(618억 원), 산업수학(15억 원)
 - AI 소프트웨어(SW) (739억 원) 대비 슈퍼 컴퓨팅 분야를 제외하고 뉴로닉 컴퓨팅 시스템이라 할 수 있는 AI 하드웨어(HW) (196억 원)에 대한 투자는 현저히 낮은 상황
 - 더욱이 현재 진행 중인 뉴로닉 컴퓨팅을 위한 차세대 인공지능 시스템에 대한 R&D 예산의 경우 장기 프로젝트가 아닌 개인 연구자가 진행하는 단발성 프로젝트가 대부분
 - 유럽의 HBP, 미국의 Brain Initiative 등과 같이 국가 주도의 대형·장기 프로그램 필요

<표 3-8> 국내 AI 기술 예산 현황

기초분야, AI SW 대비 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 대한 투자가 저조함을 알 수 있고, 특히 AI SW에 대한 투자가 높은 증가율을 보임

기술 구분	'16년(A)	'17년(B)	증감(B-A)	증감률(%)
AI SW (언어시각지능, 차세대 추론 등)	407	739	332	81.6
AI HW (지능형반도체, 슈퍼컴퓨팅 등)	192	258	66	34.4
기초 (뇌인지, 뇌공학, 산업수학 등)	507	633	111	24.9
계	1,106	1,630	524	47.4

▶ 출처: 미래창조과학부 보도자료

○ 반도체 관련 국가 연구개발 사업 예산 지속적으로 감소

- 국내 반도체 관련 국가 연구개발(R&D) 사업 예산은 2011년 798억 원에서 2016년 356억 원까지 지속적인 감소 추세를 보이며 큰 예산 삭감으로 이어짐
- 이는 중국 기업이 정부의 대폭적인 지원을 업고 공격적인 글로벌 인수합병까지 하는 등, 반도체 산업 육성에 속도를 내며 중국의 '반도체 굴기'를 실현하기 위해 정책을 펼치는 것과는 대조적

<표 3-9> 국내 전자정보디바이스 산업원천기술개발 사업비 예산 추이

디스플레이와 LED·광 분야는 물론, 반도체 분야에 있어서도 국회 예산결산특별위원회가 정한 해당 분야 정부 예산은 지속적으로 감소함

(단위 : 억 원)

기술 구분	'11년	'12년	'13년	'14년	'15년	'16년
반도체	798	774	727	598	561	356
디스플레이	277	276	274	252	195	93
LED, 광	236	252	232	197	177	90
총 사업비	1,311	1,326	1,256	1,073	952	549

▶ 출처: 전자정보디바이스 산업원천기술개발사업 - 한국과학기술기획평가원

2. 산업 현황

- 국내 산업체들의 경우 주로 미국의 산업체, 대학들과의 기술협약으로 연구를 진행 중이며 산발적인 움직임이 있는 수준
 - 반도체 패키징·테스팅 기업 '네페스(Nepes)'는 2016년 8월 IBM 출신 엔지니어가 설립한 뉴로모픽 설계 기업 '제너럴비전(General Vision)'과의 기술협약(뉴로모픽 핵심 기술교육, 제품 개발 트레이닝 등)을 맺음
 - 또한 올해를 목표로 576개의 뉴런을 내장한 국내 최초 뉴로모픽 칩(모델명 NM500) 생산 및 개발을 발표하며 생산은 동부하이텍, 패키징은 네페스에서 진행함을 밝힘
 - 하지만 네페스의 기술은 제너럴비전 사의 뉴로모픽 기술을 라이선스해서 적용한 것으로 순수 국내 기술이 아님



<그림 3-15> 네페스와 제너럴비전의 기술협약 체결

▶ 출처: <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=8537>

- SK하이닉스의 경우 2016년 미국 스탠퍼드대학교(Stanford University), 반도체 장비업체인 램 리서치(Lam Research Corporation), 재료업체인 버숨 머티리얼즈(Versum Materials)와 함께 강유전체 물질을 활용한 '인공신경망 반도체 소자 공동 연구개발' 협약을 체결
- 공동연구를 통해 인공신경망 반도체 소자를 개발하고 이를 뉴로모픽 칩까지 발전, 궁극적으로 신개념 컴퓨팅 시스템 창출을 목표로 함



<그림 3-16> SK하이닉스, 스탠포드 대학교 및 램 리서치, 버숨 머티리얼즈의 공동 연구개발 협약 체결

▶ SK하이닉스 제공 (출처: <http://news1.kr/articles/?2800728>)

- 삼성전자의 경우 삼성종합기술원 산하 두뇌컴퓨팅 연구실을 중심으로 관련 연구가 진행 중인 것으로 알려져 있으나, 실제 생산 및 상용화를 위한 본격적인 연구 단계가 아닌 해외 기술 동향 분석 단계
- 종합적으로 고집적 고효율의 차세대 뉴로모픽 프로세서 개발을 진행 중이지만 현재까지 해외와 같은 국가 주도 정책 및 대형프로그램의 부재로 산발적이고 분열된 연구가 진행 중

3. 특허 현황

- 시냅스 관련 기술 위주로 연구, 시스템 아키텍처 구현 기술 미비
 - 인공지능 시스템 기술 분야 특허 분석 결과, 강점으로는 시냅스의 연구개발의 기본이 되는 메모리 기술에 관한 세계적인 수준의 기술력을 확보하고 있으며, 상대적으로 활발한 연구 성과물을 창출하고 있는 것으로 분석됨
 - 약점으로는 선진국 대비 기술인지도가 낮으며, 뉴로모픽 시스템의 아키텍처/뉴런/시냅스 기술에 관한 개발 플랜이 부족함. 외부적인 요인으로 4차 산업혁명에 따른 인공지능 반도체로의 가속화가 전망될 것으로 분석되며, 인공지능 시스템의 초기 단계로서 원천 핵심기술 확보의 가능성이 있음. 프로세서와 같은 비메모리 분야에 관한 연구는 산학연 모두 미미한 실정으로 연구개발 비용 및 시간이 소요될 것으로 보임
 - 국내 메모리 기술의 우수성을 적극적으로 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 분야의 특허를 출원하되, 시냅스 및 뉴런 소자/회로의 기술뿐만 아니라 아키텍처나 시스템 기술에도 집중하여 전략적으로 출원하여 원천기술에서 세계를 선도하는 정책을 만들어야 할 것임

- 한정된 소수 연구그룹만 특허출원
 - 우리나라의 경우, 삼성전자, 서울대학교, 포항공과대학교 중심으로 시냅스 소자 관련 기술을 중심으로 특허를 출원하고 있고, Qualcomm, IBM 및 Brain과 달리 특허 그룹 군이 형성되지 않아 특허 포트폴리오 형성에 미흡

- 미국에 이은 2번째 특허 점유율로 해외대비 약 16% 특허 경쟁력 보유
 - 주요 출원국의 내·외국인 특허출원현황을 살펴보면, 전체 뉴로닉 컴퓨팅 시스템과 관련한 특허출원 중에 미국출원이 55%로 가장 높은 점유율을 보이고, 그 뒤를 이어 한국출원이 16%의 점유율을 보였으며, 일본과 유럽출원이 각각 12%, 10%의 점유율을 보이고,

중국출원이 6%로 가장 낮게 나타남

- 본 기술 분야의 선도국에 해당하는 미국 대비 한국의 특허 점유율은 22.5%에 해당하였고, 각 기술분류 중에서 시냅스 소자(AC) 기술이 다른 기술보다 특허 경쟁력이 높은 것으로 분석됨

<표 3-10> 국외 대비 국내 특허 경쟁력

선도국인 미국에 비해 시냅스 소자에 대한 연구가 집중되어 있고 아키텍처의 경우 전무한 수준임. 시냅스 소자 연구의 경우도 서울대, 포항공과대학 등 개별 연구자의 연구 결과들로 확인됨

기술분류	검색개요 (기술범위)	
	선도국	한국 ²⁾
아키텍처 (AA)	미국(68.8%)	11.0%(0.8%)
뉴런 회로 (AB)	미국(56.2%)	10.8%(19.3%)
시냅스 소자 (AC)	미국(40.8%)	23.7%(58.0%)
학습 알고리즘 설계 (AD)	미국(54.0%)	6.3%(11.8%)
전체	미국 (54.9%)	13.0%(22.5%)

2) “00(00)은 선도국 대비 한국의 수준(한국의 지표값)”을 의미함

4. 전문 인력 현황

- 미국 등의 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야 선도국에 비해 전문 인력 부족
 - － 태동기, 성장기 사이의 해당 분야의 잠재력으로 보았을 때 현재 미국 전문 인력의 최소 10배 이상의 전문 인력에 대한 수요가 있을 것으로 예상되나 국내 산업체 및 대학, 연구소 등의 경우 이에 턱없이 부족한 실정임
 - － 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 연구를 진행하는 국내 대학기관의 석·박사 통합 관련 전문 인력은 약 70여명에 불과한 것으로 조사됨

<표 3-11> 대학별 전문 인력 현황

학교 \ 인력	박사후연구원 & 연구교수	박사과정	석사과정	총 인원
가천대	·	·	2	2
고려대	·	3	2	5
광주과학기술원	·	2	2	4
국민대	1	1	1	3
부산대	·	·	2	2
서울대	2	14	9	25
세종대	·	1	1	2
이화여대	1	1	1	3
포항공대	·	5	5	10
한양대	·	6	3	9
KAIST	·	4	3	7
총계	4	37	31	72

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야 전문 인력 양성을 위한 융복합형 교육 환경 부족
 - － 뉴로닉 분야 기술의 세계적 선도는 결국 훌륭한 전문 인력에 달려 있어, 체계적인 양성이 반드시 필요하나 현재 관련 인력의 수는 매우 부족하고 전문 교육 프로그램이나 적절한 교재가 부족함
 - － 뉴로닉 컴퓨팅은 소재, 소자, 공정, 회로, 아키텍처, 알고리즘, 뇌과학에 이르는 분야가 융합되어야 가능한 기술인데, 다양한 전공을 아울러서 인재양성을 할 수 있는 교육환경이 없음
 - － 또한 뉴로닉 컴퓨팅의 기술발전 정도에 따라 인재양성 프로그램도

- 달라질 필요가 있으나, 그러한 것을 반영하는 지원 프로그램이 없음
- 뉴로닉 컴퓨팅 분야 특허동향 분석에 의하면 이 기술은 현재 태동기 또는 성장기 수준이라 이 분야의 인재양성을 위해서는 국내외 학회에 많은 연구자를 파견하여 다양한 아이디어를 배울 수 있는 기회가 제공되어하나 지원이 부족

제3절 현황 진단 및 시사점 분석

항 목	현황 진단	시사점
기술의 필요성	<ul style="list-style-type: none"> 범용하드웨어 기반 인공지능 → 높은 전력 소모와 처리 속도의 한계 클라우드 기반 인공지능 서비스 <ul style="list-style-type: none"> → 서비스 이용을 위한 통신 환경 요구 → 사용자 맞춤형 환경 구축이 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 초저전력 인공지능 시스템 구현 필요 → 차세대 인공지능 시스템 <p style="text-align: center;">↓</p> <p style="text-align: center;">퍼스널 AI 플랫폼 구현</p>
선두 주자 가능성	<ul style="list-style-type: none"> (1세대) 미국, 유럽 : NPU, TPU 등의 시제품 기술력 보유 (2세대) 활발한 연구 대비 상용화된 기술 부재 <ul style="list-style-type: none"> → 글로벌 기술 선도국 부재 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 핵심 요소 → 메모리 반도체 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 활발한 국제 기술 협력을 통한 기술 격차 해소 필요 국내 반도체 기술을 활용한 세계 차세대 인공지능 주도 가능성이 높음
국내 정책	<ul style="list-style-type: none"> 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 국가 프로그램 부재 중소기업 & 스타트업 지원 전략 부재 인공지능 하드웨어 투자 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 관련 국가 프로그램 추진 필요 중소기업 & 스타트업 지원 → 사용자 맞춤형 인공지능 활성화 인공지능 하드웨어 집중 투자 필요
인력 양성	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 인공지능 교육의 부재 소프트웨어 기반 인공지능 대비 적은 인력 핵심 전문 인력의 해외 유출 문제 심각 	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 인공지능 인재 양성 교육 필요 인재 유출 대책 필요
반도체 산업 위기	<ul style="list-style-type: none"> 차세대 인공지능 중심의 반도체 시장 재편 국내 반도체 업체의 미미한 투자 	<ul style="list-style-type: none"> 메모리 반도체 시장 점유율 감소 → 국가 경제 위기
특히	<ul style="list-style-type: none"> 미국 주도의 기술 개발 중국 특허 출원 급증 	<ul style="list-style-type: none"> 메모리 반도체 기술을 활용한 IP 확보 필요 차세대 인공지능 관련 원천기술 확보 필요

<그림 3-17> 현황 진단 및 시사점 분석

□ 차세대 인공지능 시스템 기술의 필요성

- 범용하드웨어는 인공지능 알고리즘을 수행함에 적합하지 않은 구조로 되어있어 극심한 에너지 소모를 요구
 - 범용하드웨어 (GPU, CPU) 시스템은 프로세서와 메모리가 직렬로 연결되어 있어 대규모의 데이터를 처리함에 있어 속도가 느리고 높은 에너지를 소모함
 - 구글 딥마인드사의 알파고의 경우 이세돌과의 대국을 위해 약 1MW(CPU per 200W, GPU per 200W)가 넘는 높은 에너지 소모량을 보임
- 높은 에너지 소모로 인해 모바일 기기 지향 인공지능이 클라우드 기반 서비스로 제한되어 여러가지 한계를 지님
 - 클라우드 기반의 경우 반드시 통신이 가능한 상태에서 인공지능 서비스 이용이 가능하여 통신이 느리거나 제한적인 환경에서는 서비스 이용이 어려움.

- 다양한 데이터를 수집하고 반영하는 데는 클라우드 서비스가 효과적이거나 개별 사용자에게 특화된 인공지능 환경을 제공하는 데는 제약이 따름.
- 초저전력 인공지능 구현 및 모바일 지향 퍼스널 AI 환경 구현을 위한 뉴로닉 컴퓨팅 전용 하드웨어 개발 필요
 - 뉴로닉 컴퓨팅 하드웨어는 인간의 신경계를 모방하여, 그 구성요소인 뉴런과 시냅스가 대규모 병렬 구조로 되어있어 많은 양의 데이터를 초저전력으로 처리 가능
 - 초저전력 인공지능 구현이 가능한 경우, 클라우드 기반 인공지능 서비스를 넘어 개별 기기에서 인공지능 구현이 가능한 퍼스널 AI 환경이 구현 가능

□ 차세대 인공지능 선두주자(first-mover)로서의 가능성

- (1세대) 미국, 유럽 등의 국가에서 NPU, TPU 등의 상용 기술을 보유한 상황으로, 해외 연구 그룹 및 국가와의 적극적인 협력을 통한 기술 격차 해소가 필요
 - 현재 우리나라 교육과학기술부와 미국과학재단(NSF)가 추진하고 있는 한미나노포럼이 매년 개최되고 있으나, 국가적 차원의 차세대 인공지능 특화 기술 교류는 부족함
 - 국가 차원의 적극적인 국제 기술 교류 및 공동연구를 통해 빠르게 기술 격차 해소 필요
- (2세대) 현존 뉴로닉 컴퓨팅 기반 차세대 인공지능 시스템 연구는 낮은 완성도를 가져, 아직 선두주자로 도약 가능성 충분
 - 신경계 모방을 위한 필수 요소인 뉴런/연결 모델링 지원과 대규모 아키텍처 설계를 모두 탑재한 현존 시스템은 없음
 - 국외 여러 그룹에서 발표한 연구결과가 있지만 해당 기술이 일관성 있게 성장하지 못하고 한계를 가지고 있어, 선두주자로 도약할

가능성이 충분한 상황

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능에서 메모리 반도체는 핵심 기술로서 중요성을 가짐
 - 새로운 패러다임의 대규모 병렬구조를 가진 뉴로닉 컴퓨팅 시스템, 특히 인간의 뇌를 모방하여 하드웨어 기반 인공지능을 구현하는 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에서는 신경계의 핵심 요소인 시냅스와 뉴런의 모방이 필수적
 - 특히 시냅스는 인간의 기억과 정보처리를 동시에 담당하는 핵심 요소 중 하나로 알려져 있어, 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 구성에 있어 이에 대응하는 메모리 소자 기술이 중요
 - 압도적 우위를 차지하고 있는 메모리 반도체와 비약적으로 성장한 시스템 반도체 기술을 발판으로 차세대 인공지능 분야에서 선도적 역할을 할 수 있는 체계적인 전략과 지원 대책을 마련할 필요가 있음

□ 국내 차세대 인공지능 정책의 문제점

- 국가주도의 대규모 장기 프로그램 부재로 인해 기초 기반 기술부터 응용에 이르는 차세대 인공지능을 아우르는 융합 연구 진행 불가
 - 현재 진행 중인 차세대 인공지능 시스템 정책의 경우 총괄 프로그램의 부재로 개인 연구자가 진행하는 단발성 프로젝트가 대부분
 - 2011년 이후 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대 관련 국가 R&D 현황을 살펴보면, 미래창조과학부 27개, 교육부 11개, 중소기업청 2개 등 여러 부처에 분산되어 과제가 진행되고 있음
 - ▶ 출처: <http://rndgate.ntis.go.kr/>
 - 전체 연구 프로세스를 총괄하는 프로그램이 부재한 현 상황에서, 개개인의 단일 연구팀이 뇌와 같이 복잡하고 집적도가 높은 구조의 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 개발하기에는 한계가 있음
 - 기술의 성숙도가 초기단계이며 고위험도, 고수익(high risk, high

- return)형의 연구 특성상 단기 프로젝트로는 큰 성과를 기대하기 어려움
 - 차세대 인공지능 분야 선도를 위해서는 정부 주도하에 HBP, BRAIN Initiative 등과 같은 대규모, 장기 프로그램이 필요
- 학교, 연구소와 기업 간의 효율적인 연계 부족으로 뉴로닉 컴퓨팅 관련 연구가 실제 구현으로 이어지지 못하는 한계를 지남
 - 해외 대규모 프로그램에서는 국가 및 산학 연계를 통해 뉴로닉 컴퓨팅 기술 관련 연구가 활발히 진행 중
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술은 컴퓨팅 패러다임을 바꿀 수 있는 혁신 기술이지만 제작 설비가 없는 연구 주체는 실제 구현에 어려움이 있어 기업과 대학 및 연구소의 협력을 정부가 주도할 필요가 있음
 - 반도체 제작 및 설계에 대한 세계 최고의 기술을 보유하고 있는 기업들의 참여를 유도하여 차세대 인공지능 칩을 쉽게 제작할 수 있는 환경 조성 필요
- 새로운 인공지능 보급을 통한 세계화를 위해 중소기업 및 스타트업 활성화를 위한 정책 필요
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 경우 제작 난이도가 높아 후발주자에 대한 진입장벽이 높음
 - 다양한 소비자들의 수요를 소수의 대기업이 충족시키기에는 한계가 있음
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 활용한 다양한 애플리케이션을 활성화하고 이를 제품화하여 세계화하기 위해서는 중소기업 및 스타트업의 역할이 중요
- 대부분의 R&D 예산이 소프트웨어 인공지능에 집중되고 있고, 해외 인공지능 하드웨어 관련 투자 대비 부족
 - 과학기술정보통신부가 발표한 2017년 인공지능기술 R&D 예산에 따르면 총 1,630 억원 중 AI SW가 738 억원, AI HW가 258억원, 기초기술 633 억원임
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술이라 할 수 있는 AI HW의 경우 2016년의 192억원보다 66 억원 증가하였지만 여전히 AI SW에 비해 부족

□ 전문 인력 양성 문제점

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 필요한 창의 융합형 전문 인재양성 프로그램 부족
 - 기초학문부터 시작하여 반도체 재료, 공정, 소자, 설계, 아키텍처, 알고리즘, 소프트웨어 등 다양한 분야에 대한 전공별 교육은 활발하지만, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 필요한 다양한 전공의 전문지식과 이들 전공간의 지식 융합에 관한 교육 커리큘럼이나 프로그램 부재
 - 세계적으로 연구 개발 초기 단계로, 소프트웨어 기반 인공지능 분야에 비해 연구 개발 인력이 적어 국내 핵심 인력 양성 및 국외 인력 유치 정책 필요
 - 태동기나 성장기에 부합하는 인력양성의 방법으로 해외 관련 학회에 참여하여 관련지식을 다양하게 습득할 수 있도록 하는 정책이나 프로그램이 필요

□ 국가 주력 산업인 메모리 반도체의 위기

- 기업들의 투자가 새로운 설비가 요구되는 뉴로닉 컴퓨팅 기술 보다는 기존 메모리 관련 산업에 집중
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템은 기존 컴퓨팅 시스템과는 달리 프로세서(연산기)와 메모리가 동일 칩에 집적되는 등의 변화가 있어 기업에서는 새로운 공정개발이 요구되어 장기적 과제로 보고 투자에 관심이 적음
 - 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 기술은 기존 메모리 기술에서 소재, 소자, 공정, 회로, 아키텍처, 알고리즘 측면에서 획기적인 변화가 필요하여 투자 가능성이 낮음
 - 현재 DRAM 및 flash 메모리 관련 산업이 전 세계적으로 호황기를 맞으며 기업들은 단기적인 개발 및 증산에만 집중 투자
- 차세대 인공지능 중심의 반도체 시장 재편은 메모리 반도체 중심의 국가 경제에 큰 위협

- 1세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템인 NPU, TPU 등은 메모리를 포함한 프로세서로서 인공지능 발전에 따라 그 수요가 어느 시기까지 증가할 것으로 예상됨
- 주변국의 추격과 축소화의 어려움 등으로, 단품(stand-alone) 메모리 제품에 대한 시장 점유율이 감소할 것으로 예상
- 이에 대한 적절한 대책이 없을 경우, 현재 57% 이상을 대한민국이 점유하고 있는 메모리 시장을 상당 부분 잃을 것으로 예상
- 차세대 인공지능 중심으로 세계 반도체 시장이 새롭게 재편되고 이러한 흐름을 따라가지 못할 경우, 2015년 기준 10대 우리나라 수출품목 중 1위를 차지하고 있는 반도체 시장 점유율 감소로 이어져 국가 경제 악화 예상



<그림 3-18> 2016년 메모리 반도체, 시스템 반도체 시장 점유율

메모리 반도체 분야에서의 시장점유율이 약 60%에 달하지만, 시스템 반도체 시장 점유율에서는 해외 대형 기업들이 초강세를 띠

출처: <http://www.sedaily.com/NewsView/1ODE7I4Z2S>

<표 3-12> 2015년 10대 품목 수출액 및 증감률

우리나라 수출액 1위는 반도체로 반도체 산업의 시장 점유율 감소는 국가 경제 위기로 이어질 가능성이 있음

10대 수출품목 [단위 : 백만불]

	2014		2015	
	품목명	금액	품목명	금액
1위	반도체	62,426	반도체	62,717
2위	석유제품	50,784	자동차	45,794
3위	자동차	48,924	선박해양구조물 및 부품	40,107
4위	선박해양구조물 및 부품	39,886	무선통신기기	32,587
5위	무선통신기기	29,573	석유제품	32,002
6위	자동차부품	26,635	자동차부품	25,550

7위	평판디스플레이 및 센서	26,498	평판디스플레이 및 센서	21,915
8위	합성수지	21,691	합성수지	18,418
9위	철강관	19,144	철강관	16,458
10위	전자응용기기	9,800	전자응용기기	10,038
10대품목 수출액	-	335,363	-	305,586
총수출액 비중 (%)	-	58.6	-	58

출처: http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2455

□ 현황 진단 및 시사점을 통해 본 SWOT 분석



<그림 3-19> 국내 차세대 인공지능 시스템 기술 정책 SWOT 분석

- (SO 전략) 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 글로벌 선도국이 부재한 상황에서 우수한 메모리 반도체 기술을 활용하여 퍼스널 AI 플랫폼 개발
- (WO 전략) 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 연구 개발을 총괄하는 대규모 장기 프로그램 운영 및 투자 활성화
- (ST 전략) 메모리 산업 패러다임 변화에 대응하고, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 쉬운 제작 환경 조성을 위해 파운드리 산업화 추진
- (WT 전략) 산·학·연의 상호 보완적인 연구 환경을 조성하고, 미래 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 산업을 이끌어 갈 전문 인력 양성 및 유치

제4장 차세대 인공지능 (뉴로닉 컴퓨팅) 시스템 분야 선도 방안

제1절 비전 및 핵심목표



<그림 4-1> 차세대 인공지능 선도를 위한 추진체계도

□ 비전 차세대 인공지능 분야 선도

- 중장기적인 기술 개발 투자를 통해 향후 대한민국이 차세대 인공지능 분야 선도
 - CPU, GPU와 같은 범용 하드웨어는 딥러닝으로 대표되는 인공신경망 알고리즘을 처리하기에 매우 비효율적임

- 이에 따라 범용 하드웨어 기반 인공지능은 고속, 저전력 동작을 함에 있어 한계점이 명확함
- 현재 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 분야는 기술개발의 초기 단계로, 특정 국가 혹은 기업이 압도하고 있는 상황이 아님
- 장기적인 안목의 기술 개발 투자가 이루어진다면, 향후 대한민국이 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 분야에서 선도적인 역할을 할 것으로 기대됨

□ 핵심 목표

- 인간 수준의 에너지 효율을 가진 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 개발을 통하여 개별 기기에 탑재 가능한 퍼스널 AI 구현 및 대중화
 - 범용 하드웨어 대비 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대의 경우 1/100, 2세대의 경우 1/100,000 정도의 저전력으로 클라우드 서비스를 넘어 퍼스널 AI 플랫폼 구현
 - 퍼스널 AI 구현을 통해 초저전력 구동이 필수적인 가정용 기기, 자율주행 자동차, 군사용 장비, IoT 기기 등에 활용

□ 3대 추진 전략

- 정부주도의 연구 지원 체계화를 통해 신속하게 차세대 인공지능 시스템 분야 선도
 - “뉴로닉(NeuronIC)” 프로그램 추진: 차세대 인공지능 관련 연구 프로세스를 총괄하고 방향성을 제시할 수 있는 국가 프로그램 추진 및 전문가로 구성된 프로그램 위원회 구성
 - 국제 기술 교류 추진: 정부주도로 차세대 인공지능 시스템 분야 관련 국제 기술 교류 및 국제 공동연구를 추진하고 지원하여 세계 시장에서

기술 선도를 위한 발판 마련

- AI 플랫폼을 구축하여 다양한 아이디어들을 구체화할 수 있는 발판을 마련하고, 세계시장에서의 표준기술화
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 파운드리화: 학교, 연구소, 중소·벤처 기업에서 우수한 국내 반도체 기술을 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 쉽게 제작할 수 있는 환경을 조성하고 퍼스널 AI 구현 기반 마련
 - 중소·벤처 기업 - 대기업 간 상생 생태계 조성: 국내 중소·벤처 기업과 대기업의 협력을 통해 표준화된 AI 플랫폼을 구축하고 중소·벤처 기업들이 활용하여 다양한 제품을 개발할 수 있도록 상생 생태계를 조성하고 이를 기반으로 세계시장에서의 표준기술화

- 차세대 인공지능 연구 활성화를 위한 미래 지향적 R&D 환경 조성
 - 산·학·연의 연구 역할 분담: 산·학·연 각 기관의 강점을 살려 상호보완적인 연구 환경 조성
 - 핵심 전문 인재 유치 및 양성: 부족한 인력보충을 위해 10년간 핵심 전문 인력 약 2,000명 양성을 목표로 하는 인재 유치 및 양성 프로그램 수립

□ 기술 개발 방향

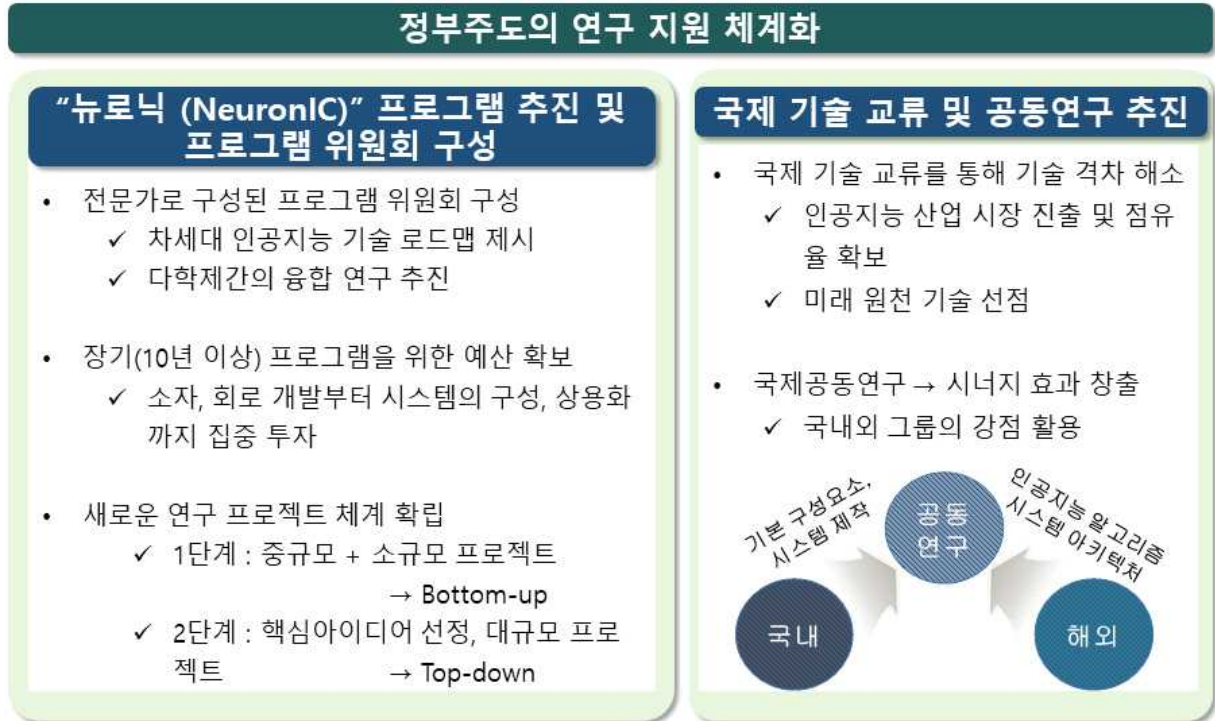
- 단기추진과제 : 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대의 기술격차를 줄이기 위한 메모리 기술 개선 및 디지털 회로 기반 시스템의 최적화
 - SRAM, DRAM, flash 등 기존 메모리가 가지고 있는 단점 개선을 통한 고대역폭(HBM), 저전력 소자 개발
 - 고용량·고집적 차세대 메모리 소자(3D-stacked DRAM, STT-MRAM, PRAM, 차세대 SRAM) 개발
 - 대규모 병렬 처리가 가능한 디지털 회로 기반 인공지능 시스템 최적화 모델 수립

