

ISSN1016-9288

제50권 4호

2023년 4월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.50. no.4

차세대 하드웨어 소자, 설계, CAD 기술

- 차세대 로직 및 메모리 반도체 소자 기술 동향
- 차세대 집적회로 설계를 위한 CAD 기술
- 엣지 인텔리전스용 멤리스터 크로스바 인메모리 컴퓨팅 기술:
Memristor Crossbar In-Memory Computing Techniques for Edge Intelligence
- 경량화 인공지능망을 위한 하드웨어 설계
- 3차원 Point Cloud 데이터 기반 시각 지능화 기술 및 가속기 설계 동향



임의파형발생기

- 2.4 GSa/s, 16 bit, 750 MHz
- 4 또는 8 채널 이상
- 50 ns 이하의 트리거 딜레이

어플리케이션

반도체 테스트, 양자 컴퓨터, Phased array 레이더 설계 & 테스트, Lidar, 분광학, NMR

Boost your lab's performance

임피던스분석기

- DC ~ 5 MHz까지, 1 mΩ ~ 1 TΩ까지
- 0.05% 기본 정확도
- 측정 정확도 보상 및 측정 신뢰도 표시 기능

어플리케이션

높은 Q 값의 유전체, 정전용량형 센서, 슈퍼 커패시터, PV 소자, 소자 특성 분석

락인앰플리파이어

- 600 MHz까지 측정 가능
- 스코프, FFT, 주파수 응답 분석기, Sweeper, 이미징 툴
- 옵션: 임의파형발생기, PID, PLL, Boxcar, 주파수 카운터, AM & FM 변조

어플리케이션

AFM, LVP, CARS, SRS, SNOM, graphene, optical PLL, THz, pump-probe, RFID, MEMS, NEMS, gyros, NDT, MRFM

LabOne® 소프트웨어

취리히인스트루먼트의 모든 장비는 제어소프트웨어인 LabOne®을 사용할 수 있습니다. 다양한 기능, 효율적인 작업, 쉬운 사용자인터페이스를 제공합니다. 웹브라우저에서 장비를 액세스하거나 LabVIEW™, MATLAB®, Python, C 또는 .NET 프로그램들과 통합할 수 있습니다.

한국담당자 010-6456-3463
ilnam.yeom@zhinst.com
www.zhinst.com

응용분야 솔루션에 대하여
기술문의 해주세요

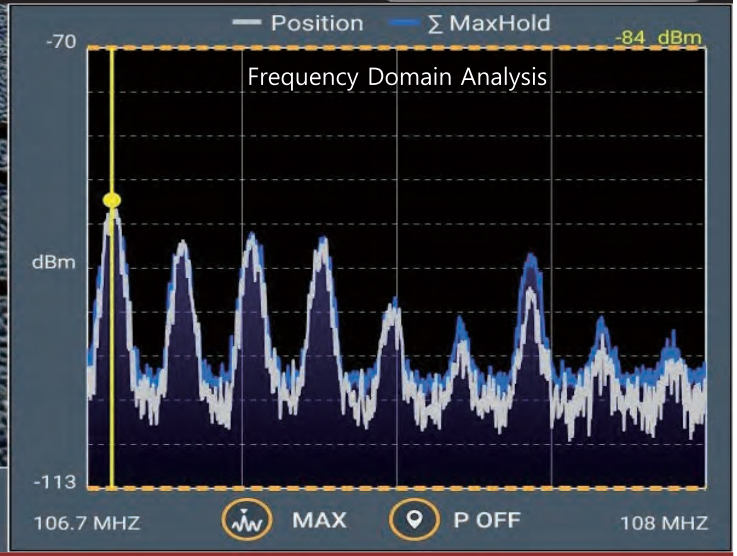
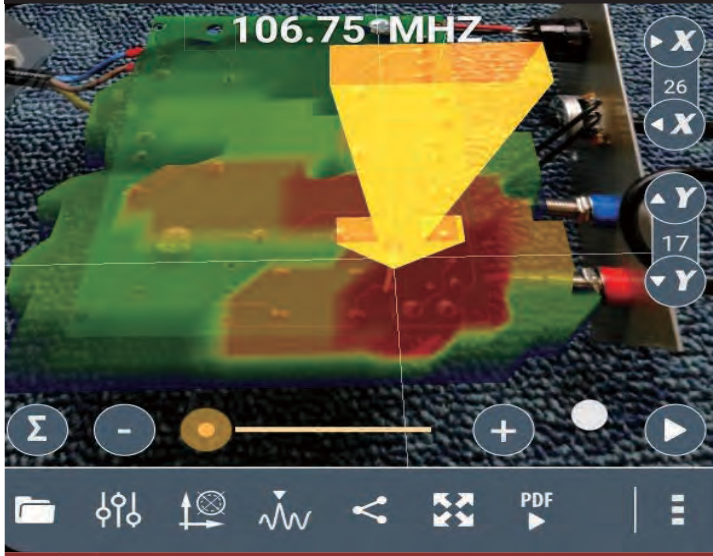
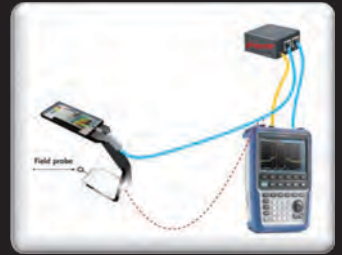


SCANPHONE

증강현실 EMI/EMC 측정 솔루션!

Scanphone 특징

- 증강현실 기술 적용으로 실시간 측정 실현
- 대형 구조물의 EMI / EMC 테스트
(ex. 실드 박스, TV, 차량, 안테나 etc..)
- 별도의 전원이 필요 없는 휴대용 장비
- 측정 현장에서 DUT와 필드를 중첩하여 분석
- 노이즈 소스원 분석, 안테나 최적화, 방사 패턴
- Scanphone + Spectrum = 주파수 성분 분석
- PC용 SW를 통한 데이터 추출 및 분석



MCK

MCK (Material Characterization Kit) 고주파대역 Material의 유전율 측정 솔루션

Overview

MCK는 전기전자, 화학분야에서 고체, 액체, 파우더, Multi-layer 등 다양한 형태의 Material의 유전특성을 정확하게 측정할 수 있는 제품입니다.



Features

- 25GHz ~ 1.1THz
- Material의 유전율, Loss tangent 측정
- 유전율 측정 오차 범위 : $\pm 1\%$
- Loss tangent 측정 오차 범위 : $\pm 2\%$
- Plug & Play방식

Benefits

- 높은 주파수 대역 측정으로 5G, 6G 솔루션 지원
- Broadband 측정 및 분석
- 다양한 VNA 제품과의 호환성
- 다양한 Material 측정 가능



Advantage

- 쉽고 빠른 Cal과 측정
- THz 대역의 높은 주파수까지 지원
- Broadband 측정
- 높은 재현성 및 빠른 측정 시간
- Solid, Liquid, Powder, Coating, Muti layer 구조 Material 측정 가능



2023년도 대한전자공학회

학회상 후보자 추천

사단법인 대한전자공학회에서는 매년 전자·정보·통신 분야에 탁월한 업적을 이루고 전자공학의 발전에 크게 공헌한 분에게 학회상을 아래와 같이 시상하고 있습니다. 금년에도 회원 여러분께서 훌륭하신 후보자를 추천하여 주시면 감사하겠습니다.

1. 시상부문

시 상 부 문	인 원	시 상 자 격	시 상 내 용
대한전자공학대상	1명	전자·정보·통신 및 그 관련 분야에 탁월한 업적이 있는 자	상패 및 부상 (2,000만원)
기술혁신상	1명	전자공학 기술발전에 현저한 업적을 이룩한 자 또는 기업의 기술혁신에 기여한 자	상패 및 부상
IEIE Research Pioneer Award	1명	50세 이하로서 전자·정보·통신 및 그 관련 분야에서 새로운 연구분야를 개척, 확대시킨 업적이 있는 자	상패 및 부상 (500만원)
논문상 (TC,SD,CI,SP, SC,IE)	6명	우수한 논문을 대한전자공학회 논문지 및 해외 저명 학술지에 발표한 자로서 6개 SOciety (TC,SD,CI,SP,SC,IE)별 각 1인(*)	상패 및 부상

* 최근 5년간 전자공학회 논문지에 3편 이상의 저널 논문이 포함되어야 함.

2. 추천권자

가. 소속기관장 (연구소, 대학, 기업체, 행정기관 등) 나. 개인(본인 포함)

* 단, 대한전자공학대상은 소속기관장의 추천에 한함.

3. 제출서류

* 제출서류 작성양식은 학회 홈페이지(<http://www.theieie.org>)를 참조하기 바람.

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감: 2023년 7월 11일(화)

나. 접 수 처: 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동) 과학기술회관 1관 907호

대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표: 2023년 11월 초순

나. 시 상: 2023년 11월 24일(금) 정기총회(장소: 추후공지)

2023년도 대한전자공학회

해동상 후보자 추천

사단법인 대한전자공학회에서는 매년 전자·정보·통신 분야에 탁월한 업적을 이루고 전자공학의 발전에 크게 공헌한 분에게 해동상을 아래와 같이 시상하고 있습니다. 해동상은 대덕전자(주) 고, 김정식 회장께서 우리나라 전자공학 분야의 학문 발전과 기술 발전을 위하여 크게 업적을 쌓은 분들의 노고를 치하하고 업적을 기리기 위하여 해동과학문화재단을 설립함으로써 제정되었습니다. 금년에도 회원 여러분께서 훌륭하신 후보자를 추천하여 주시면 감사하겠습니다.

1. 시상부문 및 자격

시 상 부 문	인 원	시 상 자 격	시 상 내 용
해동학술상	1명	학회 정회원 혹은 평생회원(회원자격 최근 2년 이상 유지)이어야 하며, 최근 10년간 본 학회 논문지 및 SCI-E급 국제저널에 논문 게재 등 전자·정보·통신 및 관련 분야 학술 활동에 탁월한 업적이 있는 자(*)	상패 및 부상 (2,500만원)
해동기술상	1명	기업체, 공공연구기관 및 정부출연기관에 근무하는 임직원 중 우수한 기술개발 업적을 달성하여 국가적으로 전자·정보·통신 기술 발전에 크게 기여한 자	상패 및 부상 (2,500만원)
해동젊은공학인상 (학술상)	1명	학회 정회원 혹은 평생회원(회원자격 최근 2년 이상 유지)이며, 만 40세 이하인 자로 최근 5년간 본 학회 학술대회 및 학술지에 논문 게재 등 전자·정보·통신 및 관련 분야 학술 활동에 탁월한 업적이 있는 자(**)	상패 및 부상 (1,000만원)
해동젊은공학인상 (기술상)	1명	만 40세 이하인 자로, 우수한 기술개발 업적을 달성하여 국가적으로 전자·정보·통신 기술 발전에 크게 기여한 자	상패 및 부상 (1,000만원)

* 해동학술상은 최근 10년간 본 학회 학술지(전자공학회 논문지, JSTS, IEIE SPC)에 5편 이상의 논문을 게재한 자로서 10년간(2013년 7월 1일~2023년 6월 30일)의 실적을 평가함.

** 해동젊은공학인상(학술상)은 당해년도 만 40세 이하로서 최근 5년간 본 학회 학술대회(하계, 추계, ICEIC, ICCE-Asia, ITC-CSCC) 및 학술지(전자공학회논문지, JSTS, IEIE SPC)에 3편 이상의 논문을 게재한 자로서 5년간(2018년 7월 1일~2023년 6월 30일)의 실적을 평가함.

※ 해동상에 제출하는 논문은 마감일 기준으로 게재된 논문만 인정하며, 아래 조건 중 하나 이상에 해당하는 자는 후보가 될 수 없음.

- 타 기관 해동상 수상자
- 동일한 연구개발 업적으로 본 학회 또는 타 기관에서 수상한 자
- 10년 이내 대한전자공학회에서 수여하는 다른 상(해동상 타 부문, IEIE/IEEE Joint Award 등) 수상자

2. 추천권자

가. 소속기관장 (연구소, 대학, 기업체, 행정기관 등) 나. 개인(본인 포함)

3. 제출서류

* 제출서류 작성양식은 학회 홈페이지(<http://www.theieie.org>)를 참조하기 바람.

4. 서류 또는 이메일 접수

가. 접수마감: 2023년 7월 11일(화)

나. 접 수 처: 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동) 과학기술회관 1관 907호

대한전자공학회 사무국 이안순 부장 (02-553-0255(내선 6번), ieie@theieie.org)

5. 수상자 발표 및 시상

가. 발 표: 2023년 11월 초순

나. 시 상: 2023년 12월 8일(금) (장소: 추후공지)

전자공학회논문지

단편논문 신설 안내

전자공학회논문지에서 단편논문을 신설하여 투고를 받습니다. 기존의 정규논문과 함께 단편논문을 신설하여, 투고 논문 형식의 다변화와 함께 신속한 논문심사 및 게재를 추진하고자 합니다.

논문투고시스템 투고구분 선택

☞ 정규논문(기존) : 긴급 / 일반 중 택일

▶ 단편논문(신설) : 특급

단편논문 양식

☞ 투고규정 : https://www.theieie.org/pages_journal/journal_info.vm

☞ 논문양식 : <https://www.theieie.org/board/?ncode=a008>

* 심사본 : 3쪽 이내, 최종본 : 4쪽 이내

단편논문 심사비 : 10만원/편당

단편논문 게재료 : 게재논문 면당 5만원, 최대 4쪽 이내

☞ 지원 문구 추가 시 10만원 추가

☞ 교신저자가 비회원인 경우 산정된 게재료의 150% 부과

단편논문 심사 기간 : 2주 이내 1차 심사를 원칙으로 함

시 행 : 2022년 10월 이후

2023 하계종합학술대회

6.28(수)~30(금)
롯데호텔 제주(중문)



주요일정

논문제출 : 2023년 5월 10일(수)

심사통보 : 2023년 5월 24일(수)

사전등록 : 2023년 5월 16일(화)~6월 9일(금)



발표분야

소사이어티	연구회
통신(Communication)	통신, 마이크로파 및 전파전파, ITS, 무선PAN/BAN, 미래지능형네트워크, 군사전자
반도체(Semiconductor)	반도체소자 및 재료, SoC 설계, 광파 및 양자전자공학, PCB & Package, RF 집적회로, 정보보안시스템, 내방사선 반도체 설계 및 소자, ESD/EOS & Latchup, 인메모링 컴퓨팅
컴퓨터(Computer)	융합컴퓨팅, 멀티미디어, 인공지능/신경망/퍼지, M2M/IoT, 휴먼ICT, 인공지능 및 보안, 증강휴먼, AI응용, 블록체인
인공지능 신호처리 (AI Signal Processing)	영상처리, 음향 및 음성신호처리, 영상이해, 바이오영상신호처리, 딥러닝, 로봇지능
시스템 및 제어 (System and Control)	의용전자 및 생체공학, 제어계측, 회로 및 시스템, 전력전자, 지능로봇, 국방정보 및 제어, 자동차전자, 의료영상시스템, 스마트팩토리, 스마트 미터링
산업전자 (Industry Electronics)	산업전자제어, 임베디드시스템, 유비쿼터스 센서네트워크, 디지털통신 시스템
New Emerging Area	의료, 에너지, Software, 기타



대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

(06130) 서울시 강남구 테헤란로 7길 22 과학기술회관 1관 907호

TEL 02-553-0255 (내선6)

FAX 02-552-6093

e-mail ieie@theieie.org

홈페이지 <http://conf.theieie.org>

ITC-CSCC 2023

The 38th International Technical
Conference on Circuits/
Systems, Computers, and
Communications 2023

June 25(Sun) - 28(Wed), 2023
Grand Hyatt Jeju,
Republic of Korea

Welcome to ITC-CSCC 2023

The 38th International Technical Conference on Circuits/
Systems, Computers, and Communications (ITC-CSCC) will be
held on June 25-28, 2023, at Grand Hyatt Jeju, Republic of Korea.

Topics

The conference is open to researchers from all regions of the world. Participation from Asia Pacific region is particularly encouraged. Proposals for special sessions are welcome. Papers with original works in all aspects of Circuits/Systems, Computers and Communications are invited. Topics include, but not limited to, the followings:

• Circuits & Systems

- Semiconductor Devices & Technology
- Computer Aided Design
- Power Electronics & Circuits
- Intelligent Transportation Systems & Technology
- Analog Circuits
- RF Circuits
- Linear / Nonlinear Systems
- Modern Control
- Medical Electronics & Circuits
- Neural Networks
- VLSI Design
- Verification & Testing
- Sensors & Related Circuits

• Computers

- Artificial Intelligence
- Image Processing
- Biocomputing
- Internet Technology & Applications
- Computer Systems & Applications
- Motion Analysis
- Multimedia Service & Technology
- Computer Vision
- Object Extraction & Technology
- Image Detection & Recognition
- Security
- Image Coding & Analysis
- Watermarking
- Metaverse
- Natural Language Processing

• Communications

- Signal Processing
- Antenna & Wave Propagation
- Network Management & Design
- Optical Communications & Components
- Circuits & Components for Communications

- Radar / Remote Sensing
- IP Networks & QoS
- MIMO & Space-Time Codes
- Ubiquitous Networks
- Multimedia Communications
- UWB - Mobile & Wireless Communications
- Visual Communications
- Future Internet Architectures

PROCEEDINGS

All registered participants are provided with conference proceedings. Authors of the accepted papers are encouraged to submit full-length manuscripts to IEIE Journal of Semiconductor Technology and Science, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences or ECTI Transactions on Computer and Information Technology. Papers passed through the standard editing procedures of the IEIE JSTS, IEICE Transactions on Fundamentals or ECTI-CIT will be published in regular issues. The authors (or their institute) are requested to pay the publication charge when their paper is accepted.

SUBMISSION OF PAPERS

Prospective authors are invited to submit original papers (1~6 pages) of either MS Word or PDF format written in English. Paper submission procedures are available at www.itc-cscc2023.org.

AUTHOR'S SCHEDULE

- Submission of Paper : March 31, 2023
- Notification of Acceptance : May 8, 2023
- Submission of Final Paper : May 22, 2023

Hosted by

The Institute of Electronics and Information Engineers (IEIE), Korea
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Japan
The Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Association (ECTI), Thailand

Contact Point

- E-mail : inter@theieie.org
- Phone : +82-2-553-0255(Ext. 4)
- www.itc-cscc2023.org.



ICCE-Asia 2023

The 8th International Conference on Consumer Electronics (ICCE) Asia

10.23^{Mon} - 10.25^{Wed}, 2023

Paradise Hotel Busan, South Korea

Presentation Guidelines

The conference will be held with face-to-face presentations of papers at the conference site at Paradise Hotel, Busan, South Korea.

Organized by the IEEE Consumer Electronics Society and the Institute of Electronics and Information Engineers, ICCE-Asia 2023 which will be held in the Paradise Hotel, Busan, South Korea is an event open to researchers and engineers from industry, research centres, and academia to exchange information and results related to consumer electronics (CE). The conference will feature outstanding keynote speakers, high quality tutorials, special sessions and peer-reviewed papers. It hopes to attract a global audience from industry and academia. It is a perfect opportunity to promote affiliated company/organization to an audience of world-class researchers in the CE industry.

TOPICS OF IEEE/IEIE ICCE-ASIA 2023

- Artificial Intelligence and Machine Learning for CE Applications (AIM)
- Robotics, Drones, Automation Technologies and Interfaces (RDA)
- Security and Privacy of CE Hardware and Software Systems (SPC)
- Energy Management of CE Hardware and Software Systems (EMC)
- Application-Specific CE for Smart Cities (SMC)
- RF, Wireless, and Network Technologies (WNT)
- Internet of Things and Internet of Everywhere (IoT)
- Entertainment, Gaming, and Virtual and Augmented Reality (EGV)
- AV Systems, Image and Video, and Cameras and Acquisition (AVS)
- Automotive CE Applications (CEA)
- CE Sensors and MEMS (CSM)
- Consumer Healthcare Systems (CHS)
- Enabling and HCI Technologies (HCI)
- Smartphone and Mobile Device Technologies (MDT)
- Semiconductor Devices for Consumer Electronics (SCE)
- Other Technologies Related with CE (MIS)

SPECIAL SESSIONS

Special session proposals are invited to IEEE/IEIE ICCE-Asia 2023, and inquiries regarding submission should be directed to the Special Session Chair.

BEST PAPER AWARDS

The authors of the best papers will be presented Gold, Silver, and Bronze awards.

Selected top quality papers will be recommended to be published in the Journal of Semiconductor Technology and Science (JSTS) or a special issue of IEIE Transactions on Smart Processing and Computing.

PAPER SUBMISSION

Prospective authors can submit their papers by following the guidelines posted on the conference webpage (<http://www.icce-asia2023.org>).

Accepted papers will be published in IEEE Xplore when the copyright transfer agreement is signed and returned by the authors.