○ 장기추진과제 : 시냅스와 뉴런을 모방한 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구조 설계

- 고집적 시냅스 소자 개발 및 시냅스 어레이 최적화
- 인공지능반도체에 최적화된 뉴런모델 연구 및 뉴런 어레이 최적화
- 효율적인 뉴런과 시냅스 어레이 연결 방법 모색 및 온칩 학습 구현
- 신경계 모델링을 통한 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구현

제2절 3대 추진전략

1. 정부주도의 연구 지원 체계화



<그림 4-2> 정부주도의 연구 지원 체계화 방안

- “뉴로닉(NeuronIC)” 프로그램 추진: 차세대 인공지능 관련 연구 프로세스를 총괄하고 방향성을 제시할 수 있는 국가 프로그램 추진 및 전문가로 구성된 프로그램 위원회 구성
 - 전문가로 구성된 프로그램 위원회를 구성하여 연구 방향성 제시
 - 각 분야의 전문가로 구성된 위원회를 통해 다학제 간의 융합 연구 추진
 - 차세대 인공지능 기술 로드맵을 제시하고, 주기적 업데이트를 통해 프로그램의 방향을 제시
 - 장기(10년) 프로그램을 위해 해외 사례와 비슷한 수준의 예산 확보
 - 예시) 미국(BRAIN Initiative, 한화 3조 4000억 원 규모), 유럽(HBP, 한화 1조 4000억 원 규모)
 - 예산 확보를 통해 차세대 인공지능 시스템의 기본 구성요소인 소자, 재료,

회로의 개발부터 시스템의 구성, 활용, 상용화까지 집중 투자

－ 연구 다양성 확보 및 차세대 인공지능 분야 선도 기술 개발을 위한 새로운 연구 프로젝트 체계 확립

- 현재 투자되고 있는 민간 연구 과제비 규모를 고려하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 각 세대에 예산을 분배하되, 연차가 지날수록 2세대의 비중이 커지는 형태의 연구비 운용
- 1단계 (1~5년차) : 연구 다양성 확보 및 가능성 검토를 위해 10개 내외 중규모 프로젝트(연 30억~40억 원 규모)와 다수 소규모 아이디어 탐색 과제(연 1억~2억 원 규모)의 동시 운용 (Bottom-up 방식)
- 2단계 (6~10년차) : 표준기술화 및 선도를 위해 가능성 있는 핵심 아이디어를 중심으로 기존의 연구 그룹을 재편하여 대규모 프로젝트(연 100억 원 이상)를 5개 내외로 진행 (Top-down 방식)

○ 국제 기술 교류 추진: 정부주도로 차세대 인공지능 시스템 분야 관련 국제 기술 교류 및 국제 공동연구를 추진하여 세계 시장에서 기술 선도를 위한 발판 마련

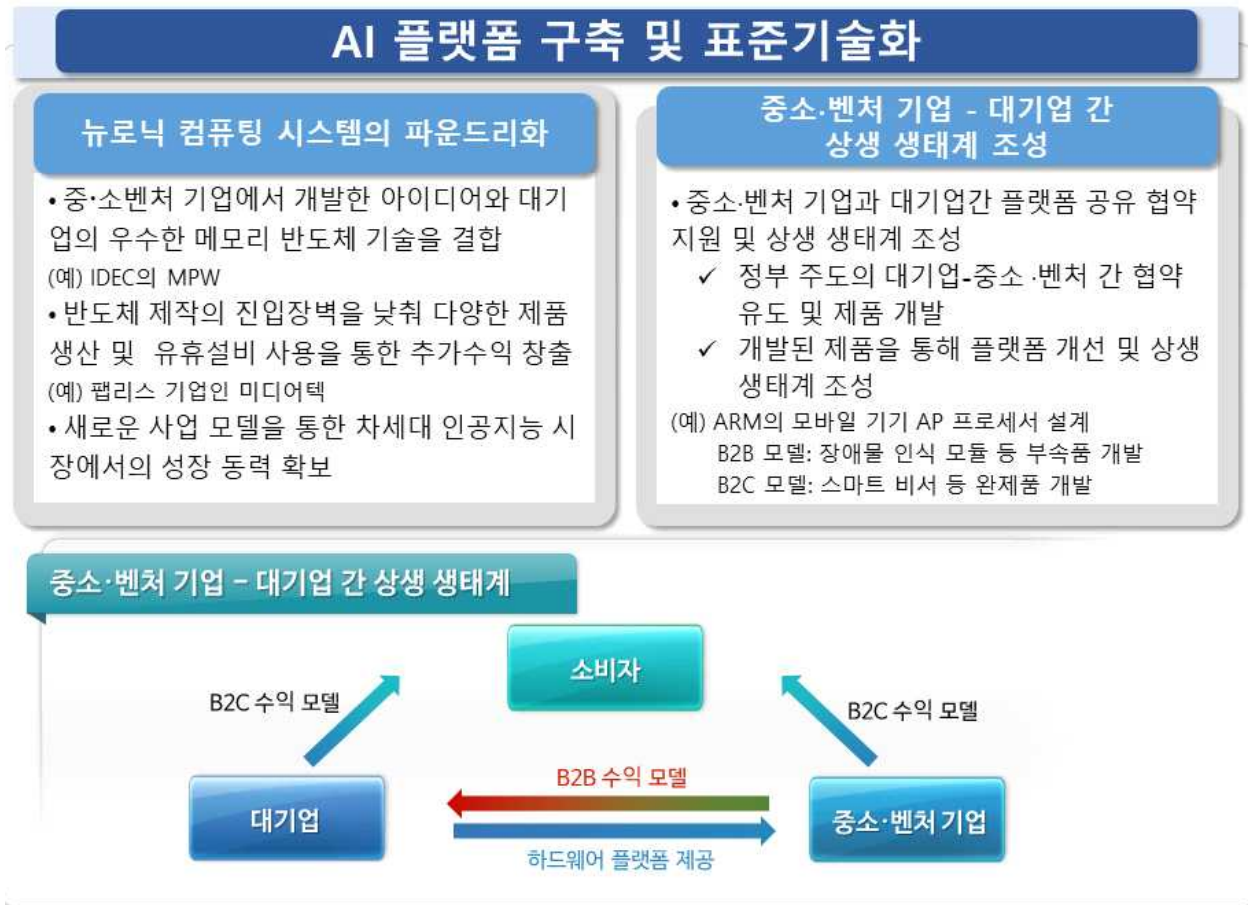
－ 범용하드웨어 기반 인공지능 기술은 이미 미국, 유럽 등 해외에서 선도 하고 있어 국제 기술 교류를 통해 기술 격차 해소

- 기술 격차 해소를 통해 인공지능 산업 시장에 진출, 시장 점유율을 확보하여 차세대 인공지능 시스템 경쟁력 확보의 발판을 마련
- 해외 기술 교류를 통해 해외 시장 동향 및 규모에 대해 미리 파악하고, 관련 특허 현황 파악을 통해 미래 원천 기술 선점 효과 증대

－ 시스템 설계, 알고리즘 개발, 소자 및 회로 공정기술에 강점을 가진 국내 및 해외 그룹과의 공동연구 추진을 통해 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 개발 역량 강화

- 국내외 여러 그룹이 공동으로 핵심아이디어를 고안하고, 각 그룹의 장점을 살려 아키텍처 설계와 시스템 제작
- 알고리즘 및 시스템 설계 기술을 토대로 차세대 인공지능 칩을 제작함으로써, 설계 역량을 강화하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 선도 기반 마련

2. AI 플랫폼 구축 및 표준기술화



<그림 4-3> AI 플랫폼 구축 방안

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 파운드리화: 대학, 연구소, 중소·벤처 기업에서 우수한 국내 메모리 반도체 기술을 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 쉽게 제작할 수 있는 환경을 조성하고 퍼스널 AI 구현 기반 마련
 - 대학, 연구소, 중소·벤처 기업에서 개발한 아이디어를 대기업의 우수한 메모리 반도체 기술로 구현함으로써 연구 개발 효율을 높이고 선도 기술 확보
 - 예) IDEC의 MPW(Multi-Project Wafer)의 경우 제작 능력이 있는 반도체 기업에서 매년 300여 개의 연구용 칩 제작 기회 제공

- 반도체 제작의 높은 진입장벽을 낮춰 중소·벤처 기업은 다양한 종류의 제품을 생산할 수 있고, 대기업의 경우에는 파운드리 또는 FPGA 형태의 학습가능 뉴로닉 집적회로를 통해 수익 창출
 - 예) 팹리스³⁾ 기업인 대만 미디어텍의 경우 벤처기업으로 시작하여 2016년 기준 10조 1600억 원의 매출을 기록
 - 다가오는 미래의 메모리 반도체 위기를 극복할 새로운 사업 모델로서 국가 경제 위기에 대비하고, 차세대 인공지능 시장에서의 성장 동력 확보
- 중소·벤처 기업 - 대기업 간 상생 생태계 조성: 중소·벤처 기업들과 대기업의 협력을 통해 표준화된 “AI 플랫폼”⁴⁾을 구축하고 이를 이용하여 다양한 제품을 개발할 수 있도록 상생 생태계 조성
- 중소·벤처 기업과 대기업간 플랫폼 공유 협약을 통하여 다양한 수요 충족 및 상생 생태계 조성
 - 대기업의 우수한 반도체 공정기술을 중소·벤처 기업에서 활용하여 다양한 수요를 만족하게 할 제품을 개발
 - 중소·벤처 기업에서 개발한 원천기술에 대한 지적 재산을 보장하고, 이를 사업화하여 생태계 조성
 - 예) ARM(Advanced RISC Machines)의 경우, 모바일 기기 AP(Application Process)를 직접 제조하지 않지만, 프로세서를 설계하고 라이선싱함으로써 전 세계 95% 이상의 점유율을 점함
 - 중소·벤처 기업에서 AI 플랫폼(뉴로닉 컴퓨팅 시스템 개발도구)을 이용하여 소비자들의 수요를 만족시킬 수 있는 제품을 개발하여 이윤 창출
 - 중소·벤처 기업들이 보유한 원천기술에 대한 아이디어를 위탁, 제작하여 실제적인 제품을 판매함으로써, AI 기반 다품종소량 생산 산업 전략을 채택

3) 반도체 제품을 직접 생산하지 않고, 설계 및 기술 개발을 하고, 생산은 100% 위탁 생산하여 제품을 판매하는 반도체 업체를 칭함.

4) 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 환경구현을 위한 기본 구성요소로 구성된 개발도구. 다양한 응용처에 따라 연결구조 변형이 가능.

- 예) 자율주행 자동차에서 사용 가능한 장애물 인식 모듈과 같은 부속품 개발을 통한 B2B 수익 모델 또는 개인 자산관리를 위한 스마트 비서와 같은 완제품 판매를 통한 B2C 수익 모델

3. 미래 지향적 R&D 환경 조성



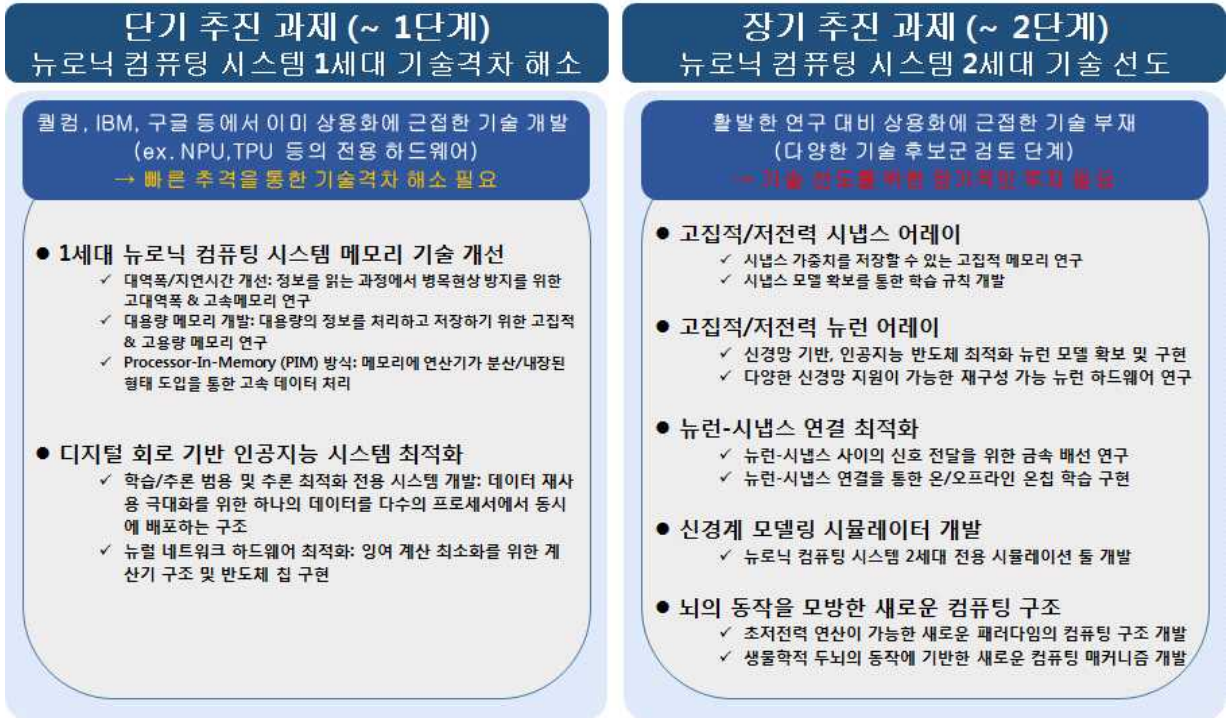
<그림 4-4> 미래 지향적 R&D 환경 조성 방안

- 산·학·연의 연구 역할 분담: 산·학·연 각 기관의 강점을 살려 상호보완적인 연구 환경 조성
 - 산업체는 1세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 집중하는 동시에 우수한 하드웨어 플랫폼을 학교, 연구소 등에 제공하여 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 연구에 활용되도록 장려
 - 학교는 차세대 인공지능 분야 개발에 필요한 뇌과학, 컴퓨터공학, 전자공학 등 다양한 분야의 기반 연구에 집중하도록 연구 프로젝트 지원
 - 연구소는 다양한 전공의 박사급 전문 인력을 활용한 학제 간 낮은 문턱을 통해 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 필요한 융합 연구를 진행하도록 전담 연구팀 개편

- 핵심 전문 인재 유치 및 양성: 부족한 인력보충을 위해 10년간 핵심 전문 인력 약 2,000명 양성을 목표로 하는 인재 유치 및 양성 프로그램 수립
 - 고급인력 유치 전략
 - 차세대 인공지능 기술 연구 투자 확대를 통해 고급 인력 유치를 하는 동시에 인재 유출 방지
 - 해외에서 고급인력에 제공하는 이상의 대우를 함으로써 해외에 유출된 고급인력을 자연스럽게 국내로 다시 유입시키는 유인책 사용
 - 핵심인재 양성 전략
 - 차세대 인공지능 분야의 핵심 전문 인력은 뇌과학, 컴퓨터공학, 전자공학, 신소재 공학 등의 다학제적인 지식을 갖추어야 하므로 융·복합형 인재양성이 필수적
 - 핵심 전공과 관련된 전문 지식과, 연관된 보조 전공 지식을 동시에 보유한 융합형 인재 양성을 위해 차세대 인공지능 협동 과정 신설
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 관련 융·복합적 연구 기관에 교육 예산을 지원하여 새로운 교육과정을 신설하고 핵심 전문 인력을 지속해서 양성
 - 대학에 투입되는 R&D 예산을 증액하여 다양한 기반 분야의 전공 지식을 갖춘 석·박사급 이상의 전문 인력을 지속적으로 양성

제3절 기술개발 방향

1. 기술개발 전략



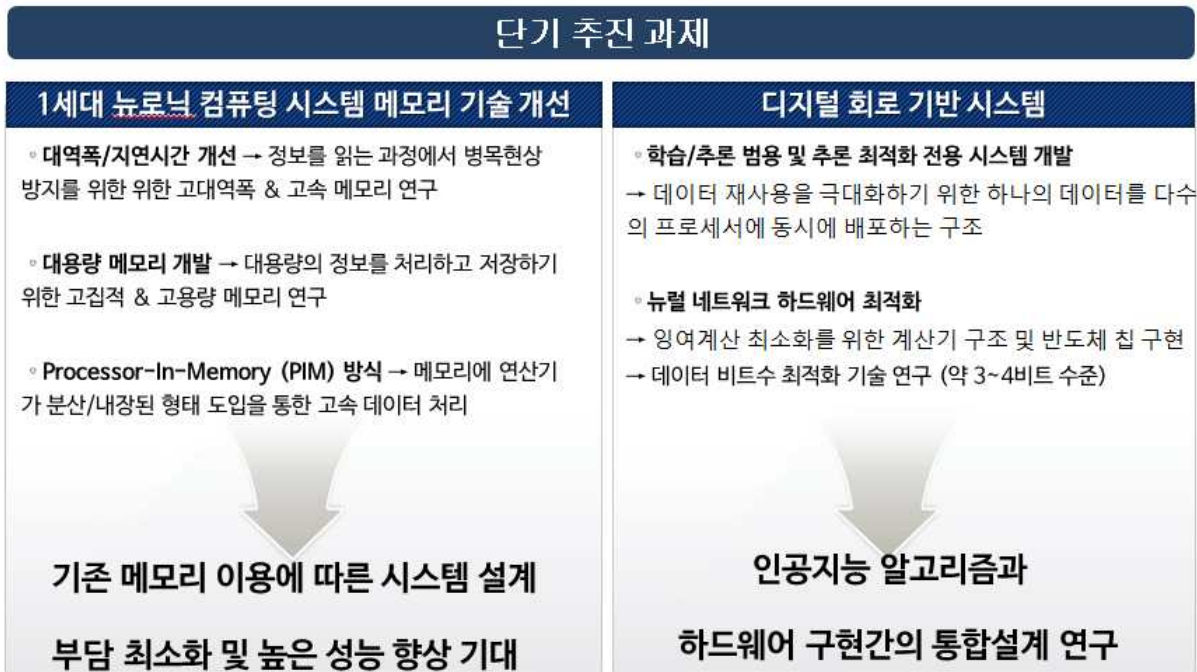
<그림 4-5> 차세대 인공지능 분야 선도를 위한 단계별 기술개발 전략

- 차세대 인공지능 분야의 선도를 위한 기술개발 방향은 기술의 성숙도에 따라 단기추진과제와 장기추진과제로 구분하여 진행되어야 함
 - NPU, TPU 등을 활용하는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대 기술은 이미 퀄컴, IBM, 구글 등과 같은 기업에서 기술개발이 되어 있는 시점으로, 향후 5년 내에 기술 격차를 좁혀야 하는 분야임
 - 실제 신경계를 모방하는 새로운 패러다임의 신경망 집적회로를 활용하는 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대 기술은 아직 선도그룹이 없고 다양한 후보군의 기술이 검토 중인 초창기라 할 수 있으며, 향후 10년 이상을 내다보는 장기적인 투자가 요구되는 분야임

- 단기추진과제는 뉴로닉(NeuronIC) 프로그램 1단계(1~5년 차)에서 달성해야 하는 기술 목표로, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대의 기술격차를 줄이기 위한 과제로 구성해야 함
 - SRAM, DRAM, flash 등의 기존 메모리 기술을 개선하여, 병목 현상 해소를 위한 고대역폭/고집적도 메모리 반도체 소자 개발
 - STT-MRAM, PRAM 등의 차세대 메모리 소자를 활용하여 메모리 칩에 프로세서가 집적된 메모리(Processor In Memory, PIM) 개발
 - 하드웨어 기반 인공지능 가속기 구현 및 대규모 병렬 처리가 가능한 디지털 회로 기반 인공지능 시스템의 최적화 모델 수립

- 장기추진과제는 뉴로닉(NeuronIC) 프로그램 1, 2단계(1~10년 차)에 걸쳐 장기적인 안목으로 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대로의 패러다임 변화 및 기술 선도를 목표로 진행되어야 함
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대는 기존의 범용하드웨어와는 다른 새로운 패러다임의 기술로, 하드웨어 기반 신개념 인공신경망의 핵심구성요소인 시냅스, 뉴런의 구성 및 연결구조 연구와 이를 활용하여 뇌의 동작을 모방한 새로운 패러다임의 컴퓨팅구조 설계 연구 병행
 - 인공신경망에 최적화된 시냅스와 뉴런 개발 및 뉴런-시냅스 연결 최적화, 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 2세대를 위한 모델링 및 시뮬레이션 툴 개발
 - 뇌과학, 컴퓨터공학, 전자공학, 신소재 공학 등의 다학제적인 접근을 통해 뇌의 동작을 모방한 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구조 설계 연구

2. 단기추진과제

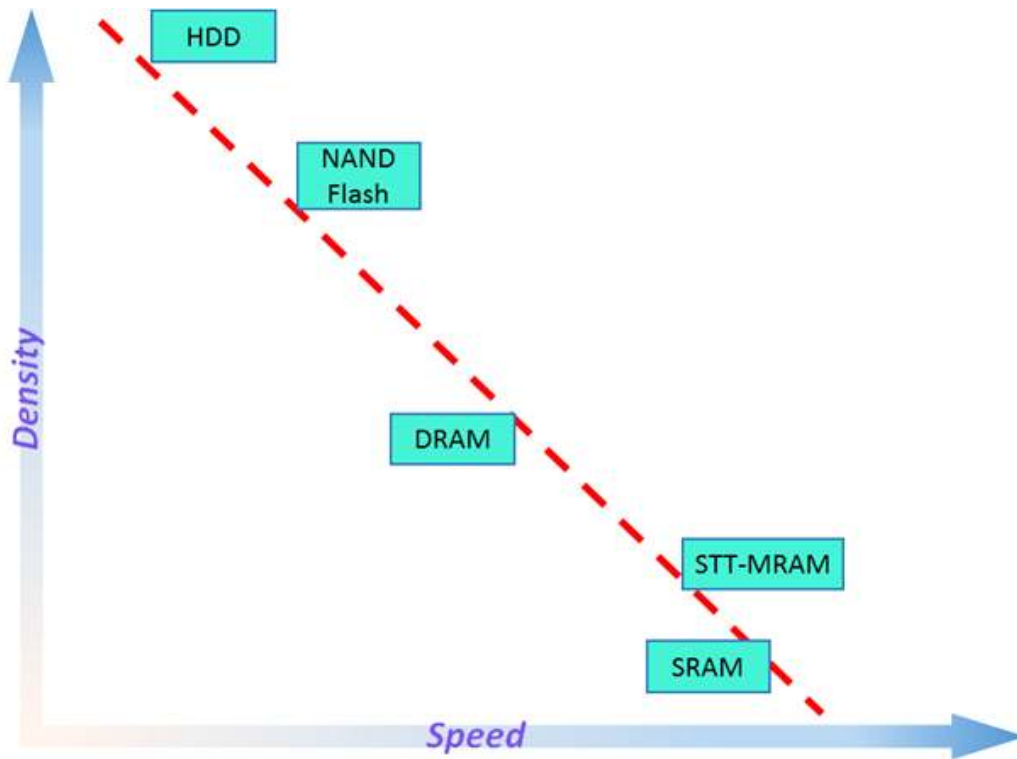


<그림 4-6> 차세대 인공지능 선도를 위한 단기추진과제
기존 메모리 및 디지털 회로 기반 시스템 구현 전략

□ 핵심 구성요소(Building Block)를 위한 고대역폭 메모리 반도체 소자 및 디지털 회로 기반 시스템

- 정보를 읽는 과정에서 발생하는 병목현상 방지를 위한 고대역폭(고속) 메모리 연구와 대용량의 정보를 처리하고 저장하기 위한 고집적(고용량) 메모리 연구 진행 필요
 - 인공지능 알고리즘은 대량의 데이터를 활용한 단순한 계산을 진행하는 것이 특징으로, 대용량/고속 데이터 전송이 필수적이거나 기존 메모리 기술의 경우 이에 미치지 못함
 - 메모리 기술에 따라 고속화 및 고집적화에 대한 기술개발 방향을 설정하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에서의 활용성 증대

- 기존 기술(메모리, 디지털 시스템)의 개선을 통한 고대역폭/고집적도 메모리 반도체 소자 개발
 - SRAM : 계산 중심 애플리케이션을 위한 고대역폭 온칩 메모리
 - 최근 여러 기업들에서 설계 중인 반도체칩에서 채용되는 수백 MB에 이르는 대용량 SRAM의 면적비용 및 전력소모를 줄이는 것이 핵심 경쟁력임
 - DRAM : 대역폭 및 지연시간 개선
 - 최근 종래의 컴퓨팅 시스템에서 런타임 백업 스토리지 역할로 널리 사용되어 왔으나, 낮은 대역폭 (low-bandwidth), 긴 지연시간 (high-latency)을 개선하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대에 적용
 - 중간 계층 SRAM을 이용한 예측적 데이터 프리페칭 기법 등을 도입하여 대역폭(bandwidth) 활용을 최대로 하고 지연시간(latency) 감소
 - flash : high-capacity, 비휘발성의 장점을 살린 flash
 - 중간 비휘발성 스토리지로 백업 스토리지 역할을 널리 사용되어 왔으며, 다른 비휘발성 저장장치 (예: 하드디스크) 에 비해 지연시간이 작음과 동시에 휘발성 스토리지 (예: DDR) 에 비해 용량(capacity)이 크다는 장점이 있음
 - 여전히 휘발성 저장장치와의 대역폭, 지연시간 갭으로 인해 병목의 요인이므로 시스템 백본 스토리지 역할을 수행할 수 있는 기술을 통해 개선



<그림 4-7> 여러 종류 메모리의 특성
여러 종류의 기존 메모리 집적도 및 동작 속도 비교

▶ 출처: EE Times, “Voltage-controlled MRAM”, 2013.

- 차세대 메모리 소자의 개선을 통한 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 특화 메모리 개발
 - High Bandwidth Memory (3D-stacked DRAM) : 높은 성능의 3차원 DRAM 기술 및 양산
 - DDR의 낮은 대역폭 문제를 해결하기 위해 제시된 3차원 DRAM 기술로써 이미 양산되어 활용되고 있으므로 단기 개발 목적에 부합
 - 차세대 메모리 이용에 따른 시스템 설계 부담을 최소화하면서 높은 성능 향상을 기대할 수 있음
 - STT-MRAM : 높은 집적도 및 짧은 읽기 지연시간(read latency)의 장점을 통한 차세대 메모리 소자
 - 가중치(weight)가 바뀌지 않는 추론(inferencing) 단계의 가중치 저장소로 도입 가능
 - 상대적으로 느린 쓰기(write) 속도의 개선 연구
 - Processor-In-Memory (PIM) 방식의 메모리에 연산기가 분산/내장된 형태의

구조 개발 가능

- PRAM : 비휘발성, 고용량메모리로써의 3차원 교차점 PRAM 상용화
 - CNN과 같이 주메모리 접근성능의 영향이 적은 시스템에서는 주메모리로 DRAM 대신 PRAM과 같은 비휘발성, 고용량메모리의 사용이 가능
 - 특히, 3차원 교차점(3D cross-point) 방식으로 최근 상용화 된 PRAM의 경우 DRAM 대비 비용 및 전력소비를 크게 줄이며, DRAM과 flash 메모리를 합쳐 하나의 메모리로 대체하는 form factor 장점이 있기 때문에 모바일, 임베디드 시스템에 적용될 가능성이 큼

- 대규모 병렬 처리가 가능한 디지털 회로 기반 인공지능 시스템 최적화 모델 수립
 - 하드웨어 기반 인공지능 가속기 구현
 - TPU, NPU 등의 하드웨어 기반 인공지능 가속기는 현재 여러 대기업에서 동시에 대규모 칩 설계가 진행되고 새로이 많은 스타트업이 생기는 아주 뜨거운 분야임
 - 기존의 플랫폼 (CPU, GPU)과 차별화된 인공지능 애플리케이션 특화 가속기 연구 진행
 - 두뇌 시뮬레이션에서 사용할 수 있는 다양한 모델 개발

 - 학습/추론 모두 수행 가능한 범용 시스템 및 추론에 최적화한 추론전용 시스템 개발
 - 추론전용 시스템의 경우 애플리케이션에 따라 다양한 크기의 온칩 메모리(예, AlexNet의 경우 1MB 수준, 4K 동영상에 대한 object detection의 경우 수십 MB)를 가짐
 - 학습/추론 그리고 추론전용 시스템 모두 데이터 재사용을 극대화하기 위해 하나의 데이터를 다수의 프로세서에 동시에 배포하는 구조를 공통적으로 채택함
 - 두 시스템 모두 인공지능망이 가지고 있는 잉여계산을 최소화하는 계산기

구조 및 반도체 칩 구현이 핵심

- 중단기적으로 데이터 비트수와 값의 분포를 최대한 이용하는 기술 연구
- 장기적으로 인공지능 알고리즘과 하드웨어 구현간의 통합설계 연구

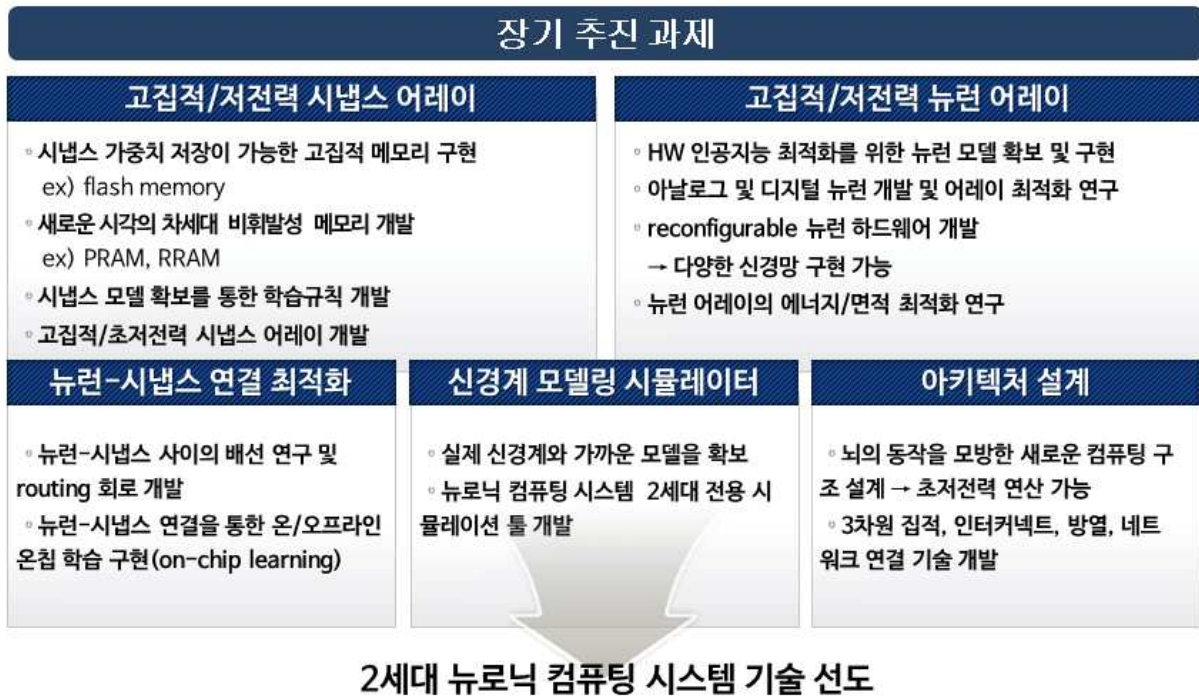
– 인공신경망 하드웨어 최적화

- 데이터 비트수 감소는 필요한 메모리 용량/대역폭 감소, 단위 면적당 구현 가능한 계산기의 수 증가라는 장점을 가지므로, 약 3-4비트 수준으로 줄일 수 있는 최적화기술 연구
- 인공신경망 상의 데이터 값은 0 또는 0에 가까운 작은 크기의 값이 아주 많은 특징을 가지므로 이러한 작은 값들을 이용하여 계산을 생략하거나 저비용으로 수행하여 가속기의 성능 및 에너지 효율을 높이는 기술이 최근 연구에서 발표되고 있으며 해당 기술의 고도화 방법에 대한 연구 진행
- 알고리즘/하드웨어 통합 설계는 알고리즘과 이에 맞는 하드웨어 설계를 동시에 진행하며 하드웨어 구현의 성능/비용/에너지 가능성과 알고리즘 상의 다양한 기능간의 통합적인 고려를 통해 최적의 시스템 전체 성능/에너지 최적화를 가능하게 함

– 대규모 병렬 처리 프로세서 개발

- 인간의 뇌 규모(10^{11} 개의 뉴런, 10^{15} 시냅스)를 처리하기 위해, 대규모로 확장이 가능한 병렬 처리 시스템 개발
- 뉴런 모델을 자유롭게 프로그램/재구성할 수 있는 회로 기술 연구를 통해 다양한 뉴런 모델을 지원

3. 장기추진과제



<그림 4-8> 차세대 인공지능 선도를 위한 장기추진과제
시냅스 소자와 뉴런 회로 연결을 통한 새로운 패러다임 컴퓨팅 구현

□ 고집적/저전력 시냅스 (synapse) 어레이 및 학습규칙 구현

- 학습 방식(온라인/오프라인)에 상관없이 시냅스 가중치를 저장할 수 있는 고집적 메모리 연구
 - 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기술의 핵심 변수인 시냅스 가중치를 저장할 수 있는 메모리 개발
 - 신경망에 존재하는 막대한 수의 시냅스를 제한된 면적에 구현하기 위해 기존의 SRAM을 대체 가능한 고집적/저전력 구동 메모리 필요할 것으로 예상
 - flash memory는 수직 적층화 기술이 이미 상용화되어 있으므로 정보의 면적밀도를 극대화할 수 있는 메모리이며 MLC (Multi-level cell) 구현이 가능하므로 매우 높은 정보밀도를 확보할 수 있어서

시냅스 가중치 메모리에 적합함

- 뉴로모픽 컴퓨팅 시스템에 부합하는 새로운 시각의 차세대 메모리 연구
 - 기존 시냅스 소자는 아직까지 이상적인 아날로그 시냅스 소자의 요구조건을 모두 만족하기에는 기술적인 한계가 있으므로, 이를 극복할 수 있는 신개념 시냅스 소자의 연구 개발
 - 수직 적층형 flash memory의 단점 (느린 응답속도)을 보완할 수 있는 차세대 메모리의 개발은 인공지능반도체 장기추진방향에 필수적
 - 상변화메모리 (PRAM: Phase-change Random Access Memory)는 메모리 정보밀도를 극대화 ($4F^2$ 디자인룰)할 수 있을 것으로 예상되며 MLC 구현이 가능할 것으로 예상되므로 인공지능반도체의 시냅스 가중치 저장매체로 적합할 것으로 예상됨. 다만 메모리 상태의 시간에 따른 변화를 근본적으로 개선할 필요 있음.
 - 저항변화메모리 (RRAM: Resistive Random Access Memory)는 X-point 시냅스 소자구현에 적합하고 3-D 구조로 초고집적화가 가능한 장점이 있음. 아날로그시냅스의 다양한 요구조건을 만족하기 위한 소재/소자 수준에서의 연구 개발.

○ 온라인학습용 시냅스 학습규칙 개발 (시냅스모델 확보)

- 반도체칩 상에서 스스로 시냅스 가중치를 최적화할 수 있는 학습규칙 개발
- 초저전력 심화학습 가속기 반도체칩을 구현하기 위해, 역전파 알고리즘을 시냅스 메모리 소자의 쓰기 방식을 이용하여 효율적으로 구현하는 방법 개발
- 새로운 패러다임의 신경망을 구현하는 반도체칩을 위해, 기존 신경과학에서 제안된 학습규칙 (Hebbian rule, spike timing-dependent plasticity, spike rate-dependent plasticity 등)을 추상화하여 제한된 수의 변수를 이용한 학습규칙 개발

○ 고집적/고기능성 단위 시냅스 개발 및 시냅스 어레이 최적화

- 고집적/고기능성 단위 시냅스 개발

- 시냅스의 수는 뉴런 수의 1000~10000배 정도 되어야 하므로 시냅스 모델을 단일 소자로 구현하는 기술 연구
- 추가적인 외부회로 없이 뉴런에서 오는 신호만으로 시냅스 가중치를 변화시킬 수 있으며, 메모리로서 가중치를 장기 저장할 수 있어야 함
- RNN 등 시간에 따른 변화에 대응하는 신경망 구현을 위해서는 단기기억 (short-term memory)의 구현도 가능해야 함
- 대규모 synapse 집적 어레이에서 신뢰성을 보장할 수 없는 synapse 소자에 대한 연구 개발은 지양되어야 함

— 단위 시냅스로 구성된 시냅스 어레이 최적화

- 단위 시냅스 학습에 필요한 학습 변수는 여러 단위 시냅스 사이에 공유될 수 있으므로 이를 고려한 시냅스 어레이의 구조를 최적화 필요
- 생물학적 뉴로모픽 시스템을 모방하기 위해 초고집적 시냅스 어레이 구현을 위해 3차원 적층형 시냅스 어레이에 대한 연구 개발 진행
- 기존 크로스바 어레이를 통해 가중치합산을 해결하면서 이를 3차원 적층형으로 구성함으로써 다층 어레이 구현
- 뉴런회로와의 연결 및 데이터 처리 시 전력손실과 전력소모를 최소화할 수 있는 시냅스 어레이 구성에 관한 연구 개발
- 클라우드 컴퓨팅에 사용될 뉴로모픽 컴퓨터의 시냅스 메모리 소자는 다량의 데이터를 처리하기 위해 빠른 읽기 쓰기 속도가 매우 중요
- 현재 가장 유력한 뉴로모픽 컴퓨팅 구조 후보군에서 요구되는 특성을 모두 엄밀하게 만족시키는 시냅스 메모리 소자는 아직 없으므로 다양한 메모리 소자에 대한 연구 필요

● ITRS Roadmap



* ITRS : International Technology Roadmap for Semiconductors

<그림 4-9> 시냅스 소자에 요구되는 특성
멀티 레벨 동작, 전력 소모 및 집적도 등 여러 종류의 요구 특성

□ 저전력 동작 가능한 뉴런 모델 확보 및 뉴런 어레이의 면적/에너지 최적화

○ 신경망 기반 인공지능반도체에 최적화된 뉴런모델 확보

- 뉴런은 다층 신경망에서 계층별로 입력을 받아 미리 정의된 연산을 수행한 후 그 결과를 출력하는 프로세싱 유닛으로서, 수행하는 연산에 따라 신경망의 형태를 정의하는 중요한 의미를 가짐
- 기존 신경과학에서 제안된 뉴런모델은 매우 다양하며 실제 뉴런과의 유사성에 비례하여 모델의 복잡도가 증가하므로 뉴런 모델을 최적화할 필요가 있으며 요구되는 특성은 아래와 같음
- 뉴런을 구성하는 하드웨어는 복잡한 기능을 수행하기 위한 정확성과 전력 소모 최소화를 위한 단순성 사이에서의 trade-off를 고려하여 구현되어야 함

- 초저전력 심화학습 가속기 반도체칩에 사용될 뉴런 회로는 심화학습의 틀 내에서 뉴런에 요구되는 연산들을 초저전력으로 정확히 수행해야할 수 있도록 설계하는 것이 중요함
- IF (Integrate-and-Fire) 뉴런모델 및 LIF (Leaky Integrate-and-Fire) 뉴런모델은 뉴런동작의 기본모델로 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 단위 뉴런의 기본 특성으로 평가됨

– 뉴런모델 연구 개발 방향

- 온라인 학습 기능은 뉴런 내부에 추가로 포함되어야 하나, 추론에 비해 난이도가 훨씬 높은 하드웨어의 구현이 필수적으로 요구되어 신경망 종류에 따른 가변성과 오프라인/온라인 학습의 지원 여부에 따라 연구 개발 방향을 설정해야 함
- 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 응용분야에 따라 뉴런의 동작 활동도 (activity)를 달리할 필요가 있으며 활동도에 따라 뉴런회로 설계를 달리해야 함

○ 아날로그/디지털 뉴런 연구 및 뉴런 어레이 최적화

– 아날로그 뉴런 연구 개발 방향

- 입력 조건에 따라 항상 재현 가능한 안정적인 스파이크의 생성이 가능한 회로 및 소자의 연구
- SNN 신경망에서 생체 모방에 중점을 둔 conductance 기반의 효율적 뉴런 회로 연구
- 다양한 발화현상을 정해진 소수의 파라미터들의 값으로 기술 가능한 가변성 측면에 중점을 둔 뉴런 모델의 하드웨어 구현
- 반도체 공정이 미세화 될수록 악화되는 아날로그 회로의 최대 약점인 공정/온도/전압 변화에 둔감한 특성을 갖는 공정 및 회로 개발
- 모든 뉴런들의 특성 균일화를 위한 개별 뉴런의 랜덤 오프셋 제거 및 발화율 이득 불균일에 대응한 자체보정 회로 기술 연구

– 디지털 뉴런 연구 개발 방향

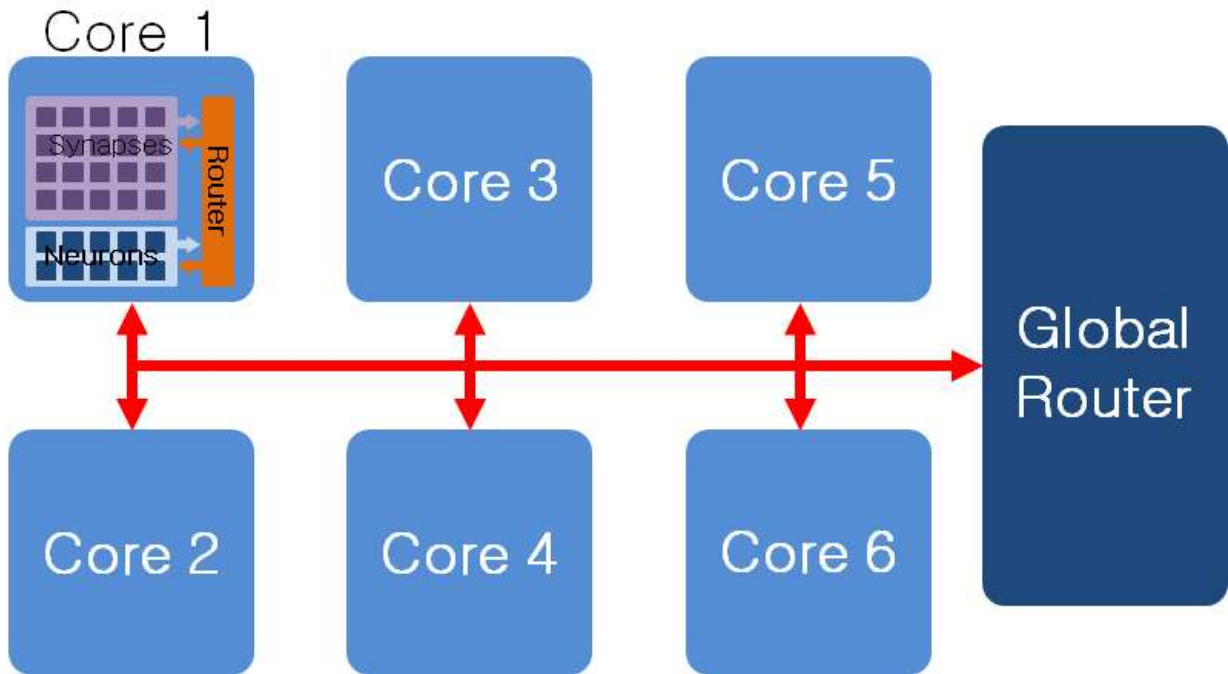
- 정확한 결과 예측이 가능한 디지털 방식의 강점을 극대화시키기 위해 소프트웨어를 통해 모든 프로그래밍이 가능한 파라미터-정의 뉴런 프로세서 구조 연구
- 이를 확장하여 CNN, RNN, DNN, LSTM 등 다양한 신경망을 지원할 수 있는 재구성 가능한 뉴런 하드웨어 구조 연구가 가능함
- refractory 기간, neuronal 지연, 멤브레인 누설과 같은 생체뉴런 현상의 효율적 기술 방법 연구
- 누설전류 감소화 및 저전력 소모를 위한 설계 연구 (디지털 방식은 아날로그 방식에 비해 훨씬 많은 트랜지스터들로 구현됨)
- 시냅스 메모리 소자의 형태에 따른 어레이 읽기/쓰기 용 혼성모드 디지털 회로 연구

– 단위 뉴런으로 구성된 뉴런 어레이 최적화

- 각 뉴런 간 동작에 관여하는 일부 변수를 공유할 수 있는 뉴런 어레이의 설계 연구
- 뉴런 어레이가 점유하는 면적을 최소로 유지하면서 뉴런의 기능을 구현하여 집적도를 높일 수 있도록 해야 함

○ 뉴런 기본 동작원리(IF/LIF)의 에너지/면적 효율화

- 시냅스 전 뉴런 (pre-synaptic neuron)으로부터 전달된 전압신호를 모으는 적분기 (integrator)의 소형화 및 적분기의 결과 값에 따라 활동전위 (action potential)를 생성하는 에너지/면적 효율적인 회로설계 연구
- 뉴런 회로 상에서 신호를 합하는 역할을 하는 capacitor는 회로 설계상 많은 면적을 차지하므로 고집적도를 위해 이를 줄일 수 있는 방안 연구
- 회로 상 존재하는 잡음요소를 뉴런 동작의 잡음 (이웃한 활동전위 간격의 불규칙성)으로 변환하는 회로설계 연구
- 재료의 원자수준에서 구현한 뉴런동작 변수는 단위 뉴런의 초고집적화를 가능하게 할 것으로 예상함



<그림 4-10> 신경망 routing 아키텍처

뉴런 및 시냅스 어레이를 router를 통해 연결하여 코어를 구성하고, 코어 간에는 글로벌 router를 통해 상호 연결

□ 뉴런-시냅스 어레이 연결 최적화 및 학습 알고리즘 개발을 통한 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 칩 구현

○ 뉴런과 시냅스 어레이의 연결 최적화

— 뉴런과 시냅스 어레이의 연결

- 뉴런과 시냅스를 금속배선을 이용해 연결하는 방법이 가장 기본적인 방법임
- router를 이용하여 뉴런과 시냅스 사이 신호전달을 할 수 있으며 (예: Address Event Representation) 이 경우 뉴런과 시냅스의 연결은 router를 거치게 됨
- routing 회로가 추가로 필요하나 신경망 구성의 용이함 시냅스 어레이의 크기를 유연하게 조절할 수 있는 장점이 있음

— 뉴런과 시냅스 어레이의 연결 최적화 방안 연구

- 뉴런과 시냅스의 연결은 다양한 방법이 있으며 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 규모 및 단위 뉴런 당 시냅스의 연결 수 등에 따라 최적화된 방법을 적용해야 함
- 확장형 뉴로모픽 시스템에서 임의의 뉴런 간 연결 상태를 정의하는 글로벌/로컬 라우팅을 위한 아키텍처 연구
- 시냅틱 입력의 총 합산을 수치화 하여 다음 뉴런에 전달하기 위한 전류-디지털 변환 연구
- 발화율 및 타이밍의 인코딩을 위한 주파수-디지털, 시간-디지털변환 회로
- 인접한 뉴런들 사이에서 비선형 풀링의 구현을 위한 효율적인 winnertake-all 회로 연구
- 아날로그-디지털 변환 특성의 선형화 및 재현성을 고려한 신뢰성 개선 연구

○ 뉴런 회로 구조 연구를 통해 온/오프라인 온칩 학습 구현

— 오프라인 학습

- 효율적 배치학습을 위한 효율적 로컬 메모리 사용 방법 연구
- 감독 (supervised) 학습 수행을 위한 backpropagation 가능 뉴런 회로 구조 연구
- 비감독 (unsupervised) 학습 수행을 위한 restricted Boltzmann Machine (RBM) 가능 뉴런 구조 연구

— 온라인 학습

- 온 칩 강화 (reinforcement) 학습 수행을 위한 효율적 로컬 메모리 사용 및 뉴런 회로 연구
- SNN에서 spike-timing-dependent plasticity (STDP) 수행을 위한 시간차 처리 뉴런 구조 연구

□ 신경계 모델링 및 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 전용 시뮬레이션 툴 개발

○ 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 위한 신경계 모델링

- 단순히 기계를 통하여 인간의 지능을 흉내 내는 것에 목표를 두지 않고, 사람의 두뇌를 이해, 분석 및 모델링하는 것에 목표를 두고 연구를 진행해야 함
- 그러기 위해서는 뉴런과 시냅스의 집적도, 저전력 구현에 집중하는 한편, 그 핵심 기능을 충실히 모방할 수 있는 하드웨어를 만들어야 함. 알고리즘/디지털 회로/아날로그 회로 및 소자 등을 통하여 화학적/전기적 시냅스의 동작 메커니즘과 뉴런의 동작 메커니즘을 효과적으로 모델링해야 함

○ 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 위한 새로운 시뮬레이션 툴 개발

- 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능의 장기추진과제는 사람의 두뇌구조를 자세히 분석할 수 있는 시뮬레이터 개발이 우선되어야 함
- 기존 기계학습 알고리즘과 별개로, 사람의 학습 알고리즘을 찾기 위하여 뉴런과 시냅스로 이루어져 있는 시뮬레이터 개발
- 신경모방 소자 및 어레이의 크기가 증가하면서, 이를 SPICE와 같은 회로 시뮬레이터로 시뮬레이션 하고자 하면 회로의 크기에 비례하여 시뮬레이션 소요 시간이 많이 필요하게 되므로, 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 소자 어레이 전용 시뮬레이션 툴 개발

□ 뇌의 동작을 모방한 새로운 패러다임의 컴퓨팅 구조 설계

○ 기존 컴퓨팅 메커니즘의 한계 및 새로운 패러다임의 컴퓨팅 메커니즘 연구를 통해 새로운 컴퓨팅 메커니즘 개발

- 현재 반도체 시스템을 기반으로 한 인공지능 시스템 기술은 물리적

한계로 인해 인간의 뇌의 인지 능력과 전력 소모량에 미치지 못할 것으로 예상되므로, 기본 소자로부터 회로 및 아키텍처, 그리고 컴퓨터가 정보를 수집하고 처리하는 방식까지 전 레벨에 걸쳐 혁명적인 패러다임의 변화를 가져올 수 있는 연구 개발

- 이러한 전 방위적 연구를 위해서는 뇌과학, 컴퓨터공학, 전자공학, 신소재 공학 등의 다학제적인 접근이 요구
- 영역별로 특화된 컴퓨팅 패러다임은 넓은 응용에 쓰일 수 있지만 성능이나 전력 소모 면에서 약점이 있는 기존 범용 컴퓨팅 시스템과, 반대로 성능이나 전력소모 측면에서는 장점이 있으나 특정 응용에만 국한되어 사용될 수 있는 application specific integrated circuit (ASIC)의 장단점을 적절히 조화시키는 것이 특징
- 새로운 컴퓨팅 메커니즘에 필요한 기술
 - 인간의 뇌기능을 조금 더 유사하게 모사하기 위한 많은 수의 뉴런과 시냅스 소자를 3차원적으로 집적하고 연결할 수 있는 3차원 반도체 집적 시스템에 대한 연구
 - 3차원 반도체 소자 집적 기술, 인터커넥트 기술, 방열 기술, 3차원 반도체 설계 및 검증 기술 연구
 - 많은 수의 뉴런들을 연결하기 위해 특화된 network-on-chip 기술 개발
- 새로운 컴퓨팅 메커니즘의 최적화
 - 인공 지능 응용에서는 많은 양의 데이터 통신이 요구되므로, 메모리에 가까운 위치나 또는 메모리 내부에 컴퓨팅 블록을 배치함으로써 성능 및 전력 소모를 줄이는 Processing-in-Memory (PIM) 기술에 대한 선도 연구
 - 특히 우리나라가 세계 최고 수준의 기술력을 가지고 있는 메모리 기술의 우월성을 극대화하기 위해, 기존의 메모리 기술뿐만 아니라 차세대 메모리들의 특성에 최적화된 PIM 방식의 인공지능 하드웨어 기술 개발

- 전력 소모량의 최소화 및 실제 연산에 참여하는 뉴런만 전력을 소모하게 만들기 위한 event-driven computing에 대한 심층 연구
- 새로운 컴퓨팅 매커니즘 연구개발 방향
- 현재 뇌의 동작을 모방하는 뉴로모픽 시스템과 인식 응용에 생물학적 근거는 희박하여 수학적 최적화로 인식 문제의 해결 효율을 키우는 머신러닝 방식이 개별적으로 연구되는 경향이 짙음
 - 획기적인 인식 능력 향상과 전력 소모 감소를 위해, 새로운 구조에 대한 지도학습이 가능한 뉴로모픽 시스템이나 또는 생물학적 근거가 보강된 머신러닝 시스템 등에 대한 연구 개발
 - 대규모 뉴로모픽 하드웨어 개발을 위해 해당 시스템을 하이레벨에서 모델링할 수 있는 시뮬레이션 플랫폼에 대한 연구
 - 하드웨어를 사용자가 편리하게 사용할 수 있는 하이레벨 프로그래밍 방법, 작성된 프로그램이 하드웨어에 실제 적용될 수 있게 해주는 컴파일러 등의 소프트웨어 연구
 - 이미지나 음성 인식과 더불어 센서 네트워크, 로봇 등의 보다 더 광의적인 의미의 응용 분야들에 특화된 하드웨어 연구
 - 인공 지능 하드웨어 개발 시 성능 비교를 위해 다양한 종류의 benchmark가 제공되어야 함

제4절 기대효과



<그림 4-11> 차세대 인공지능 기술의 기대효과

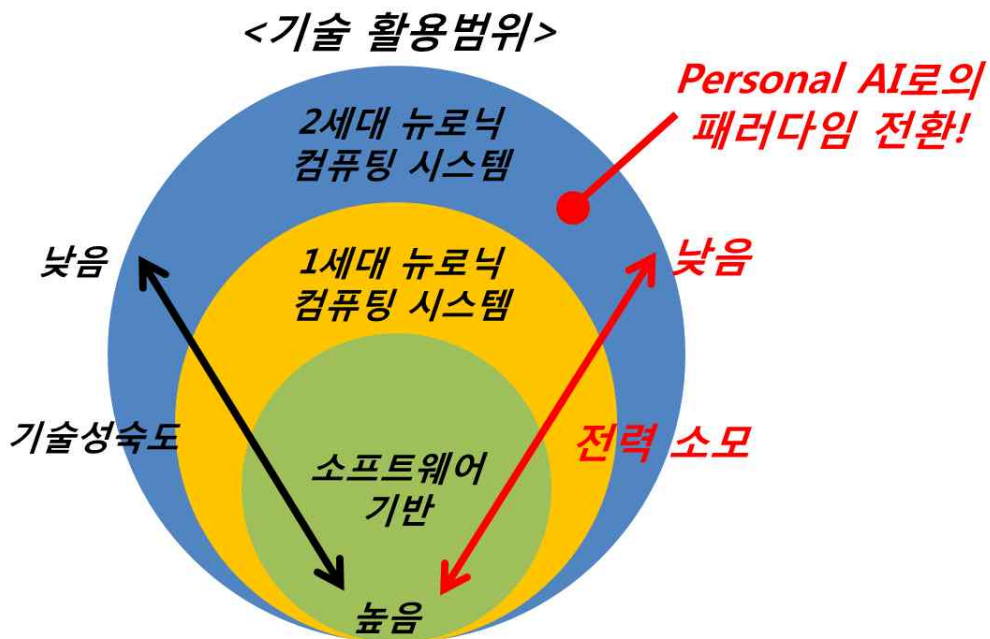
높은 에너지를 소모하며, 클라우드 컴퓨팅 기술로 가능했던 인공지능의 패러다임이 개별 모바일 디바이스로 확대되어 새로운 Personal AI 패러다임으로의 전환이 가능

- 인간 수준의 에너지 효율을 가진 초저전력 인공지능 패러다임
 - － 클라우드 방식의 인공지능이 주류를 이루던 기존의 패러다임에서 제품 스스로 인터넷 연결 없이 인공지능 구현 가능
 - － 높은 에너지 소모를 요구하던 기존의 시스템이 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능으로 대체되어 인공지능에 대한 접근성 향상
 - － 독립형 기기에 탑재하여 어디에서나 사용자가 직접 제어가 가능한 인공지능, 즉 퍼스널 AI로의 패러다임 전환
- 인공지능 기술 세계 시장 경쟁력 확보
 - － 세계적 우위에 있는 메모리 기술을 기반으로 차세대 인공지능 기술

분야에서 first-mover로 나아가기 위한 미래 산업 기반 구축 가능

○ 새로운 산업 및 시장 창출 가능

- 기존의 소프트웨어 기반 인공지능 기술을 활용하는 모든 분야에 대해 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 차세대 인공지능 기술 적용 가능
- 특히 초저전력 구동이 필수적인 가정용 기기, 휴대용 기기, 자율주행 자동차, 로봇, 인체 삽입 기기, 다양한 감시용 센서, 군사용 장비 등에 활용 가능
- 소프트웨어 기반 인공지능 기술의 한계를 극복하고 새로운 산업 및 시장을 창출하여 국가 경쟁력 및 삶의 질을 높이는데 기여
- 뉴로닉 컴퓨팅 기술은 초소형, 초저전력, 실시간 인지를 할 수 있는 특징이 있기 때문에, 이 기능을 기존의 기술 (예: 센서)과 융합되게 기술 개발이 가능하여 새로운 기능의 제품 개발 및 그에 따라 시장 창출



<그림 4-12> 차세대 인공지능 기술 활용범위 및 기대효과
2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템으로의 발전 방향에 따라 기술성숙도는 낮지만, 획기적인 전력소모 감축을 이룰 수 있어 기존 클라우드 컴퓨팅에서 벗어나 Personal AI 구현이 가능

○ 미래 인공지능 산업을 주도할 핵심 인력 양성

- 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반 인공지능 분야의 경우, 기존의 다른 분야와는 달리 소자, 회로, 설계, 컴퓨터 등 다양한 분야에 대한 이해도가 높은 융·복합적 인력을 요구
- 다가올 미래 인공지능 산업을 이끌어갈 핵심 인력을 미리 양성할 수 있는 시스템 및 제도적 기반 마련

○ 정보기술 분야에서의 국제적 위상 제고

- 세계 정보통신기술 (ICT)의 흐름을 이끌어 나가는 강국으로 도약함과 동시에 국제적 위상 제고 가능
- 미래의 새로운 인공지능인 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 분야에서 세계 표준기술화 주도 및 플랫폼 구축을 통한 인공지능 생태계 조성 주도

제5장 결론

□ 인공지능 시대의 시작

○ 범용하드웨어 기반 딥러닝 기술의 발전

- 제 4차 산업 혁명의 시작으로 인공지능에 대한 중요성이 부각되기 시작
- 특히 인간의 신경계를 모사하여 기억과 학습이 가능한 인공신경망의 발달로 인공지능 시대가 열림
- 인공신경망 관련 기술의 성장 속도가 가속화됨에 따라 관련 산업 시장 규모 또한 급속한 성장을 이루게 됨
- 이에 따라 인공신경망을 위한 데이터가 급증하기 시작하였고, 이를 위한 범용하드웨어 (CPU, GPU)의 발전도 동시에 이루어짐