AUTHOR'S SCHEDULE

- Full paper submission/Special Session proposals: August 20th, 2023
- Accepted papers notification: September 8th, 2023
- Final submission due: September 17th, 2023

CONTACT POINT

- Secretariat : inter@theieie.org

IEEE DiscoveryPoint Communications(IDPC)



IEEE가 만든 첨단 통신산업 R&D를 위한 All-in-One Platform



IEEE Full-text를
포함한 다양한 양질의
자료 제공



최첨단 연구를 위한
자료, 표준, 공급업체를
위한 솔루션까지
하나의 플랫폼에서
검색가능



5G, 6G, Edge,
Computing, IoT 등
다양한 통신기술
분야의 자료중
전문적으로
선별된 콘텐츠 제공



설계 문제에 대한
솔루션 제공하여
실무 엔지니어에게
최적화

Trial가능,
문의 02-3474-5290
이희진 과장 hjlee@kitis.co.kr



IEEE

**Authorized
Dealer**

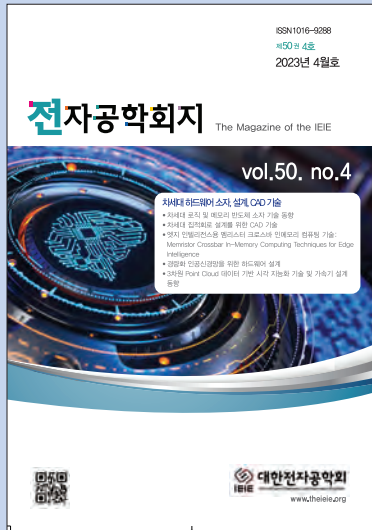


키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.

www.kitis.co.kr / T. 02 3474 5290

CONTENTS

제50권 4호 (2023년 4월)



※ 학회지 4월호 표지 (vol 50, No 4)

회지편집위원회

- 위 원 장 양 준 성 (연세대학교 교수)
- 위 원 박 관 서 (연세대학교 교수)
 - 박 승 창 (㈜유오씨 사장)
 - 안 진 호 (호서대학교 교수)
 - 윤 석 현 (단국대학교 교수)
 - 장 지 원 (연세대학교 교수)
 - 정 재 용 (인천대학교 교수)
 - 최 정 욱 (한양대학교 교수)
 - 허 준 (고려대학교 교수)
 - 한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)
- 사무국 편집담당
 - 배 기 동 부장
 - TEL : (02)553-0255(내선 5)
 - FAX : (02)552-6093
- 학회 홈페이지
 - <http://www.theieie.org>

학회소식

12 학회소식 / 편집부

특집 : 차세대 하드웨어 소자, 설계, CAD 기술

16 특집편집기 / 민경식

17 차세대 로직 및 메모리 반도체 소자 기술 동향 / 배중호

27 차세대 집적회로 설계를 위한 CAD 기술 / 박희천

35 엣지 인텔리전스용 멤리스터 크로스바 인메모리 컴퓨팅 기술:
Memristor Crossbar In-Memory Computing Techniques for
Edge Intelligence / 윤리나, 조승명, 오석진, 민경식

49 경량화 인공지능망을 위한 하드웨어 설계 / 류성주

57 3차원 Point Cloud 데이터 기반 시각 지능화 기술 및 가속기
설계 동향 / 김경호, 이상설, 장성준

회원광장

67 논문지 논문목차

정보교차로

69 국내외 학술행사 안내 / 편집부

86 특별회원사 및 후원사 명단

2023년도 임원 및 각 위원회 위원

회 수 석 부 회 장 고 문	이 혁 재 (서울대학교 교수)	권 호 열 (정보통신정책연구원 원장)
	이 충 용 (연세대학교 교수) - 총괄 / AI	김 영 재 (해동과학문화재단 이사장)
	권 오 경 (한양대학교 석좌교수)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 원장)
	김 기 남 (삼성전자 종합기술원 회장)	안 승 권 (연암공과대학교 총장)
	박 성 옥 (SK하이닉스(주) 부회장)	전 영 현 (삼성SDI(주) 부회장)
감 사 부 회 장	신 회 동 (한국전자기술연구원 원장)	최 창 식 (주DB하이텍 부회장)
	윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)	인 치 호 (세명대학교 교수)
	천 경 준 (주씨젠 회장)	김 중 옥 (고려대학교 교수) - 국제협력 / ICCE-Asia / 영문논문
	백 광 현 (중앙대학교 교수) - ITC-CSCC	노 태 문 (한국전자통신연구원 센터장) - 연구소
	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) - 교육 / 표준화	심 동 규 (광운대학교 교수) - SPC 영문지
소 사 이 여 티 회 장	노 원 우 (연세대학교 교수) - 하계 및 추계학술 총괄 / 국문논문	이 용 옥 (한화시스템 부사장) - 산학연
	류 수 정 (주사피온코리아 대표이사) - 회원 / 여성	이 재 훈 (유정시스템(주) 대표이사) - 산학연
	이 승 호 (한밭대학교 교수) - 지부	황 인 철 (강원대학교 교수) - 사업 / 대외협력
	이 재 관 (한국자동차연구원 소장) - 산학연	김 진 상 (경희대학교 교수) - 반도체
	정 영 모 (한성대학교 교수) - 홍보 총괄 / 정보화 / 학회지	송 병 철 (인하대학교 교수) - 인공지능신호처리
협 동 부 회 장	유 명 식 (송실대학교 교수) - 통신	김 은 원 (대림대학교 교수) - 산업전자
	최 용 수 (신한대학교 교수) - 컴퓨터	강 성 원 (한국전자통신연구원 부원장)
	김 영 진 (한국생산기술연구원 수석연구원) - 시스템 및 제어	김 달 수 (주티엘아이 대표이사)
	강 민 석 (LG01노텍(주) 부사장)	김 상 태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)
	김 강 태 (삼성전자(주) 부사장)	김 형 준 (한국과학기술연구원 소장)
상 임 이 사	김 부 군 (송실대학교 교수)	남 궁 선 (주유니트론텍 부회장)
	김 영 한 (UC San Diego / 가우스랩스 대표이사)	송 문 섭 (주심텍 회장)
	김 후 식 (주뷰웍스 대표이사)	오 윤 제 (정보통신기획평가원 PM)
	손 보 익 (주LX세미콘 대표이사)	이 광 영 (서경대학교 교수)
	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)	이 병 선 (김포대학교 교수)
산 업 체 이 사	유 창 동 (한국과학기술원 교수)	이 장 규 (주텔레칩스 대표이사)
	이 동 규 (주카카오모빌리티 부사장)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
	이 서 규 (한국팹리스산업협회 회장)	정 준 (주솔리드 대표이사)
	이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)	강 석 주 (서강대학교 교수) - 재무
	전 선 익 (파이낸셜뉴스 회장)	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 국제협력(ICCE-Asia)
산 업 체 이 사	정 은 승 (삼성전자(주) 사장)	김 동 순 (세종대학교 교수) - 대외협력(정책)
	강 명 곤 (한국교통대학교 교수) - 회원	김 용 신 (고려대학교 교수) - 국제협력 총괄(ICCE-Asia)
	구 본 태 (한국전자통신연구원 본부장) - 하계학술	김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장) - 사업
	권 혁 인 (중앙대학교 교수) - 국제협력(ITC-CSCC)	김 재 준 (서울대학교 교수) - JSTS 영문지
	김 수 연 (동국대학교 교수) - 홍보	김 철 우 (고려대학교 교수) - 사업
산 업 체 이 사	김 원 중 (한국전자통신연구원 실장) - 표준화	김 훈 (인천대학교 교수) - 대외협력 총괄
	김 중 현 (고려대학교 교수) - 사업	변 대 석 (삼성전자(주) 마스터) - 교육 총괄
	김 지 훈 (이화여자대학교 교수) - 기획	손 교 민 (삼성전자(주) 마스터) - 산학연
	김 현 (서울과학기술대학교 교수) - 총무(대외협력)	연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장) - 산학연 총괄
	류 현 석 (서울대학교 교수) - 교육(산업체)	이 남 윤 (고려대학교 교수) - 사업
산 업 체 이 사	선 우 경 (서울대학교 교수) - 회원 총괄	장 익 준 (경희대학교 교수) - 하계학술
	양 준 성 (연세대학교 교수) - 학회지	정 진 곤 (중앙대학교 교수) - 국문논문
	유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장) - 사업 총괄	조 성 현 (한양대학교 교수) - 정보화
	이 채 은 (인하대학교 교수) - 총무 총괄	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장) - 산학연
	전 세 영 (서울대학교 교수) - AI	한 재 호 (고려대학교 교수) - 추계학술
산 업 체 이 사	제 민 규 (한국과학기술원 교수) - 사업	고 용 남 (하나미이크론(주) 전무)
	최 기 창 (서울대학교 교수) - 산학연	김 동 현 (ICTK(주) 대표이사)
	최 재 혁 (한국과학기술원 교수) - 홍보	김 현 수 (삼성전자(주) 상무)
	강 석 판 (LG전자(주) 상무)	오 의 열 (LG디스플레이(주) 연구위원)
	김 녹 원 (주디엑스 대표이사)	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아(주) 대표이사)
산 업 체 이 사	김 태 진 (주더즈텍 대표이사)	이 도 훈 (국가보안기술연구소 부소장)
	배 순 민 (주케이티 연구소장)	이 상 훈 (주웨이브피아 대표이사)
	우 정 호 (비전넥스트(주) 대표이사)	이 수 인 (주텔레칩스 상무)
	윤 영 권 (삼성전자(주) 마스터)	조 혜 정 (삼성물산(주) 상무)
	이 상 만 (주시스메이트 대표이사)	최 성 민 (주해치텍 대표이사)
산 업 체 이 사	이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)	
	조 영 민 (SkyMirr CEO)	
	전 이 우 (주넥스트칩 연구소장)	

이 사

한은혜 (에스에스앤씨㈜ 대표이사)
 홍국태 (㈜X세미콘 연구위원)
 고병철 (계명대학교 교수) - 학술(하계)
 권기룡 (부경대학교 교수) - 학술(하계)
 김민규 (LG0|노텍㈜ 상무) - 산학연
 김성우 (서울대학교 교수) - 대외협력
 김유철 (LG AI연구원 부문장) - AI
 김재욱 (한국과학기술연구원 선임연구원) - 학술(하계)
 박성정 (건국대학교 교수) - 국제협력
 백종덕 (연세대학교 교수) - AI
 심현정 (한국과학기술원 교수) - AI
 안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원) - AI
 원용욱 (명지대학교 교수) - 학술(추계)
 윤종윤 (㈜파두 사장) - 교육
 이구순 (파이낸셜뉴스 부국장) - 홍보
 이창우 (가톨릭대학교 교수) - 홍보
 임동구 (전북대학교 교수) - 정보화
 장지원 (연세대학교 교수) - 학회지
 정무경 (㈜사피온코리아 CTO) - AI
 정해준 (경희대학교 교수) - 국문논문
 차혁규 (서울과학기술대학교 교수) - 정보화
 최광성 (한국전자통신연구원 실장) - 대외협력
 최정욱 (한양대학교 교수) - 학회지
 하태준 (광운대학교 교수) - 학술(추계)
 한정환 (충남대학교 교수) - 정보화
 한태희 (성균관대학교 교수) - 국문논문
 황진영 (한국항공대학교 교수) - 홍보
 구민석 (인천대학교 교수) - 기획
 권경하 (한국과학기술원 교수) - 사업
 김대영 (순천향대학교 교수) - 호서지부
 김사혁 (KISDI 책임연구원) - 대외협력
 김승환 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 학술(추계)
 김형진 (인하대학교 교수) - 회원
 민경식 (국민대학교 교수) - 회원
 박성욱 (강릉원주대학교 교수) - 강원지부
 배준호 (가천대학교 교수) - 표준화
 서종열 (LG전자㈜ 그룹장) - 산학연
 송준영 (인천대학교 교수) - 홍보
 신세운 (UNIST 교수) - 사업
 안진호 (호서대학교 교수) - 학회지
 유경창 (삼성전자㈜ 수석연구원) - 회원
 유호영 (충남대학교 교수) - 대전·충남지부
 윤상훈 (한국전자기술연구원 책임연구원) - 사업
 이권형 (LG전자㈜ 책임연구원) - 대외협력
 이왕상 (경상국립대학교 교수) - 부산·경남·울산지부
 이재규 (삼성전자㈜ 마스터) - 산학연
 이지훈 (전북대학교 교수) - 전북지부
 임승찬 (한경국립대학교 교수) - 국문논문
 정민재 (세종대학교 교수) - 국문논문
 정성영 (차세대융합기술연구원 선임연구원) - 학술(하계)
 정재용 (인천대학교 교수) - 학회지
 채관영 (삼성전자㈜ 마스터) - 국제협력
 최강선 (한국기술교육대학교 교수) - SPC 영문지
 최웅 (숙명여자대학교 교수) - 회원
 추상혁 (현대자동차㈜ 책임매니저) - 정보화

협 동 이 사

함철희 (삼성전자㈜ 마스터)
 권구덕 (강원대학교 교수) - 기획
 권태수 (서울과학기술대학교 교수) - 정보화
 김선욱 (고려대학교 교수) - 교육
 김소영 (성균관대학교 교수) - SPC 영문지
 김윤 (서울시립대학교 교수) - 기획/회원
 동성수 (용인예술과학대학교 교수) - 교육
 배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 학술(추계)
 변영재 (UNIST 교수) - 교육
 안광호 (한국전자기술연구원 센터장) - 대외협력
 안호균 (한국전자통신연구원 실장) - 사업
 윤상민 (국민대학교 교수) - 학술(추계)
 이강윤 (성균관대학교 교수) - SPC 영문지
 이영택 (ASML 전무) - 교육
 이형민 (고려대학교 교수) - 대외협력
 장성욱 (㈜카카오모빌리티 부사장) - AI
 전동석 (서울대학교 교수) - 학술(하계)
 정일권 (한국전자통신연구원 본부장) - 산학연
 조성재 (이화여자대학교 교수) - 기획
 채영철 (연세대학교 교수) - 회원
 최영규 (인하대학교 교수) - 학술(하계)
 하정우 (네이버 AI연구소장) - AI
 한동국 (국민대학교 교수) - 사업
 한진호 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 국제협력
 허재두 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 사업
 황태호 (한국전자기술연구원 본부장) - 학술(하계)
 권건우 (홍익대학교 교수) - 학술(하계)
 권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원) - 학술(추계)
 김범현 (한양대학교 교수) - 정보화
 김시준 (강원대학교 교수) - 사업
 김정석 (가천대학교 교수) - 국제협력
 류성주 (서강대학교 교수) - 학술(하계)
 박관서 (연세대학교 교수) - 학술(추계)
 배준성 (강원대학교 교수) - 정보화
 서민재 (가천대학교 교수) - 기획/홍보
 송익현 (한양대학교 교수) - 회원
 송철 (DGIST 교수) - 학술(추계)
 심용 (중앙대학교 교수) - 홍보
 오윤호 (고려대학교 교수) - 학술(추계)
 유동훈 (디시일로 연구소장) - 회원
 윤명국 (이화여자대학교 교수) - AI
 윤희인 (UNIST 교수) - 홍보
 이성학 (경북대학교 교수) - 대구·경북지부
 이인영 (조선대학교 교수) - 광주·전남지부
 이정원 (서울대학교 교수) - 회원/사업
 임매순 (한국과학기술연구원 책임연구원) - 사업
 장지수 (삼성전자㈜ PE) - 사업
 정방철 (충남대학교 교수) - 정보화
 정완영 (한국과학기술원 교수) - 홍보
 차철웅 (한국전자기술연구원 센터장) - 표준화
 채주형 (광운대학교 교수) - 총무
 최병수 (부경대학교 교수) - 교육
 추민성 (한양대학교 교수) - 학술(하계)/홍보
 황원준 (아주대학교 교수) - AI

지부장 명단

강원지부
 대구·경북지부
 부산·경남·울산지부
 제주지부
 호서지부
 미 국

강문식 (강릉원주대학교 교수)
 공성호 (경북대학교 교수)
 고진환 (경상대학교 교수)
 고석준 (제주대학교 교수)
 강윤희 (백석대학교 교수)
 최명준 (텔레다인 박사)

광주·전남지부
 대전·충남지부
 전 북 지 부
 충 북 지 부
 일 본
 러 시 아 지 부

최수일 (전남대학교 교수)
 김철영 (충남대학교 교수)
 이주연 (전주비전대학교 교수)
 최영규 (한국교통대학교 교수)
 백인천 (AIZU대학교 교수)
 Prof. Edis B. TEN (National University of Science and Technology)

위원회 명단

자문위원회

위원장	김도현 (국민대학교 명예교수)
부위원장	박항구 (소암시스템 회장)
위원	고성재 (고려대학교 교수)
	김덕진 (고려대학교 명예교수)
	김영권 (건국대학교 명예교수)
	문영식 (한양대학교 교수)
	박진옥 (육군사관학교 명예교수)
	성광모 (서울대학교 명예교수)
	이상설 (한양대학교 명예교수)
	이충웅 (서울대학교 명예교수)
	임혜숙 (이화여자대학교 교수)
	정정화 (한양대학교 명예교수)

공준진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	구용서 (단국대학교 교수)
김성대 (한국과학기술원 명예교수)	김수중 (경북대학교 명예교수)
김재희 (연세대학교 명예교수)	나정웅 (한국과학기술원 명예교수)
박규태 (연세대학교 명예교수)	박성한 (한양대학교 명예교수)
백준기 (중앙대학교 교수)	서정욱 (전 과학기술부 장관)
윤종용 (한국공학대육인증권 이사장)	이문기 (연세대학교 명예교수)
이재홍 (서울대학교 명예교수)	이진구 (동국대학교 명예교수)
이태원 (고려대학교 명예교수)	임제탁 (한양대학교 명예교수)
전국진 (서울대학교 명예교수)	전홍태 (중앙대학교 명예교수)
홍대식 (연세대학교 교수)	홍승홍 (인하대학교 명예교수)

기획위원회

위원장	김지훈 (이화여자대학교 교수)
부위원장	조성재 (이화여자대학교 교수)
위원	권구덕 (강원대학교 교수)
	김윤 (서울시립대학교 교수)

구민석 (인천대학교 교수)	서민재 (가천대학교 교수)
----------------	----------------

학술연구위원회 - 하계

위원장	노원우 (연세대학교 교수)
부위원장	장익준 (경희대학교 교수)
위원	고병철 (계명대학교 교수)
	김윤 (서울시립대학교 교수)
	변대석 (삼성전자(주) 마스터)
	전동석 (서울대학교 교수)
	최영규 (인하대학교 교수)
	황태호 (한국전자기술연구원 본부장)

구분태 (한국전자통신연구원 본부장)	권기룡 (부경대학교 교수)
권건우 (홍익대학교 교수)	류성주 (서강대학교 교수)
김재욱 (KIST 그룹장)	이종호 (숭실대학교 교수)
양준성 (연세대학교 교수)	최민석 (경희대학교 교수)
정성엽 (차세대융합기술연구원 실장)	추민성 (한양대학교 교수)
최정욱 (한양대학교 교수)	

학술연구위원회 - 추계

위원장	노원우 (연세대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)
위원	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김승환 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	박관서 (연세대학교 교수)	배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	오윤호 (고려대학교 교수)	원용욱 (명지대학교 교수)
	하태준 (광운대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
		송철 (DGIST 교수)
		윤상민 (국민대학교 교수)

논문편집위원회

위원장	정진곤 (중앙대학교 교수)	강제원 (이화여자대학교 교수)	공규열 (한성대학교 교수)
부위원장	정해준 (경희대학교 교수)	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김기연 (한국산업기술시험원 박사)
위원	강성복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	김상범 (한국폴리텍대학교 교수)	김선웅 (건국대학교 교수)
	권구덕 (강원대학교 교수)	김영선 (대림대학교 교수)	김태환 (한국항공대학교 교수)
	김명선 (한성대학교 교수)	심규성 (한경대학교 교수)	유재준 (UNIST 교수)
	김영로 (명지전문대학교 교수)	임승찬 (한경국립대학교 교수)	정민채 (세종대학교 교수)
	김학구 (중앙대학교 교수)	추민성 (한양대학교 교수)	
	임민중 (동국대학교 교수)		
	조성인 (동국대학교 교수)		

국제협력위원회

위원장	김용신 (고려대학교 교수)	김종욱 (고려대학교 교수)
부위원장	권영수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	권혁인 (중앙대학교 교수)
위원	김정석 (가천대학교 교수)	박성정 (건국대학교 교수)
	최웅 (숙명여대 교수)	한진호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
		채관엽 (삼성전자(주) 마스터)

대외협력위원회

위원장	김훈 (인천대학교 교수)	연규봉 (한국자동차연구원 책임연구원)
부위원장	김성우 (서울대학교 교수)	김사혁 (KISDI 책임연구원)
위원	김동순 (세종대학교 교수)	김원중 (한국전자통신연구원 실장)

김 형 준 (한국전자통신연구원 센터장)
이 형 민 (고려대학교 교수)
황 성 운 (가천대학교 교수)

안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장)
최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)

이 권 형 (LG전자(주) 책임연구원)
한 상 옥 (삼성전자(주) 책임연구원)

산학연합동위원회

위 원 장 연 규 봉 (한국자동차연구원 실장)
위 원 김 민 규 (LG이노텍(주) 상무)
손 교 민 (삼성전자(주) 마스터)
이 재 규 (삼성전자(주) 마스터)
최 기 창 (서울대학교 교수)

김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)
이 용 옥 (한화시스템 부사장)
이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)

서 종 열 (LG전자(주) 그룹장)
이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)

회원관리위원회

위 원 장 선 우 경 (서울대학교 교수)
부 위 원 장 강 명 곤 (한국교통대학교 교수)
위 원 김 윤 (서울시립대학교 교수)
배 종 호 (국민대학교 교수)
유 동 훈 (디사일로 연구소장)
채 영 철 (연세대학교 교수)

김 형 진 (인하대학교 교수)
송 익 현 (한양대학교 교수)
이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)
최 웅 (숙명여자대학교 교수)

민 경 식 (국민대학교 교수)
유 경 창 (삼성전자(주) 수석연구원)
이 정 원 (서울대학교 교수)

회지편집위원회

위 원 장 양 준 성 (연세대학교 교수)
위 원 박 관 서 (연세대학교 교수)
윤 석 현 (단국대학교 교수)
최 정 욱 (한양대학교 교수)

박 승 창 (㈜유오씨 사장)
장 지 원 (연세대학교 교수)
한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)

안 진 호 (호서대학교 교수)
정 재 용 (인천대학교 교수)
허 준 (고려대학교 교수)

사업위원회

위 원 장(총괄) 유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장)
위 원 장 김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)
선 우 경 (서울대학교 교수)
위 원 권 경 하 (한국과학기술원 교수)
신 세 운 (UNIST 교수)
이 정 원 (서울대학교 교수)
한 동 국 (국민대학교 교수)

김 중 현 (고려대학교 교수)
이 남 윤 (고려대학교 교수)
김 시 준 (강원대학교 교수)
안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)
임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)
허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)

김 철 우 (고려대학교 교수)
제 민 규 (한국과학기술원 교수)
송 준 영 (인천대학교 교수)
윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
장 지 수 (삼성전자(주) PE)

교육연구위원회

위 원 장 강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
부 위 원 장 변 대 석 (삼성전자(주) 마스터)
위 원 김 선 욱 (고려대학교 교수)
박 영 우 (TEL 부사장)
이 영택 (ASML 전무)

동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)
변 영 재 (UNIST 교수)
이 후 진 (한성대학교 교수)

류 현 석 (서울대학교 교수)
윤 중 윤 (㈜파두 사장)
최 병 수 (한국전자통신연구원 실장)

홍보위원회

위 원 장 정 영 모 (한성대학교 교수)
부 위 원 장 김 수 연 (동국대학교 교수)
위 원 서 민 재 (가천대학교 교수)
윤 희 인 (UNIST 교수)
정 완 영 (한국과학기술원 교수)

최 재 혁 (한국과학기술원 교수)
송 준 영 (인천대학교 교수)
이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장)
추 민 성 (한양대학교 교수)

심 용 (중앙대학교 교수)
이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
황 진 영 (한국항공대학교 교수)

표준화위원회

위 원 장 김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)
부 위 원 장 연 규 봉 (한국자동차연구원 팀장)
위 원 권 기 원 (성균관대학교 교수)
배 준 호 (가천대학교 교수)
좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수)

김 성 동 (서울과학기술대학교 교수)
이 상 근 (성균관대학교 교수)
차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장)

박 재 영 (광운대학교 교수)
이 종 목 (SOL 대표)
한 태 수 (한국전자기술연구원 연구위원)

정보화위원회

위 원 장 조 성 현 (한양대학교 교수)
위 원 권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)
배 준 성 (강원대학교 교수)
차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)

김 범 현 (한양대학교 교수)
임 동 구 (전북대학교 교수)
추 상 혁 (현대자동차(주) 책임매니저)

김 중 현 (고려대학교 교수)
정 방 철 (충남대학교 교수)
한 정 환 (충남대학교 교수)

AI위원회

위 원 장	이 총 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 유 철 (LG AI연구원 부부장)	백 종 덕 (연세대학교 교수)
	심 현 정 (한국과학기술원 교수)	안 상 철 (KIST 책임연구원)	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
	정 무 경 (주사피온코리아 CTO)	한 재 호 (고려대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)

지부담당위원회

위 원 장	이 승 호 (한밭대학교 교수)		
위 원	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)	강 윤 희 (백석대학교 교수)	고 석 준 (제주대학교 교수)
	고 진 환 (경상대학교 교수)	공 성 호 (경북대학교 교수)	김 철 영 (충남대학교 교수)
	이 주 연 (전주비전대학교 교수)	최 수 일 (전남대학교 교수)	최 영 규 (한국교통대학교 교수)

선거관리위원회

위 원 장	이 재 홍 (서울대학교 명예교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)
	이 채 은 (인하대학교 교수)	장 익 준 (경희대학교 교수)	정 진 곤 (중앙대학교 교수)

포상위원회

위 원 장	최 천 원 (단국대학교 교수)		
위 원	김 종 옥 (고려대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	노 원 우 (연세대학교 교수)
	이 총 용 (연세대학교 교수)	황 인 철 (강원대학교 교수)	
위원 및 간사겸임	이 채 은 (인하대학교 교수)		

재정위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	박 성 한 (명예회장)	박 영 기 (주씨인텔레콤 대표이사)
	원 제 형 (도쿄일렉트론코리아주 대표이사)	유 창 동 (한국과학기술원 교수)	이 윤 중 (전) ㈜DB하이텍 부사장)
	이 총 용 (연세대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)	조 중 휘 (인천대학교 교수)

인사위원회

위 원 장	이 혁 재 (서울대학교 교수)		
위 원	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	강 석 주 (서강대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)
	이 총 용 (연세대학교 교수)	전 세 영 (서울대학교 교수)	

JSTS 편집위원회

위 원 장	김 재 준 (서울대학교 교수)		
위 원	강 인 만 (경북대학교 교수)	권 혁 인 (중앙대학교 교수)	김 상 범 (서울대학교 교수)
	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 재 준 (포항공과대학교 교수)	김 주 성 (한밭대학교 교수)
	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	남 일 구 (부산대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)
	박 성 주 (한양대학교 교수)	백 광 현 (중앙대학교 교수)	신 민 철 (한국과학기술원 교수)
	신 창 환 (고려대학교 교수)	오 정 우 (연세대학교 교수)	이 가 원 (충남대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	장 호 원 (서울대학교 교수)	정 재 경 (한양대학교 교수)
	조 성 재 (이화여자대학교 교수)	조 일 환 (명지대학교 교수)	차 호 영 (홍익대학교 교수)
	최 우 석 (서울대학교 교수)	최 우 영 (서울대학교 교수)	한 재 덕 (한양대학교 교수)