○ 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 중요성 대두

- 높은 전력 소모와 초고속 데이터 처리에 있어 범용하드웨어의 한계점이 드러나기 시작하면서 새로운 컴퓨팅 시스템에 대한 필요성이 요구됨
- 뉴로닉 (neuron + electronic = neuronic) 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능이 그 해결책으로 제안되었고, 그 중요성이 대두

□ 차세대 인공지능 시스템 현황 분석

○ 차세대 인공지능 선두주자로서의 가능성

- 차세대 인공지능 (2세대) 관련 미국, 유럽, 일본, 중국 등 다양한 국가에서 활발하게 연구가 진행 중이나 아직까진 그 결과가 미미
- 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 경우, 실제로 상용화에 근접하거나 상용화 된 사례가 없음
- 차세대 인공지능 시스템을 구현함에 있어 메모리 반도체는 핵심요소

- 세계 1위의 메모리 반도체 기술을 보유하고 있는 우리나라는 관련 분야 세계 선도를 위한 기반을 확보한 상태
- 따라서, 미래 인공지능 산업의 패러다임이 될 차세대 인공지능 시스템에 대한 활발한 연구가 진행된다면, 선주주자로서 도약 가능성이 충분

○ 국내 차세대 인공지능 정책의 문제점

- 국내 차세대 인공지능 관련 국가 프로그램의 부재로 인해 연구개발에 한계를 지님
- 특히 기술의 성숙도가 초기단계고, 난이도가 높은 기술적 특징으로 인해 기업의 적극적 참여가 부족
- 반도체 제작 및 설계에 대한 세계 최고의 기술을 보유하고 있는 기업들의 참여를 국가 주도의 프로그램을 통해 유도할 필요가 있음

○ 국가 경제 위기 가능성

- 인공지능 시장이 새로운 패러다임으로 전환된다면, 메모리 반도체의 새로운 구조를 요구하게 되어 기존 반도체 산업의 위기가 발생할 수 있음
- 특히 우리나라 반도체 기업들의 경우, 호황기를 맞고 있는 메모리 반도체에 대한 투자에 집중하고 있으며 새로운 미래 기술에 대한 투자는 소극적인 모습을 보임
- 새로운 흐름을 따라가지 못 할 경우, 국가 주력사업인 메모리 반도체의 세계 시장 점유율 감소로 인해 국가 경제가 위기 상황에 직면할 가능성이 높음

□ 글로벌 기술 선도를 위한 3대 추진 전략

- 정부주도의 연구 지원 체계화를 통해 신속하게 차세대 인공지능 시스템 분야 선도
 - “뉴로닉(NeuronIC)” 프로그램 추진: 차세대 인공지능 관련 연구 프로세스를 총괄하고 방향성을 제시할 수 있는 국가 프로그램 추진 및 전문가로 구성된 프로그램 위원회 구성
 - 국제 기술 교류 추진: 정부주도로 차세대 인공지능 시스템 분야 관련 국제 기술 교류 및 국제 공동연구를 추진하여 세계 시장에서 기술 선도를 위한 발판 마련

- AI 플랫폼을 구축하여 다양한 아이디어들을 구체화할 수 있는 발판을 마련하고, 세계시장에서의 표준기술화
 - 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 파운드리화: 대학, 연구소, 중소·벤처 기업이 우수한 국내 반도체 기술을 활용하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템을 쉽게 제작할 수 있는 환경을 조성하고 퍼스널 AI 플랫폼 구현 기반 마련
 - 중소·벤처 기업 - 대기업 간 상생 생태계 조성: 중소·벤처 기업과 대기업이 협력하여 표준화된 AI 플랫폼을 구축하고 중소·벤처 기업들이 이를 이용하여 다양한 제품을 개발할 수 있도록 기상생 생태계 조성

- 차세대 인공지능 연구 활성화를 위한 미래 지향적 R&D 환경 조성
 - 산·학·연의 연구 역할 분담: 산·학·연 각 기관의 강점을 살려 상호보완적인 연구 환경 조성
 - 핵심 전문 인재 유치 및 양성: 부족한 인력보충을 위해 10년간 핵심 전문 인력 약 2,000명 양성을 목표로 하는 인재 유치 및 양성 프로그램 수립

□ 차세대 인공지능 기술 개발 방향

○ 단기 추진 과제

- 해외에서 이미 기술 시장을 선도하고 있는 범용하드웨어 기반 인공지능 및 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 1세대에 대한 연구도 빠른 추종자(fast-follower)로서 그 흐름을 따라 잡을 필요가 있음
- 다양한 메모리 반도체를 개선하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템에 특화하고, 이를 이용한 디지털 기반의 시스템 최적화 모델 수립

○ 장기 추진 과제

- 단기 추진 과제와 병행하여 뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 세계 선도를 위한 장기 추진 과제를 제안
- 특히, 2세대 뉴로닉 컴퓨팅 시스템의 핵심 구성 요소인 시냅스, 뉴런, 그리고 축색돌기(axon)와 이를 이용하여 구성한 새로운 컴퓨팅 구조 설계와 관련된 다양한 연구 개발 방향을 제시함

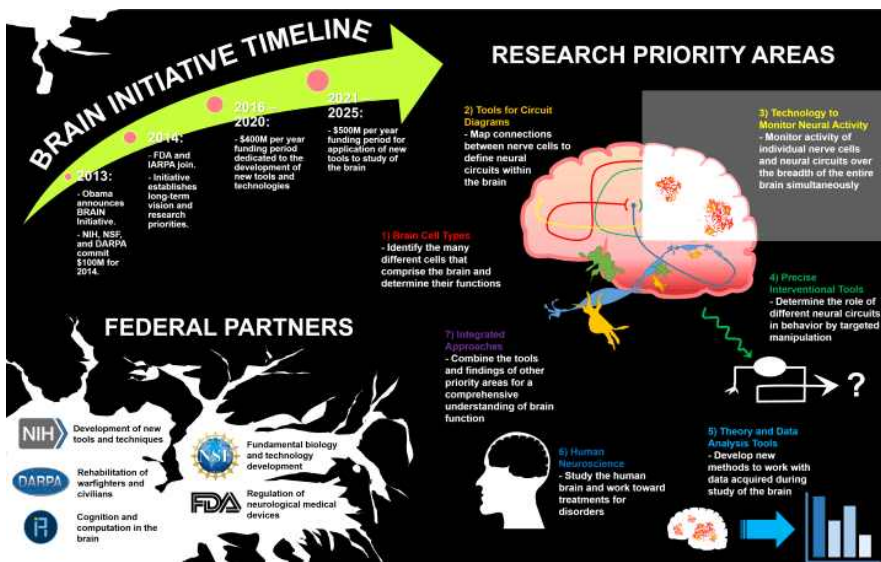
[참고자료 1] 국내외 인공지능 관련 국가 주도 프로젝트별 세부 현황

1. 국외 인공지능 관련 국가 주도 프로젝트

○ BRAIN(Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies) Initiative (미국)

(1) 연구 목표

- 인간의 뇌 연구를 중심으로 125조개의 뇌 시냅스 분석을 통해 개별 세포와 복잡한 신경 회로들이 시간과 공간에서 어떻게 상호작용하는지 밝히고 궁극적으로 이를 시스템에 적용하는 것을 목표로 함
- 세부 목표는 1) 심신쇠약 장애 발생 원인을 밝히고 2) 신경망에서 정보가 저장되고 처리되는 메커니즘을 이해하고 새로운 영상 기술을 개발하며 3) 지각, 판단 후 행동으로 이어지는 과정의 두뇌 활동을 규명하고 4) 개별 유전자에서 신경회로까지 뇌의 정교한 작용을 이해하는 것



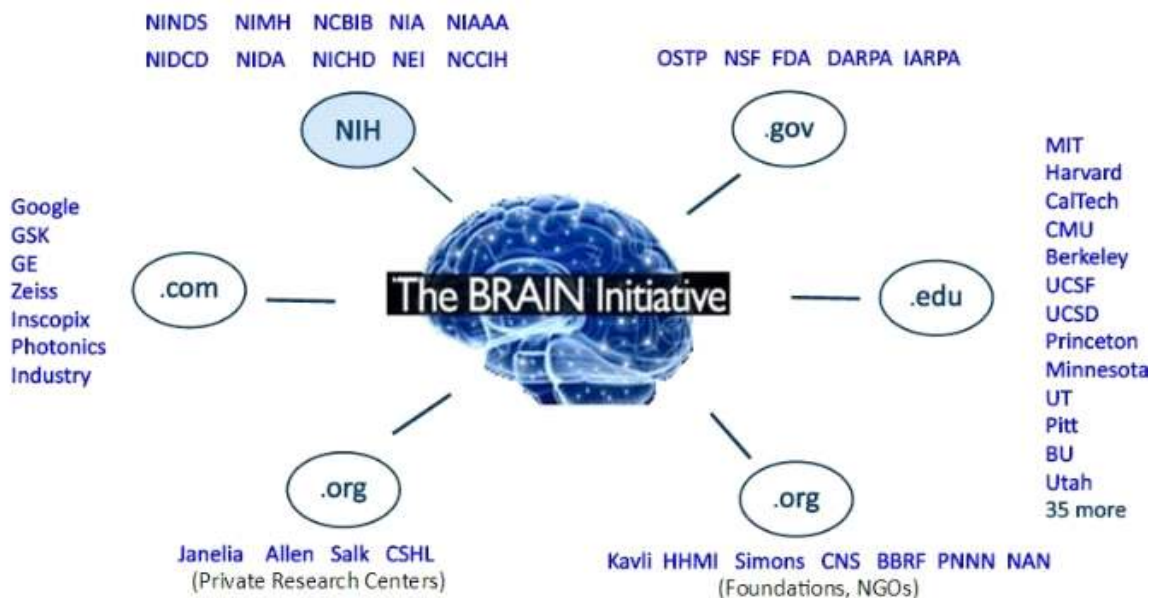
<그림 6-1> BRAIN Initiative 프로젝트 개요

대규모 장기간의 프로젝트로, 최종 목표를 달성하기 위해 여러 단계로 연구를 분할하여 단계 목표, 기간 등의 구체적 목표 수립

▶ 출처: <http://sitn.hms.harvard.edu>

(2) 참여 그룹

- (연방정부) 국립 보건원 (National Institute of Health: NIH), 방위 고등 연구 계획국(Defense Advanced Research Project Agency: DARPA), 국립 과학 재단 (National Science Foundation: NSF), 식품 의약국 (U.S. Food and Drug Administration: FDA) 고등 정보 연구 계획국 (The Intelligence Advanced Research Projects Activity: IARPA)
- (민간학교) Boston University, Carnegie Mellon University, Pacific Northwest Neuroscience Neighborhood, University of California 시스템, University of Pittsburgh, University of Texas 시스템, University of Utah
- (민간기관) Allen Institute of Brain Science, Howard Hughes Medical Institute
- (기업체) GE, GlaxoSmithKline, Medtronic 등
- (재단) Brain & Behavior Research Foundation, Kavli Foundation, National Photonics Initiative 등

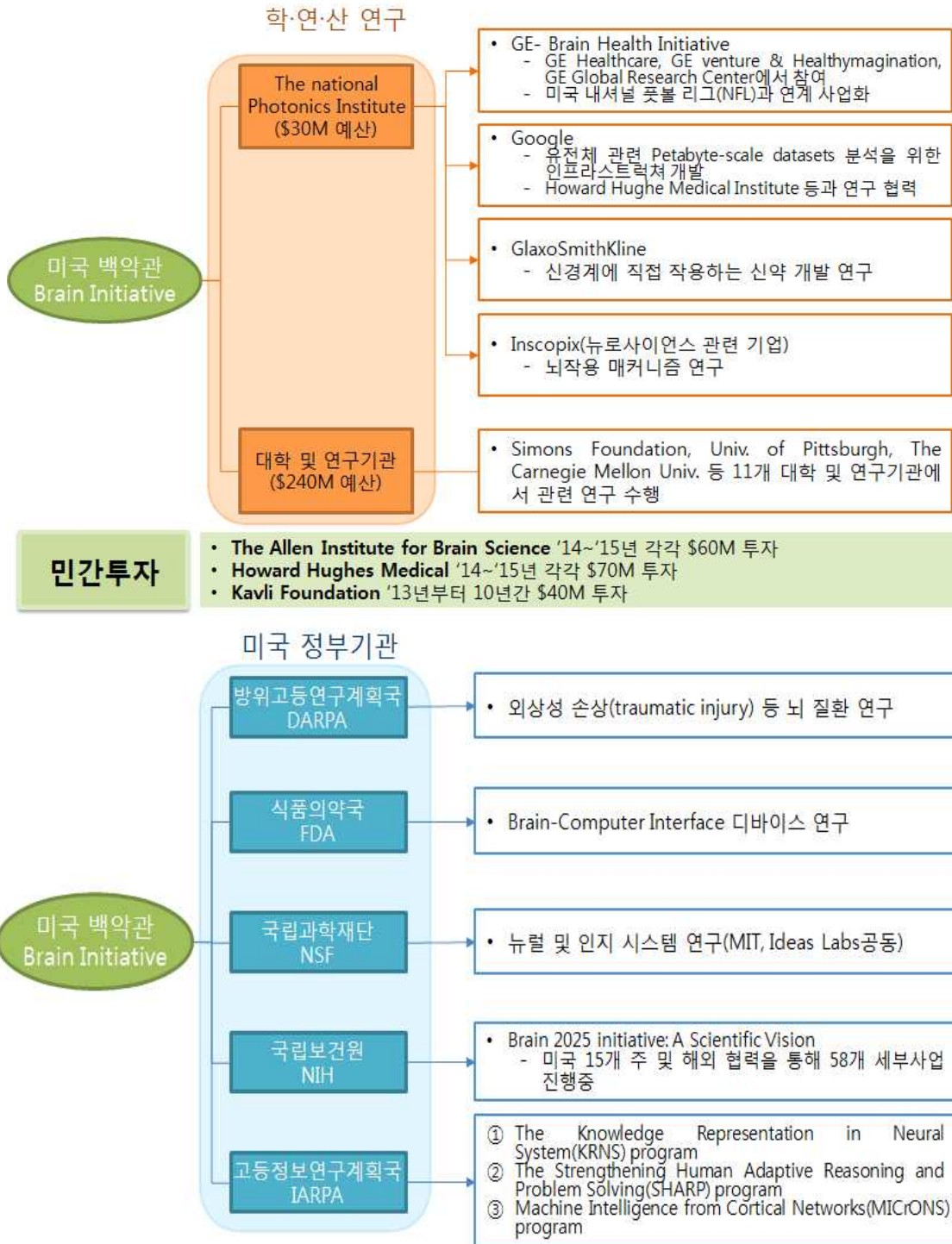


<그림 6-2> BRAIN Initiative 프로젝트 기관별 참여 그룹
정부 주도의 국가 연구 기관 및 산업계, 학계 등 다양한 그룹의 참여

▶ 출처: Scott Joy, "About the BRAIN Initiative", 2015.06.23

(3) 연구 기간 : 10년 프로그램

- 2016년 2020년: 기술 개발 및 검증
- 2020년 2025년: 개발된 기술들을 통합하여 뇌에 관한 새로운 발견에 적용



<그림 6-3> BRAIN Initiative 프로젝트의 연구개발 체계

(4) 연구 내용

- 뇌신경 회로의 구조와 구성 요소의 지도화(mapping)
- 시공간에 걸친 신경 활동 관측 및 기록
- 신경회로 동작 임의 조절
- 뇌신경 회로 동작과 신체 행동과의 관련 연구
- 뇌의 동작을 이해하기 위한 필요한 대규모 자료 분석을 위한 이론, 모델링 및 통계 방법 연구
- 인간의 뇌를 이해하기 위한 뇌신호 측정 및 자극 관련 과학 기술 개발
- 관련 분야 교육
- BRAIN Initiative 가치의 최대화
 - 인간 관련 연구 및 동물 연구를 포함한 타 연구의 동시 진행
 - 다양한 분야의 협력을 통한 다학제간 연구
 - 분자, 셀로부터 신경 회로 및 시스템까지 뇌과학의 전분야를 아우르는 연구
 - 연구 자료 및 결과를 공유할 수 있는 플랫폼 구축
 - 연구 결과 검증 및 확산
 - 뇌과학의 윤리적 측면 검토
 - 예산 사용의 타당성 상시 검증

(5) 연구 성과물

- 앨런 뇌과학연구소에서 쥐의 뇌신경망 3D 지도 작성(2014)
- 2020년까지 1단계로 인간과 동물 대상의 병렬적 연구, 다학제간 협력, 공간과 시간 스케일 통합, 데이터 및 도구 공유 플랫폼 구축 등 핵심요소기술 개발 중

(6) 연구비 규모

- 총 연구비는 약 30억 달러 규모이며, 그 중 80%이상 기초연구에 집중하고, 나머지 예산을 Brain-Computer Interface 디바이스, Inscopix의 뇌 스캔 이미지 촬영 및 분석을 위한 초미니 형광성 현미경 및 시스템을 개발과 Google의 슈퍼컴퓨팅을 활용한 뇌 시뮬레이션에 투자

<표 6-1> BRAIN Initiative 프로젝트 투자 현황
 뇌과학 등의 기초연구에 집중적으로 투자하였고 DARPA 등의
 재원을 통한 국가 주도 프로젝트

Private Research	The Allen Institute for Brain Science	\$60 million annually
	Howard Hughes Medical Institute	\$30 million annually
	Kavli Foundation	\$4 million annually for 10 years
	Salk Institute for Biological Studies	\$28 million
Federal Agencies (First year funding)	Defense Advanced Research Projects Agency(DARPA)	\$50 million
	National Institutes of Health(NIH)	\$40 million
	National Science Foundation(NSF)	\$20 million

OBAMA'S BRAIN

The White House has set lofty objectives for its BRAIN Initiative. Now it is up to the participants (purple) to develop a strategy for the programme.

PRIVATE RESEARCH

- The Allen Institute for Brain Science
\$60 million annually
- Howard Hughes Medical Institute
\$30 million annually
- Kavli Foundation
\$4 million annually for 10 years
- Salk Institute for Biological Studies
\$28 million

FEDERAL AGENCIES

(First year funding)

- Defense Advanced Research Projects Agency
\$50 million
- National Institutes of Health
\$40 million
- National Science Foundation
\$20 million

OBJECTIVES

- Provide the knowledge for addressing debilitating disorders.
- Develop new imaging technologies and understand how information is stored and processed in neural networks.
- Understand how brain activity leads to perception, decision-making and, ultimately, action.
- Produce a sophisticated understanding of the brain, from individual genes to neuronal circuits to behaviour.

RESEARCH COMMUNITY

- The National Science Foundation convened workshops to solicit ideas.
- The National Institutes of Health set up a 'dream team' of 15 scientists that is producing reports based on community feedback.

<그림 6-4> BRAIN Initiative 프로젝트 관련 투자

BRAIN Initiative는 뇌의 활동을 이해하고, 새로운 이미지 기술을 개발하는 목표를 가지며, private research에 총 12억 2000만 달러, Federal agencies에는 총 17억 4000만 달러를 투자

▶ 출처: Helen Shen, "Neurotechnology: BRAIN storm", 2011.11.11

○ SyNAPSE(Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics) (미국)

(1) 연구 목표

- 두뇌 신피질 (neocortex)의 인지기능을 구현한 새로운 구조의 인지컴퓨터 개발

(2) 참여 그룹

- (IBM 컨소시움) IBM, 스탠포드대학, 코넬대학, 콜럼비아대학, UW 메디슨, UC 머세드, iniLabs
- (HRL 컨소시움) HRL labs, 보스턴대학, Neurosciences Institute, 미시간대학, UC 어바인, 조지메이슨대학, 포틀랜드주립대학, 스탠포드대학, Set Corporation

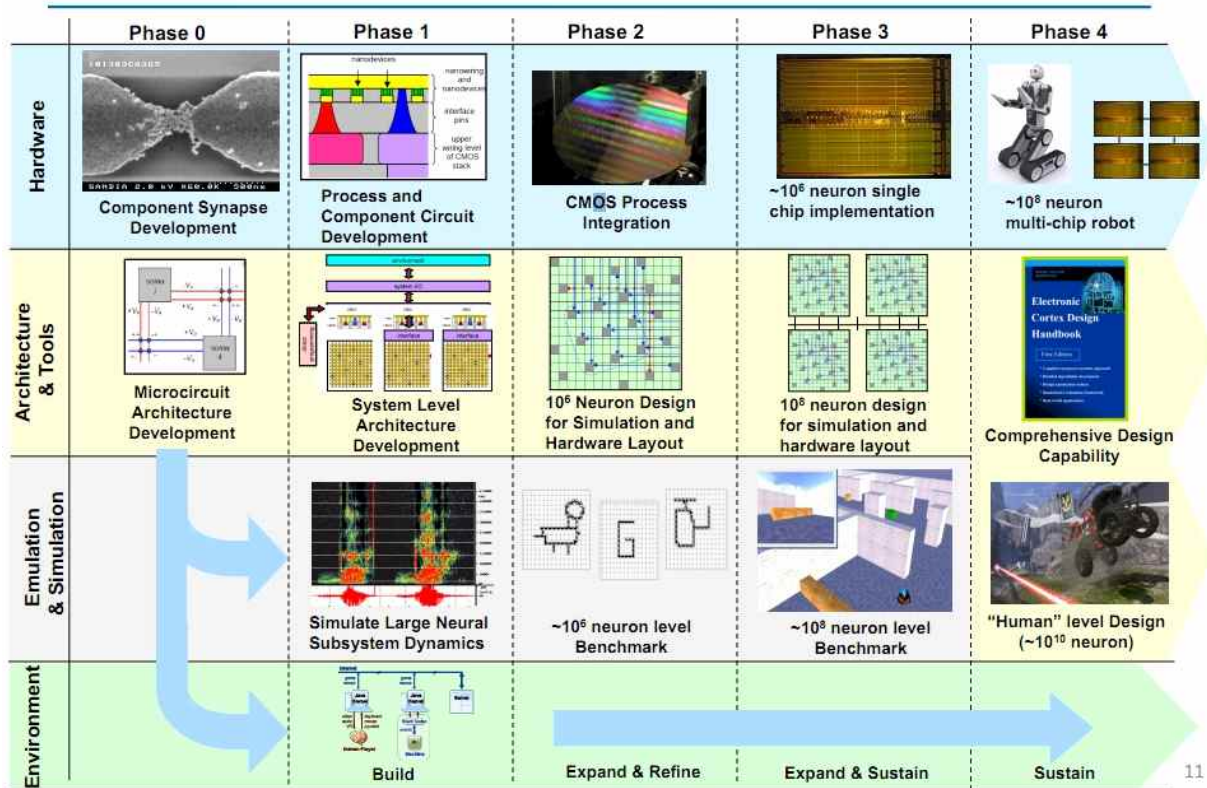
(3) 연구 기간 : 2008년 ~ 2017년

(4) 연구 내용

- 두뇌 신피질의 인지기능을 구현하는 새로운 구조의 인지컴퓨터 개발을 목표로 하기의 4가지 핵심기술을 연구함
- (하드웨어) 뉴로모픽 체계로 대변되는 인지컴퓨터 하드웨어의 요소기술인 CMOS소자, 기능성 재료에 기반 한 시냅스소자, 뉴런과 시냅스의 연결을 연구
- (컴퓨팅 구조) 생물학적 신경망의 구조와 유사한 기능을 수행할 수 있으며, 기존의 폰 노이만 구조를 대체할 만한 새로운 패러다임의 컴퓨팅 기술 개발
- (전산모사) 대규모 신경망으로 구현된 인지컴퓨터의 동작 전산모사를 위한 도구개발
- (학습환경) 인지컴퓨터의 인식/인지/반응 등의 기능평가 및 학습환경 플랫폼 개발



SyNAPSE Program Plan



11

<그림 6-5> SyNAPSE 프로그램 로드맵

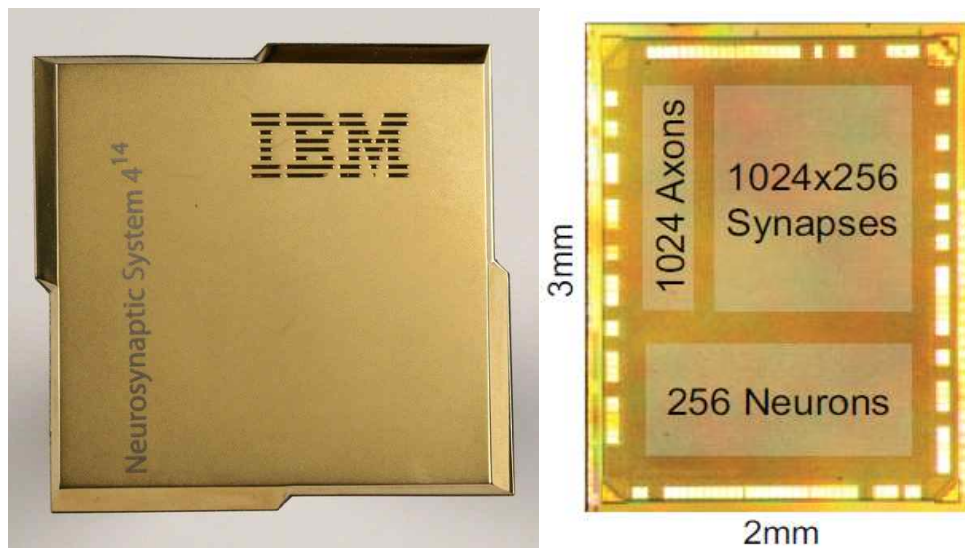
단계적으로 하드웨어 측면에서 시냅스를 구성하고, 회로 제작을 거쳐서 CMOS 통합과정을 완성한 후에 단위 칩당 뉴런의 개수를 증진시켜 최종적으로 멀티 칩 로봇을 만드는 것이 목표

출처: http://www.theregister.co.kr/2011/08/18/ibm_darpa_synapse_project/

(5) 단계별 연구내용

- (0단계: 2008.11 2009.8) 단위 시냅스 소자 가능성(feasibility) 타진 및 전산모사를 통한 네트워크 학습 가능성 타진
 - 시냅스 전후 세포의 결합강도 변화로 뇌생리학적 기억과 학습이 좌우되는 STDP (Spike Timing-Dependent Plasticity) 현상을 고집적/저전력/고신뢰성 시냅스 소자로 구현 가능한지 타진
 - 개별 시냅스 소자의 특성을 반영한 모델 개발 및 이를 이용한 네트워크 학습 가능성 타진
- (1단계: 2009.11 2011.7) 시냅스 핵심기능의 하드웨어 구현 및 뉴로모픽 칩 설계를 위한 예비연구

- 단위 1cm²당 1010개 이상의 시냅스 및 106개 이상의 뉴런을 가지는 신경망을 구현한 뉴로모픽 칩 제작방법 도출
 - 1014개 이상의 시냅스 및 1010개 이상의 뉴런을 가지며 1 kW이하의 전력을 소모하는 뉴로모픽 칩 디자인 방법론 및 가능성 타진
 - 106개의 뉴런을 포함하는 뉴로모픽 칩의 동작 시뮬레이션. 시각정보 인식/추론의 기능 확인
- (2단계: 2011.7 ~ 2012) 단위 1cm²당 10¹⁰개 이상의 시냅스 및 10⁶개 이상의 뉴런을 가지는 뉴로모픽 칩 제작 및 동작특성 확보
 - (3단계) 10⁶개의 뉴런으로 구성된 단일 뉴로모픽 칩으로 쥐 수준의 인지기능 확보
 - (4단계) 여러 개의 칩을 사용하여 10⁸개 뉴런으로 신경망을 구성하여 고양이 수준의 인지기능 실현



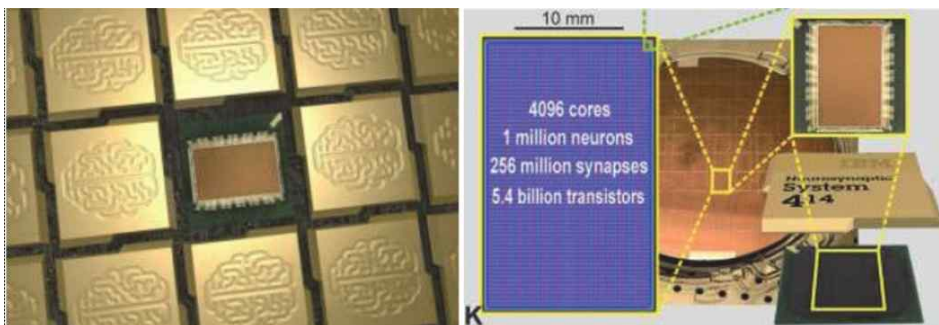
<그림 6-6> 뉴로시냅틱 코어 (IBM)

메모리, 프로세서, 통신 기능이 합쳐있는 뉴로시냅틱 코어를 기반으로 새로운 아키텍처를 통해 뉴런의 기능을 모방하였으며, 262,144 개의 프로그래밍이 가능한 시냅스와 65,536 개의 학습 가능한 시냅스를 포함

▶ 출처: CICC, "A digital neurosynaptic core using embedded crossbar memory with 45pJ per spike in 45nm", 2011

(6) 연구 성과물

- Compass 시뮬레이터를 이용하여 원숭이 수준의 뇌 시뮬레이션에 성공('09)
- 대규모 신경망 시뮬레이터 (C2) 개발
 - 16억 개의 뉴런과 8.87조 개의 시냅스로 구성된 대규모 신경망 시뮬레이터 개발
 - 147,456개의 CPU와 144TB의 메모리로 구성된 블루진 슈퍼컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션
- 디지털 뉴로모픽 코어 개발 (IBM)
 - 256개의 뉴런과 262,144개의 시냅스로 구성된 단위 디지털 뉴로모픽 칩 코어 개발
 - CMOS를 이용한 코어로 시냅스 가중치는 SRAM에 저장됨
- 고속/고집적 RRAM기반 시냅스 어레이 개발
 - 기존의 SRAM을 대체하여 단위 면적당 시냅스의 수를 극대화할 수 있는 수동형 RRAM 어레이 기반 뉴로모픽 시스템 제안
- TrueNorth 개발(IBM)
 - 256개의 뉴런 역할을 하는 코어를 4,096개 집적, 코어와 시냅스용 32MB SRAM 메모리로 구성된 뉴로모픽 칩으로 단위 1cm²당 20mW 수준의 전력을 소모
 - 카메라 이미지를 분석 및 추론하고 극한 환경에서 재난상황 인지 등 뉴로모픽 칩을 사물인터넷에 적용하고 상용화 추진