SPC위원회

위 원 장	심 동 규 (광운대학교 교수)		
위 원	강 석 주 (서강대학교 교수)	김 선 옥 (고려대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)
	김 영 민 (홍익대학교 교수)	김 원 준 (건국대학교 교수)	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)
	김 종 옥 (고려대학교 교수)	박 철 수 (광운대학교 교수)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
	서 용 호 (광운대학교 교수)	송 병 철 (인하대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 채 은 (인하대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
	정 승 원 (동국대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)	조 민 호 (고려대학교 교수)
	진 훈 (경기대학교 교수)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	황 원 준 (아주대학교 교수)
	황 인 철 (강원대학교 교수)		

Society 명단

통신소사이터티

회 장	유 명 식 (숭실대학교 교수)	김 재 현 (아주대학교 교수)	김 진 영 (광운대학교 교수)
부 회 장	김 선 용 (건국대학교 교수)	오 정 근 (㈜ATNS 대표이사)	유 명 식 (숭실대학교 교수)
	김 훈 (인천대학교 교수)	이 정 우 (중앙대학교 교수)	최 천 원 (단국대학교 교수)
	윤 석 현 (단국대학교 교수)		
	허 준 (고려대학교 교수)		
감 사	이 재 진 (숭실대학교 교수)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수)	김 영 한 (숭실대학교 교수)
협 동 부 회 장	김 병 남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김 연 은 (㈜브로던 대표이사)	류 승 문 (사)개인공간서비스협회 수석부위원장
	김 용 석 (㈜답스 대표이사)	김 인 경 (LG전자㈜ 상무)	연 철 홍 (LG텔레콤 상무)
	박 용 석 (㈜LUCT 대표이사)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 부장)	정 진 섭 (이노와이어리스 부사장)
	이 승 호 (㈜하이게인 부사장)	이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사)	
	정 현 규 (한국전자통신연구원 부장)		
이 사	김 광 순 (연세대학교 교수)	김 성 훈 (한국전자통신연구원 박사)	김 정 호 (이화여자대학교 교수)
	노 윤 섭 (한국전자통신연구원 박사)	방 성 일 (단국대학교 교수)	서 철 현 (숭실대학교 교수)
	상 원 진 (서강대학교 교수)	신 오 순 (숭실대학교 교수)	신 오 안 (숭실대학교 교수)
	윤 종 호 (한국항공대학교 교수)	윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)	이 재 훈 (동국대학교 교수)
	이 중 호 (숭실대학교 교수)	이 호 경 (홍익대학교 교수)	임 종 태 (홍익대학교 교수)
	장 병 수 (이노벨루네트웍스 부사장)	조 성 현 (한양대학교 교수)	조 인 호 (에이스테크놀로지 박사)
	최 진 식 (한양대학교 교수)	허 서 원 (홍익대학교 교수)	
연구회위원장	최 지 웅 (DGIST 교수) - 통신	윤 상 민 (국민대학교 교수) - 지능형네트워크	
	조 춘 식 (한국항공대학교 교수) - 마이크로 및 전파전자	이 철 기 (아주대학교 교수) - ITS	
	김 강 욱 (경북대학교 교수) - 군사전자	허 재 두 (한국전자통신연구원 본부장) - 무선 PAN/BAN	
간 사	김 중 현 (고려대학교 교수)		

반도체소사이터티

회 장	김 진 상 (경희대학교 교수)	권 오 경 (한양대학교 석좌교수)	김 영 환 (포항공과대학교 교수)
자 문 위 원	공 준 진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	김 희 석 (청주대학교 교수)	박 홍 준 (포항공과대학교 교수)
	김 재 석 (연세대학교 교수)	손 보 역 (㈜LX세미콘 대표이사)	신 승 용 (반소 전임회장)
	신우명훈 (아주대학교 교수)	우 남 성 (반소 전임회장)	이 승 훈 (서강대학교 교수)
	신 현 철 (한양대학교 교수)	임 형 규 (반소 전임회장)	장 성 진 (삼성전자㈜ 부사장)
	임 신 일 (서경대학교 교수)	정 연 모 (경희대학교 교수)	정 항 근 (전북대학교 교수)
	전 영 현 (삼성SDI㈜ 부회장)	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	정 해 수 (Synopsis 사장)	최 기 영 (서울대학교 교수)	최 승 중 (LG전자㈜ 부사장)
	조 중 회 (연세대학교 교수)		
	허 영 (실리콘마이터스 대표이사)		
감 사	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 광 엽 (서경대학교 교수)	이 한 호 (인하대학교 교수)
부 회 장	김 동 규 (한양대학교 교수)	안 기 현 (한국반도체산업협회 전무)	최 중 호 (서울시립대학교 교수)
	이 희 덕 (충남대학교 교수)	장 성 진 (삼성전자㈜ 부사장)	류 현 석 (서울대학교 교수)
총 무 이 사	고 형 호 (충남대학교 교수)	김 지 훈 (이화여자대학교 교수)	황 상 준 (삼성전자㈜ 부사장)
	박 종 선 (고려대학교 교수)	유 찬 호 (삼성전자 마스터)	조 성 재 (가천대학교 교수)
	노 정 진 (한양대학교 교수)	최 기 식 (삼성전자 부사장)	
편 집 이 사	한 태 희 (성균관대학교 교수)		
학 술 이 사	김 진 규 (인하대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)	범 진 욱 (서강대학교 교수)
	변 영 재 (UNIST 교수)	송 민 규 (동국대학교 교수)	이 병 훈 (포항공과대학교 교수)
	이 승 호 (한밭대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	이 희 덕 (충남대학교 교수)
	인 치 호 (세명대학교 교수)	정 진 규 (전북대학교 교수)	차 호 영 (홍익대학교 교수)
	최 우 영 (연세대학교 교수)	최 창 환 (한양대학교 교수)	
사 업 이 사	강 운 병 (삼성전자㈜ 마스터)	공 배 선 (성균관대학교 교수)	공 정 택 (성균관대학교 교수)
	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 소 영 (성균관대학교 교수)	김 시 호 (연세대학교 교수)
	김 용 석 (성균관대학교 교수)	김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)	김 중 선 (홍익대학교 교수)
	백 광 현 (중앙대학교 교수)	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)	손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터)
	송 용 호 (삼성전자㈜ 부사장)	엄 낙 웅 (한국전자통신연구원 연구위원)	오 정 우 (연세대학교 교수)
	이 강 윤 (성균관대학교 교수)	조 태 제 (삼성전자㈜ 고문)	최 규 영 (서울대학교 교수)
	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	최 윤 경 (고려대학교 교수)	최 준 민 (경북대학교 교수)
재 무 이 사	권 기 원 (성균관대학교 교수)	이 성 수 (숭실대학교 교수)	
산 학 이 사	김 경 수 (넥스트칩 대표이사)	김 동 현 (ICTK 사장)	김 보 은 (라온텍 사장)
	김 준 석 (ADT 사장)	나 준 호 (㈜LX세미콘 전무)	손 재 철 (어보브반도체 부사장)
	송 태 훈 (휴인스 사장)	신 용 석 (케이던스코리아 사장)	이 도 영 (옵토레인 사장)
	이 윤 중 (동부하이텍 부사장)	이 장 규 (텔레칩스 대표이사)	
	노 원 우 (연세대학교 교수)	문 용 (숭실대학교 교수)	
회 원 이 사	최 우 영 (서울대학교 교수) - 반도체소재및재료	김 상 인 (아주대학교 교수) - 광파밍및자전자공학	
연구회위원장	김 종 성 (홍익대학교 교수) - SoC설계	김 영 진 (한국항공대학교 교수) - RF집적회로	
	정 원 영 (강원공업㈜ 본부장) - PCB&Package	김 익 규 (한국전자통신연구원 본부장) - 정보보안시스템	
	정 의 준 (경희대학교 교수) - 내방사선 반도체 설계 및 소자	김 한 규 (삼성전자공과대학교 교수) - ESD/EOS & Latchup	
	노 원 우 (연세대학교 교수) - 인 메모리 컴퓨팅		
협 동 위 원	강 영 곤 (한국교통대학교 교수)	강 석 형 (포항공과대학교 교수)	권 구 덕 (강원대학교 교수)
	권 영 수 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김 수 연 (동국대학교 교수)	김 영 민 (홍익대학교 교수)
	김 재 욱 (KIST 그룹장)	김 현 (서울과학기술대학교 교수)	류 성 주 (서강대학교 교수)
	박 성 정 (건국대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)	양 준 성 (연세대학교 교수)
	오 윤 호 (성균관대학교 교수)	윤 명 국 (이화여자대학교 교수)	이 영 주 (포항공과대학교 교수)
	이 우 주 (중앙대학교 교수)	이 윤 명 (성균관대학교 교수)	이 영 민 (고려대학교 교수)
	전 동 석 (서울대학교 교수)	전 성 훈 (삼성전자㈜ 상무)	정 무 경 (㈜사피온코리아 CTO)
	장 윤 호 (한국항공대학교 교수)	제 민 규 (한국과학기술원 교수)	채 형 일 (건국대학교 교수)
	최 재 혁 (한국과학기술원 교수)	최 재 혁 (성균관대학교 교수)	추 민 성 (한양대학교 교수)
	한 정 환 (충남대학교 교수)	황 태 호 (한국전자기술연구원 센터장)	김 태 환 (한국항공대학교 교수)

컴퓨터소사이터티

회 명 예 회 장

자 문 위 원
감 부 회 장

협동부회장

총 무 이 사
재 무 이 사
홍 보 이 사
집 이 사

학 술 이 사

사 업 이 사
산 학 이 사

연구회위원장

최용수 (신한대학교 교수)
강문식 (강릉원주대학교 교수)
박인성 (단국대학교 명예교수)
정영규 (홍익대학교 교수)
정영규 (울지대학교 교수)
정영규 (가천대학교 교수)
정영규 (강원대학교 교수)
변영재 (UNIST 교수)
김도현 (제주대학교 교수)
조민호 (고려대학교 교수)
김상욱 (상명대학교 교수)
박성욱 (강릉원주대학교 교수)
이영 (인천대학교 교수)
정영 (명지병원 책임연구원)
김진홍 (배재대학교 교수)
박영훈 (숙명여자대학교 교수)
이덕기 (연암공과대학교 교수)
강병권 (순천향대학교 교수)
김정욱 (경희대학교 교수)
노영 (월송출판 대표이사)
이문구 (김포대학교 교수)
이주형 (가천대학교 교수)
한규필 (금오공과대학교 교수)
고한열 (고려대학교 교수)
김종원 (경동대학교 교수)
서민석 (고려대학교 교수)
이충규 (조선대학교 교수)
한상민 (순천향대학교 교수)
황석중 (SK Telecom 박사)
박승찬 (㈜유오씨 사장)
김대휘 (주한국정보통신 대표이사)
서봉상 (주올랜드 이사)
오승훈 (주얼린 대표이사)
조병순 (CNC instrument 사장)
심정현 (강남대학교 교수) - 멀티미디어
윤은준 (경일대학교 교수) - 융합컴퓨팅
김도현 (제주대학교 교수) - M2M/IOT
정영 (가천대학교 교수) - 인공지능 및 보안
정영 (홍익대학교 교수) - 블록체인

김승천 (한성대학교 교수)
박준명 (한국교통대학교 교수)
안현식 (동명대학교 교수)
허영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)
남상엽 (국제대학교 교수)
박수현 (국민대학교 교수)
심정연 (강남대학교 교수)
김병서 (홍익대학교 교수)
우운택 (한국과학기술원 교수)
이후진 (한성대학교 교수)
기장근 (공주대학교 교수)
김천식 (세종대학교 교수)
심규성 (한경대학교 교수)
이민호 (경북대학교 교수)
이찬수 (영남대학교 교수)
김대홍 (울지대학교 교수)
김홍균 (다스파워 이사)
오희석 (한성대학교 교수)
임경원 (대림대학교 교수)
한영선 (부경대학교 교수)
황재정 (군산대학교 교수)
차시호 (청운대학교 교수)
김은영 (특와이시스템즈 이사)
송치봉 (웨이버스 이사)
이재홍 (유비벨록스모바일 대표이사)
조병영 (주태진인포텍 전무)
진훈 (경기대학교 교수) - 휴먼ICT
이민호 (경북대학교 교수) - 인공지능/신경망/퍼지
우운택 (한국과학기술원 교수) - 중강휴먼
김명선 (한성대학교 교수) - AI응용

김형중 (고려대학교 교수)
신인철 (단국대학교 명예교수)
이규대 (공주대학교 교수)
홍유식 (상지대학교 교수)
정교일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
윤은준 (경일대학교 교수)
김영학 (산업기술평가관리원 본부장)
유성철 (LG히다씨 본부장)
정은성 (홍익대학교 교수)
김선욱 (고려대학교 교수)
김한울 (서울과학기술대학교 교수)
윤상훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
이세호 (전북대학교 교수)
정해명 (김포대학교 교수)
김영선 (한성대학교 교수)
백광현 (중앙대학교 교수)
이정선 (울지대학교 교수)
임재균 (명지병원 소장)
한태화 (연세대학교 의료원 팀장)
황진영 (한국항공대학교 교수)
김효선 (연세세브란스병원 연구원)
신동희 (대보정보통신 부장)
이학준 (이노지에스코리아 연구소장)
진훈 (경기대학교 교수) - 휴먼ICT
이민호 (경북대학교 교수) - 인공지능/신경망/퍼지
우운택 (한국과학기술원 교수) - 중강휴먼
김명선 (한성대학교 교수) - AI응용

인공지능 신초처리소사이터티

회 명 예 회 장

부 회 장
협동부회장

이 사

협 동 이 사

송병철 (인하대학교 교수)
김정태 (이화여자대학교 교수)
김홍국 (광주과학기술원 교수)
이영철 (세종대학교 교수)
홍민철 (송실대학교 교수)
고병철 (계명대학교 교수)
김경진 (LG전자 연구위원)
김진웅 (한국전자통신연구원 그룹장)
여종철 (한국과학기술원 교수)
이찬수 (영남대학교 교수)
최병호 (한국전자기술연구원 센터장)
이재은 (인하대학교 교수)
고종환 (성균관대학교 교수)
곽수영 (한밭대학교 교수)
김승룡 (고려대학교 교수)
김태현 (한양대학교 교수)
김휘웅 (경희대학교 교수)
박인규 (인하대학교 교수)
신종원 (광주과학기술원 교수)
오병태 (한국항공대학교 교수)
유현우 (두산인프라코어 연구원)
유현우 (UNIST 교수)
이덕우 (계명대학교 교수)
이윤구 (광운대학교 교수)
장주혁 (한양대학교 교수)
정영주 (숙명여자대학교 교수)
조상인 (동국대학교 교수)
최동철 (한밭대학교 교수)
최종원 (중앙대학교 교수)
한보영 (서울대학교 교수)
홍성은 (인하대학교 교수)
김준석 (중앙대학교 교수)
곽진태 (고려대학교 교수)
김광주 (한국전자통신연구원 연구원)
김상호 (성균관대학교 교수)
김원하 (경희대학교 교수)
김종민 (강원대학교 교수)
김태광 (세종대학교 교수)
박구만 (서울과학기술대학교 교수)
박현진 (성균관대학교 교수)
서영호 (광운대학교 교수)

김종욱 (고려대학교 교수)
박종일 (한양대학교 교수)
전병우 (성균관대학교 교수)
전세영 (서울대학교 교수)
권기훈 (부경대학교 교수)
김창수 (고려대학교 교수)
윤재중 (LG전자 연구위원)
지인호 (홍익대학교 교수)
하정우 (네이버 AI연구소장)
강제원 (이화여자대학교 교수)
고현석 (한양대학교 교수)
곽수하 (포스텍 교수)
김준모 (한국과학기술원 교수)
김학구 (중앙대학교 교수)
박상현 (DGIST 교수)
박철수 (광운대학교 교수)
삼재영 (UNIST 교수)
우성민 (한국기술교육대학교 교수)
유재준 (UNIST 교수)
윤정인 (한화디펜스 연구원)
이범식 (조선대학교 교수)
이철 (동국대학교 교수)
전세영 (서울대학교 교수)
정희철 (경북대학교 교수)
조상현 (포스텍 교수)
최성준 (고려대학교 교수)
최종현 (연세대학교 교수)
한재호 (고려대학교 교수)
황호식 (경희대학교 교수)
강현수 (충북대학교 교수)
구형일 (아주대학교 교수)
김기백 (송실대학교 교수)
김선주 (연세대학교 교수)
김재근 (한국항공대학교 교수)
김종욱 (한국항공우주연구원 연구원)
남승우 (한국전자통신연구원 연구원)
박상운 (명지대학교 교수)
박호중 (광운대학교 교수)
서정일 (한국전자통신연구원 박사)

김창의 (한국과학기술원 교수)
심종규 (광운대학교 교수)
조남익 (서울대학교 교수)
정승원 (고려대학교 교수)
김남수 (서울대학교 교수)
백준기 (중앙대학교 교수)
이병욱 (이화여자대학교 교수)
최강선 (한국기술교육대학교 교수)
한재준 (삼성전자(주) 마스터)
고영준 (충남대학교 교수)
곽노준 (서울대학교 교수)
구문학 (LG전자 연구원)
김진규 (고려대학교 교수)
김한울 (서울과학기술대학교 교수)
박영경 (이화여자대학교 교수)
백종택 (연세대학교 교수)
심현정 (연세대학교 교수)
우운택 (한국과학기술원 교수)
유종빈 (아주대학교 교수)
이금하 (KT 연구원)
이상철 (인하대학교 교수)
임상훈 (DGIST 교수)
정교일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
조동현 (충남대학교 교수)
차영수 (고려대학교 교수)
최욱 (인천대학교 교수)
최해철 (한밭대학교 교수)
함범섭 (연세대학교 교수)
곽노준 (서울대학교 교수)
권구락 (조선대학교 교수)
김동현 (연세대학교 교수)
김동환 (한국전자기술연구원 수석연구원)
김진진 (계명대학교 교수)
김진우 (경성대학교 교수)
박구만 (서울과학기술대학교 교수)
박성홍 (한국과학기술원 교수)
배성호 (경희대학교 교수)
서진근 (연세대학교 교수)

감사
연구회위원장

손광훈 (연세대학교 교수)	송진호 (연세대학교 교수)	신재섭 (㈜픽스트리 대표이사)
신지태 (성균관대학교 교수)	심학준 (캐논메디칼시스템즈코리아 박사)	양현종 (UNIST 교수)
여영정 (연세대학교 교수)	엄일규 (부산대학교 교수)	오세홍 (한국외국어대학교 교수)
오명현 (포스텍 교수)	엄영호 (인텔리빅스 대표이사)	유양모 (서강대학교 교수)
윤근진 (한국과학기술원 교수)	윤일동 (한국외국어대학교 교수)	이기승 (건국대학교 교수)
이상근 (중앙대학교 교수)	이상운 (연세대학교 교수)	이상현 (DGIST 교수)
이상훈 (연세대학교 교수)	이승용 (포스텍 교수)	이연정 (경북대학교 교수)
이의진 (서울과학기술대학교 교수)	이정원 (한국항공대학교 교수)	이재성 (서울대학교 교수)
이준석 (연세대학교 교수)	이종설 (한국전자기술연구원 책임연구원)	이종하 (계명대학교 교수)
이준재 (계명대학교 교수)	이준호 (성균관대학교 교수)	이창우 (가톨릭대학교 교수)
임재열 (한국기술교육대학교 교수)	임재윤 (제주대학교 교수)	임종우 (한양대학교 교수)
장세진 (한국전자기술연구원 센터장)	장윤준 (제주한라대학교 교수)	장인수 (한국전자통신연구원 연구원)
전기완 (국가수리과학연구소 박사)	전해곤 (광주과학기술원 교수)	정미라 (계명대학교 교수)
정원기 (고려대학교 교수)	정찬호 (한밭대학교 교수)	정호기 (한국교통대학교 교수)
정호열 (영남대학교 교수)	정현호 (HDXMLL 박사)	조승룡 (한국과학기술원 교수)
조윤지 (이비인 연구원)	진현성 (제주대학교 교수)	최승호 (서울과학기술대학교 교수)
최윤식 (연세대학교 교수)	최장환 (이화여자대학교 교수)	최준원 (한양대학교 교수)
최현철 (영남대학교 교수)	한종기 (세종대학교 교수)	허용석 (아주대학교 교수)
홍성훈 (전남대학교 교수)	황도식 (연세대학교 교수)	황성주 (한국과학기술원 교수)
황영배 (충북대학교 교수)		
김현우 (경희대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)	
김동보 (이화여자대학교 교수)		
김석주 (서강대학교 교수) - 영상처리	김원준 (건국대학교 교수) - 영상이해	
이종호 (서울대학교 교수) - 바이오영상신호처리	황원준 (아주대학교 교수) - 딥러닝	
장길진 (경북대학교 교수) - 음향 및 음성신호처리	김성우 (서울대학교 교수) - 로봇 지능	

시스템 및 제어소사이터

회장	김영진 (한국생산기술연구원 수석연구원)	주영복 (한국기술교육대학교 교수)	김기연 (한국산업기술시험원 선임연구원)
부회장	이덕진 (전북대학교 교수)	장길도 (전북대학교 교수)	
감사	김영철 (군산대학교 교수)	강성복 (한국생산기술연구원 수석연구원)	
편집/학술이사	권중원 (한국산업기술시험원 책임연구원)		
홍보이사	최현택 (한국해양과학기술원 책임연구원)	문태주 (㈜부일하우징 대표이사)	신대현 (㈜대연씨앤아이 대표이사)
산학연이사	김광식 (㈜소올아이티 전무)		
회원이사	유병길 (현대전기 대표이사)	김수찬 (한경대학교 교수)	김종만 (전남도립대학교 교수)
	권오민 (충북대학교 교수)	김호철 (울지대학교 교수)	남기창 (동국대학교 교수)
	김지홍 (전주비전대학교 교수)	문정호 (강릉원주대학교 교수)	박영진 (경희대학교 교수)
	류지형 (한국전자통신연구원 박사)	변영재 (UNIST 교수)	서영석 (영남대학교 교수)
	박재병 (전북대학교 교수)	여희주 (대진대학교 교수)	유재현 (한경대학교 교수)
	송철규 (전북대학교 교수)	이수열 (경희대학교 교수)	이웅귀 (한국전자통신연구원 선임연구원)
	이상준 (선문대학교 교수)	이학성 (세종대학교 교수)	정재훈 (동국대학교 교수)
	이태희 (전북대학교 교수)	최우영 (전북대학교 교수)	한아 (한국산업기술시험원 선임연구원)
자문위원	최수범 (KIST 연구원)	김희식 (서울시립대학교 교수)	박종국 (경희대학교 교수)
	김덕원 (연세대학교 교수)	오상록 (KIST 분원장)	오승록 (단국대학교 교수)
	서일홍 (한양대학교 교수)	유정봉 (공주대학교 교수)	허경무 (단국대학교 교수)
연구회위원장	오창현 (고려대학교 교수)	한수희 (포항공과대학교 교수) - 제어계측	
	김규식 (서울시립대학교 교수) - 전력전자	정재훈 (동국대학교 교수) - 지능로봇	
	남기창 (동국대학교 교수) - 의용전자 및 생체공학	이석재 (대구보건대학교 교수) - 국방정보 및 제어	
	이성준 (한양대학교 교수) - 회로 및 시스템	오창현 (고려대학교 교수) - 의료영상시스템	
	연구총괄 (한국자동차연구원 센터장) - 자동차전자	정법진 (서울과학기술대학교 교수) - 스마트미터링	
	권중원 (한국산업기술시험원 책임연구원) - 스마트팩토리		