<그림 6-7> 'TrueNorth' 뉴로모픽 칩(IBM)

256개의 뉴런과 65,536bit의 프로그래밍 가능한 시냅스 메모리를 가지는 4096 개의 개별적 뉴로시냅틱 코어로 구성되어 있으며, 칩 내 최대 72 mW 소비

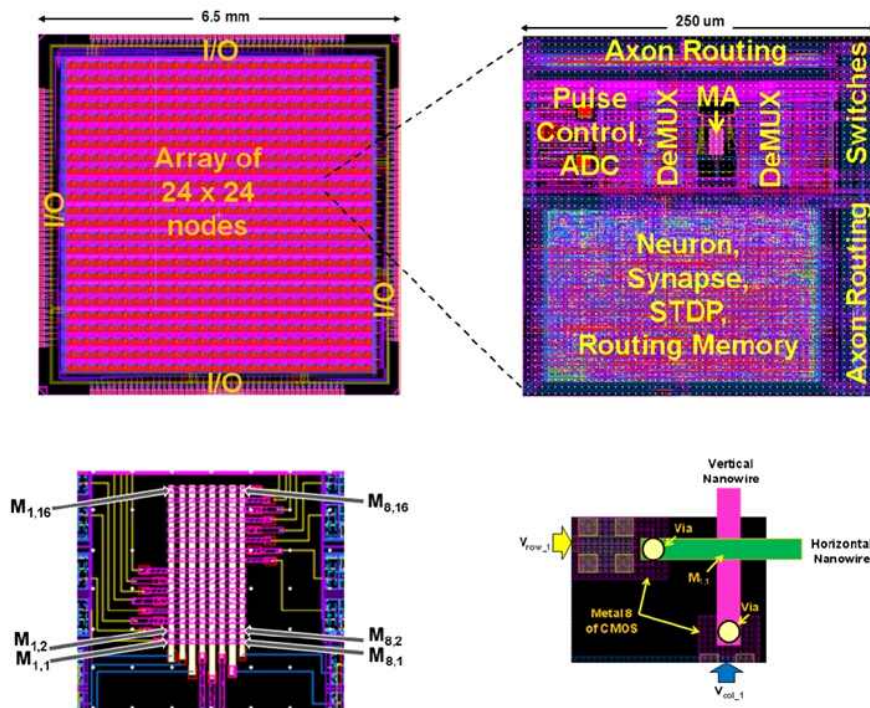
▶ 출처: CICC, "A digital neurosynaptic core using embedded crossbar memory with 45pJ per spike in 45nm", 2011

- (산·학·연 연계 R&D 성과 창출) 스탠포드 대학*, 카네기 멜론 대학**, 매사추세츠공대*** 연구소 등과 협력하여 자동차, 청소기, 로봇 등 다양한 제품군 적용



<그림 6-8> 스탠포드 셸리(Shelley)
2009년 가을 유타주 본빌 소금평야에서 TTS 기반 콘셉트카인 셸리가 자율주행에 성공

- HRL Lab은 90nm CMOS 공정을 적용한 1,600만개의 트랜지스터, 73,728개의 멤리스터(Memristor)가 집적된 어레이를 발표

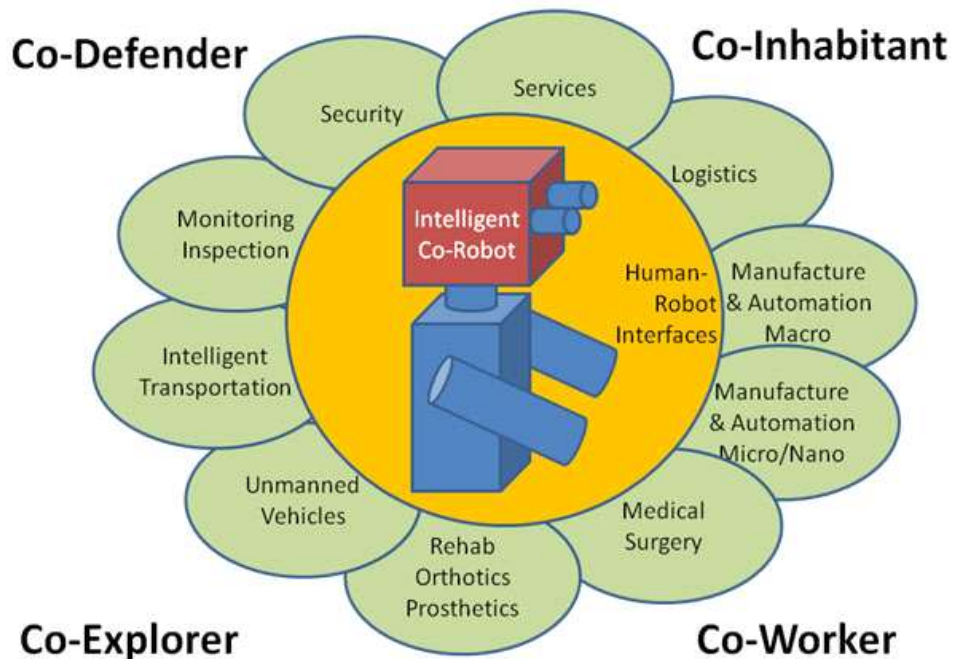


<그림 6-9> HRL Lab 멤리스터 칩(2013)
STDP 특성을 갖는 시냅스로 구성되어 있으며, 시냅스 컨덕턴스 값은 8 단계로 멤리스터에 저장할 수 있음

(7) 연구비 규모

- 미국 방위 고등연구 계획국 (DARPA)에서 2013년까지 총 1억 달러 투자 (한화 약 1,100억 원 이상)

○ 국가로봇이니셔티브(National Robotics Initiative)



<그림 6-10> 국가로보틱스이니셔티브 기술 어플리케이션 및 목표
National Robotics Initiative의 목표는 사람들과 상호 협력하는 로봇의 개발을 가속화 및 상용화 시키는 것이며, 다양한 분야들(의료, 안전, 물류 등)에 적용을 위한 프로젝트임

▶ 출처: <https://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14500/nsf14500.htm>, National Science Foundation [US government]

(1) 연구 목표

- 미국의 차세대 로봇 개발을 가속화하고 혁신적 응용분야에의 집중을 위한 국가 주도적 사업 지원

(2) 참여 그룹

- 미국 국립과학재단(National Science Foundation: NSF), 미국 항공우주국(National Aeronautics and Space Administration: NASA), 국립보건원(National Institutes of Health: NIH), 미국농무부(U.S. Department of Agriculture: USDA), 미국에너지부(U.S. Department of Energy: DOE), 미국국방성(U.S. Department of Defense: DOD), 공군 과학연구소(Air Force Office of Scientific Research), 방위고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency: DARPA)

(3) 연구 기간 : 2016년 ~ 2030년 (15년)

(4) 연구 내용

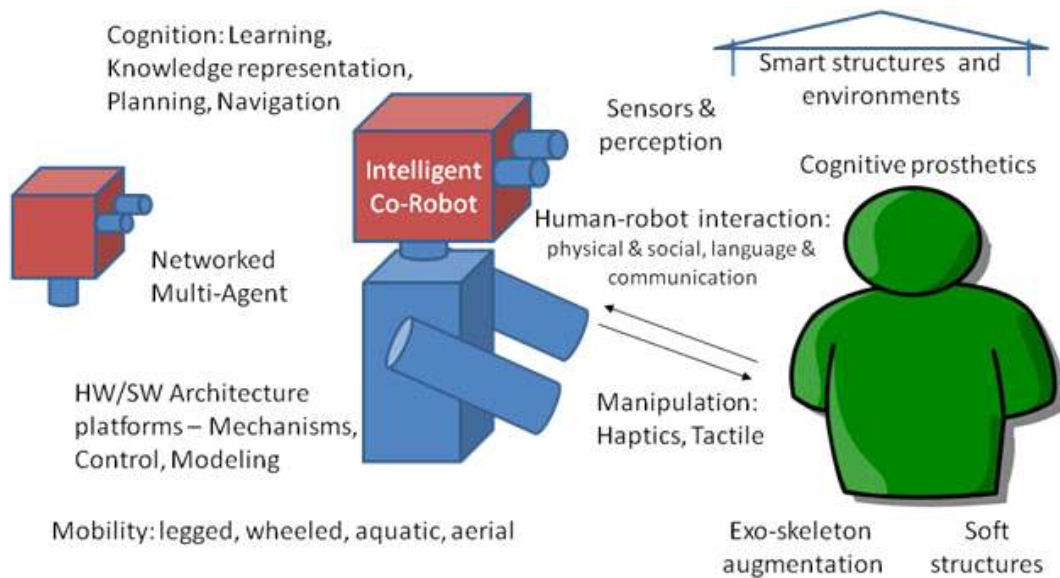
- 인간과의 공생 관계에서 협업하는 로봇 실현 연구
 - 자율성 : 지능형 의사 결정 향상을 위한 계산 방법 및 구조
 - 협업형 로봇의 장기적 사회, 행동, 경제적 영향에 대한 연구
 - 센서 시스템 : 환경 센싱 시스템, 다양한 조도에서의 물체 인식, 식품 품질 센서, 인간의 신체적·정서적 상태에 대한 실시간 평가, 인간의 의도 실시간 예측 등
 - 모델링 : 인간-로봇 상호 작용 모델 검증 및 시뮬레이션
 - 디자인 및 재료 : 안전성과 편리성 향상을 위한 로봇 디자인, 생체 인식 모니터링이 가능한 웨어러블 로봇 및 스마트 의류 등
 - 커뮤니케이션 : 인간의 의지 및 자연 언어 처리, 언어 이해, 뇌·기계 인터페이스를 통한 의사 소통, 음성 및 기타 의사 소통 양식 개발 등
 - 인공지능 : 인간 및 기계 인식, 추론·지각·운동 등을 통합하는 문제 해결 구조, 인간의 추론 및 행동의 메커니즘 등
 - 인지 및 학습 : 기계 인지 및 인지 예측, 생명체의 인지 모델, 경험 또는 다른 로봇의 경험에서 배우는 학습 시스템 등

(5) 연구 성과물

- 33개주 230개 로봇 개발 프로젝트 지원

(6) 연구비 규모

- 3,000만 달러(NSF) (한화 약 330억 원 이상)



<그림 6-11> 국가로보틱스이니셔티브 기술 연구 개발 플로우
인지와 지식의 표현에서부터 구조, 제어 메커니즘에 이르기까지 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있으며, 지각, 협력 및 적응, 이해 영역도 프로그램에 포함 됨

▶ 출처: <https://www.nsf.gov/pubs/2014/hsf14500/hsf14500.htm>, National Science Foundation [US government]

○ ALIAS (DARPA 인공지능기술 기반 무인기술) 프로젝트 (미국)

- 일반항공기를 무인항공기로 완전히 대체하기 위한 프로젝트 Aircrew Labor In-cockpit Automation System (ALIAS)

(1) 연구 목표

- 기존의 항공기에 이착륙은 물론 어떤 상황에서든지 항해가 가능한 고도의 자동화 기능을 추가하여 기내 승무원 수 감소, 파일럿 작업 부하 감소를 통한 임무 수행 능력 및 항공기 안전 향상

(2) 참여 그룹

- Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), The National Aeronautics and Space Administration (NASA), the U.S. Air Force, the U.S. Army, the U.S. Navy
- (참여 기업) Aurora Flight Sciences, Sikorsky Aircraft, Lockheed Martin

(3) 연구 기간 : 2015년~

(4) 연구 내용

- 기존 항공기와의 호환성: 자율 운항 등의 항공기 작동 기능을 보유하고 현존하는 항공기로 이식이 가능한 착탈식 시스템 인터페이스 개발
- 항공기별 운용정보 파악: 다양한 항공기로의 적용을 위해 현존하는 항공기들의 운행절차 정보, 비행기법 정보 및 모델 등 조사
- 인간-기계 간 인터페이스: 조종사는 경로 재설정, 감독 등의 높은 수준의 입력들만 수행하고, 낮은 레벨의 비행 유지 작업들은 자동화를 통해 개입하지 않아도 되는 시스템 개발
- 무인 드론 개발 프로젝트 'CODE(Collaborative Operations in Denied Environment)'를 발표하고('15.1), 차량, 포 및 함대 등 다양한 분야로 적용할 계획

(5) 연구 성과물

- Diamond DA-42 fixed-wing 항공기와 Sikorsky S-76 헬리콥터에서 ALIAS 기술의 성공적인 비행 데모 설치
- 조종사가 사전 설정된 계획이나 표준 행동 과정에서 벗어난 상황, 시스템 실패 등의 비행 비상 상태에서 ALIAS의 성공적인 시연
- 손동작 등을 인식하는 태블릿 컴퓨터를 통해 항공기 비행

(6) 연구비 규모

- 600만 달러 (한화 약 60억 원 이상) / Aurora Flight Sciences, 800만 달러 (한화 약 85억 원 이상) / Sikorsky Aircraft



<그림 6-12> DARPA 자율주행 드론 시연

자율주행 드론은 400파운드 무게의 록히드마틴사 퓨리 UAS를
활용해 공중회수시스템의 성능을 테스트하였으며, 최대 1100
파운드의 드론 포획 가능

▶ 출처: Jack Stewart, "Watch Darpa's Creepy 'Project Sidarm' Pluck a Drone out of the air", 2017.02.07

○ Human Brain Project(HBP) (유럽)

(1) 연구 목표

- 인간 뇌의 구조 및 기능에 관한 데이터 확보, IT 플랫폼 구축, 대표적인 뇌질환에 대한 치료법 제시, 뇌에 대한 이론체계 수립을 위해 슈퍼컴퓨터를 이용하여 시냅스의 연결 구조, 신호 전달 체계 등까지 정교하게 모사

<표 6-2> HBP 분야별 연구목표
뇌과학 등의 기초분야 및 플랫폼 개발에 집중

분 야	투자규모 (단위: 유로)	연구목표
Application	2억 2100만	• 신경과학, 의학 및 컴퓨팅 기술에 의한 프로토타입 개발
ICT Platforms	4억 5600만	• 신경과학 및 임상연구의 가속을 위한 통합형 ICT 플랫폼 개발
Theory	7200만	• 뇌 활동영역 간의 관계를 파악하여 수학적인 모델 개발
Data	3억 1600만	• 일반화된 뇌지도를 위한 필수적인 데이터를 생성



<그림 6-13> 유럽 Human Brain Project(HBP) BrainScaleS 멀티-웨이퍼 시스템
EU가 지원하는 FACETS 프로젝트에서 수행된 연구를 기반으로 하는 시스템으로 약 20만 개의 뉴런과 4천만 개의 시냅스를 상호 연결한 웨이퍼를 사용하는 것이 특징임

▶ 출처: <https://flagship.kip.uni-heidelberg.de/public/BrainScaleS/>

(2) 참여 그룹

- 스위스 로잔공대, IBM 등 산업체, 학계를 포함하여 유럽 연합국가에 속한 80여 기관이 참여

(3) 연구 기간 : 2013년 ~ 2023년

(4) 연구 내용

<표 6-3> HBP의 6가지 플랫폼별 주요내용

두뇌에 대한 연구와 이를 닮은 하드웨어 장치를 개발하는 내용이 주요 골자를 이룸

HBP 세부과제	주요내용
신경정보학 플랫폼	• 전 세계 신경과학자들의 데이터·지식을 한 데 모으고, 검증하는 플랫폼
뇌 시뮬레이션 플랫폼	• 여러 척도에 걸치는 단일의 컴퓨터 모델내에 기존의 데이터를 통합하고, 누락된 데이터를 식별하는 것이 가능하도록 만드는 플랫폼
고성능 컴퓨팅 플랫폼	• 데이터 집약적인 모델링과 시뮬레이션을 위해 필요한 상호작용하는 슈퍼컴퓨팅 기술을 신경과학자들에게 제공하는 플랫폼
의학정보학 플랫폼	• 세계에 있는 치료 관련 데이터를 연합하고, 질병에 대한 생물학적 표지자를 찾기 위한 새로운 수학적 도구들을 제공하는 플랫폼
뉴로모픽 컴퓨팅 플랫폼	• 보다 우수한 슈퍼컴퓨터 및 두뇌 모델을 구축하는 것을 도와 줄 뇌를 닮은 하드웨어 장치를 개발하는 플랫폼
뉴로로봇 플랫폼	• 신경과학 연구자 등이 본 프로젝트에서 개발된 두뇌 모델에 의하여 제어되는 가상 로봇을 사용하여 실험을 할 수 있도록 해 주는 플랫폼

- 뇌 시뮬레이션

- 뇌 시뮬레이션 플랫폼은 기존의 잘 확립된 Neuron, STEPS and NEST 시뮬레이터들의 병행 버전을 사용하고, EPFL의 Blue Brain Project에 의하여 개발된 시뮬레이션 워크플로우 및 툴을 활용하게 될 것
- 연구가 진행됨에 따라 모델이 지속적으로 보다 정확하게 되는 것을 보장할 수 있는 접근방법인 데이터와 기본 원리들의 지속적인 업데이트 방법을 사용하게 될 것

- HBP의 운용 단계를 위한 뇌 시뮬레이션 플랫폼의 장기적 목표는 첫 번째로는 완전한 생쥐의 뇌, 그리고 궁극적으로는 완전한 인간의 뇌를 재구성하는데 필요한 기술적 제공능력을 생성해 내는 것
- 부상 단계를 넘어서는 목표에 대한 핵심 연구 영역은 데이터에 의해 구동되며 미래의 뇌 모델의 예측적 재구성을 위하여 요구되는 소프트웨어 생태계, 워크플로우 및 알고리즘의 개발을 포함함
- 전체 뇌의 모델을 포함하는 초대형 뇌 모델을 지원하기 위한 기존 브레인 시뮬레이터의 확장
- 개별 뇌 세포내의 생화학적 프로세스의 스케일가능 병렬 반응확산 (scalable parallel reaction-diffusion) 시뮬레이션 기술의 개발
- 보다 덜 상세한 상위레벨 시뮬레이션에서 분자적 상호작용의 기술(description) 방법을 설계하기 위하여 사용될 수 있는 생물학적 프로세스를 위한 반응 동력학 (reaction kinematics) 을 예측하는 분자 동력학 및 다른 분자적 시뮬레이션 툴 (molecular dynamics and other molecular simulations tools)의 사용
- 생물학자들이 크기가 커지며 분자적 수준으로 내려간 데이터를 채택하는 뇌의 모델들을 설계하고 타당성을 검증하기 위하여 뇌 시뮬레이션 플랫폼을 사용할 수 있도록 하는 툴의 개발

– Silicon Brain

- 뉴런형 컴퓨팅 플랫폼은 유럽의 FACETS 및 BrainScaleS 프로젝트와 영국의 SpiNNaker 프로젝트에서 개발된 제공능력 위에 구축
- 현재의 신경모방 물리 모델 (Neuromorphic Physical Model; NM-PM)은 180nm 프로세싱 기술의 단일 8-inch silicon wafer 상에서 50*10⁶ 의 유연한 시냅스 및 200,000개의 생물학적 뉴런 모델을 채택
- 뉴런형 다중 코어 시스템 (Neuromorphic Many-Core System; NM-MC)은 UK SpiNNaker 그룹에서 개척한 접근방식을 사용하게 될 것
- 단일 칩은 1W의 전력을 사용하여 실시간으로 동작하는 8백만 개의 유연한 시냅스를 가지는 16,000 뉴런들을 시뮬레이션 할 수 있음

– Understanding cognition

- 신경정보학 플랫폼은 Allen Institute for Brain Science (Allen Institute)에 위치하며 다른 국제적인 프로젝트들에 의하여 지원되는 국제 신경정보학

협력 시설 (International Neuroinformatics Coordinating Facility; INCF)에서 개발된 툴과 지도 위에 구축됨

- HBP는 the US-based Neuroscience Information Framework (NIF), the Biomedical Informatics Research Network (BIRN), 그리고 Allen Institute와 긴밀하게 협력할 것임
- 중요한 이슈들 (Crucial Issues) : 지금까지, 상이한 소스들로부터의 데이터를 상호 연계하는 아무런 표준화된 방법이 없음
- HBP의 두 번째 핵심 목표는 현대의 실험적 방법들을 통하여 생성된 특정한 계층의 구조적 및 기능적 뇌 데이터 (e.g. electron microscopy, massively parallel spike train data (MPSD) and local field potentials (LFP))를 분석하기 위한 신경정보학적 툴을 개발하는 것이 될 것임
- 뇌의 모델링과 이해를 위한 세 번째 필수 요구사항은 기존의 데이터로부터 최대의 가능한 정보들을 추출해 내는 능력과 뉴런과 시냅스들의 특성을 그것들을 직접 측정하지 않고도 신뢰성 있게 예측해 내는 방법 (predictive neuroinformatics; 신경정보학적 추정)을 개발해 내는 것

– Medicine

- 의학정보학 플랫폼은 프로젝트를 위하여 이미 가용한 데이터 소스들 (두 개의 병원들이 이미 데이터를 제공하였음)을 가지고 연구를 시작하게 될 것
- 파트너들에 의하여 200명이 넘는 환자들로부터의 데이터를 사용한 알츠하이머 병의 6가지 하위유형에 대한 생물학적 표지자가 확인된 제안된 접근방식의 기술적 타당성이(Hypercube tool을 사용하여) 시연될 것
- 운용 단계에서는, 의학정보학 플랫폼은 부상 단계에서 보다 많은 수의 데이터 소스들을 연합하여 사용하게 될 것이며, 보다 넓은 질병의 범위에 대한 연구들을 수용하게 될 것
- 동시에, 대중의 의사와 규제적 환경은 데이터 보호와 암호화에 대하여 보다 강력한 요구사항을 강제하게 될 수 있음

– Robots

- 뉴런로봇 플랫폼은 상용으로서 개방형 소스의 게임 플랫폼에 의하여 제공되는 3D 모델링 능력을 활용하게 될 것임
- HBP 뉴런로봇 플랫폼은 연구자들이 가상 로봇이 브레인 모델에 연결되고 HPC 플랫폼과 뉴런형 하드웨어 상에서 동작하는 폐쇄회로 실험

(closed-loop experiments)을 할 수 있도록 해 줄 것임

- 주요한 기술개발 연구는 연구자들이 상이한 클래스의 뇌 모델에 연결된 시뮬레이션 로봇 (simulated robots)을 사용하여 실험을 수행할 수 있도록 유연한 환경을 제공하게 될 2차 릴리즈 (second release)에 지정된 목표에 초점을 맞추게 될 것임

– High performance computing

- 고성능 컴퓨팅 플랫폼은 기존의 슈퍼컴퓨팅 능력을 사용하게 될 것임.
- Forschungszentrum Jülich (Germany), [~ 6 petaflops peak performance]
- Swiss Center for Scientific Computing (CSCS), [~ 836 Teraflops ...]
- the Barcelona Supercomputing Center (BSC Spain), [~ 1 Petaflops ...]
- the Consorzio Interuniversitario del Nord Est italiano per il Calcolo Automatico (CINECA Italy). [~ 2 Petaflops ...]
- 10 Gigabits/s 이상의 대역폭을 가지는 고속 네트워크 연결을 제공하며 분산된 구현, 시뮬레이션 데이터의 글로벌하게 병행적인 파일 시스템을 가지는 HBP 시스템
- Karlsruhe Institute of Technology (KIT)에 의하여 제공되는 3 Pbytes의 전용 저장용량을 가지는 클라우드 저장 능력

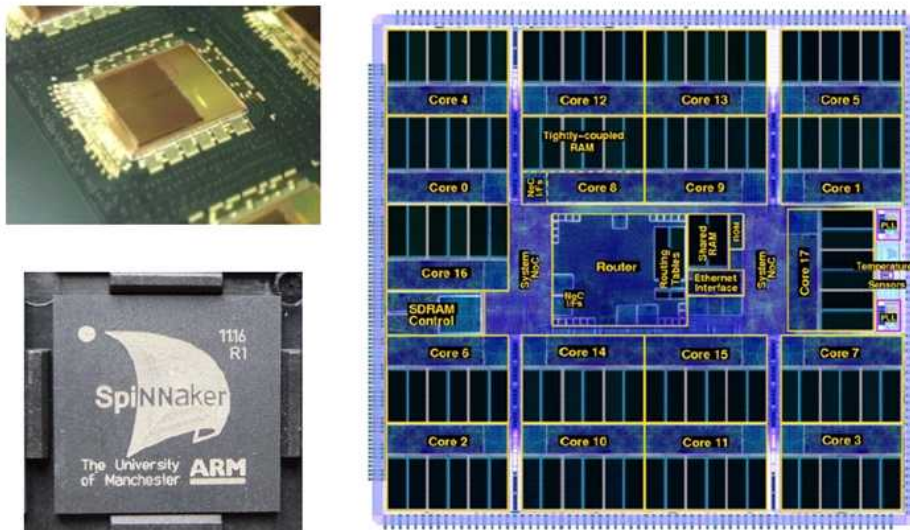


<그림 6-14> 유럽 Human Brain Project(HBP) SpiNNaker 멀티-랙 시스템(~1억개 뉴런) 50만 개의 코어 SpiNNaker 머신은 25세트의 24 보드 케이스를 통합하여 수 억 개의 뉴런에 신경 네트워크를 동작 시키는 데 적합함

▶ 출처: <https://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project/Access/>

(5) 연구 성과물

- BrainScaleS 브레인 시뮬레이션 플랫폼 개발
 - Wafer 상에 아날로그 뉴로모픽 칩을 집적
 - 20개 Wafer 모듈로 약 4,000,000 여개 뉴런 시뮬레이션 가능
- 영국 맨체스터대학교에서는 10억 개의 뉴런을 실시간으로 시뮬레이션하고 인간 뇌질환을 극복하기 위한 뇌 모델을 개선하는데 목표를 두고 2011년부터 'SpiNNaker 프로젝트'를 수행한 결과, 18개의 ARM968 프로세서, 128MB SDRAM, Route 메모리를 집적한 SpiNNaker 칩(1,000뉴런/코어, 18코어/칩) 을 개발



<그림 6-15> 맨체스터대 SpiNNaker 칩(2013)

SpiNNaker 다이는 18 개의 동일한 프로세싱 서브시스템이 위치하고 있으며, 프로세서 간 통신은 신경 생물학과 유사한 효율적인 멀티 캐스트 인프라를 기반으로 한 칩임

▶ 출처: <https://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project/Access/>

- SpiNNaker 브레인 시뮬레이션 플랫폼 개발
 - 소형 보드 (4-node) 에서 대형 랙 머신 (518,400-node) 형태로 다양하게 운용
 - (48-node 보드) 약 100,000 여개의 뉴런을 생물학적 수행 시간과 유사하게 시뮬레이션 가능



<그림 6-16> SpiNNaker 48-노드 보드(~10만 개 뉴런)
 대규모의 스파이크 신경 네트워크로 구성되어 있으며, 최대
 10만 개의 뉴런(작은 곤충 뇌의 규모)에 적합함

▶ 출처: Steve Furrber, "The SpiNNaker project", 2014.05

- 신경과학 분야 우수 학회에 논문 다수 출판
 - 2014년부터 현재까지 Nature Communications, Journal of Neuroscience 등
- Neurorobotics / Massive Computing 플랫폼 개발
 - Neurorobotics 플랫폼을 오픈소스로 공개
 - Forschungszentrum Jülich (독일), Swiss Center for Scientific Computing (스위스) 등 다수의 슈퍼컴퓨팅 플랫폼 운용

(6) 연구비 규모

- 10년간 추산 금액 약 10억 유로 이상 (한화 약 1조 4000억 원 이상)



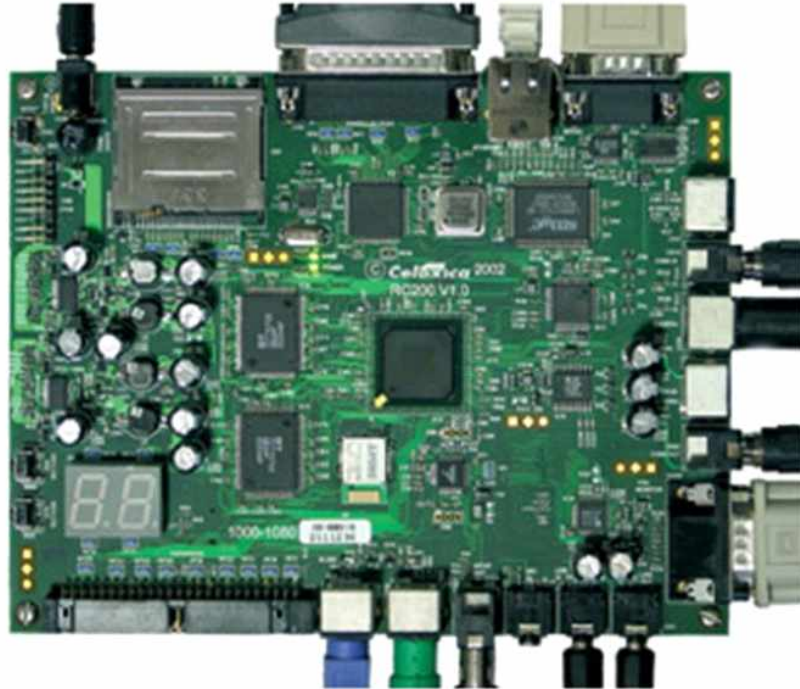
<그림 6-17> SpiNNaker 48-노드 보드 이용 기호 인식 로봇
 수직방향, 수평방향을 인식하는 두 운동 뉴런을 구성하여
 로봇의 움직임을 결정함.