산업전자소사이터

회장	김은원 (대림대학교 교수)	김동식 (인하공업전문대학 교수)	남상엽 (국제대학교 교수)
명예회장	김창수 (유한대학교 교수)	윤기방 (인천대학교 교수)	이명선 (김포대학교 교수)
	원영진 (부천대학교 교수)	이원석 (동양미래대학교 교수)	
자문위원	이상희 (동서울대학교 교수)	김영민 (충청대학교 교수)	이상준 (수원과학대학교 교수)
	김대희 (한국정보기술 대표이사)	최영일 (조선이공대학교 교수)	한성준 (아이티센 고문)
	조규남 (로봇신문사 대표이사)		
수석부회장	조정환 (인하공업전문대학 교수)		
상임이사	김남섭 (서일대학교 교수)	김상범 (한국폴리텍대학 교수)	김영로 (명지전문대학교 교수)
	김영선 (대림대학교 교수)	김현 (부천대학교 교수)	서명석 (상지대학교 교수)
	서준원 (K-My지능정보기술 대표이사)	엄우웅 (인하공업전문대학 교수)	원우연 (한국폴리텍대학 교수)
협동상임이사	윤종현 (조선이공대학교 교수)	이시현 (동서울대학교 교수)	조도현 (인하공업전문대학 교수)
	김현석 (로보월드코리아 대표이사)	권오병 (㈜넷케이티아이 전무이사)	김세중 (㈜SJ정보통신 이사)
	김윤철 (㈜트라콤 상무이사)	김정석 (㈜오디에이테크놀로지 대표이사)	박현영 (㈜보고텍 대표이사)
	서봉상 (㈜올프랜드 이사)	서승현 (㈜글로벌텔레콤 대표이사)	성재용 (㈜오픈링크시스템 대표이사)
	송관식 (㈜아이티웨이 상무이사)	송광현 (복두출판사 대표이사)	송치봉 (웨이버스 대표이사)
	유성철 (㈜클로센 상무이사)	이영준 (㈜투비콤 대표이사)	장대현 (㈜LGCNS 상무이사)
	전한수 (㈜세림TSG 전무이사)	조병영 (㈜태진인포텍 대표이사)	조한일 (㈜하이제이컨설팅 대표이사)
	최석우 (한국정보기술 상무이사)	Gemma 김 (엔티데이터 이사)	
이사	강희훈 (여주대학교 교수)	구자일 (인하공업전문대학 교수)	권오상 (경기과학기술대학교 교수)
	권윤중 (세명대학교 교수)	김대순 (전주비전대학교 교수)	김덕수 (동양미래대학교 교수)
	김백기 (강릉원주대학교 교수)	김종오 (동양미래대학교 교수)	김태원 (상지대학교 교수)
	김필중 (조선이공대학교 교수)	성홍석 (부천대학교 교수)	안대원 (동양미래대학교 교수)
	김찬일 (서일대학교 교수)	이문구 (김포대학교 교수)	이성재 (대림대학교 교수)
	이윤구 (한림성심대학교 교수)	이주연 (전주비전대학교 교수)	장기동 (동양미래대학교 교수)
	정성순 (동양미래대학교 교수)		
협동이사	변영필 (㈜넷케이티아이 전무이사)	고강일 (이지테크 대표이사)	곽정희 (한국정보기술 부장)
	신우현 (시티랩스 이사)	김철룡 (㈜클로센 책임연구원)	신동희 (전대보정보통신 부장)
	이병건 (㈜오픈링크시스템 이사)	오재곤 (한국정보기술 상무이사)	이경원 (한국종합기술공사 상무이사)
	이승태 (㈜하나텍시스템 이사)	이성대 (시티랩스 이사)	이승민 (㈜통신시스템 대표이사)
	임준섭 (전대보정보통신 차장)	이웅우 (㈜쌍용정보통신 상무이사)	이지학 (한국암시시스템 대표이사)
	정민우 (전대보정보통신 상무이사)	장기웅 (전대보정보통신 부장)	장철 (한국정보기술 대표이사)
감사	동성수 (용인예술과학대학교 교수)	한찬석 (한국종합기술공사 부사장)	
		이태동 (국제대학교 교수)	

제24대 평의원 명단

강명곤 (한국교통대학교 교수)	강문식 (강릉원주대학교 교수)	강민석 (LGO노텍 부사장)
강석주 (서강대학교 교수)	강석판 (LG전자 상무)	강석형 (포항공과대학교 교수)
강성원 (한국전자통신연구원 부원장)	강윤희 (백석대학교 교수)	강제원 (이화여자대학교 교수)
강진구 (인하대학교 교수)	고병철 (계명대학교 교수)	고석준 (제주대학교 교수)
고성제 (고려대학교 교수)	고정환 (인하공업전문대학 교수)	고진환 (경상대학교 교수)
고형호 (충남대학교 교수)	공배선 (성균관대학교 교수)	공성호 (경북대학교 교수)
공준진 (삼성전자공과대학교 주임교수)	곽진태 (고려대학교 교수)	구민석 (인천대학교 교수)
구본태 (한국전자통신연구원 본부장)	구용서 (단국대학교 교수)	권건우 (홍익대학교 교수)
권구덕 (강원대학교 교수)	권기룡 (부경대학교 교수)	권오경 (한양대학교 석좌교수)
권오규 (인하대학교 교수)	권종기 (한국전자통신연구원 연구전문위원)	권종원 (한국산업기술평가관리원 책임연구원)
권태수 (서울과학기술대학교 교수)	권혁인 (중앙대학교 교수)	권호열 (정보통신정책연구원 원장)
김경기 (대구대학교 교수)	김광수 (서강대학교 교수)	김광순 (연세대학교 교수)
김규식 (서울시립대학교 교수)	김남 (충북대학교 교수)	김달수 (티엘아이 대표이사)
김대순 (전주비전대학교 교수)	김덕진 (고려대학교 명예교수)	김도현 (국민대학교 명예교수)
김도현 (제주대학교 교수)	김동규 (한양대학교 교수)	김동식 (인하공업전문대학 교수)
김동현 (CTK 대표이사)	김명선 (한성대학교 교수)	김명준 (한국전자통신연구원 원장)
김병서 (홍익대학교 교수)	김봉태 (한국전자통신연구원 소장)	김부균 (숭실대학교 교수)
김상원 (서강대학교 교수)	김성태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)	김선웅 (건국대학교 교수)
김선욱 (고려대학교 교수)	김성대 (한국과학기술원 명예교수)	김성우 (서울대학교 교수)
김성진 (울산과학기술원 교수)	김소영 (성균관대학교 교수)	김수연 (동국대학교 교수)
김수중 (경북대학교 명예교수)	김수찬 (한경대학교 교수)	김수환 (서울대학교 교수)
김승천 (한성대학교 교수)	김시호 (연세대학교 교수)	김영권 (후레대학교 명예총장)
김영로 (명지전문대학교 교수)	김영민 (서울대학교 교수)	김영민 (홍익대학교 교수)
김영선 (대림대학교 교수)	김영재 (해동과학문화재단 이사장)	김영진 (한국항공대학교 교수)
김영진 (한국생산기술연구원 수석연구원)	김영철 (군산대학교 교수)	김영한 (UC San Diego/기우스랩스 교수/대표이사)
김용규 (한국철도기술연구원 수석연구원)	김용석 (성균관대학교 교수)	김용신 (고려대학교 교수)
김원중 (한국전자통신연구원 책임연구원)	김원준 (건국대학교 교수)	김유선 (LGO노텍 TASK LEADER)
김유철 (LG AI연구원 부부장)	김윤 (서울시립대학교 교수)	김은원 (대림대학교 교수)
김익균 (한국전자통신연구원 본부장)	김재현 (아주대학교 교수)	김재희 (연세대학교 명예교수)
김정범 (강원대학교 교수)	김정호 (이화여자대학교 교수)	김종선 (홍익대학교 교수)
김종욱 (고려대학교 교수)	김주성 (한밭대학교 교수)	김준모 (한국과학기술원 교수)
김지훈 (이화여자대학교 교수)	김진성 (강희대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
김진태 (건국대학교 교수)	김창수 (고려대학교 교수)	김창익 (한국과학기술원 교수)
김철영 (충남대학교 교수)	김철우 (고려대학교 교수)	김태욱 (연세대학교 교수)
김태진 (더즈텍 대표이사)	김한구 (삼성전자공과대학교 교수)	김현 (서울과학기술대학교 교수)
김현 (부천대학교 교수)	김현수 (삼성전자) 상무	김현철 (울산대학교 교수)
김형준 (한국과학기술연구원 소장)	김형진 (인하대학교 교수)	김형택 (홍익대학교 교수)
김홍국 (광주과학기술원 교수)	김훈 (인천대학교 교수)	나정웅 (한국과학기술원 명예교수)
남궁선 (유니트론텍 부회장)	남기창 (동국대학교 교수)	남상욱 (서울대학교 교수)
남일구 (부산대학교 교수)	노원우 (연세대학교 교수)	노정진 (한양대학교 교수)
노태문 (한국전자통신연구원 센터장/책임연구원)	동성수 (웅인송담대학교 교수)	류수정 (사피온코리아 대표이사)
류승택 (한국과학기술원 교수)	문병인 (경북대학교 교수)	문영식 (한양대학교 교수)
문웅 (숭실대학교 교수)	민경식 (국민대학교 교수)	민동보 (이화여자대학교 교수)
박규태 (연세대학교 명예교수)	박부건 (포항공과대학교 교수)	박성민 (이화여자대학교 교수)
박성욱 (SK하이닉스 부회장)	박성욱 (강릉원주대학교 교수)	박성한 (한양대학교 명예교수)
박수현 (국민대학교 교수)	박영훈 (숙명여자대학교 교수)	박인규 (인하대학교 교수)
박종선 (고려대학교 교수)	박종일 (한양대학교 교수)	박진욱 (육군사관학교 명예교수)
박항구 (소암시스템 회장)	배준성 (강원대학교 조교수)	배준호 (가천대학교 교수)
배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	백광현 (중앙대학교 교수)	백상헌 (고려대학교 교수)
백준기 (중앙대학교 교수)	범진욱 (서강대학교 교수)	변대석 (삼성전자) 마스터
변영재 (울산과학기술원 교수)	서승우 (서울대학교 교수)	서정욱 (전) 과학기술부 장관
서창호 (한국과학기술원 교수)	선우경 (서울대학교 교수)	선우명훈 (아주대학교 교수)
성광모 (서울대학교 명예교수)	성원진 (서강대학교 교수)	손교민 (삼성전자) 마스터
손보익 (IX세미콘 대표이사)	손일수 (서울과학기술대학교 교수)	송문섭 (삼척 회장)
송민규 (동국대학교 교수)	송민협 (한국전자통신연구원 선임연구원)	송병철 (인하대학교 교수)
송상현 (중앙대학교 교수)	송준영 (인천대학교 교수)	신오순 (숭실대학교 교수)
신요안 (숭실대학교 교수)	신창환 (고려대학교 교수)	신현철 (광운대학교 교수)
심동규 (광운대학교 교수)	심정연 (강남대학교 교수)	안상철 (한국과학기술연구원 책임연구원)
안승권 (연암공과대학교 총장)	안현식 (동명대학교 교수)	안호균 (한국전자통신연구원 실장)
양준성 (연세대학교 교수)	엄낙웅 (한국전자통신연구원 책임연구원)	여희주 (대진대학교 교수)
연구봉 (한국자동차연구원 팀장/수석연구원)	예종철 (한국과학기술원 교수)	오상록 (한국과학기술연구원 강릉분원장)
오성근 (아주대학교 교수)	오윤호 (고려대학교 교수)	오의열 (LG디스플레이 연구위원)
오정훈 (삼성전자) 마스터	우성민 (한국기독교교육대학교 교수)	우윤택 (한국과학기술원 교수)
우정호 (비전넥스트 대표이사)	원제형 (도쿄일렉트론코리아 대표이사)	유동훈 (삼성전자) 전문
유명식 (숭실대학교 교수)	유윤섭 (한경대학교 교수)	유정봉 (공주대학교 교수)
유찬세 (한국전자기술연구원 센터장)	유창동 (한국과학기술원 교수)	유창식 (삼성전자) 전문

윤 광 석 (인하대학교 교수)
 윤 석 진 (한국과학기술연구원 원장)
 윤 영 권 (삼성전자㈜ 마스터)
 이 강 윤 (성균관대학교 교수)
 이 규 대 (공주대학교 교수)
 이 남 윤 (고려대학교 교수)
 이 동 규 (카카오모빌리티 부사장)
 이 상 만 (시스템에이트 대표이사)
 이 상 훈 (웨이브피아 대표이사)
 이 성 수 (숭실대학교 교수)
 이 승 용 (포항공과대학교 교수)
 이 영 렬 (세종대학교 교수)
 이 재 관 (한국자동차연구원 본부장)
 이 재 훈 (서울대학교 명예교수)
 이 정 원 (서울대학교 선임연구원)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 창 한 (한국반도체산업협회 상근부회장)
 이 철 (동국대학교 교수)
 이 충 용 (서울대학교 명예교수)
 이 한 림 (중앙대학교 교수)
 이 형 민 (고려대학교 교수)
 인 치 호 (세명대학교 교수)
 임 태 택 (한양대학교 명예교수)
 장 석 호 (건국대학교 교수)
 전 국 진 (서울대학교 명예교수)
 전 선 익 (파이낸셜뉴스 사장)
 전 흥 훈 (성균관대학교 교수)
 정 길 도 (전북대학교 교수)
 정 범 진 (한국외국어대학교 교수)
 정 용 규 (울지대학교 교수)
 정 은 승 (삼성전자㈜ 사장)
 정 중 문 (연세대학교 교수)
 정 진 군 (전북대학교 교수)
 조 경 순 (한국외국어대학교 교수)
 조 민 호 (고려대학교 교수)
 조 영 민 (SkyMirr CEO)
 조 현 중 (강원대학교 교수)
 차 철 용 (한국전자기술연구원 센터장)
 채 주 형 (광운대학교 교수)
 최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)
 최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)
 최 승 범 (삼성전자㈜ 부사장)
 최 용 수 (신한대학교 교수)
 최 윤 석 (한밭대학교 교수)
 최 중 호 (서울시립대학교 교수)
 최 창 식 (DB하이텍 부회장)
 한 동 석 (경북대학교 교수)
 한 재 호 (고려대학교 교수)
 함 범 섭 (연세대학교 교수)
 허 군 (고려대학교 교수)
 홍 대 식 (연세대학교 교수)
 홍 유 식 (상지대학교 교수)
 홍 철 호 (중앙대학교 교수)
 황 원 준 (아주대학교 교수)
 황 인 태 (전남대학교 교수)

윤 명 국 (이화여자대학교 교수)
 윤 석 현 (단국대학교 교수)
 윤 일 구 (연세대학교 교수)
 이 경 중 (연세대학교 교수)
 이 규 복 (한국전자기술연구원 부원장)
 이 덕 기 (연암공과대학교 교수)
 이 문 기 (연세대학교 명예교수)
 이 상 설 (한양대학교 명예교수)
 이 석 호 (한국전자통신연구원 책임연구원)
 이 성 준 (한양대학교 교수)
 이 승 은 (서울과학기술대학교 교수)
 이 윤 식 (울산과학기술원 교수)
 이 재 성 (고려대학교 교수)
 이 재 훈 (유정시스템 대표이사)
 이 중 호 (숭실대학교 교수)
 이 주 연 (전주비전대학교 교수)
 이 채 은 (인하대학교 교수)
 이 철 (동국대학교 교수)
 이 태 동 (국제대학교 교수)
 이 한 호 (인하대학교 교수)
 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
 임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)
 임 혜 숙 (이화여자대학교 교수)
 장 성 진 (삼성전자㈜ 부사장)
 전 동 석 (서울대학교 교수)
 전 세 영 (서울대학교 교수)
 전 흥 태 (중앙대학교 명예교수)
 정 민 수 (라운텍 부사장)
 정 성 영 (차세대융합기술연구원 선임연구원)
 정 원 영 (강원공업 본부장)
 정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
 정 준 (솔리드 대표이사)
 정 해 준 (경희대학교 교수)
 조 남 익 (서울대학교 교수)
 조 성 인 (동국대학교 교수)
 조 중 휘 (인천대학교 교수)
 조 해 정 (삼성물산 그룹장)
 차 혁 규 (서울과학기술대학교 교수)
 천 경 준 (씨젠 회장)
 최 광 표 (삼성전자㈜ 마스터)
 최 성 민 (해치텍 대표이사)
 최 승 중 (LG전자 부사장)
 최 우 영 (연세대학교 교수)
 최 재 혁 (한국과학기술원 교수)
 최 진 성 (도이치텔레콤 부사장)
 최 천 원 (단국대학교 교수)
 한 영 선 (부경대학교 교수)
 한 정 환 (충남대학교 교수)
 함 철 회 (삼성전자㈜ 마스터)
 현 유 진 (대구경북과학기술원 책임연구원)
 홍 민 철 (숭실대학교 교수)
 홍 인 기 (경희대학교 교수)
 황 성 운 (가천대학교 교수)
 황 인 정 (명지병원 수석연구원)
 황 진 영 (한국항공대학교 교수)

윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
 윤 성 로 (서울대학교 교수)
 윤 중 용 (한국공학대학교육인증 이사장)
 이 광 영 (서경대학교 교수)
 이 규 필 (삼성전자㈜ 부사장)
 이 덕 진 (전북대학교 교수)
 이 병 선 (김포대학교 교수)
 이 상 윤 (연세대학교 교수)
 이 석 희 (SK하이닉스 대표이사)
 이 수 민 (한국센서연구소 대표이사)
 이 승 호 (한밭대학교 교수)
 이 인 규 (고려대학교 교수)
 이 재 진 (숭실대학교 교수)
 이 정 우 (중앙대학교 교수)
 이 중 호 (서울대학교 교수)
 이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
 이 천 희 (전) 청주대학교 교수)
 이 중 용 (연세대학교 교수)
 이 태 원 (고려대학교 명예교수)
 이 혁 재 (서울대학교 교수)
 이 희 덕 (충남대학교 교수)
 임 신 일 (서경대학교 교수)
 장 길 진 (경북대학교 교수)
 장 의 준 (경희대학교 교수)
 전 병 우 (성균관대학교 교수)
 전 영 현 (삼성SDI 부회장)
 정 교 일 (한국전자통신연구원 연구전문위원)
 정 방 철 (충남대학교 교수)
 정 승 원 (고려대학교 교수)
 정 윤 호 (한국항공대학교 교수)
 정 정 화 (한양대학교 석좌교수)
 정 진 곤 (중앙대학교 교수)
 제 민 규 (한국과학기술원 교수)
 조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
 조 성 현 (한양대학교 교수)
 조 진 용 (한국전자기술연구원 센터장/수석연구원)
 진 훈 (경기대학교 교수)
 채 영 철 (연세대학교 교수)
 최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
 최 병 수 (부경대학교 교수)
 최 수 일 (전남대학교 교수)
 최 영 규 (한국교통대학교 교수)
 최 웅 (숙명여자대학교 교수)
 최 준 림 (경북대학교 교수)
 최 창 범 (한밭대학교 교수)
 최 현 택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
 한 은 혜 (에스에스앤씨 대표이사)
 한 태 희 (성균관대학교 교수)
 허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)
 홍 국 태 (LX세미론 연구위원)
 홍 승 훈 (인하대학교 명예교수)
 홍 제 형 (한양대학교 교수)
 황 승 훈 (동국대학교 교수)
 황 인 철 (강원대학교 교수)

사무국 직원 명단

송기원 국장 - 기획, 산학연, 신규 사업, 자문/서울IT포럼, 지부, 인사, 규정, 회장단 관련, 대외협력 및 업무총괄
 이안수 부장 - 하계학술대회, 주요 운영회의(이사회, 평의원회 및 총회), 총무업무(선거, 공문수발, 임원관련, 송년회, 포상 및 Wiset 등), 산업전자소사이터티
 배지영 부장 - 국제학술대회 총괄(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 사업(기술워크샵 등), 추계학술대회, 컴퓨터소사이터티, 시스템 및 제어소사이터티
 배기동 부장 - AI 관련, 국문지, 학회지, 표준화, 용역, 기타 지원업무, 인공지능 신호처리소사이터티
 변은정 부장 - 본회/소사이터티/연구회 재무, 회원관리(개인회원 및 특별회원), 홍보, 통신소사이터티
 김천일 부장 - 정보화 관련(웹사이트 관리 및 온라인/디지털 업무지원 등), 교육, 전산장비 관리, 반도체소사이터티
 성다희 서기 - 국제학술대회 담당(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간

학회소식

제2차 상임이사회 회의록

제2차 상임이사회가 3월 17일(금) 17시 학회 회의실에서 개최되었으며, 이번 회의 결과는 다음과 같다.

- 다 음 -

1. 성원 보고

- 제2차 상임이사회는 40명의 상임이사 중 22명의 참여로 성원되었음.

2. 본 학회(각 위원회) 및 소사이어티 보고

- 본 회(각 위원회)/ 각 소사이어티별 사업 및 활동 계획·추진경과 보고

3. 심의사항 의결

- 신규 개인회원 가입 승인에 대해 원안대로 승인함.

4. 기타

특별회원 및 유관기관 방문

학회 회장단은 3월 중 실리콘마이터스, 아메스산업, 해동과학문화재단, 뷰웍스, 쏘리드, 국가보안기술연구소 등을 방문하여 현안과제를 논의하고 상호 협력방안을 모색하였다.



실리콘마이터스 - 허 염 회장



아메스산업 - 이태현 대표이사



해동과학문화재단 - 김영재 이사장



뷰웍스 - 김후중 대표이사



솔리드 - 정 준 대표이사



국가보안기술연구소 - 최효진 소장

스케일업 팁스 사업 협력 MOU 체결

우리 학회는 3월 17일 재미한인혁신기술기업인협회, KAIST기술기
치창출원, 한국스케일업팁스협회 간 스케일업 팁스 선정기업의 기
술사업화, 글로벌 진출, 기술이전 등을 위해 협력하는 MOU를 체결
하였다.

스케일업 팁스는 제조·하드웨어 기반 기술기업의 성장을 지원하는
제도로 민간 운영사(VC+R&D전문회사컨소시엄)가 성장 단계의 유망
중소벤처기업을 발굴해 먼저 투자하면 정부가 나중에 지분투자과 연
구개발(R&D)을 지원하는 사업이다.



[가운데가 이영 중소벤처기업부 장관, 그 오른쪽에 이충용 수석부회장]

양자 컴퓨팅 워크숍

사업위원회 (운영위원장: 김철우 교수(고려대))에서는 2023년도 첫
번째 사업으로 “양자 컴퓨팅 워크숍”을 4월 7일(금) 하이브리드 방
식으로 개최 진행되었다.

본 워크숍에서는 양자 컴퓨팅의 원리 및 컴퓨팅 환경을 혁신하는 방
법 등 양자 컴퓨팅 분야의 전문가를 초청하여 강연되었다. 이를 통해
양자컴퓨팅 분야에 연구자 및 미래를 위해 준비하시는 분들에게 지
식과 정보를 전달하는데 큰 도움이 되었으며 100명이 온&오프라인
으로 참석하였다.



양자 컴퓨팅 워크숍 (이혁재 학회장 인사말)



양자 컴퓨팅 워크숍 강연모습

차세대 반도체 소자 워크샵 2023

반도체소사이어티(회장 : 김진상 교수(경희대))에서는 4월 7일(금) 한국반도체산업협회 9층 교육장에서 온.오프라인으로 “차세대 반도체 소자 워크샵 2023”을 개최하였다.

이번 워크샵은 메모리 소자 기술에서는 우리나라가 강세를 보이고 있는 Flash Memory 소자 및 DRAM 소자에 대한 차세대 기술과 차세대 메모리 기술로 각광받고 있는 MRAM 메모리 소자 기술에 대한 내용이 발표하였으며 AI 반도체 분야에서는 최신 AI 반도체 소자 기술에 대한 소개와 Heterogeneous Integration 기반 AI NPU 기술에 대해 소개되고 스템 반도체 분야에서는 차세대 비메모리 반도체 소자 기술과 차세대 로직 소자 기술도 소개되었으며, 약 100여 명이 참석하였다.



김진상 반도체소사이어티 회장/ 이희덕 운영위원장



차세대 반도체 소자 워크샵 강연모습

신규회원 가입현황

기간 : 2023년 3월 1일 – 3월31일

〈정회원〉

신동일(㈜지오테크놀로지), 홍용희(LIG 넥스원), 박정훈(연세대학교), 조성훈(한국공학대학교), 김정원, 최예원, 홍지수(한국스마트의료기기 산업진흥재단), 장성익(한국전자기술연구원), 박인호(한화시스템), 서동권(현대오트모터)

이상 10명

〈평생회원〉

이영택(ASML Korea), 김가인(DGIST), 박우찬(세종대학교), 육현(연세대학교), 송준영(인천대학교), 이정석(인하공업전문대학), 최영규, 임흥기(인하대학교), 이영우(전남대학교), 최재혁(한국과학기술원), 이규복(한국전자기술연구원)

이상 11명

〈학생회원〉

하용진(고려대학교)

이상 1명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2023년 3월 16일 ~ 4월 15일)

1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제2차 하계 조직위원회 회의	3.24 (17:00)	학회 회의실	- 학술대회 운영 및 프로그램 구성 등
제1차 선거관리위원 회의	3.31 (17:00)	학회 회의실	- 간선평의원 예비후보 선정 등

2. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
사업위원회	양자 컴퓨팅 워크숍	4.7	과학기술회관 소회의실5 (온·오프라인)
반도체소사이어티	차세대 반도체 소자 워크샵 2023	4.7	한국반도체산업협회

차세대 하드웨어 소자, 설계, CAD 기술



민 경 식 편집위원
(국민대학교)

최근 인공지능 기술의 발전으로 고에너지 효율 및 고성능 컴퓨팅 하드웨어에 대한 관심이 폭발적으로 증가하고 있는 상황에서 이를 구현할 수 있는 반도체 소자 기술, 하드웨어 설계 기술, 설계 및 검증을 뒷받침하는 CAD 기술에 대한 중요성이 어느 때보다도 높아지고 있다. 본

특집호는 이러한 중요성을 깊이 인식하고 차세대 컴퓨팅 소자 기술에 관한 논문, 설계자동화 CAD 기술에 관한 논문, 이머징 메모리를 이용한 in-memory 회로 기술에 관한 논문, 신경망의 경량화 기술에 관한 논문, 시각 지능화에 응용할 수 있는 가속기 설계 기술에 관한 논문의 총 5편의 논문을 선정하여 본 특집호를 구성하였다.

먼저 차세대 로직 및 메모리 컴퓨팅 소자에 관한 논문에서는 다치논리 및 PIM 기반의 아날로그 연산 등 고밀도 데이터 처리에 관련된 연구와 그 기반이 될 반도체 소자 기술에 대해서 설명하였다. 또한, 메모리 기술 측면에서, 생성되는 데이터의 비휘발성 저장에 더해, 기존의 디지털 방식 데이터 저장을 탈피하여 더 높은 밀도의 데이터 저장이 가능한 메모리 소자의 기술 개발에 대해서 소개하였다.

설계자동화 CAD 기술에 관한 논문에서는 차세대 2.5D, 3D 구조에 적용할 수 있는 설계자동화 CAD 기술의 발전과

실제 응용의 사례에 대해서 중점적으로 이야기했다.

이머징 메모리를 이용한 크로스바 기반의 processing in memory 회로 설계 기술 논문에서는 이머징 메모리 크로스바의 non-ideal 특성이 processing in memory 회로에 미치는 영향을 분석하고 이러한 영향을 최소화할 수 있는 신경망 학습 방법, 가중치 양자화 기법, 기생저항 보상회로, 크로스바 맵핑 방법 등에 대해서 설명하였다.

효율적인 신경망 연산을 위한 신경망의 경량화 기술에 관한 논문에서는 다양한 경량화 방법들에 대해 살펴보고 경량화 신경망들을 효율적으로 연산하기 위한 하드웨어 가속기 설계 방법들에 대해 소개하였다.

마지막으로 시각 지능화에 응용할 수 있는 가속기 설계 기술에 관한 논문에서는 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술 및 가속기 설계 관련 최신 동향을 분석하고 이를 바탕으로 최적화된 가속기 구조를 제시하였다.

바쁜 일정 중에 본 특집호를 위하여 옥고를 보내주신 집필진 여러분께 감사드리며, 본 특집호가 차세대 반도체 소자 기술, 하드웨어 설계 기술, CAD 기술에 관한 다양한 전문가들의 교류와 협력을 위한 새로운 계기가 되어 우리나라 IT 융합산업의 발전과 경쟁력 강화에 기여할 수 있기를 기원한다.

차세대 로직 및 메모리 반도체 소자 기술 동향

I. 서론

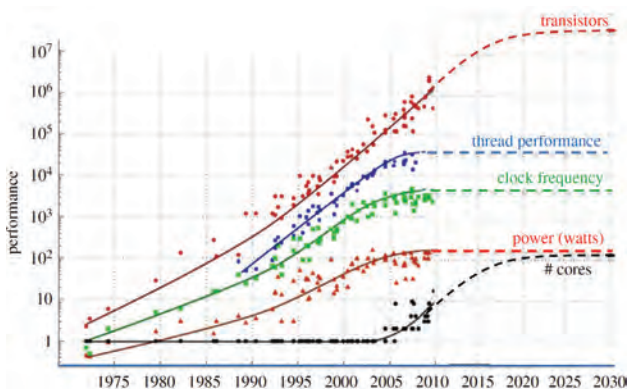
4차 산업혁명 시대에 이르러, 전자기술의 발전을 통해 다양한 장치들에 카메라 및 마이크 외 온도/압력 등 다양한 센서 및 구동 제어부 등, 다양한 입출력 부품이 적용되어 생활 편의가 향상되고 있다. 발전된 센서 및 컴퓨팅 기술의 결과로, 데이터 생성량은 기하급수적으로 증가하여 2025년 175 제타바이트 (ZB, 1021 bytes) 수준에 이를 것으로 예측되며^[1], 이에 따른 데이터 저장량 및 데이터 처리 요구량 역시 기하급수적으로 증가하고 있다.

이와 더불어, 가전 등 전자제품의 경우 통신부품을 함께 적용하여 장치 대부분이 온라인 연결되는 IoT 기술이 보편화하기 시작하였다. 사람의 두뇌가 신경망을 통해 손끝/발끝과 같은 말단부, 또는 눈/코/입/귀 등 감각기관의 감지/제어를 수행함과 유사하게, 스마트폰 및 PC와 같은 스마트 기기를 통해 IoT 말단 장치의 감지/제어가 수행될 수 있다. 이때, 당연하게도, 중앙 집중적인 데이터의 처리 및 연산에는 한계가 있으며 정보보안 및 에너지 효과적인 연산 수행의 관점에서 생성된 데이터는 근접 장치에서 연산/저장되는 것이 일반적이다. 즉, 말단에 가까운 장치에서 저전력 연산 수행 능력과, 데이터 보관을 위한 비휘발성 메모리 탑재가 요구된다.

저전력 연산 수행은 스케일링 한계로 인해 트랜지스터의 축소화에 따른 축전용량 및 구동 전압 감소를 통한 성능 및 전력 효율 개선, 그리고 효과적으로 반도체 산업을 예측해온 무어의 법칙에서 벗어나고 있으며 <그림 1>^[2], 반도체 소자의 구조적/재료적 개선을 통한 전력 효율 및 성능 개선 측면에서 개발되고 있다. 또한, 최근 인공지능망 등 대량의 단순 연산에 적합한 컴퓨팅 구조 개발과 함께 대용량 비휘발성 메모리 기술, 병렬 연산용 메모리 기술의 필요성이 증대되고 있으며, 메모리



배 종 호
국민대학교



〈그림 1〉 연산 성능의 예상 트렌드. [2]

근접 연산 (Processing- near-memory, PNM) 또는 메모리 내 연산 (Processing- in-memory, PIM)을 위시한 메모리 활용 연산 기술들이 주목받고 있다. 직렬 연산에서 병렬 연산으로의 컴퓨팅 패러다임의 변화에 발맞춰, 연산 기술 및 메모리 기술, 이를 활용한 연산 효율성 개선 연구가 활발히 이루어지고 있다 [3]. 이러한 컴퓨팅 패러다임 변화는, 고전적인 의미의 메모리로서뿐 아니라 연산장치 구성요소로서 메모리의 성능 역시 고려되어야 함을 내포한다. 또한, 응용 목적에 따라 다양한 종류의 메모리 기술이 활용되어 연산 기술이 개발되고 있음을 고려할 때, 고집적 비휘발성 메모리의 연산부 탑재와 연산 기술에의 적용 역시 검토되어야 한다.

컴퓨팅 기술의 변화 및 고성능/저전력의 전력 효율적인 연산장치 개발 측면에서 로직 및 메모리 반도체 소자 기술 연구 동향을 소개한다.

II. 차세대 로직 트랜지스터 기술

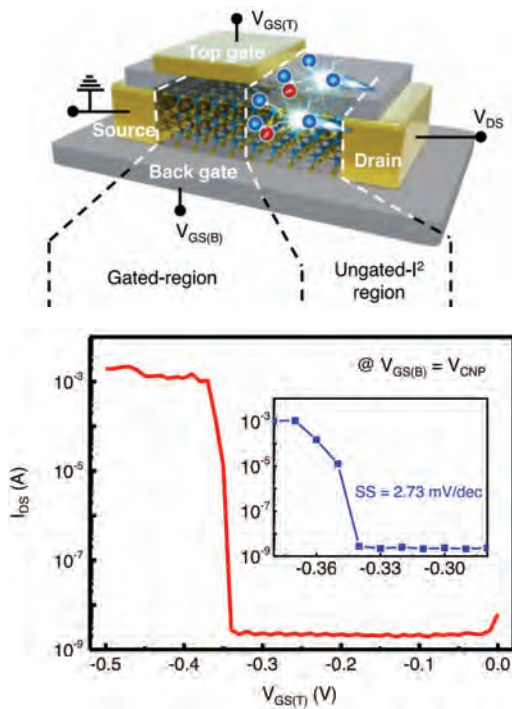
1954년 폰노이만 컴퓨팅 구조의 서술 [4], 1959년 Jack Kilby와 Robert Noyce의 반도체 소자 기반 최초의 집적회로 개발 [5] 및 최근 반도체 기술 발전과 함께, 컴퓨팅 성능이 기하급수적으로 향상되었다 [2]. 데이터 저장 및 연산 결과의 전송 및 활용 측면에서 잠음비 확보 및 낮은 에너지를 확보할 수 있는 디지털 (이진) 데이터가 대부분의 연산에 활용되므로, 컴퓨터 내 연산 기능은 그 구현의 최소 단위인 논리 게이트의 조합을 통해 이루어진

다. 가장 단순한 형태의 이진 논리 연산은 현재까지 컴퓨터 내 데이터 연산의 가장 보편적인 형태이다. 이진 연산에는 주로 CMOS 논리회로를 활용하며, pMOSFET과 nMOSFET의 게이트(입력)에 이진 데이터를 입력할 때, 결과적으로 두 트랜지스터가 동시에 켜져 있지 않음을 통해 상태를 구분한다. 이때, 고성능/저전력 연산을 위한 소자 기술의 핵심은 CMOS를 구성하는 두 종류의 트랜지스터가 얼마나 작은 전압에서 효과적으로 켜지고 꺼질 수 있는지에 의해 결정되며, 이는 트랜지스터의 스위칭 성능의 우수성과 관계된다.

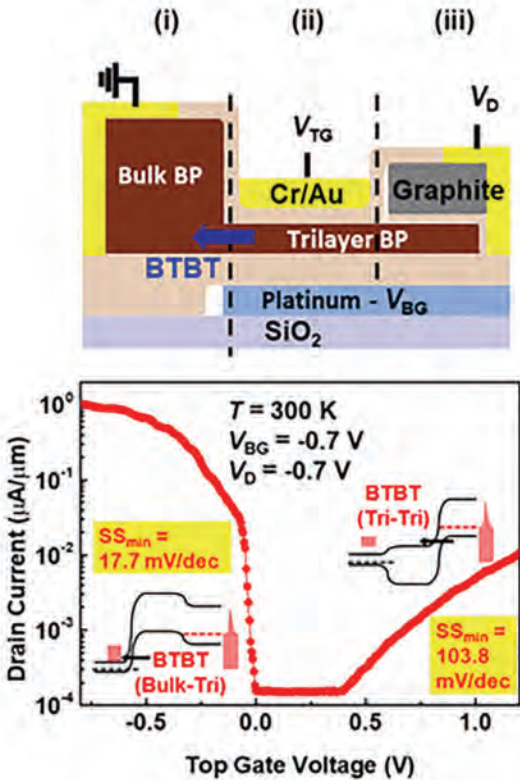
스위칭 성능 개선은 종래의 소자 축소화 개발의 확장으로 이해되는 것이 일반적이며, 이에 따라 고집적 트랜지스터 기술 개발을 수반하는 경우가 대부분이다. 스위칭 성능 개선 연구의 흐름은, 채널 구조의 변화를 통해 게이트의 채널 장악력을 높이는 기술 개발에 이어, 최근 연구되는 소자 동작 원리 변화를 통한 급격한 스위칭 (Latch-up 및 터널링 등)과 게이트 절연막 등의 재료적 개선을 통한 스위칭 성능의 개선으로 이어지고 있다.

1. 개선된 스위칭 성능을 갖는 로직 소자

소자 구조 및 동작 원리 기반의 스위칭 성능 개선 연구방향은 충돌 이온화 FET (Impact Ionization FET, I2FET) 및 터널 FET가 (Tunnel FET, TFET) 대표적이다. 일반적인 트랜지스터 구조에서는 스위칭 특성의 볼츠만 한계라 불리는 60 mV/dec (상온)을 돌파할 수 없으며, 트랜지스터 구동 원리를 바꿔 스위칭 성능을 기존 보고된 한계 이하로 개선하고자 하는 연구 방향이다. I2FET는 가속된 고에너지 전자 (Hot electron)의 충돌 이온화 및 연쇄 반응에(Avalanche Multiplication) 의한 캐리어 생성을 활용하는 소자로서 〈그림 2〉, 2002년 해당 현상의 반도체 소자 적용이 제안 및 시연된 이후 꾸준히 연구되어오고 있다 [6]. 순방향 피드백을 포함한 연쇄 반응을 이용하므로, 이론적으로는 구동 전압에 대해 0 mV/dec에 근접한 우수한 스위칭 특성과 매우 빠른 응답을 보이는 것이 특징이다. Tunnel FET과 관련해서는 이론적으로 꾸준히 구현 가능성이 보고되어 왔으나, 2007년 실험적으로 60 mV/dec 이하의 스위칭 특성을 갖는



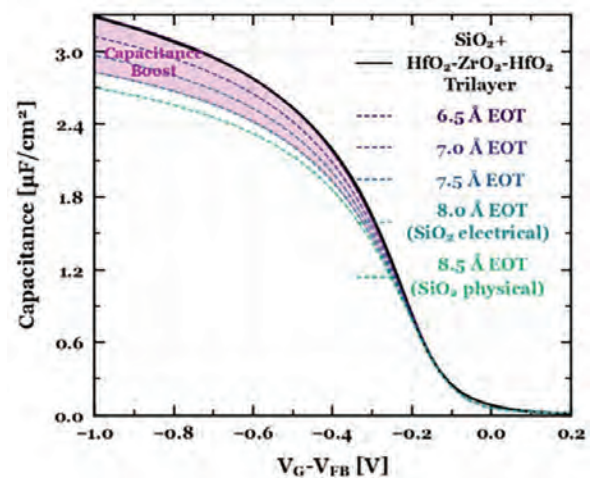
〈그림 2〉 급격한 스위칭 특성을 보이는 WSe₂ 기반 I²FET의 예시와 그 동작 특성. [8]



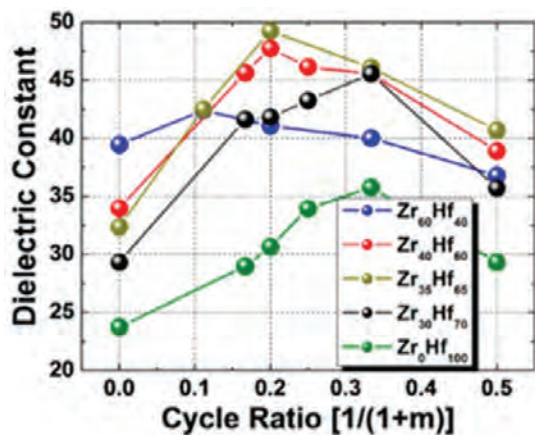
〈그림 3〉 급격한 스위칭 특성을 보이는 Black Phosphorous (BP) 기반 TFET과 그 동작 특성. [11]

소자가 발표된 이후 [7], 그 가능성이 검증됨에 따라 지속적으로 활발히 연구가 수행되어 왔다 〈그림 3〉. 최근 개발 및 보고된 다양한 반도체 재료들이 상기 원리들의 구현 측면에서 효과적인 적용이 가능함을 강조하며 연구/개발이 활발히 이루어지고 있다 [8]~[11].

재료적 개선을 통한 스위칭 성능 개선은, 게이트 절연막의 개선에 초점을 맞추며, 고유전체 및 강유전체의 재료적 특성을 반도체 소자에 적용한다. 음의 축전용량을 활용하는 트랜지스터 (Negative Capacitance FET)와 상전이영역을 활용한 트랜지스터 (Morphotropic Phase Boundary FET, MPBFET)가 가장 대표적이다. NCFET은 강유전 절연막의 분극 스위칭 원리 측면에서, 분극이 일어나는 도중 필연적으로 음의 축전용량을 갖는 영역이 발생하며 이 영역에 절연막을 안정화시킬 수 있다면 음의 축전용량을 소자 구동에 활용할 수 있음을 포함한다. 이론적으로는 60 mV/dec 이내의 스위칭 특성을 구현할 수 있을 것으로 기대하지만, 반도체 재료의 상태 변화에 따른 축전용량 변화와 축전용량 매칭의 어려움이 존재한다. 따라서, 유효 절연막 두께 (Equivalent oxide thickness, EOT)의 감소, 60 mV/dec에 매우 근접한 수준의 구동, 구동 전류의 증가 특성이 보고되었다 [12]. 최근, HfO₂와 ZrO₂ 혼합 절연막에서 (HZO) 강유전성을 확보하고, SiO₂ 등 유전체와의 혼합 적용 및 축전용량 매칭을 통해 게이트 절연막 스택 (HZO/SiO₂) 강유전 절연막의 EOT를 유



〈그림 4〉 음의 축전용량을 갖는 HfO₂/ZrO₂/HfO₂ 절연막 스택의 EOT 감소 효과. [12]



〈그림 5〉 MPB ZrHfO_2 박막에서, 조성비에 따른 유전상수 증가 효과. ^[13]

전체 두께 이하로 축소하여 우수한 스위칭 특성과 높은 전류 수준을 확보할 수 있음이 나노스케일 트랜지스터 수준에서 보고되었다 〈그림 4〉. 높은 전류 수준은 구동 전압의 감소가 가능함을 의미한다. EOT를 감소한다는 관점의 개념적 유사성을 갖는 연구로서, HZO 박막의 강유전/유전성을 띠는 두 상 사이의 상전이 영역에서 트랜지스터 구동 시 고유전율이 확보 가능함을 이용한 MPBFET이 보고된 바 있다 〈그림 5〉^[13]. 축소화 된 트랜지스터에서의 스위칭 성능 개선은, 반도체 소자의 본질적인 개선이 가능하며 기존 반도체 산업에의 빠른 적용을 염두에 둔 연구이므로 근 시일 내 산업 적용 가능성이 비교적 높은 기술로 판단된다. 또한, 소개된 기술들의 경우 동작 원리 기반, 재료 기반의 성능 개선 측면이므로, 원리에 기반해 상용 기술에 선택적/혼합적 적용이 가능하다. 다음으로, 최근 직렬-병렬, 디지털-아날로그 방면에서의 컴퓨터 패러다임의 변화와 연관되어 기존의 디지털 이진 연산이 아닌 높은 연산 밀도를 갖는 반도체 기술 개발과 관련된 차세대 반도체 소자 기술에 대해 서술한다.

2. 연산 밀도 개선을 위한 로직 소자

아날로그 데이터를 이진화(binimize)하면, 데이터의 연산/저장 측면에서 높은 정확도 및 잡음 내성이 확보 가능하다. 따라서, 사용 환경 및 기술 수준의 차이가 존재하더라도 비교적 높은 안정성을 기대할 수 있으며 가장 보편적인 데이터 처리 기술로서 높은 가치를 가진다. 하지만,

이진 데이터는 매우 낮은 정보 밀도를 가지며 이에 따라 대량의 연산이 요구된다. 정확도/잡음 내성 측면에서 유지 가능한 수준에서, 정보 밀도를 개선할 수 있다면 효율적인 연산 성능의 증대를 기대할 수 있다. 이러한 기술은 연산 시스템의 전반적인 변화를 포함하므로, 요구되는 기술 변화 수준이 높으며 중장기적 도입 가능성이 큰 기술로 판단된다.

인공신경망과 PIM 등 최신 반도체 기술 측면에서 단순 연산의 대량 처리를 위해 병렬연산이 필요함을 고려할 때, 연산 데이터의 밀도를 높여 연산 성능 및 소비전력을 개선해야 함이 최근 컴퓨팅 패러다임 변화에 따른 기술 개발의 가장 큰 흐름 중 하나이다. 데이터 및 연산 밀도의 개선은 1) 기존이진 데이터의 병렬 연산, 2) 다진 데이터 및 연산, 3) 아날로그 데이터 및 연산으로의 변화를 의미한다. 저장, 전송, 연산의 수준에서 데이터의 밀도에 따라 기술 종류와 난이도를 구분 가능하며, 데이터의 저장 수준에서는 일부 메모리 소자가 (FLASH 등) 이미 다진 데이터 저장을 지원한다. 이와 같이, 저장/전송/연산 단계에서 그 효율성에 따라 디지털/다진/아날로그 데이터를 선택적 활용이 가능함은 당연하다.

이진 병렬 연산의 경우 새로운 반도체 소자의 측면이 요구되기는 하나, 우선적으로 컴퓨팅 구조의 개선이 선행되어야 한다. 이와 관련하여 PIM 등 기존 디지털 컴퓨팅 시스템의 효과적인 구동과 관련된 연구가 활발히 수행되고 있다. 다진 데이터의 전송 및 연산은 다진 디지털 시스템의 개발 및 다치 논리의(Multi-valued logic) 개발이 선행되어야 하며, 이에 필요한 기초기술로서 다치 기술 구현을 위한 반도체 소자 및 기술에 대해 소개한다.

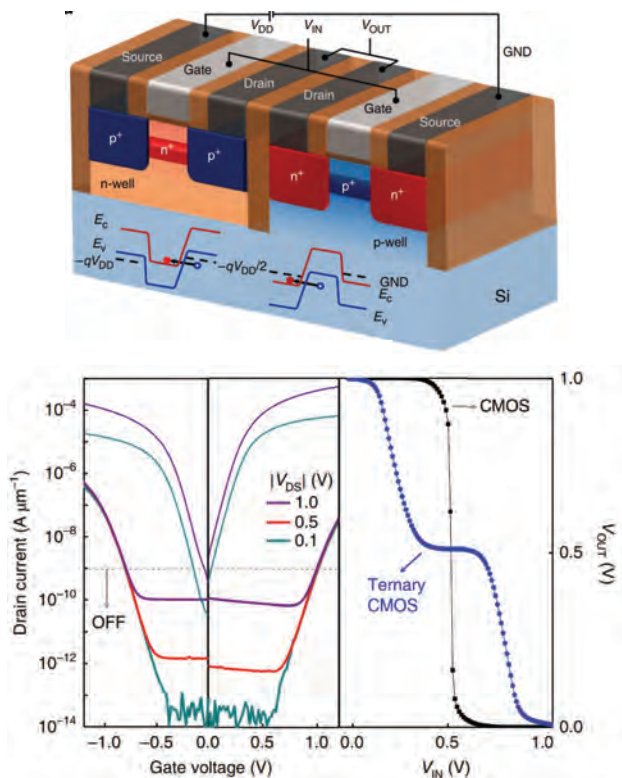
다치 논리의 경우, 이진 데이터(0/1)가 아닌 다진(0/1/2 ... n) 데이터를 다루므로 연산 복잡도가 높으며, 이를 구현하기 위해서는 논리회로의 최소 구성 요소인 소자 수준에서 논의가 필요하다. 반도체 소자를 이용한 논리 구현 측면에서, 일반 논리연산 (2진) 연산은 트랜지스터의 On/Off 동작을 통해 1 또는 0의 결과 상태를 결정짓는다. 1과 0은 이진 데이터이자 논리 (True/False) 데이터이며, 입력 및 출력은 1 또는 0으로 구성되는 것이 타당하다. 하지만 다진 연산은 일반적으로 n개의 상태로

데이터를 구분한다. 반도체 소자 및 집적회로를 구동하여 n 개의 상태를 구현하는 방식과, 그리고 그 연산을 수행하는 논리가 다진 연산 장치 구현의 핵심이다.