▶ 출처: Steve Furber, "The SpiNNaker project", 2014.05

○ China Brain Project (중국)

(1) 연구 목표

- 신경계에 대한 기초연구 및 정보기술 인공지능 등의 분야를 망라하는 대규모 인공지능 개발 프로젝트로 범국가적 지원을 통해 인공지능 최강국을 목표로 함
- 주요 기술 목표
 - Intelligent Human-Computer Interaction
 - Big data analysis and Prediction
 - Automatic Driving and Piloting tech.
 - Robot Technology for military and civilian use



<그림 6-18> 3백만개의 로직 게이트를 가지는 FPGA를 내장한 Celoxica board Celoxica board(Xilinx Virtex II FPGA 칩 포함)을 사용하여 인공 신경망 모듈의 발전을 가속화 및 발전시켜 10만 개의 상호 연결되는 모듈로 이루어져 있음

▶ 출처: Hugo de Garis, "The China-Brain Project : Building China's Artificial Brain Using an Evolved Neural Net Module Approach", 2008

(2) 참여 그룹 : 바이두

(3) 연구 기간 : 2016년 ~ 2030년 (15년)

(4) 연구 내용

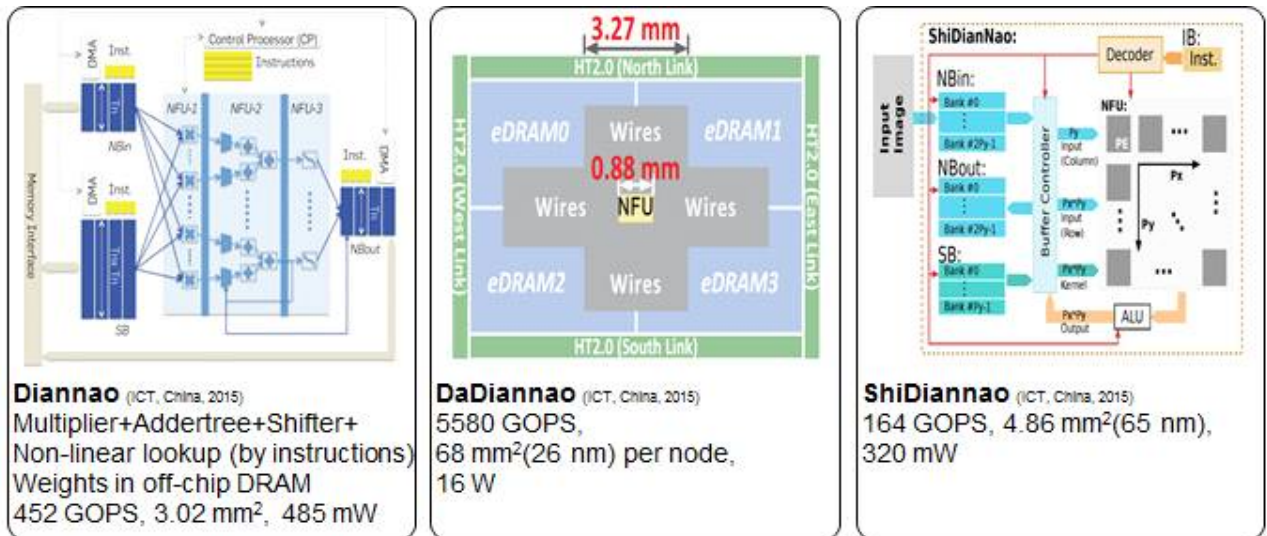
- 주요 R&D 영역: 지능형 인간-컴퓨터 상호작용, 빅데이터 분석 및 예측, 자동주행 시스템, 지능형 의료진단시스템, 지능형 무인기, 군용/민용 로봇기술
- 민간과 군사용으로 빅데이터(대용량 데이터) 분석 도구, 자율주행차, 스마트 의료 진단, 스마트 드론(무인비행기) 개발
- 중국 최대 포털 바이두(百度)는 2012년 '베른 프로젝트'를 출범 덤러닝

분야 세계최고 권위자인 앤드류 응(Andrew Ng) 전 스탠퍼드대 교수를
합류시킨 '바이두 브레인(百度大脳)' 과제를 수행. 이 과제의 목표는
빅데이터를 활용하여 2~3세 유아의 지능을 갖춘 AI를 개발하는 것임

- 뇌의 인지기능을 기본으로 하는 기본 메커니즘 연구
- 세포 유형 맵 (cell type map), 연결 배선 맵 (connectivity map), 활동 맵 (activity map) 을 종합하여 뇌 기능의 신경회로 기초를 이해
- 알츠하이머 병, 파킨슨 병, 자폐증 등의 뇌 질환 조기 진단
- 유전자 발현 프로파일링
- 뇌 영상 처리
- 뇌·기계 인터페이스를 활용한 신경 인공 관절
- 인공 신경망을 활용한 뉴로모픽 칩
- 무인자동차
- 군사·민간용 드론

(5) 연구 성과물

- 중국은 최근 딥러닝 관련 가속기 반도체 프로세서 디안나오 시리즈를 지속적으로 발표 하고 있으며 이를 이용하여 인공지능 반도체 기술의 선점을 노리고 있음



<그림 6-19> 3백만개의 로직 게이트를 가지는 FPGA를 내장한 Celoxica board
중국 ICT연구소의 디안나오 시리즈

- 중국은 최근 33페타플롭스(PetaFLOPs)급의 세계 최고 성능의 슈퍼컴퓨터 텐허2를 발표 하였으며, 이 시스템에 필요한 프로세서는 중국 자체적으로 개발한 것으로 알려져 있음. 이러한 반도체 기술은 향후 인공지능 시스템을 위한 기술로 발전할 전망이다
- 중국 상하이 자오신 반도체에서 개발한 ZX-D 프로세서는 2017년 하반기 일반 PC용 프로세서로 생산이 시작될 예정

○ Robot Revolution Initiative (일본)

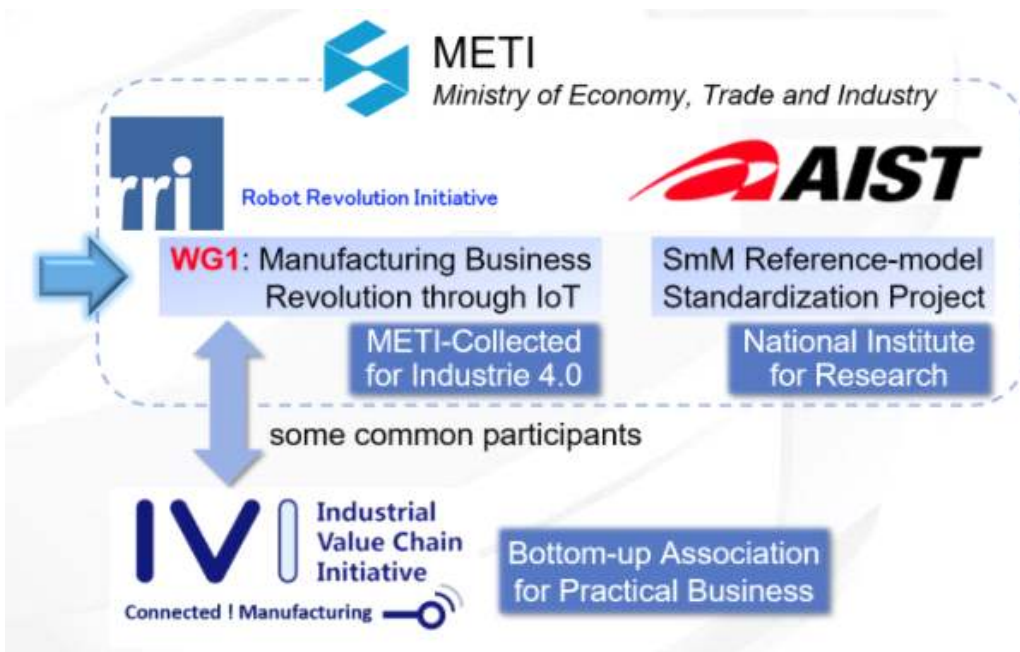
(1) 연구 목표

- 로봇 및 인공지능 기술을 발전하여 생산연령인구 감소, 고령화 등의 사회적 이슈 극복 및 사회적 로봇 활용 (간호, 사회기반 시설 등), 사물인터넷 선도

(2) 참여 그룹

- Hitachi, Honda, IBM Japan, IDEC, Mitsubishi, Nikon, Nissan Motor, Panasonic, SAP Japan, Softback Robotics 등 293개의 기업, Japan

Science and Technology Agency, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology 등 14개의 연구 기관, Japan Association of Defense Industry, Japan Automobile Research Institute 등 96개의 단체



<그림 6-20> 일본의 주요 스마트 제조 기관의 모식도

▶ 출처: Nakamura Michiharu, "STI Policy and Practices in Japan", 2016.12.19

(3) 연구 기간 : 2015년 ~ 2020년

(4) 연구 내용

－ 제조 및 서비스

- 시스템 통합 및 비용 절감이 가능한 비즈니스 구조로 전환
- 부품 가공 및 조립, 식품 가공 등 노동 집약적인 작업에 로봇 도입
- 로봇 (하드웨어/소프트웨어)의 표준 모듈화 및 공통 플랫폼 간소화
- 차세대 요소기술 개발과 같은 인간 기반 프로세스 자동화

－ 간병 및 의료

- 환자이동장치, 걷기 지원, 배설 지원, 치매 등 뇌질환 환자 보호, 목욕 지원

등의 핵심 기능 개발

- 수술 로봇과 같은 의료 기기 개발
- 사회기발시설, 재난·재해, 건설
 - 건설작업 중의 노동 절약 및 자동화를 통한 노동력 부족 문제 해결
 - 사회기발시설을 시각적으로 점검하는 로봇 개발을 통해 보다 효율적이고 정교한 유지 보수
 - 재해 조사 로봇 개발을 통해 보다 신속한 재난 상황 파악, 산사태 등의 재해 현장에서 무인 시스템을 통한 효율적인 구조
- 농업 및 식품 산업
 - GPS 자동 항법 기계를 개발하여 대규모 저비용 생산
 - 제조제 로봇 개발을 통한 기계화 및 자동화
 - 첨단 환경 제어 시스템, 손상된 농산물 검사 시스템 등을 통한 노동 절약 및 고품질 생산

(5) 연구비 규모

- 5년간 민간투자 확대를 통한 약 1,000억엔 규모의 로봇 프로젝트 추진 (한화 약 1조 20억 원 이상)

2. 국내 인공지능 관련 국가 주도 프로젝트

○ Exobrain Project

(1) 연구 목표



※ 엑소브레인(外腦, Exobrain): 내 몸 바깥에 있는 인공 두뇌라는 뜻

<그림 6-21> 엑소브레인(Exobrain) 프로젝트 개요

▶ 출처: exobrain.kr 공식홈페이지

- '세계 최고인공지능 기술 선도'라는 비전을 달성하기 위하여 미래창조과학부 소프트웨어 분야의 국가 혁신기술 R&D 과제. '자연어를 이해하여 지식을 자가학습하며, 전문직종에 취업 가능 수준의 인간과 기계의 지식소통이 가능한 지식과 지능이 진화하는 SW'인 엑소브레인 SW를 개발하는 것이 최종 목표

(2) 참여 그룹 :

- (총괄기관): 한국전자통신연구원 (ETRI)
- (주관기관): 한국전자통신연구원 (ETRI), (주)솔트룩스, KAIST,

POSTECH

- (참여기관): 한국전자통신연구원 (ETRI), (주)솔트룩스, KAIST, POSTECH, 충북대학교, 강원대학교, 나눔기술, Sensology, 아시아나HDT, Interworks, iBsys, (주)KT, (주)사이냅소프트, (주)클라우드인, 서울대학교, 송실대학교, 서울시립대학교, 경북대학교, (주)아이와즈, 경남대학교, Solsamnet, 울산대학교, 케이솔버, 건국대학교, 한양대학교, 서강대학교, 모빌토크

(3) 연구 기간 : 2013년 ~ 2023년

- 1단계 (2013년 ~ 2016년): 핵심 기술 개발 → 일반 지식 응답형 SW
- 2단계 (2017년 ~ 2019년): 응용 기술 개발 → 전문 지식 융합 응답 추론형 SW
- 3단계 (2020년 ~ 2023년): 글로벌 기술 개발 → 다중 도메인 글로벌 지식융합 문제 해결형 SW

(4) 연구 내용

- 1세부: 컴퓨터가 자연어의 의미를 이해하고 학습하여, 전문가 수준의 의사소통이 가능한 질의응답형 문제를 해결할 수 있는 지능진화형 질의응답(Wise Question Answering) SW 기술 개발
- 2세부: 빅데이터 이해를 통한 자가학습형 지식베이스 및 하이브리드 추론 기술을 개발하고, 지식증강 글로벌 서비스가 가능한 <진화형 지식증강 서비스 플랫폼> 구현
- 3-1세부: 인간의 학습 메커니즘을 모사하여 스스로 지식을 학습 및 이해할 수 있는 Symbolic Approach 기반의 지능 원천기술 개발
- 3-2세부: 1세부 과제의 자연어 질의응답 시스템 WiseQA 및 2세부 과제 지식베이스 추론 시스템 WiseKB에 적용되는 비기호적 기법 기반 인간모사형 자가학습 지능 원천기술을 개발
- 4세부: 분산된 이종 단위 지식/기기들 간 협력, 조정, 타협 등의 상호작용을 통해 단일 도메인 지식으로 해결하기 어려운 난제들에

대한 자율 협업 기반 솔루션을 제공하는 자율지능형 지식/기기 협업 프레임워크 기술 개발

(5) 연구 성과물

- 2016년 11월 18일 EBS 주최 장학퀴즈 우승 (2016년 11월 20일자 연합뉴스보도)

(6) 연구비 규모

- 총 연구비 1,070억 원

○ AI 국가프로젝트

(1) 연구 목표 :

- 전략적 AI R&D로 지능정보 기술 추격자에서 개척자로 도약
 - AI 공통 플랫폼 기술 수준 세계 95~100% 수준으로 향상
 - 기술 우위 확보로 AI 분야 글로벌 시장 점유율 2% 수준까지 확대
 - 복지·국방·치안 등 국가 근간서비스의 지능정보화 지원
- AI 핵심기술의 자립기반을 확보하여 국내 AI 기술·산업 성장을 위한 기반 조성하고, 중장기적 글로벌 기술 우위 확보 추진

(2) 연구 기간 : 2017년 ~ 2023년

(3) 연구 내용

- AI 공통 플랫폼: 언어지능, 시각지능, 음성지능 원천기술 격차 해소
 - (언어지능) 전문지식 이해 및 질의응답 서비스 기술
 - (시각지능) 개체 판별 및 동작·상황 이해 기술
 - (음성지능) 언어 학습용 자유 발화 인식 및 생성 기술
- 차세대 AI 기술: 학습·추론 분야 등 AI 초기 분야 선도 기술 연구
 - (차세대 학습·추론) 원샷 러닝, 판단 근거 사후 추정 등
 - (비디오 튜링 테스트) 영상으로부터 지식 자동 추출 등

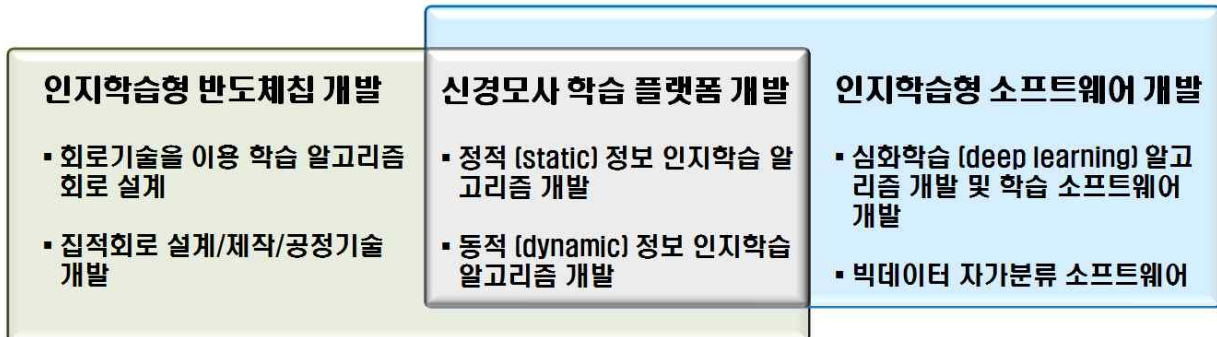
- AI 선도 서비스 도입: 국가 근간 서비스 구축 위한 원천기술 개발·확보
 - (복지) 지능형 휴먼케어 로봇
 - (국방) 지능형 국방경계체계 도입
 - (치안) 범죄·테러 신속대응·예측 시스템 도입

(4) 연구비 규모: 총 연구비 1,704억 원 (국고 1,278억 원, 민간부담 426억 원)

○ 신경망 모사기술개발사업

(1) 연구 목표

LoT: learning of Things



<그림 6-22> 신경망 모사기술개발사업 개요

▶ 출처: 신경망 모사기술개발사업 기획보고서

- 저전력 신경모사 하드웨어 플랫폼 개발을 위한 멀티스케일 요소기술개발을 목표로 함
- 정·동적 정보 학습기구 연구 및 학습 알고리즘 개발연구, 신경모사반도체 아키텍처 개발 및 신경망 단위구성요소 회로설계, 인공시냅스 재료개발 및 미세공정기술개발에 필요한 원천기술 확보를 세부 연구목표로 함

(2) 참여 그룹 :

- (총괄기관): 한국과학기술연구원 (KIST)
- (주관기관): 한국과학기술연구원 (KIST), 한국과학기술원 (KAIST)
- (참여기관): 서울대학교, POSTECH, 국민대학교, UC Irvine

(3) 연구 기간 : 2016년 ~ 2024년

- 1단계 (2016년 ~ 2018년): 신경모사반도체 요소기술 확보 → CMOS 기반 학습 테스트베드 확보
- 2단계 (2019년 ~ 2021년): 신경모사반도체기술 심화 → 고집적 메모리를 탑재한 범용 신경모사반도체 기술 확보
- 3단계 (2022년 ~ 2024년): 신경모사반도체 응용기술개발 → 뇌과학 모델시스템 응용 등 응용처 다각화

(4) 연구 내용

- 1세부: 신경세포를 모방한 알고리즘 구현 및 아키텍처 개발을 통해 신경모사반도체 기반 딥러닝 기술확보
- 2세부: 시·청각을 통한 실시간 인지학습 기구연구 및 신경모사반도체칩 개발연구
- 3세부: 오프라인 학습 신경모사 회로제작 및 차세대 신경망 체계연구

(5) 연구 성과물

- 온라인 학습용 신경모사반도체 아키텍처 확보
- Ca²⁺이온 signaling cascade기반 실시간 학습 알고리즘 개발

(6) 연구비 규모: 총 연구비 225억 원

[참고자료 2] 국내외 특허 심층 분석

□ 분석대상 기술분류체계 및 특허검색범위

○ 특허 기술 Landscape

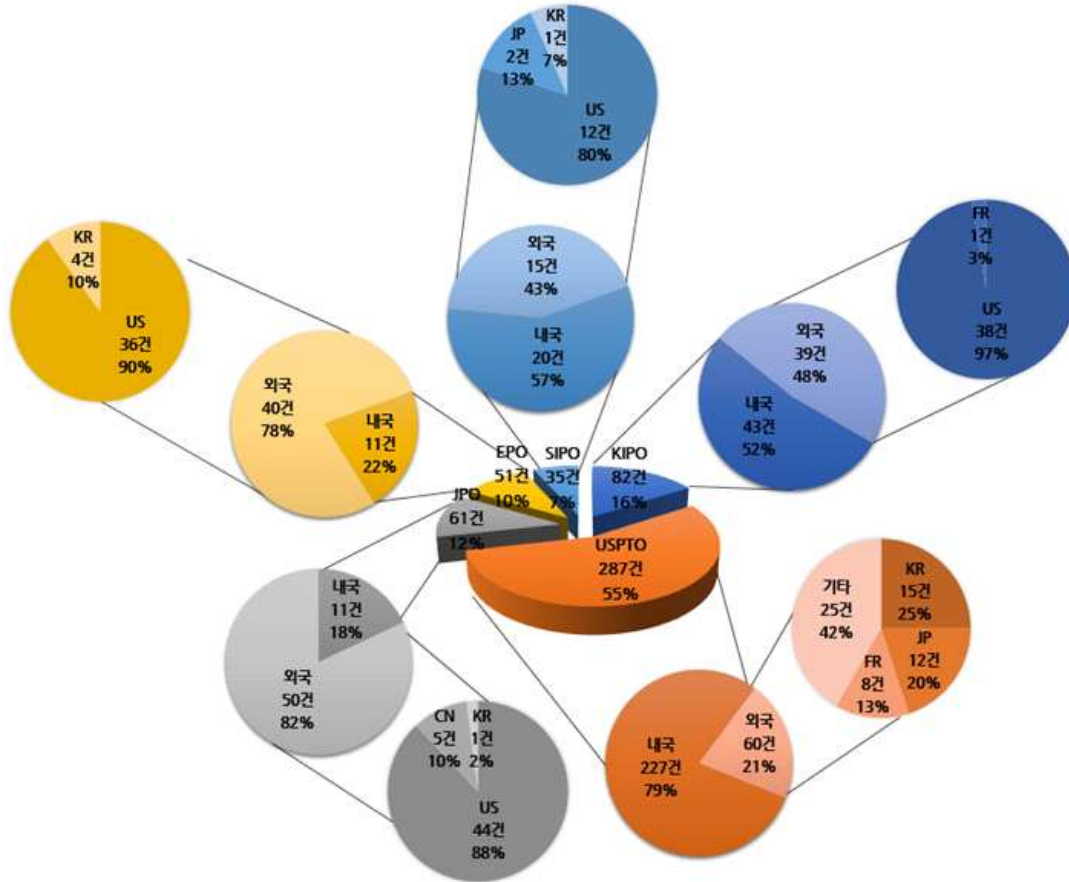
- 특허기술 Landscape에서는 조사대상국인 한국, 미국, 일본, 유럽 및 PCT에서의 주요국가 기술개발 활동현황, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허기술 성장단계 파악 및 국가간 기술경쟁력 현황 분석 등을 통해 국가별 Landscape를 분석함
- 상위 Top 다출원인 도출을 통하여 주요 경쟁자 현황 및 IP로 본 주요 시장국을 분석하고, 주요 경쟁자들의 시장 확보력 및 기술력, 주력 기술 분야에 대한 파악을 통하여 경쟁자 landscape을 분석하고, 주요 시장국에 진입 건수가 많은 다출원인을 분석하여 현재 주요 시장국의 기술을 주도하는 기업의 현황을 파악함

○ 심층분석

- 심층 분석에서는 기술 분류 각각에 대해, 인공지능 시스템개발기술과 보다 밀접한 관련이 있거나 또는 향후 개발하는 연구개발 과정에서 참조할 것이 바람직한 특허를 선별하여, 이들 특허의 기술적 내용을 중심으로 상세하게 분석하고, 그 핵심내용을 제시함
- 또한, 인공지능 시스템을 연구개발 중에 있는 주요 출원인의 핵심 특허를 선별하여 이들 특허의 기술적 내용, 기술적 수단, 기술적 권리범위와 상태, 이러한 기술들 간의 흐름 및 특허전략 등을 종합적으로 제시함

□ 주요출원국 기술개발 활동현황

○ 주요출원국 내·외국인 특허출원 현황



<그림 6-23> 주요 출원국 내·외국인 특허출원현황

내·외국인 특허출원현황을 분석하면 해당 출원국가에서 자국기술력과 외국기술 의존도를 구분할 수 있음. 미국의 경우 내국인 출원 비율이 높고, 타국에서도 주요출원인에 해당하고, 중국도 내국인 출원 비율 및 최근 구간에서의 출원 증가

- 위의 <그림 3-23>은 주요 시장국 내·외국인의 특허 출원 비중과 외국인의 국적을 분석한 결과를 수치화하여 나타낸 것임. 특허출원 국가는 특허가 출원된 특허청이 소재하고 있는 국가를 말하는 것으로, 특정 시장에서 권리 활동을 나타내는 지표임
- 출원인 국적은 어느 시장에 출원했는지 간에 출원된 특허 기술을 보유하고 있는 자의 국적으로, 기술 보유국을 의미함
- 출원인 국적을 내국인과 외국인으로 구분하여 분석하면, 해당

출원국가에서 자국 기술력이 우세한 지 외국 기술에 대한 의존도가 높은 지를 파악할 수 있으며, 또한 내·외국인의 출원건수 변화 추이를 연도별로 살펴보면 특정 시장에서의 외국 기술 유입 상황을 파악할 수 있음

- 주요출원국의 내·외국인 특허출원현황을 살펴보면, 전체 인공지능 시스템기술과 관련한 특허출원 중에 미국출원이 55%로 가장 높은 점유율을 보이고, 그 뒤를 이어 한국출원이 16%의 점유율을 보였으며, 일본과 유럽출원이 각각 12%, 10%의 점유율을 보이고, 중국출원이 6%로 가장 낮게 나타남
- [KIPO] 내·외국인의 출원비율이 비슷한 정도이고, 외국인에 의한 출원은 주로 미국국적의 출원인을 중심으로 출원하고 있음
- [USPTO] 287건을 출원하여 55%의 가장 높은 점유율을 보이고, 내국인 출원 비율이 79%를 차지하는 것으로 나타나, 타 국가 대비 자국 내에서의 본 기술 분야에 대한 자국내의 기술시장이 일정수준 이상 형성되어 있는 것으로 분석됨. 또한, 미국의 경우 해외 각국의 주요출원인에 해당하며, 이는 자국 시장에서의 독점적 지위를 해외에서도 유지하려는 강한 의지가 있는 것으로 분석됨
- [JPO] 일본은 외국인 출원 비율이 82%이고, 미국국적의 출원인에 의한 출원이 44건으로 88%를 차지하고, 그 외 중국과 한국국적의 출원인에 의한 특허 출원이 있는 것으로 분석됨
- [EPO] 유럽은 외국인 출원 비율이 78%이고, 미국국적의 출원인에 의한 출원이 36건으로 90%를 차지하여 거의 대부분의 미국국적의 출원인은 자국 시장 외에 유럽시장에 특허를 출원하는 것으로 분석됨. 또한, 그 외에 한국국적의 출원인이 4건의 특허를 유럽에 출원한 것으로 나타남
- [SIPO] 중국은 내국인의 출원 비율이 57%로, 내국인에 의한 특허출원이 외국인보다 높은 것으로 분석되고, 외국인에 의한 특허출원은 주로 미국국적의 출원인에 의한 출원이 과반수이상을 차지하고 있는 것으로 분석됨. 한편, 중국의 경우, 최근 구간에서의 특허 출원이 증가하고 있어, 향후 미국과 중국을 중심으로 본 기술분야에 대한 특허 출원이 증가할 것으로 예상됨

○ 주요출원인 현황 및 IP로 본 출원국

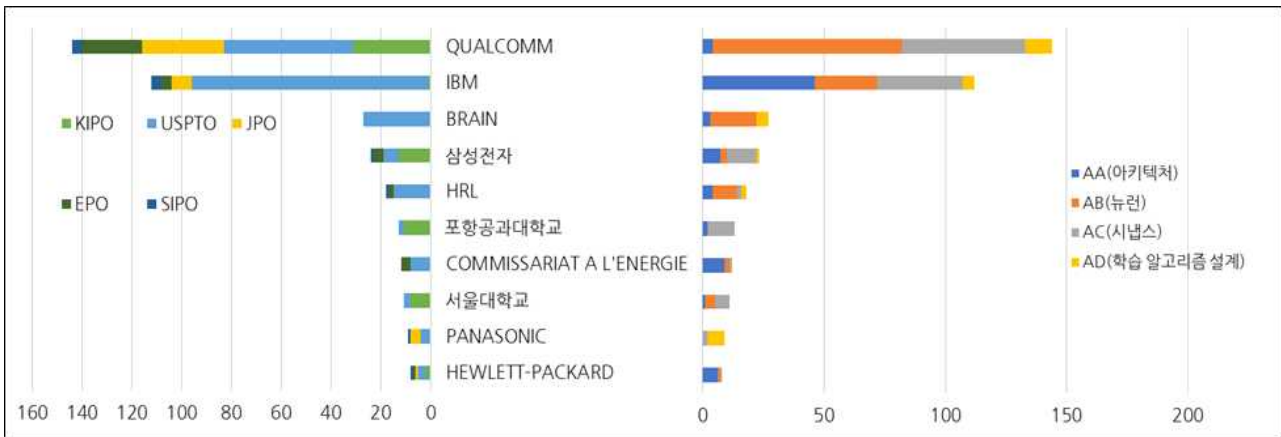
<표 6-4> 출원인 Landscape

QUALCOMM, IBM 등 미국 회사들이 주도 하고 있으며 최근 중국의 약진이 두드러짐

출원인	출원인 국적	주요IP 출원국(건수,%)						특허출원 증가율 (최근4년)	주력기술분야
		한국	미국	일본	유럽	중국	IP 출원국종합		
		KIPO	USPTO	JPO	EPO	SIPO			
QUALCOMM	미국	31 (21%)	52 (36%)	35 (24%)	24 (16%)	4 (3%)	미국	250%	뉴런 (AB)
IBM	미국	1 (1%)	109 (87%)	8 (6%)	4 (3%)	4 (3%)	미국	106%	아키텍처 (AA)
BRAIN	미국	0 (0.0%)	27 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	미국	1150%	뉴런 (AB)
삼성전자	한국	12 (46%)	9 (35%)	0 (0.0%)	4 (15%)	1 (4%)	한국	375%	시냅스 (AC)
HRL	미국	0 (0.0%)	15 (83%)	0 (0.0%)	2 (11%)	1 (6%)	미국	700%	뉴런 (AB)
포항공과대학교	한국	11 (85%)	2 (15%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	-	시냅스 (AC)
COMMISSARIAT	프랑스	0 (0.0%)	8 (67%)	0 (0.0%)	4 (33%)	0 (0.0%)	미국	200%	아키텍처 (AA)
서울대학교	한국	8 (67%)	4 (33%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국	-	시냅스 (AC)
PANASONIC	일본	0 (0.0%)	4 (44%)	4 (44%)	0 (0.0%)	1 (11%)	미국, 일본	-	학습 알고리즘 설계 (AD)
KNOWM TECH	미국	0 (0.0%)	8 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	미국	100%	시냅스 (AC)
HEWLETT-PACKARD	미국	2 (25%)	3 (38%)	1 (13%)	1 (13%)	1 (13%)	미국	-100%	아키텍처 (AA)
VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR	중국	0 (0.0%)	7 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	미국	-	아키텍처 (AA)
TSINGHUA UNIVERSITY	중국	0 (0.0%)	1 (20%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	4 (80%)	중국	-	아키텍처 (AA), 시냅스 (AC)
HONDA	일본	0 (0%)	0 (0.0%)	3 (75%)	1 (25%)	0 (0.0%)	일본	-100%	뉴런 (AB)
에스케이하이닉스	한국	2 (50%)	2 (50%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	한국, 미국	-	시냅스 (AC)
WINBOND ELECTRONICS	타이완	0 (0.0%)	4 (100%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	미국	-	뉴런 (AB)
TEXAS INSTRUMENTS	미국	0 (0.0%)	2 (67%)	0 (0.0%)	1 (33%)	0 (0.0%)	미국	-	뉴런 (AB)
INFINEON	독일	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (100%)	0 (0.0%)	유럽	-	뉴런 (AB)
THE CENTRAL CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY	중국	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	3 (100%)	한국, 미국, 중국	-	뉴런 (AB)
INTEL	미국	1 (33%)	1 (33%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (33%)	한국, 미국, 중국	-	학습 알고리즘 설계 (AD)