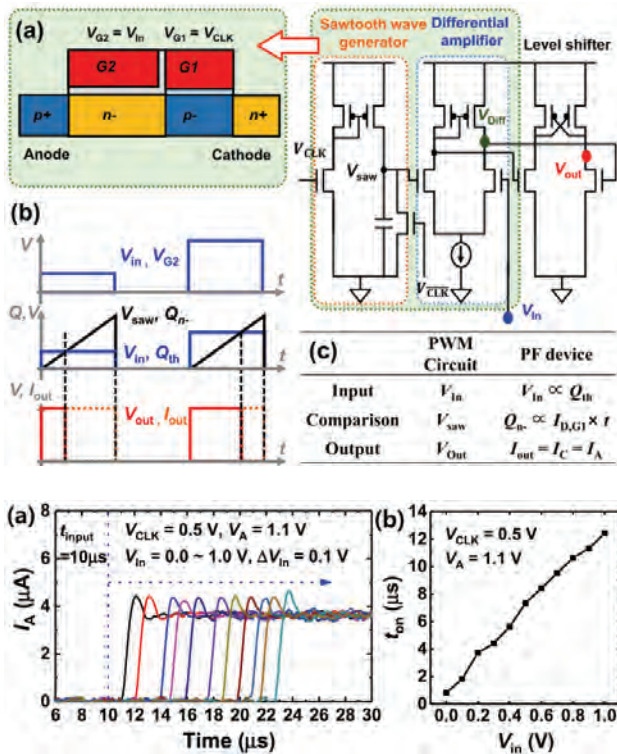
CMOS 논리회로는 pMOSFET과 nMOSFET의 켜짐과 꺼짐의 상태 조합을 통해 연산을 수행한다. 과도상태에서는 모든 트랜지스터가 켜질 수 있으나, 일반적인 구동에서는 하나의 트랜지스터만 구동한다. 이 때, 삼진 이상의 논리회로 구현을 위해서는 켜짐/꺼짐의 사이 상태가 구현되어야 하며 이는 두 트랜지스터 모두 전류가 흐르는 ‘모호한 상태’에 해당할 것이다. 회로 구성의 관점에서는 Not gate (inverter)의 두 트랜지스터 사이에 저항을 삽입함으로써 간단하게 기본적인 삼진 논리회로를 구현할 수 있으나^[14], 집적도 및 전력 소비 측면에서 문제가 있다. 따라서, 단위 소자 측면에서의 개선이 높은 집적도로 다치 논리를 구현하기 위해서는 필수적이다. 이때, 트랜지스터의 동작을 켜고(on) 끄는(off) 구동 이외 하나의 상태를 추가적으로 구현함으로써 다치 논리의 구현이 가능

하다. 다치 논리 중 삼진 데이터 처리에 해당하는 삼치 논리의 경우, 세 개의 상태 구현을 목표로 하며 이는 트랜지스터 전류 수준에 대해 세 개의 구분되는 안정한 상태가 필요함을 의미한다. 트랜지스터의 누설 전류 활용 또는 동작 원리 기반의 안정적인 전류 영역 형성을 통해 삼치 논리의 구현이 가능하다. 일례로, 일반적인 평판 트랜지스터 하부에 고농도 도핑의 영역을 형성하여, 트랜지스터들의 누설 전류 수준에서 중간 데이터 상태를 구현하는 삼치 논리를 구현한 결과가 발표되었다 <그림 6>^[15]. 그 외, 전압이 크거나 작으면 전류가 흐르지 않는 Anti-ambipolar 소자를 이용한 다치로직^[16, 17] 등, 다양한 반도체 재료의 동작 특성을 활용하여 다치로직을 구현한 연구들이 수행되고 있다.

다치 논리에 비해 더욱 데이터 밀도가 높아지는 아날로그 데이터 연산의 경우, 외부 잡음 또는 소자/회로/데이터 산포에 대한 평가와 보상이 불가능하다. 따라서, 잡음에 대한 내성 (Noise-immunity)를 갖는 시스템에서 아날로그 데이터 연산이 활용 유리하며, 그 대표적인 예시가 최근 주목받고 있는 인공신경망 연산이다. 정확한 연산이 아닌 포괄적 판단을 수행하는 인공신경망 연산의 경우, 예외 데이터의 처리 및 입력 잡음에 대한 내성을 갖는 것이 일반적이다. 또한, 다량의 데이터를 연산에 사용하므로 확률적 데이터에 대해 큰 모집단을 갖게 되며, 소자/회로 산포로 인해 야기되는 내부 데이터의 통계적 산포에 대해서도 강인한 특성을 가진다. 인공신경망 내 아날로그 연산을 위해서는 아날로그 메모리와 아날로그 회로를 활용한 PIM 시스템을 활용하는 것이 일반적이며, 아날로그 메모리로서 활용 가능한 DRAM, FLASH 등과 비교/적분 회로 등이 연산에 활용된다. 이와 같은 연산 시스템에서는 로직 트랜지스터와 메모리 사이의 명확한 분류는 어려우나, 단순 데이터 저장이 아닌 ‘연산’ 기능의 일부를 새로운 반도체 소자로 구현하고자 하는 연구가 수행중이며, 그 중 하나의 예시를 아래와 같이 소개한다^[18]. 두 개의 게이트를 갖는 PNP 접합에, 적합한 구동 신호를 인가하여 소자의 Floating body에 쌓이는 전하량을 조절하고, 소자가 Latch-up 하는 시간을 조절함으로써 입력 전압의 크기를 소자가 켜지는 데 걸리는 시간으



<그림 6> 소스의 터널링 누설 전류를 활용한 CMOS 호환성을 갖는 소자 구조와 소자 특성, 삼치 인버터 구동 예.^[13]

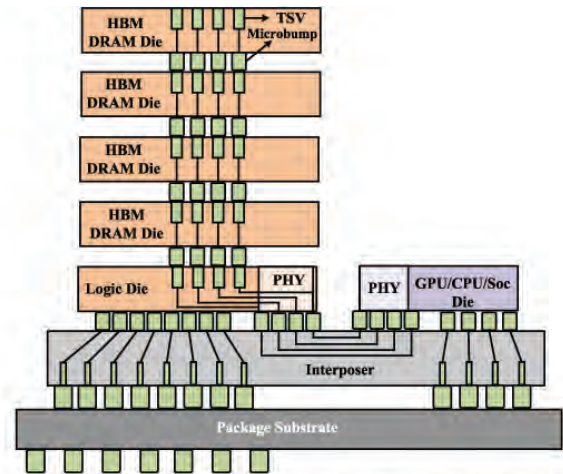


〈그림 7〉 PNPN 접합에 2개의 게이트를 갖는 단위 소자를 이용하여, 펄스 폭 변조 회로의 기능 일부를 구현하는 전압-펄스 폭 변조 소자의 예. [18]

로 변조해주는 펄스 폭 변조 (Pulse-width modulation, PWM) 기능을 구현하는 소자가 보고되었다 〈그림 7〉. 일반적인 PIM 또는 인공신경망 하드웨어에서는 연산 결과가 전하량 또는 전류로 표현되며, 이를 적분하여 전압 폭으로 변환하는데, 제안된 소자를 활용하면 입력 전압의 크기를 펄스로 변화하여 다음 연산에 활용할 수 있다.

III. 차세대 메모리 소자 기술

기존 컴퓨팅 구조에서 메모리는 주기억장치와 보조 기억장치로 구분되며, 각각 SRAM 등 논리회로의 형태로 구성되는 레지스터 및 캐시메모리와 DRAM 등 데이터 처리 및 연산을 위한 명령어 및 데이터의 임시 저장용 고속 구동 휘발성 메모리와, Hard disk drive (HDD) 및 Solid state drive (SSD) 등의 데이터 장기 보관용 비휘발성 메모리이다. 급증하는 연산량과 데이터를 고려할 때, SRAM 및 DRAM 등 고속 구동 가능하지만 낮은 집



E 22. Illustration of high-bandwidth memory (HBM) with low

〈그림 8〉 HBM 모식도 [19]

적도의 휘발성 메모리는 용량 제한 및 메모리 병목현상의 원인이 되며, 고집적 메모리를 활용한 PIM 기술을 통해 메모리-연산장치의 데이터 전송 및 연산장치의 연산 부담을 감소하는 방향의 연구가 다수 수행되고 있다. 일반적으로, PIM 기술 구현을 위해서는 DRAM 구동부에 연산부를 배치한다.

중요한 점은, 활용되는 데이터의 양과 소프트웨어의 규모가 기하급수적으로 증가함에 따라, 요구되는 메모리 용량 역시 비례해 증가한다는 것이다. 실리콘 표면을 활용하여 반도체 소자를 제작하던 2차원 셀의 경우, 웨이퍼 표면만을 소자 구동에 활용하므로 집적도 증가에 제한이 발생한다. 따라서, 대부분의 차세대 메모리 소자 연구 방향은, 3차원 적층 구조와 공정 개발에 초점이 맞추어져 있다.

휘발성 메모리 측면에서는, TSV(Through Silicon Via), Interposer 등 웨이퍼 간 본딩 및 배선 기술을 바탕으로 3차원 집적 된 DRAM 집적 기술, HBM (High-bandwidth memory)이 상용화되었으며 가장 대표적이다 〈그림 8〉 [19]. 가장 최신의 기술 중 하나로서, 높은 수준의 공정 기술과 제조 기술이 요구되지만, 궁극적으로는 웨이퍼 표면에 2차원 제작된 DRAM 배열을 다층 수준에서 집적해 쌓아올리는 기술이므로 높이 방향으로의 집적도 측면이 매우 제한적이다. 3차원 집적도 개선 측면에서, 모놀리식 (Monolithic) 3D DRAM 등 DRAM 셀을

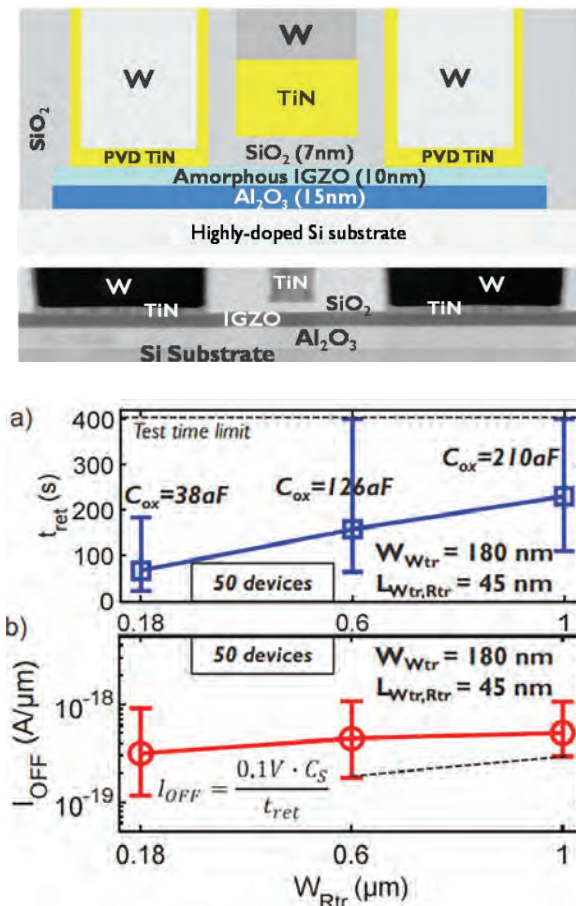
수직 적층하여 집적도를 높이는 방향의 연구가 시작 단계이다. DRAM의 셀 축전기를 축소하여 수직 적층하기는 일반적으로 매우 어려우나, 셀 트랜지스터의 누설 전류 수준을 매우 낮게 유지함으로써 최소한의 축전용량으로도 DRAM 제작이 가능하며, 수직 적층이 가능해진다. 이와 관련된 연구로서 금속산화물 반도체 기반의 셀 트랜지스터 활용이 제안되었다. 인듐산화물 계열 재료들이 주로 활용되며 인듐, 아연, 갈륨, 주석 등 다양한 물질을 혼합하여 제작되는 것이 일반적인데 (InO₂, IZO, IGZO, IHZO, ITZO, IAZO, etc.), 이 중 인듐-갈륨-주석 산화물 (a-IGZO)의 경우 디스플레이 산업에 활용되는 대표적인 저온 증착 가능한 반도체 재료로서 큰 밴드갭으로 인한 낮은 누설전류 수준과 합리적인 수준의 동작 신뢰성을 가진다. 보고된 누설 전류 값은 10–18 A/μm 이하로

〈그림 9〉^[20], 요구되는 축전용량 역시 극단적으로 축소된다.

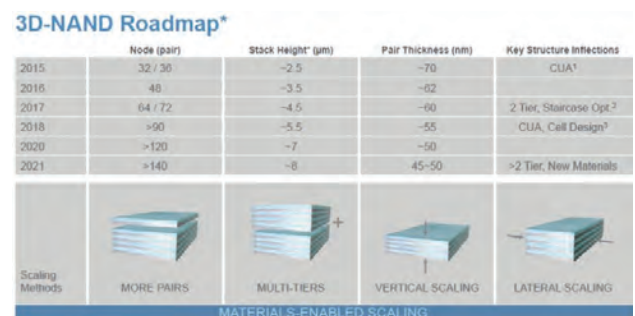
한편, 수많은 데이터의 장기 보관을 위한 메모리, 그리고 PIM 응용 시 데이터 전송 작업량의 감소 측면에서, 고집적 비휘발성 메모리 역시 주목받고 있다. NAND FLASH로 대표되는 고집적 비휘발성 메모리는, 상기와 같이 PIM 응용에서 주목받는 기술이자, SSD 및 대용량 스토리지로서 가장 사용처가 많은 핵심 기술 중 하나이다. 초고집적 메모리로서 수직 적층형 NAND FLASH (vNAND)가 상용화되었으며 그 적층 수준 및 집적도 역시 향상되고 있다. NAND FLASH는 FLASH 셀의 직렬 연결 형태로, 수직 적층에 매우 용이한 구조를 가진다. 적층된 게이트의 측면에 절연막 및 반도체 재료를 증착하여, FLASH 셀을 게이트 적층 수 만큼 직렬 연결하며, 직렬 연결된 FLASH 셀의 집합이 String에 해당한다.

정밀도 및 균일도 측면에서 적층 수의 증가는 고도의 공정 기술을 요구한다. 식각 및 증착 등 공정 이슈로 인해 제한된 크기의 NAND String 내에 적층할 수 있는 FLASH 셀 개수는 제한적이며, 이로 인해 다양한 구조 및 공정 설계 기법이 적용된다. 1) 적층 수 증가와 2) 스택 수 증가가 일반적이며, 더불어 3) 게이트 길이 감소 및 4) 면적 감소가 더해진다 〈그림 10〉^[21, 22].

적층 수 증가를 위해서는 정밀한 식각과 높은 종횡비의 (aspect ratio) 구조에서 효과적인 박막 증착 등 정밀한 공정 기술의 개발이 필수적이며, 최근 상용 기술 수준에서는 100층 이상 수준의 공정 기술이 적용되었다. 그 이후, 상기 100층 수준의 NAND String으로 구성된 스택을 적층하여 200층 이상의 NAND FLASH를 구현하



〈그림 9〉 보고된 나노스케일 a-IGZO 기반 2T0C DRAM 구조와 데이터 보유 특성 및 계산된 누설전류 수준^[20].



〈그림 10〉 NAND FLASH의 네 가지 집적 전략^[21].

는 방식으로 기술 개발이 이루어지고 있다. 최근 삼성전자는 220개 이상의 게이트가 적층된 8세대 vNAND 기술을 발표하였다^[23]. 게이트 길이의 감소는 NAND String 구동 과정에서 셀 간 간섭, 트랜지스터의 게이트 길이 축소화에 따른 단채널효과 (Short channel effect, SCE) 등 근원적인 한계를 포함하고 있으며 제한적인 수준에서 집적도의 개선이 가능할 것으로 판단된다. 면적 감소는, CMOS와 NAND FLASH 배열의 집적 측면에서 NAND FLASH의 측면에 배치되는 구동회로를 NAND FLASH 하부에 집적하는 형태로 이루어진다. 일반적으로 수직 적층형 NAND FLASH의 경우 poly-Si를 채널 반도체 재료로 활용하는 박막 트랜지스터 (Thin-film transistor, TFT)의 구조를 가짐을 고려할 때, 실리콘 기판 상에는 NAND FLASH 구동회로를 배치하고, 그 위에 형성되는 절연막 상부에 NAND FLASH 적층 공정을 수행하는 형태이다. 이 과정에서는 CMOS 공정 이후 상부의 평탄화 작업과 NAND FLASH 공정에서의 높은 온도로 인한 열 예산 (Thermal budget) 초과를 고려해야 하지만, NAND FLASH 구동회로의 면적을 고려할 때, NAND FLASH 배열과 구동회로의 집적은 한 단계 높은 집적도 구현에

활용될 수 있다. 최근 중국 YMTC에서 NAND FLASH 배열과 구동회로를 뒤집어 연결하는 Xtacking 기술을 적용하여^[24], 높은 적층수와 집적도를 갖는 NAND FLASH의 개발이 가능함을 발표하기도 했다.

당연하게도, 공정적으로 높은 난이도를 가짐과 동시에 산업적인 성능 향상 요구치를 달성하기 위해 다양한 재료적 탐색 역시 이루어지고 있다. 상기 NAND FLASH 공정 기술 관점에서 중요한 점은, NAND FLASH는 기존 실리콘 CMOS 기술의 후공정 수준에서 집적된다는 것이며 열예산의 확보가 어렵다는 것이다. 일례로, 기존 수직 적층형 NAND FLASH의 반도체 물질로 활용되는 폴리실리콘의 경우, 결함 감소와 결정성 확보 등 재료 품질 확보를 위해 고온의 열처리가 필요한 것이 일반적인데, 이때 활용되는 온도는 대략 1000℃ 이내 수준으로 하부 CMOS의 열 예산을 뛰어넘는다. 구동회로의 안정성 확보를 위해서는 저온 공정이 가능한 반도체 물질로서 DRAM에서와 마찬가지로 금속산화물 반도체가 주목받고 있다. NAND FLASH 구현 측면에서는, 큰 밴드갭으로 인한 낮은 누설전류 수준, 구동 시 발열 (Joule heating) 수준에서의 우수한 동작 안정성, 구동 균일성 등의 장점을 가진

Table 1 | Key parameters and metrics

Metrics	Mainstream embedded memory					Embedded ferroelectric memory			
	eSRAM	eDRAM ⁷⁰	eFlash (FG)	eFlash (SG MONOS) ⁴²	eFlash (SONOS) ⁴¹	FEFET (hafnia based, MFIS structure)	FEFET (hafnia based, MFMIS structure)	FRAM (hafnia based)	FRAM (perovskite based) ⁶⁷
Cell size	120-150F ²	40F ²	40-60F ²	40-50F ²	50-60F ²	10-30F ²	10-30F ²	30-40F ²	50-60F ²
Cell structure	6T	1T1C	1.5T	1.5T	2T	1T	1T1FE, 1T	1T1FE, 2T2FE	1T1FE, 2T2FE
Non-volatile	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Multi-bit operation	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Non-destructive read	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
Status	Av.	Dev.	Av.	Dev.	Dev.	Res.	Res.	Res.	Av.
Advanced node demonstration	7 nm FinFET	22 nm FinFET	40 nm	16 nm FinFET	28 nm HKMG	22 nm FDSOI	N/A	N/A	130 nm
Write voltage	<1 V	<1 V	-12 V	-12 V	-5 V	1.5-4 V	-1.5 V	1-3 V	1.5 V
Write energy	-1 fJ	-1 pJ	-100 pJ	-100 pJ	1-10 pJ	1-10 fJ	1-10 fJ	-100 fJ	-1 pJ
Standby power	High	Medium	Low	Low	Low	Low	Low	Low	Low
Write speed	<1 ns	>10 ns	-100 ns	<100 ns	-100 ns	1-10 ns	1-10 ns	1-10 ns	1 μs
Read speed	<1 ns	>10 ns	-10 ns	<10 ns	-10 ns	1-10 ns	1-10 ns	1-25 ns	50-100 ns
Endurance	>10 ¹⁶	>10 ¹⁶	-10 ⁴	-10 ⁵	-10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁹	>10 ¹⁰	>10 ¹²	>10 ¹⁴

〈그림 11〉 Ferroelectric 메모리의 구동 특성^[26]

다. 한 가지 중요한 문제점은, 큰 밴드갭으로 인해 기존 수직 적층형 FLASH에서 활용하는 지우기 동작이 불가능하다는 것이며, 이에 맞춰 하부 정공 주입층을 도입하는 구조 등이 제안되었다.^[25]

다른 한 편, NAND FLASH는 가장 높은 집적도를 가지는 상용 메모리 중 하나임을 고려할 때, 대용량 데이터의 병렬 연산 또는 PIM 응용 측면에서 주목받고 있다. 이를 위해서는 충분히 빠른 데이터 쓰기, 데이터 쓰기 시 발생하는 구동 전력을 (Dynamic power) 최적화하여, 연산 데이터의 저장 부하를 감소하는 것이 필수적이다. 고속/저전력 구동 가능한 비휘발성 메모리 소재로서 강유전 HfO₂가 보고된 이후, 해당 기술을 적용한 임베디드 플래시 (embedded-FLASH, eFLASH), NOR 및 NAND 플래시에 대한 연구들이 지속적으로 수행되고 있다. 강유전 트랜지스터 (Ferroelectric FET, FeFET)의 경우, 5 nm 수준의 강유전 절연막에서도 메모리 특성이 확보 가능해 NAND FLASH 배열의 수직 축소화 측면에서 이점을 가지며, 5 V 이내 수준, 100 ns 이내 수준의 전압 펄스에서 쓰기/지우기 동작이 가능함이 다수 보고되었다^[26]. FLASH 활용 측면에서는 쓰기 구동 조건이 기존 FLASH 대비 전압 크기 1/4 수준, 속도 1/10 이상 수준의 큰 변화가 존재하므로, 구동회로 및 구동 방식에 대한 연구 개발이 필요하나 다수의 쓰기 동작과 공정 온도 측면에서의 장점을 바탕으로 주목받는 소자 기술 중 하나이다.

IV. 전망 및 결론

기술 발전은 다양한 센서 기술 및 콘텐츠 생산에 기여하여 데이터 생성량의 증가 속도를 기하급수적으로 증가시켰으며, 이는 기존 기술적 한계로 인한 포화 양상을 보이는 연산 성능의 향상을 절대적으로 요구한다. 당연히 기존 활용되는 기술에 대한 연구 개발이 필요함과 동시에, 새로운 기술에 대한 끊임없는 연구가 필요하다.

최근 주목받는 차세대 반도체 기술들은 이러한 변화에 발맞춰 데이터 및 연산 밀도를 높이는 새로운 방향으로 진행되고 있으며, 이는 인공지능 등 소프트웨어 기술이 겪고 있는 패러다임 전환 방향에 합치한다. 연산 밀도와

데이터 밀도의 증가는 기본적으로 다루는 데이터의 복잡성(Complexity) 높아짐을 의미하고, 성능과 정밀도/에너지 사이의 트레이드오프 (trade-off) 관계 사이에서 균형있는 발전이 필요하다.

논리 연산 기술 측면에서는, 기존의 연산 장치의 성능 개선은 물론이고, 다치논리 및 PIM 기반의 아날로그 연산 등 고밀도 데이터 처리에 관련된 연구와 그 기반이 될 반도체 소자 기술 개발이 이루어지고 있다. 메모리 기술 측면에서는, 생성되는 데이터의 비휘발성 저장에 더해, 기존의 디지털 방식 데이터 저장을 탈피하여 더 높은 밀도의 데이터 저장을 향해 나아가고 있다. 요약하자면, 메모리에는 아날로그에 가까운 데이터를 저장하고, 저장된 데이터의 입/출력 또는 전송 없이 그 내부에서 연산을 수행하는 PIM 기술의 발전이 로직 소자와 메모리 소자의 경계가 허물어지고 있다. 인공지능 및 그 효과적인 구현을 위한 하드웨어 기술이 근 미래 산업 및 과학 기술의 모습을 혁신적으로 개선하기를 기대한다.