- 인공지능 시스템 기술 분야의 주요 출원인 Top20을 살펴보면, 미국의 Qualcomm이 146건으로 전체 다출원인 1위로 나타났으며, 그 뒤를 이어 미국의 IBM 및 BRAIN, 한국의 삼성전자, 미국의 HRL 등이 이 기술분야에서 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남. 특히, 주요출원인 Top 중 미국국적의 출원인이 8명으로 가장 많았으며, 이는 미국기업이 상대적으로 인공지능 시스템 기술에 관한 연구개발에 보다 많은 노력을 하는 것으로 분석됨
- 최다 출원인인 Qualcomm은 미국에 52건을 출원하였고, 일본에 35건, 한국에 31건, 유럽에 24건 및 중국에 4건을 출원하였으며, 최근 4년간 특허출원 증가율이 250%로 출원건수가 증가하고 있으며, 뉴런 회로(AB)가 주력기술분야인 것으로 나타남. 또한, 다출원 2위를 기록한 미국의 IBM은 미국에 109건을, 일본에 8건, 유럽과 중국에 4건을, 한국에 1건을 출원하였으며, 최근 4년간 특허출원 증가율이 106%로 출원건수가 증가하고 있으며, 아키텍처(AA)가 주력기술 분야인 것으로 나타남
- 최다 출원인은 아니지만, 최근 중국에서의 특허건수가 증가하고 있는 것으로 나타나며, 특히 VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR, TSINGHUA UNIVERSITY 등의 출원인이 중국과 미국에 특허를 출원하고 있는 것으로 분석되고, 향후, 미국과 중국에서의 본 기술 분야에 대한 연구개발이 활발하게 진행될 것으로 분석됨
- 주요 출원인들의 주요출원국, 최근 연구활동 및 주력개발분야의 파악을 위하여, 주요출원국별 출원건수, 최근 4년간의 특허출원증가율 및 주력기술분야를 비교분석한 결과, (i) 주요 출원인들은 전반적으로 자국에서 활발한 특허활동을 하여 자국 이외에 주요출원국에 출원건수가 저조한 것으로 분석되었으며, (ii) 특허출원증가율은 주요 출원인별로 다르지만 미국의 BRAIN 및 HRL의 특허출원의 증가세가 돋보였고, (iii) 주력기술 분야 역시 주요 출원인별로 다르지만 뉴런 회로(AB) 분야에 가장 많은 출원을 진행한 것으로 분석됨

○ 주요출원인의 세부기술별 현황

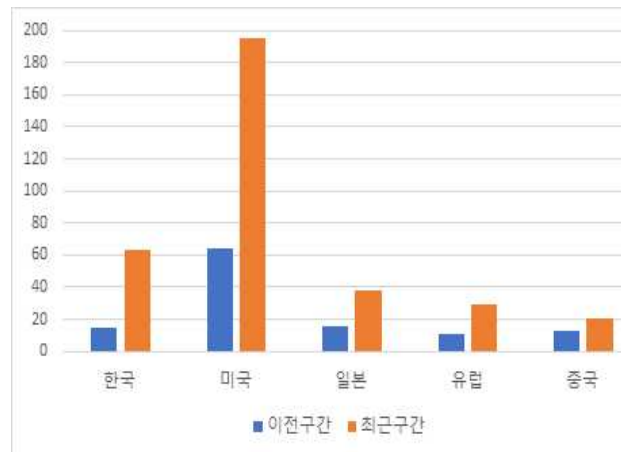


<그림 6-24> 주요출원인의 세부 기술별 현황

- 상위 1~3위에 해당하는 미국의 Qualcomm, IBM 및 BRAIN은 뉴런소자(AB) 기술에 집중하여 연구를 진행하고 있는 것으로 분석되며, 자국 내의 출원 비중이 높은 것으로 분석됨. 한국의 삼성전자는 국내와 미국의 출원 비중이 높고, 시냅스 소자(AC) 기술에 대한 출원이 비교적 많은 것으로 나타나고, 자국 및 미국으로의 출원이 절반 이상인 것으로 분석됨
- 상위 1~10위에 해당하는 주요 출원인은 미국기업이 5개로 절반정도이고, 그 외 한국기업은 3개 기관(삼성전자, 포항공과대학교 및 서울대학교)이 랭크되어 있어, 인공지능 반도체 기술 분야에 있어 미국기업이 주도적으로 기술을 개발 중에 있으며, 한국 또한 본 기술 분야에 대한 관심도가 높은 것으로 분석됨
- 대다수의 출원인은 미국에 특허를 출원하였고, 뉴런 회로(AB) 및 시냅스 소자(AC) 기술에 대한 출원이 비교적 많은 것으로 분석됨. 미국의 기업의 경우, 뉴런 회로(AB)와 관련된 기술이 다수를 차지하고 있으며, 한국의 출원인은 시냅스 소자(AC) 기술에 대한 특허 출원이 많은 것으로 분석됨

○ 국가간 특허 활동력

구분	이전구간(건)	최근구간(건)	증감율(%)
	08~11'	12~15'	
한국	15	63	23.8%
미국	64	195	32.8%
일본	16	38	42.1%
유럽	11	29	37.9%
중국	13	20	65.0%
총계(건)	119	345	34.5%



<그림 6-25> 국가간 특허 활동력

국가간 이전구간 대비 최근구간 특허 증감률을 보면, 중국의 급격한 양적 성장을 확인할 수 있음

- 국가 간의 특허 활동력을 분석한 결과, 전체 이전구간(2008년~2011년) 대비 최근구간(2012년~2015년)의 특허 출원 증가율은 34.%이고, 중국의 특허 출원 증가율이 65%로 가장 많이 증가한 것으로 분석됨. 그 다음으로는 일본의 출원 증가율이 42.1%로 증가하였으며, 한국은 이전구간 대비 23.8% 증가한 것으로 분석됨
- 미국의 경우 전체 국가 대비 특허 출원 건수가 가장 많은 것으로 분석되어 본 기술 분야에서의 선도국으로 분석되나, 최근구간의 중국에서의 특허 출원이 증가하고 있는 것으로 분석되어 향후 중국에서의 본 기술 분야에 관한 특허 출원이 급격하게 증가할 것으로 분석됨

○ 최근 3년(2015년~2017년)의 다출원인 현황

	아키텍처 (AA)	뉴런 (AB)	시냅스 (AC)	학습알고리즘설계 (AD)
1	IBM (US, 17)	QUALCOMM (US, 10)	IBM (US, 14)	IBM (US, 3)
2	VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR (CN, 6)	IBM (US, 7)	QUALCOMM (US, 6)	INTEL (US, 2)
3	UNIV DAYTON (US, 2)	서울대학교 (KR, 3)	SK 하이닉스 (KR, 4)	PANASONIC (JP, 2)
4	SHANHAI XINCHU INTEGRATED CIRCUIT (CN, 2)	SHENZHEN INST ADVAN TECHNOL, CHINESE ACADEMY SCI (CN, 2)	삼성전자 (KR, 3)	FUDAN UNIV (CN, 2)
5	BAIDU USA (US, 2)	THE CENTRAL CHINA UNIV SCI & TECHNOL (CN, 2)	TSINGHUA UNIV (CN, 1)	XIAN JIAOTONG UNIV (CN, 2)
6	서울대학교 (KR, 2)	SEMICONDUCTOR MANUFACTURING (CN, 2)	FUDAN UNIV (CN, 1)	SCI & TECHNOL NEAR SHENZHEN'S PROMISE (CN, 1)
7	INST. COMPUTING TECHN. ACADEMIA SENICA (CN, 2)	SEMICONDUCTOR ENERGY (JP, 2)	FUZHOU UNIV (CN, 1)	VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR (CN, 1)
8	SHANGHAI UNIV (CN, 2)	FUZHOU UNIV (CN, 1)	UNIV FLORIDA (US, 1)	TIANJIN UNIV (CN, 1)
9	인천대학교 (KR, 1)	INIT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCI (CA, 1)	서울대학교 (KR, 1)	IN2H2 (US, 1)
10	WUHAN MEI TONG SCIENCE TECHNOL LTD. (CN, 1)		KNOWM TECH (US, 1)	HARBIN INST TECHNOL SHENZHEN GRAD SCHOOL (CN, 1)

<그림 6-26> 최근 3년 다출원인 현황⁵⁾

- 최근 3년(2015년~2017년) 동안의 다출원인을 분석한 결과, 미국의 IBM, Qualcomm이 가장 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타나, 본 기술분야의 주요 출원인임을 알 수 있음
- 최근 3년 동안의 다출원인을 살펴보면, 중국의 특허 출원이 상위에 랭크되어 있음을 알 수 있고, 특히, VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR, SHANGHAI XINCHU INTEGRATED CIRCUIT 등 중국 출원인의 특허출원 건수가 증가하고 있는 것으로 분석됨. 최근 중국에서의 본 기술 분야에 대한 관심도가 높아졌음을 알 수 있으며, 향후 미국 다음으로 중국을 중심으로 본 기술 분야가 개발될 것으로 예상됨

5) 출원인(출원인 국적, 해당 기술분야의 총 출원건수)

□ 핵심특허 분석

○ 분석대상특허 선정기준

<표 6-5> 핵심특허 선정기준

패밀리 특허 분석을 통해 국가주도형 프로젝트의 영향에 대해 분석하려 하였고 등록여부를 통해 기술적인 중요성 여부를 고려하였음

선정기준	선정이유
기술적 유사도	특허 청구 범위 및 기술적 유사도 검토 후 핵심특허로 선정
패밀리 특허 국가수	패밀리 특허출원이 많을수록 기술에 의한 의지가 강하다고 판단 특허적 가치 및 영향력이 높다고 볼 수 있음
주요 출원인 보유특허	주요 분쟁은 기업 위주로 발생하므로, 개인출원은 의미 없음
등록여부	등록건이 아닌 경우, 침해 의미 없음 등록건이 아니어도 기술적으로 유사한 경우 핵심특허로 포함

- 핵심특허 분석을 위해 인공지능 시스템 기술의 전체 유효데이터 589건 중 공개/등록 특허를 대상으로 하여 기술적 내용 및 구성과 목적이 유사한 핵심특허군을 추출하였음

○ 분석대상특허 선정결과

- 인공지능 시스템 기술의 핵심특허를 추출한 결과, 주요 출원인별로 핵심특허군을 분류하여 각 출원인별 핵심특허 및 연구개발 기술을 도출

○ 주요 출원인별 핵심특허군

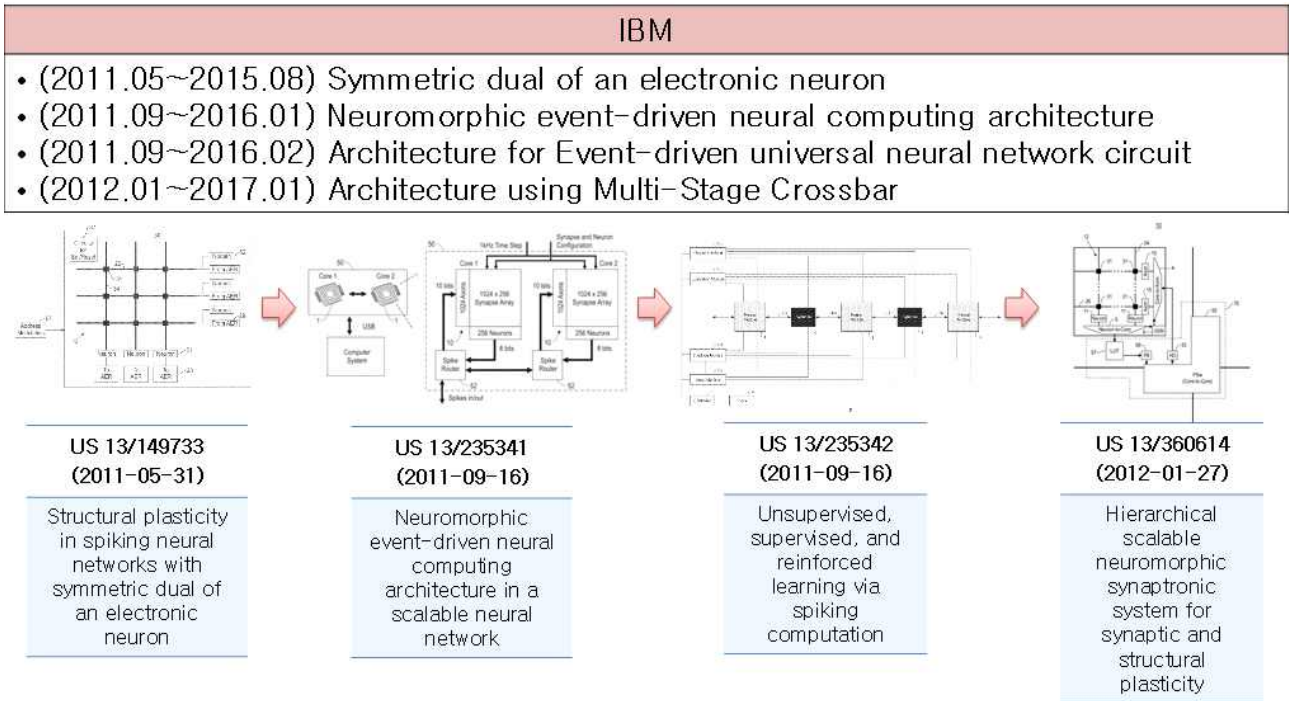
- 인공지능 시스템 기술의 핵심특허 전체를 동일 기술 그룹으로 재분류한 결과는 다음과 같음

IBM	QUALCOMM	BRAIN
<ul style="list-style-type: none"> • Symmetric dual electronic neuron • Neuromorphic event-driven neural computing architecture • Architecture using Multi-Stage Crossbar 	<ul style="list-style-type: none"> • General Computing System • Spiking Neural Network • Parallel Processing • CMOS implementation of neuron synapse • Hardware biologically inspired networks 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuromorphic System
VIA ALLAINCE SEMICONCOND	Commissariat	HEWLETT-PACKARD
<ul style="list-style-type: none"> • NEURAL NETWORK UNIT 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuronal Systems • 1st-4th Embodiments of Artificial Neural Network 	<ul style="list-style-type: none"> • Configurable Switches in Crossbar
HRL Laboratories	Known Tech	PANASONIC
<ul style="list-style-type: none"> • Neuromorphic Architecture • I&F Neuron, Synapses • Neuromorphic Memory Circuit 	<ul style="list-style-type: none"> • Physical Neural Network 	<ul style="list-style-type: none"> • Neural Network Circuit
삼성전자	서울대학교	포항공과대학교
<ul style="list-style-type: none"> • Neuromorphic Chips • Neural Network • Neuromorphic Signal Processing Device • Neural Memory Device • Synapse for function cell of STDP (포항공대) 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuromorphic device • Vertical neuromorphic device • Floating body device • Synaptic semiconductor device 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuromorphic chip • Vertical neuromorphic device

<그림 6-27> 주요 출원인별 핵심특허군 분석

- 각 핵심특허군의 주요 출원인의 핵심특허별로 심층분석을 수행하였으며, 주요 출원인은 IBM, Qualcomm, BRAIN corporation, VIA ALLIANCE SEMICONDUCTIR, Commissariat, Hewlett-packard, HRL, Known Tech, Panasonic, 삼성전자, 서울대학교 및 포항공과대학교가 있음

○ IBM 핵심특허군 분석



<그림 6-28> IBM 핵심특허군 분석

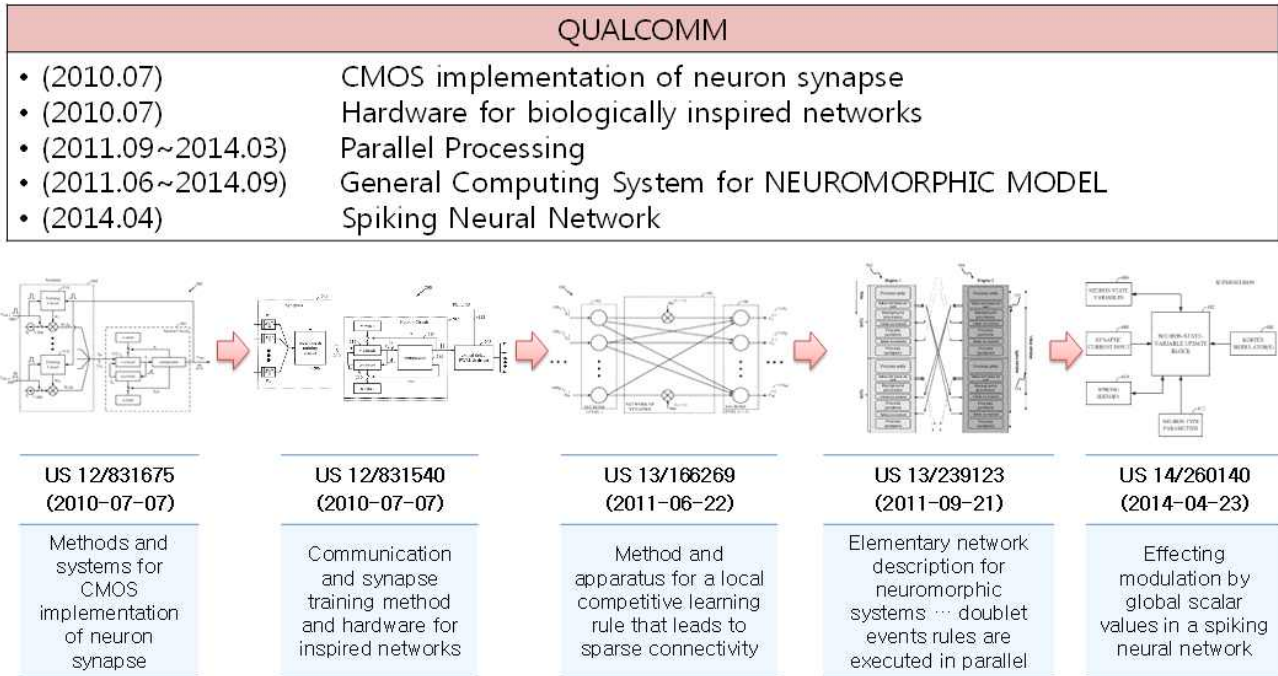
- IBM 핵심특허군을 분석한 결과, IBM은 초장기인 2011년부터 다양한 뉴로모픽 컴퓨팅 시스템을 개발하였으며, 가장 최근은 다단계 크로스바를 이용한 아키텍처에 특허출원을 진행하였고, 또한, 가장 높은 특허 집중도를 보임

<표 6-6> IBM 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/149733 (2011.05.31.)	Structural plasticity in spiking neural networks with symmetric dual of an electronic neuron	Symmetric dual of an electronic neuron
2	US 13/570087 (2012.08.08.)		
3	US 14/223886 (2014.03.24.)		
4	US 14/823892 (2015.08.11.)		
5	US 13/235341 (2011.09.16.)	Neuromorphic event-driven neural computing architecture in a scalable neural network	Neuromorphic event-driven neural computing
6	US 13/585010		

	(2012.08.14.)		architecture
7	US 14/989579 (2016.01.06.)		
8	US 13/360614 (2012.01.27.)	Hierarchical scalable neuromorphic synaptronic system for synaptic and structural plasticity	Architecture using Multi-Stage Crossbar
9	US 13/434733 (2012.03.29.)	Multi-compartment neurons with neural cores	
10	US 13/596278 (2012.08.28.)		
11	US 14/491816 (2014.09.19.)		
12	US 15/003703 (2016.01.21.)		
13	US 14/273487 (2014.05.08.)	Neuromorphic hardware for neuronal computation and non-neuronal computation	
14	US 13/434729 (2012.03.29.)	Synaptic, dendritic, somatic, and axonal plasticity in a network of neural cores using a plastic multi-stage crossbar switching	
15	US 13/594069 (2012.08.24.)		
16	US 14/945284 (2015.11.18.)		
17	US 14/289890 (2014.05.29.)	Scene understanding using a neurosynaptic system	
18	US 14/662115 (2015.03.18)	Implementing a neural network algorithm on a neurosynaptic substrate based on metadata associated with the neural network algorithm	
19	US 13/791505 (2013.03.08)	Structural descriptions for neurosynaptic networks	
20	US 15/418609 (2017.01.27)		
21	US 13/235342 (2011.09.16)	Unsupervised, supervised, and reinforced learning via spiking computation	Architecture for Event-driven universal neural network circuit
22	US 13/587424 (2012.08.16)		
23	US 14/494372 (2014.09.23)		
24	US 13/594058 (2012.08.24)	Event-driven universal neural network circuit	
25	US 15/015990 (2016.02.04)		

○ Qualcomm 핵심특허군 분석



<그림 6-29> Qualcomm 핵심특허군 분석

- Qualcomm은 Von Neumann 중심의 뉴로모픽 아키텍처를 특허화 하였으며, 최근 Brain Corporation의 기술을 일부 이전하였음. 초기 neuron synapse의 CMOS 구현 등의 하드웨어 중심에서 “NEUROMORPHIC MODEL”을 위한 일반 컴퓨팅 시스템 등의 아키텍처 중심으로 연구개발을 진행 중인 것으로 분석됨

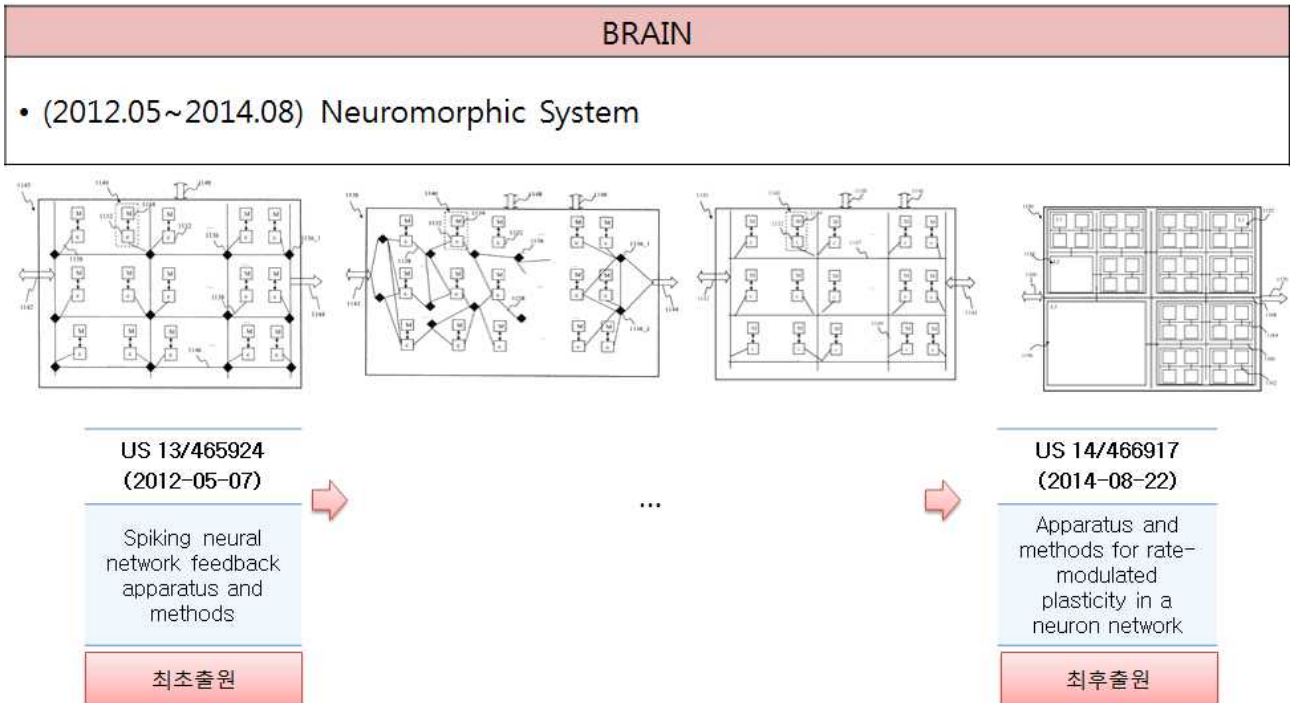
<표 6-7> Qualcomm 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/166269 (2011.06.22.)	Method and apparatus for a local competitive learning rule that leads to sparse connectivity	General Computing System for NEUROMORPHIC MODEL
2	US 13/238088 (2011.09.21.)	Method and apparatus for strategic synaptic failure and learning in spiking neural networks	
3	US 13/211091 (2011.10.19.)	Method and apparatus for neural temporal coding, learning and recognition	
4	US 13/292161 (2011.11.09.)	Method and apparatus for switching the binary state of a location in memory in a probabilistic manner to store synaptic weights of a neural network	
5	US 13/276812	Method and apparatus for neural	

	(2011.10.19.)	learning of natural multi-spike trains in spiking neural networks
6	US 13/292167 (2011.11.09.)	Methods and apparatus for unsupervised neural component replay by referencing a pattern in neuron outputs
7	US 13/408134 (2012.02.29.)	Method and apparatus for modeling neural resource based synaptic plasticity
8	US 13/468331 (2012.05.10.)	Method and apparatus for strategic synaptic failure and learning in spiking neural networks
9	US 13/568782 (2012.08.07.)	Method and apparatus for adaptive bit-allocation in neural systems
10	US 13/669521 (2012.11.06.)	Methods and apparatus for identifying spectral peaks in neuronal spiking representation of a signal
11	US 14/065089 (2013.10.28.)	Methods and apparatus for tagging classes using supervised learning
12	US 13/292175 (2011.11.09.)	Methods and apparatus for neural component memory transfer of a referenced pattern by including neurons to output a pattern substantially the same as the referenced pattern
13	US 14/047885 (2013.10.07.)	Defining dynamics of multiple neurons
14	US 14/066599 (2013.10.29.)	Automated method for modifying neural dynamics
15	US 14/070652 (2013.11.04.)	Piecewise linear neuron modeling
16	US 14/070679 (2013.11.04.)	
17	US 14/157143 (2014.01.16.)	Implementing structural plasticity in an artificial nervous system
18	US 14/167727 (2014.01.29)	Behavioral homeostasis in artificial nervous systems using dynamical spiking neuron models
19	US 14/485501 (2014.09.12)	CONTEXTUAL REAL-TIME FEEDBACK FOR NEUROMORPHIC MODEL DEVELOPMENT
20	US 14/056856 (2013.10.17)	Dynamically assigning and examining synaptic delay
21	US 14/066570 (2013.10.29)	Doppler effect processing in a neural network model
22	US 14/084326 (2013.11.19)	Computed synapses for neuromorphic systems
23	US 14/167752 (2014.01.29)	Post ghost plasticity
24	US 14/228078	Plastic synapse management

	(2014.03.27)		
25	US 14/267005 (2014.05.01)	Efficient hardware implementation of spiking networks	
26	US 14/486757 (2014.09.15)	COLD NEURON SPIKE TIMING BACK-PROPAGATION	
27	US 14/162646 (2014.01.23)	Monitoring neural networks with shadow networks	
28	US 14/195988 (2014.03.04)	Method and apparatus for producing programmable probability distribution function of pseudo-random numbers	
29	US 14/260140 (2014.04.23)	Effecting modulation by global scalar values in a spiking neural network	Spiking Neural Network
30	US 13/239123 (2011.09.21)	Elementary network description for neuromorphic systems with plurality of doublets wherein doublet events rules are executed in parallel	
31	US 13/868944 (2013.04.23)	Event-based communication in spiking neuron networks communicating a neural activity payload with an efficacy update	Parallel Processing
32	US 14/198446 (2014.03.05)	Apparatus and methods for event-triggered updates in parallel networks	
33	US 12/831675 (2010.07.07)	Methods and systems for CMOS implementation of neuron synapse	CMOS implementation of neuron synapse
34	US 12/831540 (2010.07.07)	Communication and synapse training method and hardware for biologically inspired networks	Hardware for biologically inspired networks