참고 문헌

- [1] D. Reinsel, J. Gantz and J. Rydning, *An IDC White Paper*, no. US44413318, Nov. 2018.
- [2] J. Shalf, *Philosophical Transactions A*, vol. 378, p. 20190061, Jan. 2020.
- [3] J. G. Luna et al., *IEEE Access*, vol. 10, pp. 52565–52608, May. 2022.
- [4] J. von Neumann, *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 1, no. 2, pp. 109–115, 1954.
- [5] J. S. Kilby, US Patent 3,115,581A, filed May 6, 1959, and issued Dec. 24, 1963.
- [6] K. Gopalakrishnsn, P. B. Griffin and J. D. Plummer, 2002 *IEEE International Electron Devices Meeting (2002 IEDM)*, San Francisco, CA, USA, 2002, pp. 11.3.1–11.3.4.
- [7] W. Y. Choi, et al., *IEEE Electron Device Letters*, vol. 28, no. 8, pp. 743–745, 2007.
- [8] H. Choi, et al., *Nature Communications*, vol. 13, no. 6076, pp. 1–9, Oct. 2022.
- [9] T. Kumari, et al., *IEEE Transactions on Nanotechnology*, vol.



- 21, pp. 332–339, June 2022.
- [10] S. Kanungo, et al., *npi 2D Materials and Applications*, vol. 6 no. 83, pp. 1–29, Nov. 2022.
- [11] S. Kim, et al., *ACS Applied Electronic Materials*, vol. 2, pp. 3491–3496, Nov. 2020.
- [12] S. S. Cheema, et al., *Nature*, vol. 604, pp. 66–71, Apr. 2022.
- [13] M. Jung, et al., *Nano Convergence*, vol. 9, no. 44, pp. 1–18, Oct. 2022.
- [14] G. Thrishala, K. Ragini, *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 3117–3121, Feb., 2020.
- [15] J. W. Jeong, et al., *Nature Electronics*, vol. 2, pp. 307–312, 2019.
- [16] K. Kobashi, et al., *Nano Letters*, vol. 18, pp. 4355–4359, 2018.
- [17] C. Lee, et al., *Small*, vol. 17, no. 46, p. 2103365, Nov. 2021.
- [18] S. Y. Woo, et al., *IEEE Electron Device Letters*, vol. 44, no. 1, pp. 5–8, Jan. 2023.
- [19] P. Shantharama et al., *IEEE Access*, vol. 8, p. 132021, 2020.
- [20] A. Belmonte, et al., *2020 IEEE International Electron Devices Meeting (2020 IEDM)*, San Francisco, CA, USA, 2020, pp. 28.2.1–28.2.4.
- [21] Sean Kang, *International Memory Workshop (IMW)*, 2018.
- [22] Akira Goda, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 67, no. 4, pp. 1373–1381, Apr. 2022.
- [23] M. Kim, et al., *2022 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*, San Francisco, CA, USA, Feb. 2022, P. 136–137.
- [24] Z. Huo, et al., *2022 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits*, Honolulu, HI, USA, June 2022, pp. 254–255.
- [25] S. Choi, et al., *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 66, no. 11, pp. 4739–4844, Nov. 2019.
- [26] A. I. Khan, et al., *Nature Electronics*, vol. 3, no. 10, pp. 588–597, Oct. 2020.



배종호

- 2011년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 학사
- 2018년 2월 서울대학교 전자컴퓨터공학부 박사
- 2018년 2월 ~ 2019년 7월 서울대학교 ISRC 연구원
- 2019년 7월 ~ 2020년 7월 UC Berkeley 박사후연구원
- 2020년 9월 ~ 현재 국민대학교 조교수

〈관심 분야〉

Hardware-based Neural Network, Charge Storage Memory, Ferroelectric Memory, Sensor

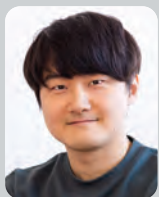
차세대 집적회로 설계를 위한 CAD 기술

I. 서론

반도체는 우리나라의 주요 수출 품목 중 하나이며, 특히 최근 인공지능이 주목받으면서 인공지능의 하드웨어 구현을 위한 반도체의 수요가 급증하고 있다. 우리나라는 특히 메모리 반도체에 뚜렷한 강세를 보이고 있는데, 삼성전자와 SK하이닉스가 함께 글로벌 시장의 약 70%를 차지하고 있다. 하지만 인공지능 반도체의 대두와 함께 중요시되고 있는 시장은 메모리가 아닌 연산을 담당하는 비메모리, 즉 시스템 반도체 분야에 해당되며, 시스템 반도체에 있어 우리나라의 시장 점유율은 3%대에 그치고 있다. 시스템 반도체와 메모리 반도체의 시장 규모는 약 7:3 정도로 시스템 반도체의 비중이 훨씬 크고, 우리나라도 최근 국가 차원에서 반도체 산업을 적극 지원하려는 움직임을 많이 보이고 있다.

한 종류의 메모리 셀 (memory cell)을 규칙적으로, 최대한 높은 집적도로 만들어야 하는 메모리 반도체의 생산 기술은 이미 우리나라가 세계적으로 우위를 점하고 있지만, 시스템 반도체의 설계는 이야기가 다르다. 칩의 목적에 특화된 설계를 하게 되므로 내부 구조가 불규칙적이고, 다양한 크기와 기능을 가진 표준 셀 (standard cell)을 배치 및 연결하여 고성능 (high-performance)과 저전력 (low-power)을 만족하도록 칩을 설계하기 위해 메모리 반도체보다 훨씬 복잡한 설계 과정을 거쳐야 한다. 게다가 단위 공정의 크기가 계속해서 작아지고 집적도는 높아지면서 하나의 시스템 반도체 칩에 수천만~수억 개의 트랜지스터, 수백만~수천만 개의 표준 셀이 포함되기 때문에 이를 설계하는 데에는 더욱 많은 어려움이 따른다.

각각의 표준 셀들을 직접 하나씩 배치하고 연결하는 것은 사실상 불가능하기 때문에, 시스템 반도체의 설계에는 연구를 통해 개발된 설계 알고리즘을 구현한 컴퓨터이용설계 (Computer-Aided Design, CAD)



박희천
국민대학교

툴을 차례로 적용하여 시스템 반도체 칩의 전체 설계 과정을 자동으로 수행하는 전자설계자동화 (Electronic Design Automation, EDA) 프레임워크가 주로 사용되고 있다. 시스템 반도체는 메모리와 달리 설계 목적이 다양하기 때문에, 하나의 CAD 툴을 모든 칩의 설계에 사용하는 경우 궁극적 목표인 고성능-저전력을 달성하기 어렵고, 툴의 내부 변수를 변경하거나 CAD 알고리즘 자체를 일부 수정하여 특정 목적에 맞는 칩을 설계해야 한다. 최근에는 집적도 향상을 위해 일반적인 반도체 구조의 패러다임을 뛰어넘는 구조가 제안되고 있고, 설계의 관점에서 이를 지원하기 위한 CAD 알고리즘이 다양하게 연구되고 있다. 본 글에서는 CAD의 의미와 활용 영역 등에 대해 소개하고, 반도체 칩의 변화에 따라 새롭게 제안되고 발전되는 CAD 기술에 대해 다루어보고자 한다.

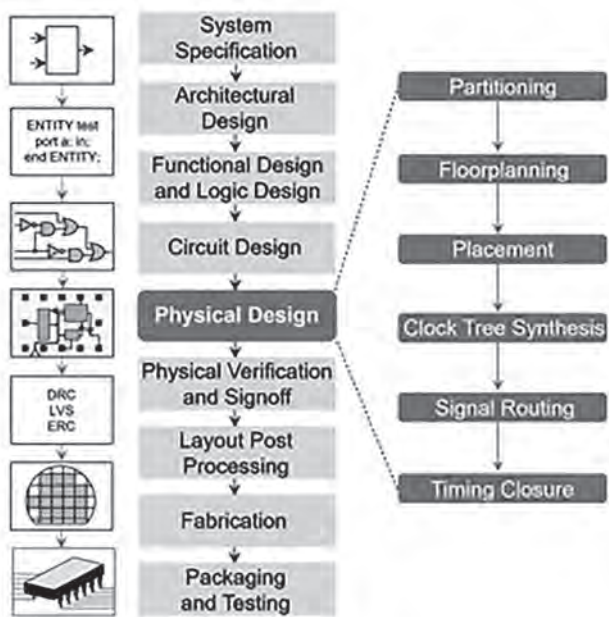
II. VLSI CAD란

CAD라는 용어는 다양한 설계 관련 분야에서 포괄적인 의미로 사용되고 있는데, 초고밀도집적회로 (Very Large System Integrated Circuits, VLSI)의 물리적 설계 (physical design) 분야에서는 컴퓨터를 활용하여 설계를

수행할 수 있도록 하는 알고리즘 혹은 프로그램을 의미한다. VLSI의 집적도가 높아지고 설계 목적이 다양해지면서 이를 수동으로 직접 구현하는 것은 성능-전력-크기 (power-performance-area, PPA)의 측면에서 좋지 않을 뿐만 아니라 긴 설계 소요시간으로 인해 생산성의 측면에서도 비효율적이다. 따라서 물리적 설계의 단계를 나누고, 단계별로 보편화된 설계 알고리즘을 구현한 CAD 툴을 활용하는 자동화 설계 기법을 적용하고 있다.

VLSI를 설계하는 전체 흐름은 <그림 1>과 같다. 먼저 설계하고자 하는 회로 혹은 시스템의 목표와 입출력 등을 구체화하고 (System Specification), 구조적 설계 (Architectural Design)를 통해 각 모듈의 기능을 확정한다. 다음으로 각 모듈을 기능에 맞게 Verilog 등의 하드웨어 언어 (Hardware Description Language, HDL)로 설계(Functional Design)한 후 논리 설계 (Logic Design) 혹은 논리 합성 (Logic Synthesis)을 통해 표준 셀 단위의 논리회로로 변환한다. 다음으로 표준 셀들의 위치를 정하고 셀 간의 연결을 실제로 구현하는 물리적 설계 (Physical Design)를 거쳐 설계 레이아웃 (Layout)을 1차적으로 완성한다. 해당 레이아웃은 성능, 전력소모, 발열 등의 측면에서 검증 (Verification)을 거치고, 문제가 없을 시 후공정 (Post Processing) 단계를 통해 오류가 없는 설계 결과물을 도출하며 마지막으로 공정 (Fabrication) 및 패키징 (Packaging)을 통해 칩이 최종적으로 생산되어 나오게 된다. 각 설계 단계는 최적화를 위한 복잡한 알고리즘들로 구성되어 있으며, 알고리즘을 컴퓨터로 동작시키기 위해 CAD 프로그램을 구현하여 적용한다.

본 글에서는 가장 복잡한 단계 중 하나인 물리적 설계 단계에 대한 CAD 기법을 다룰 것이다. <그림 1>의 오른쪽 흐름도는 VLSI 물리적 설계의 세부 단계를 나열하고 있다. 각각 수백만 개의 표준 셀을 수십~수백 개 단위의 그룹으로 분할하는 Partitioning 단계, 전체 칩의 면적을 정하고 미리 완성된 IP 모듈들 (예: 메모리)을 배치하는 Floorplan 단계, 전체 표준 셀을 배치하는 Placement 단계, 칩 성능을 좌우하는 주파수의 클럭이 주입될 경로인 클럭 트리를 구성하는 Clock Tree Synthesis (CTS)



<그림 1> VLSI의 전자설계자동화 흐름 및 물리적 설계의 세부 단계^[1]

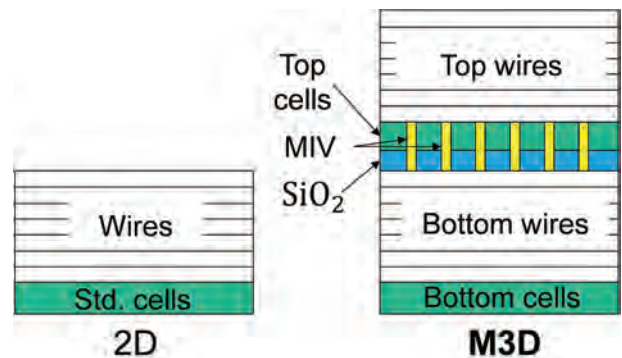
단계, 표준 셀 간의 연결을 구현하는 Routing 단계, 마지막으로 주어진 성능을 만족할 수 있도록 회로를 수정하는 Timing Closure 단계가 있다. 이 중 가장 복잡하면서도 중요한 단계는 placement와 routing 단계이며, 전체 물리적 설계 과정을 P&R (Place-and-Route)로 줄여 부르기도 한다.

각 설계 단계에 적용된 알고리즘의 수준에 따라 설계의 결과물의 성능과 전력 소모에 매우 큰 영향을 끼치기 때문에, 집적회로 및 VLSI 설계를 전문적으로 수행하는 반도체 기업은 관련 연구 및 개발에 매년 큰 자본을 투입하고 있고, CAD 알고리즘을 구현하여 전체 EDA 프레임워크를 구축하여 반도체 설계 기업에 공급하는 것을 전문적으로 하는 EDA vendor 기업도 있다. EDA vendor 업체는 높은 설계 기술력이 필수적이어서 세계적으로 기술력이 높은 2-3개의 글로벌 기업(Synopsys, Cadence, Siemens EDA(구 MentorGraphics))이 시장을 독과점하는 구조이다. 이들은 기업을 대상으로 EDA 툴의 라이선스를 판매하는 B2B(Business-to-Business) 영업 방식으로 운영되며 많은 팹리스 (Fabless, 반도체 칩의 제조 없이 설계만을 전담) 기업에서 라이선스 구매 후 툴을 필요에 맞게 사용하여 VLSI 칩을 설계하고 있다.

III. 차세대 구조를 위한 CAD 기술

십 년 동안 VLSI 칩은 평면의 2차원 공간에 표준 셀을 배치하고 위의 메탈 층을 통해 표준 셀을 연결하는 구조로 설계 및 제작되어 왔다. 하지만 2010년대를 기점으로 수직 공간을 보다 효율적으로 활용하기 위해 “표준 셀+메탈 층”의 구조를 수직으로 쌓아올린 수직 적층의 구조가 연구되기 시작되었고, 최근에는 공정 문제까지 해결되어 적극적으로 사용되고 있다.

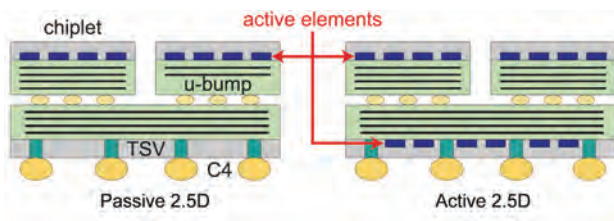
많이 활용되는 수직 적층 구조로는 3차원 구조와 2.5차원 구조가 있다. 먼저 3차원 구조는 2차원 칩이 수직으로 여러 층 쌓이는 구조이며, 층과 층 사이를 연결하는 비아(via)의 구조에 따라 다양하게 나뉜다. 가장 먼저 사용된 via인 TSV (Through-Silicon-Via)가 있으나, 크기가 비교적 크고 주변의 전기적 성질을 많이 변화시키기



〈그림 2〉 2차원 구조와 M3D 구조의 단면도 비교

때문에 주로 단순 구조인 메모리의 적층에 많이 사용되고 있다. 본 글에서는 앞으로 비메모리 반도체 칩 설계에 많이 사용될 것으로 기대되는 모놀리식 3차원(Monolithic 3D, M3D) 구조에 대해 알아보겠다. M3D 구조는 〈그림 2〉와 같이 기존 2차원 구조의 표준 셀과 routing을 위한 wire가 두 층 (혹은 그 이상) 쌓여있는 구조이며, 두 층 사이는 비교적 작은 크기의 MIV (Monolithic Inter-tier Via)로 연결할 수 있다. 그림에서 알 수 있듯 층간 연결 via는 상층부의 표준 셀 배치 영역을 사용하기 때문에 크기가 작을수록 효율적이고, TSV에 비해 약 1/100 정도인 100nm 이내의 직경을 갖는 MIV를 사용하는 경우 충분히 상층부에 많은 표준 셀을 배치시킬 수 있다. 아직 고온 공정을 하층부에서 상층부까지 순서대로 적용하는 과정에서 하층부의 메탈 층이 망가지는 문제점이 완벽히 해결되지는 않았으나, 현재 많은 해결 방안이 제시되었고 실제 프로토타입(prototype) 칩까지 나온 단계이므로 머지않아 상용화될 것으로 보인다.

다음으로 2.5차원 구조는 여러 개의 칩을 병렬적으로 구현한 뒤 하나의 인터포저 (interposer) 상에 적층하여 연결하는 방식을 취한다. 단면도는 〈그림 3〉과 같고, 인터포저에 표준 셀과 같은 능동 소자 (active element)가 있는지에 따라 수동적(Passive) 2.5D와 능동적 (Active) 2.5D로 구분된다. 인터포저 상에 적층되는 각 칩들은 칩렛 (chiplet)이라 부르며, 인터포저와 칩렛 간의 연결은 마이크로 범프(u-bump)를 이용한 3차원으로, 칩렛 간의 연결은 인터포저를 통한 2차원으로 구현되어 있다. 2차원 구조의 IP 모듈을 각각 하나의 칩으로 제작하는 대신



〈그림 3〉 2.5차원 구조의 단면도^[2]

칩렛 단위로 제작하여 인터포저 기반의 2.5차원 구조로 구현함으로써 칩과 칩 사이의 연결을 패키징 간 연결보다 빠른 인터포저로 구현할 수 있다. 그 외에도 병렬 구현을 통한 설계 시간 단축, 부분 업데이트의 용이성 등 설계 난이도 측면에서 큰 이득을 가져다주므로 반도체 설계 기업에서 많이 활용하고 있다.

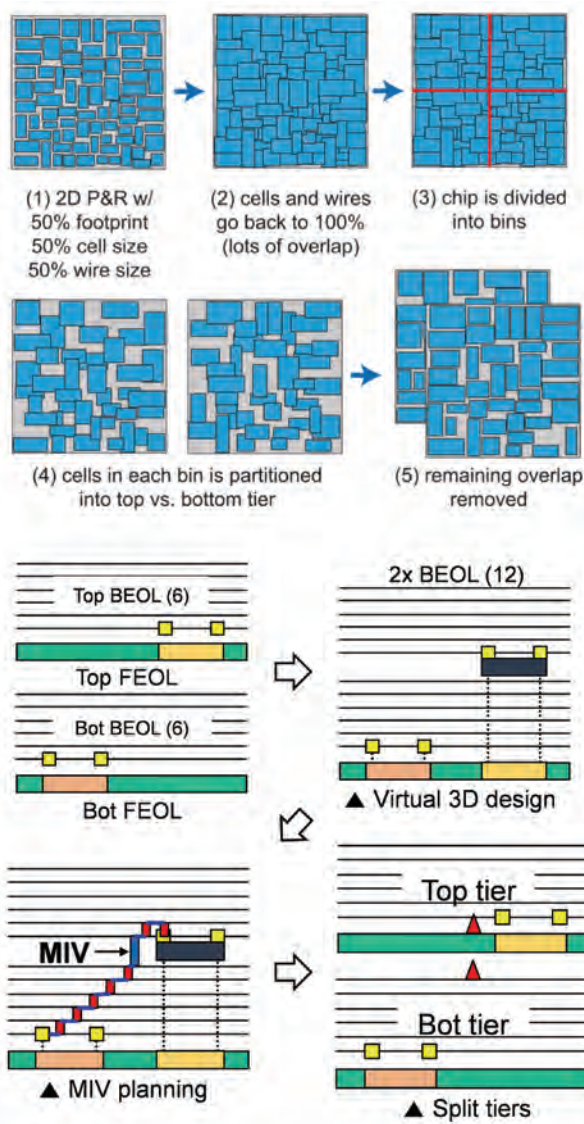
다양한 수직 적층 구조가 제안되면서 VLSI의 설계 옵션 또한 다양해졌지만, 설계에 활용되는 CAD 툴은 전통적인 2차원 집적회로 구현에 최적화되어 있으며 수직 적층 구조의 설계를 지원하지 않는다. 2차원의 표준 셀 배치를 기본으로 하므로, 3차원으로 표준 셀이 배치되어야 하는 수직 적층 구조의 설계에는 그 시작부터 적용이 불가능하기 때문이다. 3차원 구조 설계에 특화된 알고리즘이 없는 경우, 수직 적층 구조가 갖는 이점을 제대로 활용할 수 없게 되어 2차원으로 설계했을 때보다 오히려 더 나쁜 설계 결과물이 나오는 경우가 많다. 따라서 수직 적층 구조에 특화된 설계 연구가 이어지고 있고, 본 글에서는 3차원 구조와 2.5차원 구조의 VLSI 설계를 위한 최근 CAD 기법에 대해 다루겠다.

먼저 3차원 구조의 설계에 있어서 가장 높은 성능을 보이는 방식은 Pseudo-3D 접근법이다. 초창기의 3차원 설계 알고리즘은 기존의 2차원 설계 기법에 수직 방향으로 표준 셀을 배치하는 목적함수를 추가하는 방식이었지만, 수직 방향의 배치는 연속적이지 않으므로 평면 배치와 같은 접근을 하는 경우 정확도와 성능 측면에서 큰 문제가 있었다. 새롭게 제안된 Pseudo-3D 방식은 수십 년간 개선되어 온 2차원 VLSI 설계 툴을 3차원 설계에 최대한 활용하는 것을 목표로 한다. Placement 단계에서는 기존의 2차원 설계 툴을 이용해 표준 셀의 평면 상의 최적 위치를 구하고, 각 표준 셀을 n 개 층 중 하나에 배정하여 최

종 3차원 배치를 완성한다. Routing 단계에서는 두 배의 메탈 층으로 구성된 가상의 단면도를 활용하여 기존 설계 툴로 하여금 2차원 설계에서의 routing 알고리즘을 그대로 사용하게끔 유도하고, 중간 via층의 via 위치를 참고하여 MIV를 할당한 후 층별 routing을 2차원 설계 툴로 수행하여 완성한다.

Pseudo-3D 설계 방식에서 두 층의 3차원 설계를 수행하였을 때의 placement 및 routing은 〈그림 4〉에 묘사되어 있다. 첫 2차원 placement 단계에서는 칩과 표준 셀의 크기가 모두 기존 2차원 칩의 절반으로 설정되어 있는데, 이는 최종적으로 설계할 2개 층의 3차원 칩이 평면상으로는 절반의 크기를 가질 것이기 때문이다. 2차원 placement 후 칩의 크기는 고정된 상태로 모든 표준 셀의 크기가 두 배, 즉 원래 상태로 돌아오면서 수많은 overlap이 생기게 된다. 다음 단계인 층 분할 (tier partitioning)에서는 칩의 구역별로 균등하게 표준 셀들이 배분되고 동시에 각 층에서 overlap이 적도록 각 표준 셀의 층을 할당한다. Tier partitioning을 위한 다양한 알고리즘이 있지만, 적당한 크기의 구역(bin)으로 나눈 뒤 구역별로 FM min cut 분할 알고리즘^[4]을 적용하여 상층부와 하층부에 균등한 수의 표준 셀들이 고르게 분포할 수 있도록 하는 방식이 제일 많이 사용되고 있다. Routing 단계는 비교적 직관적이며, 별도의 알고리즘 추가 없이 기존 2차원 설계 툴을 최대한 활용하여 해결할 수 있다. 가장 중요한 부분은 3차원 구조의 단면도를 2배의 메탈 층을 갖는 하나의 2차원 구조 단면도로 구성하여 설계 툴에 도입하는 부분이다. 〈그림 4〉의 하단 그림처럼 상층부에 배치된 표준 셀들이 하층부의 표준 셀들과 같은 층에 배치되도록 하고, 해당 표준 셀의 실제 연결 핀 (Pin)이 중간 층에 위치하면 기존 툴이 마치 2차원 칩의 routing을 수행하는 것처럼 3차원 칩의 routing도 수행할 수 있게 된다. 상층부의 표준 셀을 하층부의 같은 위치에 두었을 때 하층부의 같은 자리에 있는 셀과 overlap이 발생할 수도 있으나, routing 단계에서는 셀의 overlap 여부는 무시하고, 핀 간의 overlap은 없기 때문에 그대로 동작할 수 있다.