○ Brain corporation 핵심특허군 분석



<그림 6-30> Brain corporation 핵심특허군 분석

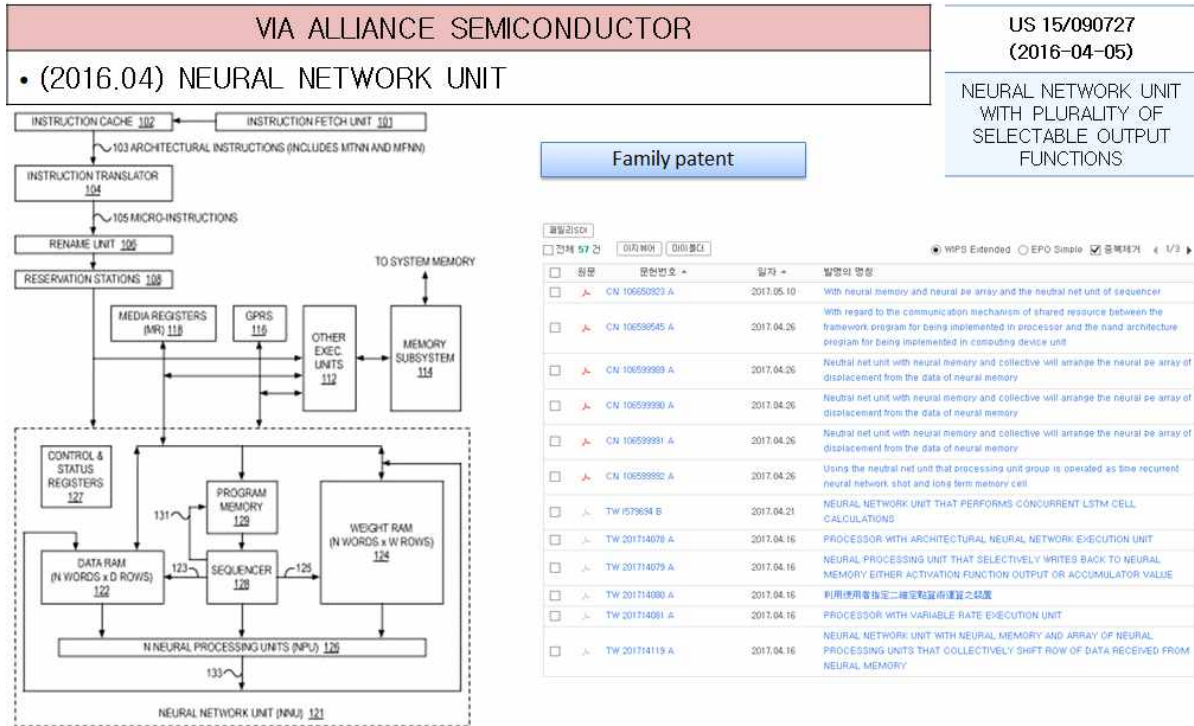
- BRAIN은 2년 기간 동안 다수의 유사 특허를 출원하였으며, “Spiking neural network feedback apparatus”에서 출발하여 최근 “rate-modulated plasticity in a neuron network”을 중심으로 연구개발하고 있는 것으로 분석됨. BRAIN 특허 중 일부는 Qualcomm에 기술이전된 것으로 분석됨

<표 6-8> BRAIN corporation 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/465924 (2012.05.07.)	Spiking neural network feedback apparatus and methods	Neuromorphic System
2	US 13/465903 (2012.05.07.)	Sensory input processing apparatus in a spiking neural network	
3	US 13/488106 (2012.06.04.)	Spiking neuron network apparatus and methods	
4	US 13/539142 (2012.06.29.)	Retinal apparatus and methods	
5	US 13/540429 (2012.07.02.)	Sensory processing apparatus and methods	
6	US 13/541531	Conditional plasticity spiking neuron	

	(2012.07.03.)	network apparatus and methods
7	US 13/548071 (2012.07.12.)	Spiking neuron network sensory processing apparatus and methods
8	US 13/560902 (2012.07.27.)	Apparatus and methods for generalized state-dependent learning in spiking neuron networks
9	US 13/623801 (2012.09.20.)	Modulated stochasticity spiking neuron network controller apparatus and methods
10	US 13/623842 (2012.09.20.)	Spiking neuron network adaptive control apparatus and methods
11	US 13/660982 (2012.10.25.)	Spiking neuron sensory processing apparatus and methods for saliency detection
12	US 13/660945 (2012.10.25.)	Modulated plasticity apparatus and methods for spiking neuron network
13	US 13/691554 (2012.11.30.)	Rate stabilization through plasticity in spiking neuron network
14	US 13/722769 (2012.12.20.)	Apparatus and methods for state-dependent learning in spiking neuron networks
15	US 13/756372 (2013.01.31.)	Spiking neuron classifier apparatus and methods using conditionally independent subsets
16	US 13/895163 (2013.05.15.)	Multithreaded apparatus and methods for implementing parallel networks
17	US 14/054366 (2013.10.15.)	Apparatus and methods for backward propagation of errors in a spiking neuron network
18	US 14/191383 (2014.02.26)	Apparatus and methods for temporal proximity detection
19	US 13/560891 (2012.07.27)	Apparatus and methods for efficient updates in spiking neuron network (Qualcomm에 양도)
20	US 13/588774 (2012.08.17)	Apparatus and methods for implementing event-based updates in neuron networks (Qualcomm에 양도)
21	US 13/763005 (2013.02.08)	Spiking network apparatus and method with bimodal spike-timing dependent plasticity (Qualcomm에 양도)
22	US 13/774934 (2013.02.22)	Apparatus and methods for rate-modulated plasticity in a neuron network (Qualcomm에 양도)
23	US 14/466917 (2014.08.22)	

○ VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 핵심특허군 분석



<그림 6-31> VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 핵심특허군 분석

- VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR은 가장 최근에 본 기술분야에 대한 연구를 시작하는 단계인 것으로 분석되며, “neural processing unit”에 관한 기술을 연구개발하여 2016년 4월에 6건의 특허를 동시 출원함

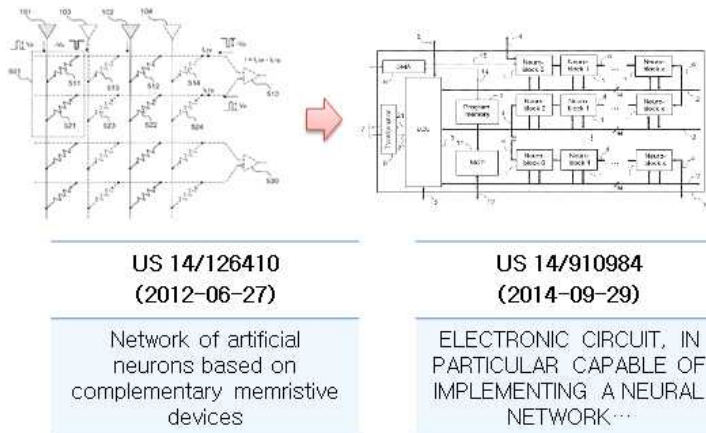
<표 6-9> VIA ALLIANCE SEMICONDUCTOR 핵심특허군 특허리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 15/090678 (2016.04.05.)	NEURAL PROCESSING UNIT THAT SELECTIVELY WRITES BACK TO NEURAL MEMORY EITHER ACTIVATION FUNCTION OUTPUT OR ACCUMULATOR VALUE	Neural network unit
2	US 15/090727 (2016.04.05.)	NEURAL NETWORK UNIT WITH PLURALITY OF SELECTABLE OUTPUT FUNCTIONS	
3	US 15/090671 (2016.04.05.)	NEURAL NETWORK UNIT WITH PLURALITY OF SELECTABLE OUTPUT FUNCTIONS	
4	US 15/090669 (2016.04.05.)	PROCESSOR WITH ARCHITECTURAL NEURAL NETWORK EXECUTION UNIT	
5	US 15/090696 (2016.04.05.)	NEURAL NETWORK UNIT EMPLOYING USER-SUPPLIED RECIPROCAL FOR NORMALIZING AN ACCUMULATED VALUE	

6	US 15/090672 (2016.04.05.)	NEURAL NETWORK UNIT WITH NEURAL PROCESSING UNITS DYNAMICALLY CONFIGURABLE TO PROCESS MULTIPLE DATA SIZES	
---	-------------------------------	--	--

○ Commissariat 핵심특허군 분석

Commissariat	
<ul style="list-style-type: none"> • (2012.06) 1st ~ 4th Embodiments of Artificial Neural Network • (2014.09~2014.11) Neuronal Systems 	



<그림 6-32> Commissariat 핵심특허군 분석

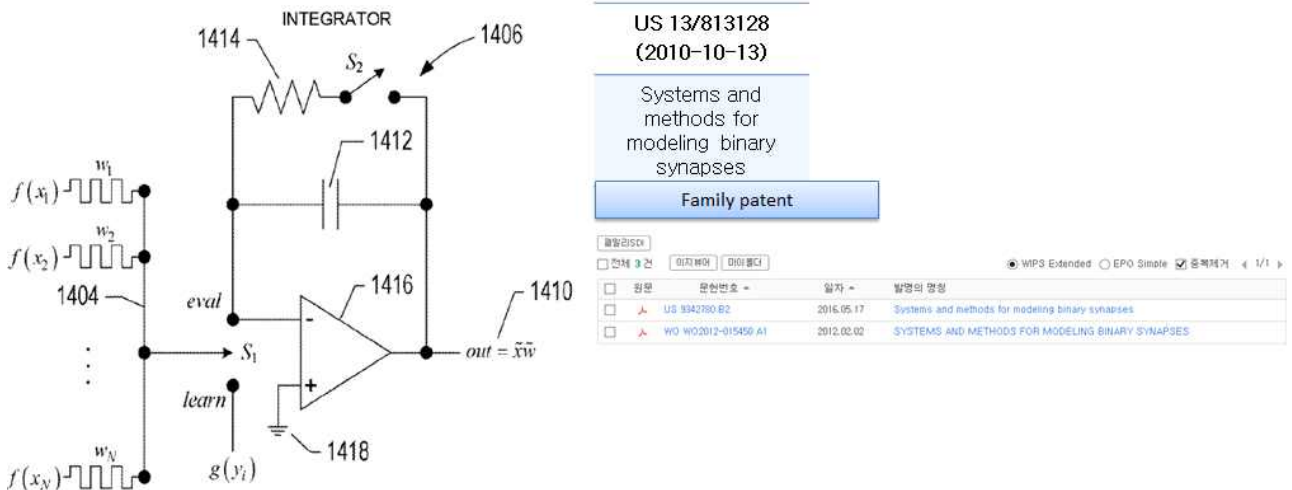
- Commissariat은 비교적 최근에 본 기술분야에 대한 연구를 시작하는 단계인 것으로 분석되며, “Neuronal Systems”에 관한 기술을 연구개발 진행 중인 것으로 분석됨

<표 6-10> Commissariat 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 14/910984 (2014.09.29.)	ELECTRONIC CIRCUIT, IN PARTICULAR CAPABLE OF IMPLEMENTING A NEURAL NETWORK, AND NEURAL SYSTEM	Neuronal Systems
2	US 15/037569 (2014.11.27.)	SIGNAL PROCESSING MODULE, ESPECIALLY FOR A NEURAL NETWORK AND A NEURONAL CIRCUIT	
3	US 14/126410 (2012.06.27.)	Network of artificial neurons based on complementary memristive devices	1st ~ 4th Embodiments of Artificial Neural Network

○ HEWLETT-PACKARD 핵심특허군 분석

HEWLETT-PACKARD
<ul style="list-style-type: none"> • (2010.10) Configurable Switches in Crossbar



<그림 6-33> HEWLETT-PACKARD 핵심특허군 분석

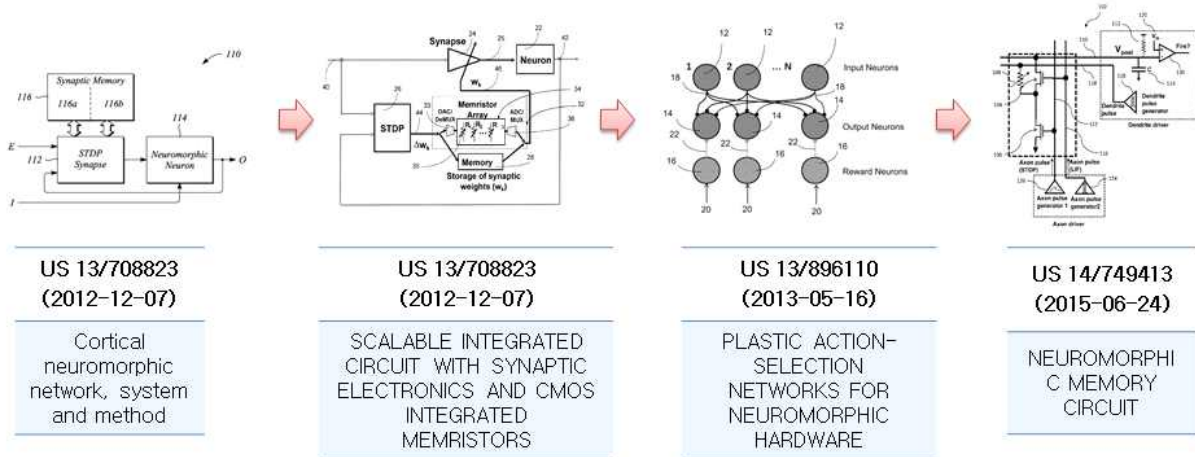
- HEWLETT-PACKARD은 “configurable switches in crossbar”에 관한 기술을 연구개발 진행 중인 것으로 분석됨

<표 6-11> HEWLETT-PACKARD 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/813128 (2010.10.13.)	Systems and methods for modeling binary synapses	Configurable Switches in Crossbar

○ HRL Laboratories 핵심특허군 분석

HRL Laboratories	
• (2012.12)	Neuromorphic Architecture
• (2012.12)	I&F Neuron, Synapses and STDP Circuits
• (2013.05~2014.06)	Neural Model
• (2015.06)	Neuromorphic Memory Circuit



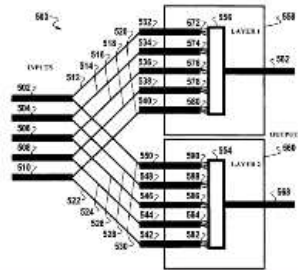
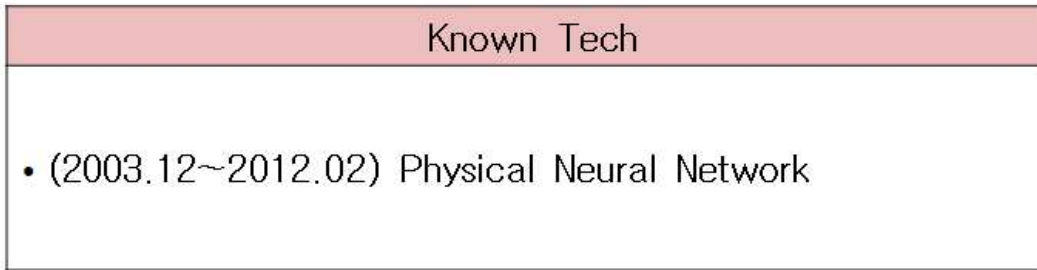
<그림 6-34> HRL Laboratories 핵심특허군 분석

- HRL Laboratories은 초기 “Neuromorphic Architecture” 및 “I&F Neuron, Synapses and STDP Circuits”에 관한 기술을 연구개발하여 가장 최근에는 “Neuromorphic Memory Circuit”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

<표 6-12> HRL Laboratories 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/708823 (2012.12.07.)	Cortical neuromorphic network, system and method	Neuromorphic Architecture
2	US 14/453154 (2014.08.06.)	SCALABLE INTEGRATED CIRCUIT WITH SYNAPTIC ELECTRONICS AND CMOS INTEGRATED MEMRISTORS	I&F Neuron, Synapses and STDP Circuits
3	US 14/749413 (2015.06.24.)	NEUROMORPHIC MEMORY CIRCUIT	Neuromorphic Memory Circuit
4	US 13/896110 (2013.05.16.)	PLASTIC ACTION-SELECTION NETWORKS FOR NEUROMORPHIC HARDWARE	Neural Model
5	US 14/293928 (2014.06.02.)	Neural network for reinforcement learning	

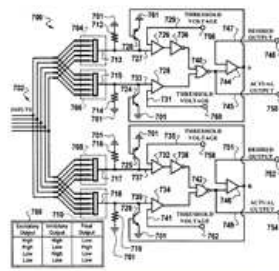
○ Known Tech 핵심특허군 분석



US 10/748631
(2003-12-30)

최초출원

Application of hebbian and anti-hebbian learning to nanotechnology-based physical neural networks



US 13/370569
(2012-02-10)

PHYSICAL NEURAL NETWORK

최후출원

<그림 6-35> Known Tech 핵심특허군 분석

- Known Tech은 초기 “nanotechnology-based physical neural networks”에 관한 기술을 연구개발하였고, 가장 최근에는 “Physical Neural Network”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

<표 6-13> Known Tech 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 10/748631 (2003.12.30.)	Application of hebbian and anti-hebbian learning to nanotechnology-based physical neural networks	Physical Neural Network
2	US 12/100552 (2008.04.10.)	High density synapse chip using nanoparticles	
3	US 13/370569 (2012.02.10.)	PHYSICAL NEURAL NETWORK	
4	US 12/100586 (2008.04.10.)	Adaptive neural network utilizing nanotechnology-based components	

○ PANASONIC 핵심특허군 분석

PANASONIC

• (2013.07) Neural Network Circuit

Family patent				
<input type="checkbox"/>	원문	출원번호	발명명	
<input type="checkbox"/>	US	8775346 B2	2014.01.06	Learning method of neural network circuit
<input type="checkbox"/>	CN	103430106 A	2013.12.04	Learning method for neural network circuit
<input type="checkbox"/>	WO	WO/2013/108299 A1	2013.07.25	LEARNING METHOD FOR NEURAL NETWORK CIRCUIT
<input type="checkbox"/>	JP	WO2013-108299 A1	2013.07.25	신경망 회로의 학습 방법
<input type="checkbox"/>	JP	5209648 B2	2013.06.14	신경망 회로의 학습 방법

US 13/951443 (2013-07-25) US 13/951448 (2013-07-25)
 Learning method of neural network circuit

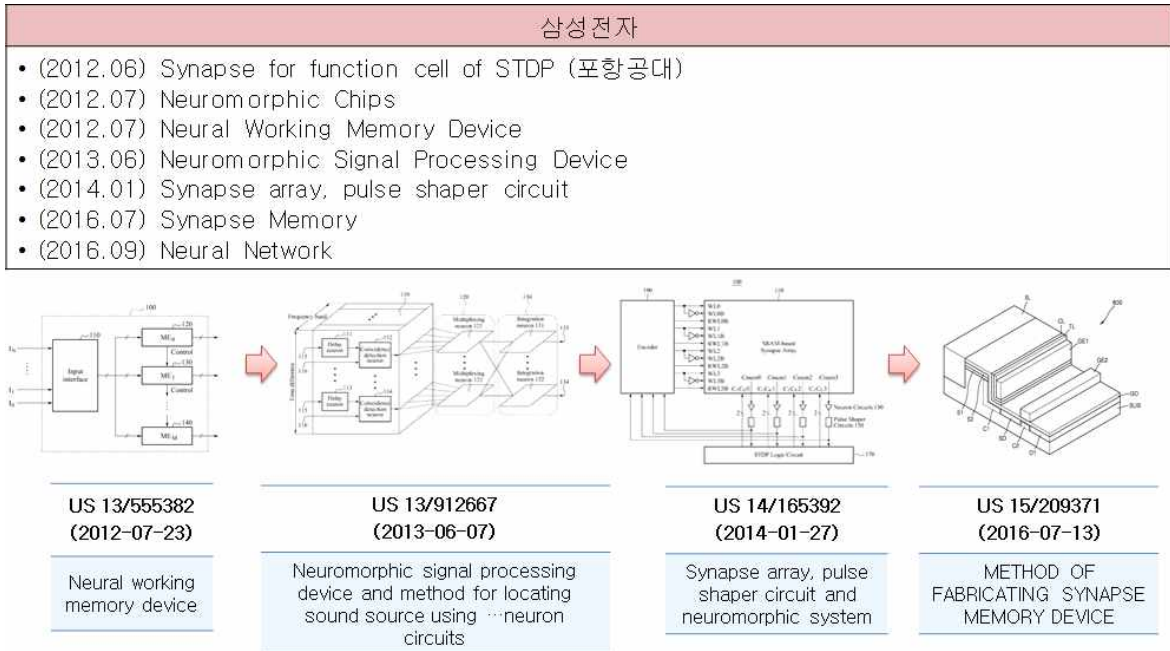
<그림 6-36> PANASONIC 핵심특허군 분석

– PANASONIC은 “neural network circuit”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

<표 6-14> PANASONIC 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/951443 (2013.07.25.)	Learning method of neural network circuit	Neural Network Circuit
2	US 13/951448 (2013.07.25.)		

○ 삼성전자 핵심특허군 분석



<그림 6-37> 삼성전자 핵심특허군 분석

- 삼성전자는 초기 “Neural Working Memory Device”에 관한 기술을 연구개발하여 가장 최근에는 “Synapse Memory”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

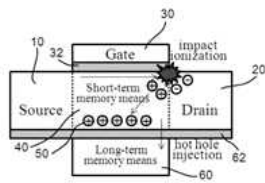
<표 6-15> 삼성전자 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 13/560261 (2012.07.27.)	Apparatus and method for transmitting and receiving determined spike events between neurons in neuromorphic chips utilizing a strobe representing spike occurrence time information	Neuromorphic Chips
2	US 15/267600 (2016.09.16.)	WEIGHTING DEVICE, NEURAL NETWORK, AND OPERATING METHOD OF THE WEIGHTING DEVICE	Neural Network
3	US 13/912667 (2013.06.07.)	Neuromorphic signal processing device and method for locating sound source using a plurality of neuron circuits	Neuromorphic Signal Processing Device
4	US 13/555382 (2012.07.23.)	Neural working memory device	Neural Working Memory Device
5	US 14/165392 (2014.01.27.)	Synapse array, pulse shaper circuit and neuromorphic system	Synapse array, pulse shaper circuit
6	US 13/490699	Synapse for function cell of spike	Synapse for

	(2012.06.07.)	timing dependent plasticity (STDP), function cell of STDP, and neuromorphic circuit using function cell of STDP	function cell of STDP (포항공대)
7	US 15/209371 (2016.07.13.)	METHOD OF FABRICATING SYNAPSE MEMORY DEVICE	Synapse Memory
8	US 15/165372 (2016.05.26.)	NONVOLATILE MEMORY TRANSISTOR AND DEVICE INCLUDING THE SAME	

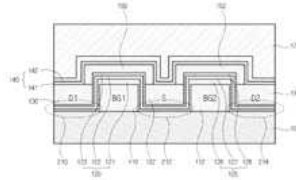
○ 서울대학교 핵심특허군 분석

서울대학교	
<ul style="list-style-type: none"> • (2013.09) Synaptic semiconductor device • (2015.03) Floating Body Device for Emulating Neuron Firing Process • (2015.11) Neuromorphic device • (2016.07) Vertical Neuromorphic device 	



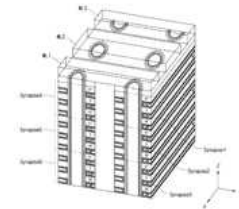
US 14/018693
(2013-09-05)

Synaptic semiconductor
device and operation
method thereof



US 14/935658
(2015-11-09)

Neuromorphic device
with excitatory and
inhibitory functionalities



US 15/220776
(2016-07-27)

VERTICAL NEUROMORPHIC
DEVICES STACKED STRUCTURE
AND ARRAY OF THE STRUCTURE

<그림 6-38> 서울대학교 핵심특허군 분석

- 서울대학교는 초기 “synaptic semiconductor device”에 관한 기술을 연구개발하여 가장 최근에는 “vertical neuromorphic device”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

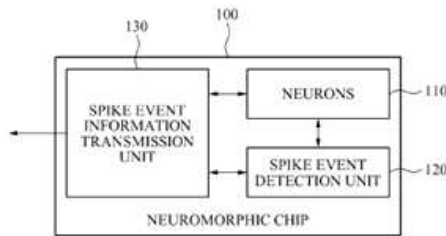
<표 6-16> 서울대학교 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 14/935658 (2015.11.09.)	Neuromorphic device with excitatory and inhibitory functionalities	Neuromorphic device
2	US 15/220776 (2016.07.27.)	VERTICAL NEUROMORPHIC DEVICES STACKED STRUCTURE AND ARRAY OF THE STRUCTURE	Vertical Neuromorphic device
3	US 14/635051	SEMICONDUCTOR CIRCUIT USING FLOATING BODY DEVICE FOR	Floating Body Device for

	(2015.03.02.)	EMULATING NEURON FIRING PROCESS	Emulating Neuron Firing Process
4	US 14/018693 (2013.09.05.)	Synaptic semiconductor device and operation method thereof	Synaptic semiconductor

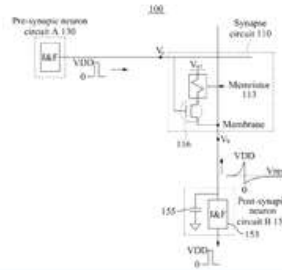
○ 포항공과대학교 핵심특허군 분석

포항공과대학교	
<ul style="list-style-type: none"> • (2014.03) Neuromorphic Chip • (2014.03) Vertical Neuromorphic device 	



US 14/223284
(2014-03-24)

NEUROMORPHIC CHIP AND METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING SPIKE EVENT



US 14/213368
(2014-03-14)

SYNAPSE CIRCUIT AND NEUROMORPHIC SYSTEM INCLUDING THE SAME

<그림 6-39> 포항공과대학교 핵심특허군 분석

- 포항공과대학교는 “Neuromorphic Chip” 및 “Vertical Neuromorphic device”을 중심으로 연구개발을 진행 중에 있는 것으로 분석됨

<표 6-17> 포항공과대학교 핵심특허군 특허 리스트

No.	출원번호	발명의 명칭	핵심기술
1	US 14/223284 (2014.03.24.)	NEUROMORPHIC CHIP AND METHOD AND APPARATUS FOR DETECTING SPIKE EVENT	Neuromorphic Chip
2	US 14/213368 (2014.03.14.)	SYNAPSE CIRCUIT AND NEUROMORPHIC SYSTEM INCLUDING THE SAME	Vertical Neuromorphic device

[참고문헌]

- Borghino, D. (2013). Neuromorphic chips could help reverse-engineer the human brain. NEW ATLAS.
- Clarke, P. (2014). IBM seeks customers for neural network breakthrough.
- Furber, S. B., Galluppi, F., Temple, S., Plana, L. A. (2014). The SpiNNaker project, Proceedings of the IEEE, 102(5), 652-665.
- Garis, H., Yu, T. J., Zhiyong, H., Lu, B., Cong, C., Shuo, C., Junfei, G., Xianjin, T., Hao, T., Xiaohan, T., Xianjian, W., Ye, X., Di, H. (2008). The China-Brain project: Building China's artificial brain using an evolved neural net module approach.
- Hemsoth, N. (2017). First in-depth look at google's new second-generation TPU.
- Ho, J. (2015). Qualcomm announces Snapdragon 820 and Zeroth platform, ANANDTECH. (<http://www.anandtech.com/show/9028/qualcomm-announces-snapdragon-820-and-zeroth-platform>)
- IRS Global (2016). 4차 산업혁명을 주도하는 인공지능(AI) 기술의 시장 동향 및 주요 이슈 종합분석.
- Joy, S. (2015). About the BRAIN initiative.
- Khalili, P., Wang, K. (2013). Voltage-controlled MRAM: Status, challenges and prospects, EE Times.
- Merolla, P., Arthur, J., Akopyan, F., Imam, N., Manohar, R., Modha, D. S. (2011). A digital neurosynaptic core using embedded crossbar memory with 45pJ per spike in 45nm, IEEE Custom Integrated Circuits Conference (CICC).
- Nakamura, M. (2016). STI policy and practices in Japan.
- Russakovsky, O., Deng, J., Su, H., Krause, J., Satheesh, S., Ma, S., Huang, Z., Karpathy, A., Khosla, A., Bernstein, M., Berg, A. C., Fei-Fei, L. (2015). ImageNet large scale visual recognition challenge, International Journal of Computer Vision, 115(3), 211-252.
- Shah, A. (2017). Intel researches quantum computing and neuromorphic chips for future PCs, PCWorld. (<http://www.pcworld.com/article/3168753/components-processors/intel-researches-tech-to-prepare-for-a-future-beyond-todays-pcs.html>)
- Shen, H. (2013). Neurotechnology: BRAIN storm. Nature, 503(7), 26-28.
- Stewart, J. (2017). Watch DRAPA's creepy 'project sidearm' pluck a drone out of the air.
- Vincent, J. (2016), Qualcomm's deep learning SDK will mean more AI on your smartphone, THE VERGE.

(<https://www.theverge.com/2016/5/2/11538122/qualcomm-deep-learning-sdk-zeroth>)
Ward, J., Andreev, S., Heredia, F., Lazar, B., Manevska, Z. (2011). Efficient mapping of the training of convolutional neural networks to a CUDA-based cluster.

Rabaey, J. (2008). Low power design essentials, Springer Verlag.

미래창조과학부 (2017). 지능정보사회 선도를 위한 인공지능 연구개발 본격추진.

윤홍우 (2017). 끝 모를 삼성 기술력 세계 첫 '8·6나노' 시스템반도체 만든다, 서울경제.

(<http://www.sedaily.com/NewsView/1ODE7I4Z2S>)

장은지 (2016). SK·삼성전자 뇌 닮은 반도체 개발 인공지능 공략, 뉴스1.

(<http://news1.kr/articles/?2800728>)

정원영 (2016). 네패스 인공지능 칩 개발업체 제너럴 비전과 제휴, 로봇신문.

(<http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=8537>)

한국과학기술기획평가원 (2015). 전자정보디바이스 산업원천기술개발사업.

한일산업기술협력재단 (2015). 일본의 로봇 신전략.

<https://www.slideshare.net/microlife/from-neural-networks-to-deep-learning>

http://www.theregister.co.kr/2011/08/18/ibm_darpa_synapse_

http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-07/20/content_5211996.htm

<http://www.qualcomm.com>

<https://www.google.com/intl/es419/insidesearch/features/voicerearch>

https://www.altera.com/products/boards_and_kits/dev-kits/altera/acceleration-card-arria-10-gx.html

<https://www.movidius.com/>

<https://www.digitaltrends.com/mobile/huawei-kirin-970-ai-news/>

<https://resedit.watson.ibm.com/researcher/concepts.php>

<http://rndgate.ntis.go.kr/>

http://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=2455

http://www.theregister.co.kr/2011/08/18/ibm_darpa_synapse_project/

<https://flagship.kip.uni-heidelberg.de/public/BrainScaleS/>

<https://apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project/Access/>

<http://exobrain.kr>

<https://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14500/nsf14500.htm>

뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안

발행일 | 2017년 11월 4일

펴낸곳 | 국가과학기술자문회의

주 소 | 서울특별시 종로구 세종대로 178, KT빌딩 12층 국가과학기술자문회의

전 화 | 02-733-4971

팩 스 | 02-733-0039

※ 본 연구결과는 국가과학기술자문회의에서 시행한 「뉴로닉 컴퓨팅 시스템 기반의 차세대 인공지능 선도 방안」 연구 보고서임.

※ 본 연구결과를 국가과학기술자문회의의 허락 없이 무단 인용할 수 없음.