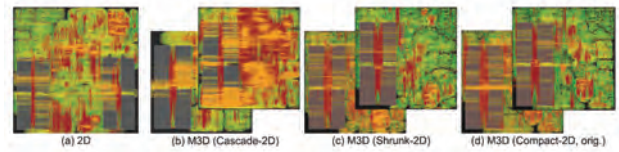
〈그림 5〉는 하나의 benchmark 회로에 대한 2차원 구



〈그림 4〉 Pseudo-3D 설계 방식에서의 표준 셀 placement 및 routing 과정^[3]

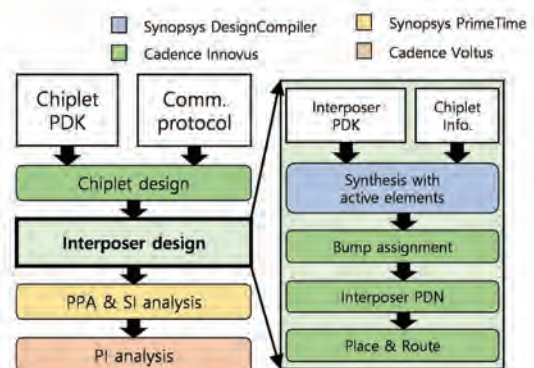
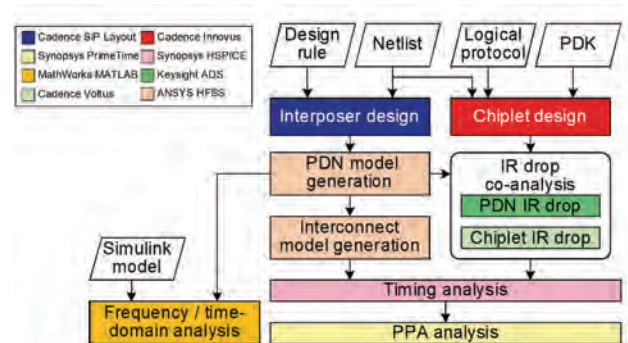
조 설계와 Pseudo-3D 방식을 통한 3차원 구조 설계에 대한 layout 예시이다. 기존의 설계 툴을 사용하였기 때문에 표준 규격인 GDSII의 형태로 설계 결과를 출력할 수 있으며, 성능 및 전력 소모의 측정 역시 2차원 칩과 같은 방식으로 수행할 수 있다.

2.5차원 구조의 VLSI 설계는 크게 칩렛 설계와 인터포저 설계로 구성된다. 칩렛은 기본적으로 2차원 칩과 같은 방법으로 설계하고, 인터포저 설계는 능동 소자의 유무에 따라 조금씩 다른 설계 과정이 필요하다. 각 2.5차원 구조에 대한 설계 흐름도는 〈그림 6〉과 같다. 능동 소

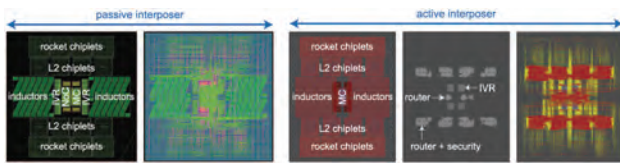


〈그림 5〉 RISC-V Rocketcore processor에 대한 2차원 설계 및 다양한 3차원 설계 layout^[3]

자가 없는 수동적 (passive) 인터포저의 경우 placement의 과정이 필요 없으며, 인터포저 상에 놓일 각 칩렛의 핀 위치를 기반으로 routing만 수행되므로 2차원 P&R 툴이 아닌 패키징 단계의 툴 (예: Cadence SiP Layout) 을 사용한다. 해당 툴을 통해 wire로만 구성된 인터포저를 완성하고, 전체 wire의 저항(R) 및 캐패시턴스(C) 값을 추출하여 성능 및 전력 측면에서의 검증을 별도의 모델링을 통해 진행해야 한다. 반면에 능동 소자가 포함된 능동적 (active) 인터포저는 능동 소자가 매우 조금 (5% 미만) 포함된 2차원 칩과 같으므로 배치 및 연결, 클럭 트리 구성 등을 2차원 P&R 툴을 이용하여 별도로 설계해야 한다. 단, 능동 소자의 비중이 워낙 작아 이들에 대한



〈그림 6〉 수동적 2.5D(위[5])와 능동적 2.5D(아래[6])의 설계 흐름도



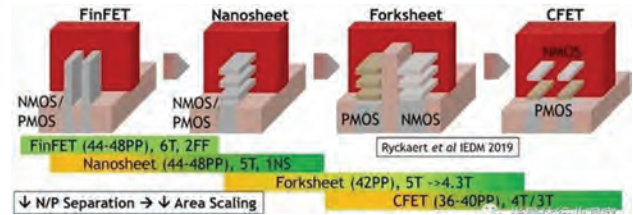
〈그림 7〉 수동적 2.5D(왼쪽) 및 능동적 2.5D(오른쪽)의 설계 layout

placement가 비정상적으로 일어나는 경우가 많으므로 집적 이들의 배치를 위한 제약 조건 (예: 배치 가능 구역 지정)을 설정해 주면서 진행해야 한다. 수동적 인터포저의 경우 패키징 레벨의 설계 툴과 검증에 위한 별도의 설계 툴이 필요하였으나, 능동적 인터포저는 일반 칩렛과 마찬가지로 2차원 설계 툴을 활용하여 P&R 및 검증을 수행할 수 있다.

〈그림 7〉은 같은 benchmark를 각각 수동적 2.5D와 능동적 2.5D 설계 기법을 통해 생성한 layout을 보여준다. 수동적 2.5D와 달리 능동적 2.5D에는 일부 모듈을 인터포저에 포함시킬 수 있으므로, 일반적으로 능동적 2.5D의 전체 면적이 조금 작다. 하지만 2.5차원 구조가 회로의 면적 최적화보다는 병렬 설계를 통한 설계 시간 단축 및 난이도 차원에서의 이득을 목적으로 하는 구조이기 때문에 반드시 능동적 2.5D가 더 좋다고 할 수는 없으며, 실제로 능동적 2.5D는 인터포저 내부의 소자들로 인해 인터포저 자체의 수율이 추가로 고려되어야 한다는 측면에서 설계의 난이도가 조금 높아지는 단점이 있다.

IV. 차세대 공정을 위한 CAD 기술

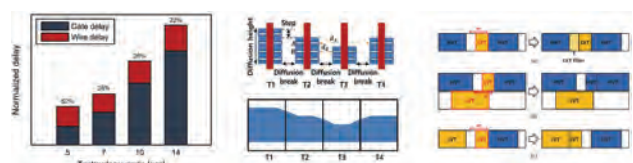
집적도 향상을 위해 회로의 기본 단위인 트랜지스터 소자의 구조도 변화를 거듭할 예정이다. 상용화 중인 가장 작은 공정의 트랜지스터는 상어 지느러미 모양의 채널을 가진 FinFET인데, 이 또한 공정 노드가 5nm보다 작아지면 트랜지스터의 ON/OFF 제어가 어렵다는 문제가 있다. 따라서 공정 노드가 앞으로 무어의 법칙 (Moore's law, 약 2년마다 단위 면적이 절반으로 줄어드는 법칙)을 따라 계속해서 작아지는 것에 대비하여 상용화될 트랜지스터의 구조 또한 변화할 것이라는 roadmap이 발표되었다 〈그림 8〉.



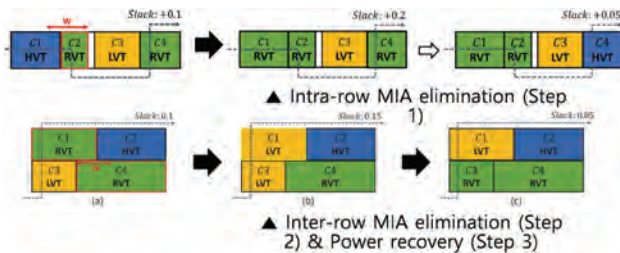
〈그림 8〉 트랜지스터 구조의 변화 (출처: IMEC)

반도체 칩의 기본 단위인 트랜지스터가 작아지고 구조가 바뀌게 되면, 이를 활용한 칩의 설계 알고리즘에도 큰 변화가 동반되어야 한다. 공정 노드가 작아질수록 설계 단계에서 고려해야 하는 요소 자체가 변화하고 있고, 기존 공정에서는 큰 문제가 아니었던 부분이 새로운 공정에서는 심각한 문제가 되면서 설계 단계에서 추가로 고려하게 되는 경우도 많이 발생한다. 〈그림 9〉는 각종 설계 환경 변화에 대한 예시들이다. 왼쪽 그림은 공정 노드가 작아질수록 표준 셀에 해당되는 gate보다 연결 부분인 wire의 지연시간(delay) 비중이 커진다는 연구 결과로, 최신 공정 설계에서는 wire 연결의 우회 경로를 최소화하거나 연결된 표준 셀 간의 거리를 최소화하는 등 wire 지연 시간 감소를 위한 노력이 더 필요해질 것이라는 점을 알 수 있다. 가운데 그림은 neighboring diffusion effect (NDE)를 나타낸 것으로, 미세 공정 단계에서는 인접 트랜지스터 간의 높이 (height) 차이가 크게 나는 경우 두 트랜지스터의 전기적 성질에 크게 영향을 줄 수 있다. 오른쪽 그림은 multi-Vt 설계에서 나타나는 minimum implant area (MIA) 제약 조건으로, 미세공정 환경에서 다양한 문턱 전압 (threshold voltage, Vt)을 갖는 표준 셀을 동시에 사용할 때 하나의 Vt를 가지는 구역으로 특정 넓이 이상을 반드시 확보해야 한다는 조건이 추가된다는 점을 나타낸다.

Wire 연결 비중 증가와 같은 환경의 변화에 맞추기 위



〈그림 9〉 공정 노드의 변화로 인한 설계 환경 변화 예시^{[7][8][9]}



〈그림 10〉 MIA 제약조건에 대한 최적 고려 방안^[9]

해서는 설계 알고리즘에서 wire 지연시간을 위한 가중치를 증가시키는 방향으로 각종 변수에 수정을 가해주는 방식으로 어느 정도 최적화 방향을 쉽게 수정할 수 있으나, NDE와 MIA처럼 새롭게 발생한 제약 조건은 고려하지 않으면 설계한 칩 자체의 수율에 영향을 줄 수 있으므로 반드시 이들을 제거할 수 있는 추가적인 설계 알고리즘이 도입되어야 하고, 이와 동시에 기존의 설계 품질 (예: 성능, 전력소모) 또한 일정 수준 이상으로 유지되어야 한다. 〈그림 10〉은 〈그림 9〉의 예시 중 MIA 제약 조건을 고려한 CAD 기법을 보여주는 그림이다. MIA는 크게 표준 셀의 가로줄(row) 내부에서 발생하는 intra-row MIA와 인접한 두 row 사이에서 발생하는 inter-row MIA 조건이 있는데, 두 조건을 모두 만족함과 동시에 성능을 위한 low-Vt 표준 셀 사용과 전력 감소를 위한 high-Vt 사용을 함께 고려할 수 있는 CAD 기법을 적용하여 새로운 제약 조건 하에서도 칩의 품질 저하를 최소화하는 설계 알고리즘을 각 제약 조건마다 새롭게 개발하여 적용하고 있다.

V. 결론 및 전망

지금까지 구조와 공정의 변화에 따르는 VLSI 설계를 위한 CAD 기법의 발전에 대해 일부 예시를 바탕으로 기술하였다. 위 예시는 극히 일부에 불과하며, 이외에도 집적회로의 공정 및 소자 차원에서의 변화와 발전에 맞춰서 그 장점을 극대화할 수 있는 설계 및 CAD 기법도 함께 개발되고 있다. 이는 고성능-저전력 반도체 칩을 제작하기 위한 두 가지의 큰 축으로 어느 한쪽의 발전이라도 뒤쳐진다면 칩의 기능과 잠재력을 최대한으로 사용하

지 못하고 있음을 의미하기 때문에, 공정/소자 분야와 설계 분야의 균형 있는 발전이 필요하다. 메모리 반도체에 특화된 우리나라의 반도체 산업은 공정 및 소자 부분에 산업 인력이 집중되어 있고, CAD 등의 설계 분야는 미국, 대만, 중국 등에 비해 경쟁력이 많이 떨어져 있다. 인공지능 반도체의 수요 증가와 함께 전 세계적으로 시스템 반도체를 향한 관심이 크게 높아지면서 우리나라도 반도체 산업 구조를 기존의 메모리 중심에서 시스템 반도체 분야까지 넓히려는 움직임이 많이 일어나고 있다. 특히 PIM(process-in-memory) 반도체와 같은 메모리-비메모리 간의 경계가 줄어드는 환경 속에서 설계 분야에 대한 경쟁력을 더 갖추게 된다면, 원래 갖고 있던 공정 및 소자 분야에서의 기술력을 바탕으로 세계 반도체 패권 경쟁에서 우위를 점할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] Andrew B. Kahng et al., "VLSI Physical Design: From Graph Partitioning to Timing Closure", Springer, 2011
- [2] H. Park et al., "Design Flow for Active Interposer-Based 2.5D ICs and Study of RISC-V Architecture with Secure NoC", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol.10, no.12, 2020
- [3] H. Park et al., "Pseudo-3D Physical Design Flow for Monolithic 3D ICs: Comparisons and Enhancements", ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems, vol.26, no.5, 2021
- [4] C. M. Fiduccia and R. M. Mattheyses, "A Linear-Time Heuristic for Improving Network Partitions", Design Automation Conference, 1982
- [5] J. Kim et al., "Architecture, Chip, and Package Codesign Flow for Interposer-Based 2.5-D Chiplet Integration Enabling Heterogeneous IP Reuse", IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol.28, no.11, 2020
- [6] H. Park et al., "Design Flow for Active Interposer-Based 2.5D ICs and Study of RISC-V Architecture with Secure NoC", IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol.10, no.12, 2020



- [7] T. Huynh-Bao et al., "Statistical Timing Analysis Considering Device and Interconnect Variability for BEOL Requirements in the 5-nm Node and Beyond," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems, vol.25, no.5, 2017
- [8] C. Han et al., "Enhanced Optimal Multi-Row Detailed Placement for Neighbor Diffusion Effect Mitigation in Sub-10 nm VLSI", IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol.38, no.9, 2019
- [9] E. Jeong et al., "A Systematic Removal of Minimum Implant Area Violations under Timing Constraint", IEEE/ACM Design, Automation and Test in Europe Conference, 2022



박 희 천

- 2011년 2월 서울대학교 전기공학부 학사
- 2018년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
- 2018년 3월 ~ 2020년 2월 조지아공과대학교
박사후연구원
- 2020년 4월 ~ 2020년 9월 서울대학교 초빙연구원
- 2020년 10월 ~ 2021년 2월 서울대학교
반도체공동연구소
선임연구원
- 2021년 3월 ~ 2022년 8월 서울대학교 BK조교수
- 2022년 9월 ~ 현재 국민대학교 전자공학부 조교수

〈관심 분야〉

VLSI CAD 및 설계 자동화, 3차원 및 2.5차원
집적회로 설계, 미세공정 설계, Design-Technology
Co-Optimization, 딥러닝 및 강화학습 활용 EDA,
인공지능 반도체 설계

엣지 인텔리전스용 멤리스터 크로스바 인메모리 컴퓨팅 기술: Memristor Crossbar In-Memory Computing Techniques for Edge Intelligence



윤 리 나
국민대학교



조 승 명
국민대학교



오 석 진
국민대학교



민 경 식
국민대학교

I. 서론

Internet of Things (IoT) 기술의 발전으로 무수히 많은 사물인터넷 (IoT) 센서와 엣지 장치가 인간의 삶을 편안하게 만들기 위해 우리 주위에서 사용되고 있다. 인간의 생활과 주위 환경에서 동작하는 수많은 IoT 기기는 방대한 양의 구조화되지 않은 데이터를 지속적으로 수집하고 있는데, 이러한 빅 데이터를 처리할 때 막대한 양의 컴퓨팅 에너지가 소비된다. 만약에 수많은 개수의 IoT 기기에서 수집된 데이터가 모두 클라우드 서버로 전달되면, 그 막대한 양의 데이터의 전송에 소비되는 통신 에너지의 양이 매우 클 것으로 예상된다. 또한, 막대한 양의 통신 에너지와 더불어 클라우드 서버로 전송된 빅데이터를 처리하고 연산하기 위한 에너지 소비도 우리가 감내할 수 없는 수준으로 증가할 것으로 예상된다^[1-2].

일반적으로 엣지 기기에서는 배터리나 혹은 에너지 하베스팅에 의해서 동작 에너지를 공급받아야 하기 때문에 컴퓨팅 에너지 효율이 매우 중요한 반면에 클라우드 컴퓨팅에서는 에너지 효율성보다는 컴퓨팅 성능에 좀 더 가중치를 두는 경향이 있다. 따라서, IoT 기기에서 수집하는 모든 데이터를 클라우드 서버로 보내서 컴퓨팅을 한다면 에너지 효율성이 낮은 서버에서의 컴퓨팅으로 인해서 에너지 소비의 문제는 보다 더 심각해질 수 있다.

클라우드 서버와 달리 엣지 기기와 IoT 센서에서는 배터리 구동으로 동작을 하기 때문에 배터리 라이프 타임을 연장하기 위해 높은 에너지 효율로 컴퓨팅을 수행해야 한다^[3]. 이러한 이유로 인해서 컴퓨팅을 클라우드 서버로 국한하지 말고 엣지와 서버에서 컴퓨팅을 나누어서 수행한다면 엣지에서의 높은 에너지 효율을 갖는 컴퓨팅 기능을 이용할 수

있어서 전체적인 관점에서의 컴퓨팅 에너지 소비의 절감에 도움을 줄 수 있다.

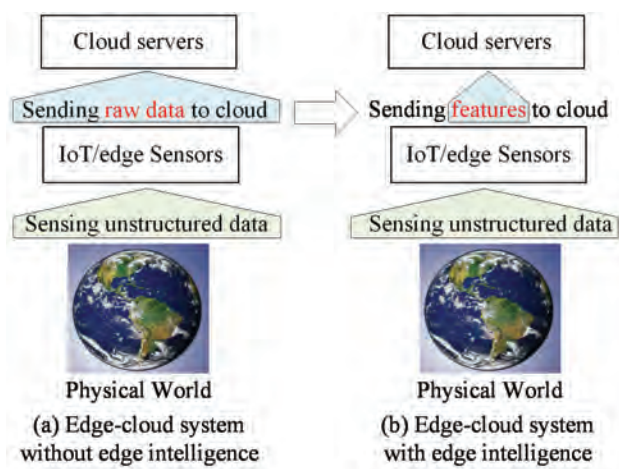
〈그림 1(a)〉는 IoT 센서 등을 포함하는 다양한 엣지 기기를 클라우드 서버에 연결하기 위한 기존 엣지-클라우드 시스템의 개념 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 만약에 여기에서 IoT 센서 등의 엣지 기기가 신경망 기능과 같은 엣지 인텔리전스 기능을 전혀 갖고 있지 않고 단순히 데이터를 수집하는 기능만을 갖고 있다고 가정하자. 만약에 그렇다면, 엣지 인텔리전스 기능을 갖고 있지 않는 IoT 센서는 감지된 모든 데이터를 클라우드 서버로 전송해야 한다. 결과적으로, 클라우드 서버는 컴퓨팅과 통신 모두에서 엄청난 양의 에너지를 소비해야만 한다^[4-5].

다음으로, 〈그림 1(b)〉에 표시된 것처럼 IoT 센서가 일정한 수준의 엣지 인텔리전스를 가지고 있다고 가정한다. 〈그림 1(b)〉의 물리적 세계에서 감지된 데이터의 양이 〈그림 1(a)〉와 동일함에도 불구하고 엣지 인텔리전스를 갖춘 IoT 센서는 훨씬 적은 양의 데이터만을 클라우드 서버로 전송할 수 있다. 이는 IoT 센서가 주위로부터 감지한 원래의 데이터에서 중요한 특징을 검출해서 결과적으로 정보를 추상적으로 압축할 수 있는 엣지 인텔리전스 기능을 갖고 있기 때문이다. 결과적으로 IoT 센서는 감지된 모든 데이터를 클라우드로 전송하는 대신에 원래의 데

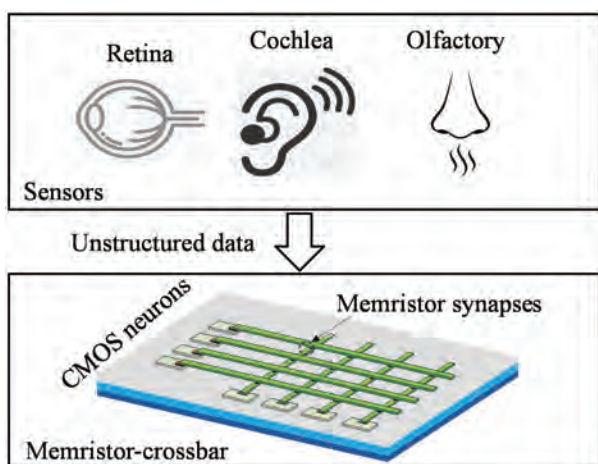
이터에서 추출된 중요한 압축된 정보만을 클라우드 서버로 전송해도 전체 컴퓨팅 성능을 유지할 수 있다. 엣지 인텔리전스로 인한 이러한 데이터 압축 및 추상화 기능은 클라우드 서버의 연산 에너지 및 통신 에너지의 부담을 크게 줄일 수 있다^[6-7].

지금까지는 엣지 인텔리전스 기능을 엣지 기기가 갖고 있는 경우에, 엣지-클라우드 전체의 컴퓨팅 성능을 유지하면서 전체적인 컴퓨팅 에너지 소비를 절감할 수 있다는 것을 설명했다. 지금부터는 엣지 컴퓨팅에서 고려할 수 있는 저전력 컴퓨팅 아키텍처에 대해서 설명하려 한다. 지금까지 사용된 전통적인 폰 노이만 아키텍처는 컴퓨팅 에너지의 효율성 관점에서 좋은 선택이 아니라고 생각할 수 있다. 낮은 에너지 효율성의 원인은 폰 노이만 아키텍처에서 컴퓨팅 부분과 메모리 부분이 분리되어 있어서, 두 부분이 서로 데이터를 교환하고자 할 때, 많은 양의 에너지를 소비하기 때문이다. 이로 인해서 일어나는 문제를 폰 노이만 아키텍처의 메모리 액세스 병목 현상이라고 한다^[8]. IoT 센서에 의해 수집되고 감지된 막대한 양의 비정형화된 데이터를 처리하기 위해 대량의 데이터가 메모리와 컴퓨팅 회로 부분을 매우 빈번하게 끊임없이 왔다 갔다 하면서 전력을 소비하고, 이것이 폰노이만 컴퓨터의 전력 소비량을 크게 증가시키는 주된 요인이 된다. 이러한 폰노이만 병목 현상을 극복하기 위해, 메모리와 프로세서가 결합된 Processing-In-Memory(PIM) 아키텍처가 제안되었고 현재 많은 관심을 갖고 연구가 진행되고 있다. PIM 아키텍처는 병렬 컴퓨팅, 아날로그 산술 등 많은 장점을 가지고 있으므로 엣지 인텔리전스 기능을 에너지 효율적으로 엣지 기기에서 구현할 수 있게 해준다^[9].

〈그림 2〉에서는 위와 같은 에너지 효율적인 엣지 인텔리전스의 구현을 위한 멤리스터 크로스바 회로의 예를 보여주고 있다. 멤리스터는 빠르고 에너지 효율적인 읽기 및 쓰기 작업을 가능하게 하는 비휘발성 메모리이며 3D 구조를 형성하기 위해 층층이 쌓일 수 있다^[10-11]. 또한 멤리스터 제작은 기존의 CMOS 제작 기술과 결합될 수 있다. 보다 구체적으로 설명하면 Back-End-Of-Line (BEOL) 공정에 의해서 CMOS 회로 위에 메탈 공정을 이용하여 만들어질 수 있으므로 멤리스터 크로스바는



〈그림 1〉 (a) 엣지 인텔리전스 기능을 갖고 있지 않는 엣지-클라우드 시스템의 블록도 (b) 엣지 인텔리전스 기능을 갖는 엣지-클라우드 시스템의 블록도^[7]



〈그림 2〉 near-IoT 센서 컴퓨팅을 위한 멤리스터 크로스바^[14]

CMOS 장치와 통합될 수 있다는 장점이 있다. 또한, 멤리스터 크로스바 내의 전류-전압 관계를 이용해서 벡터 행렬 곱셈을 물리적으로 가능하게 할 수도 있다. 이렇게 함으로써 인메모리 컴퓨팅 목적으로 멤리스터 크로스바를 사용할 수 있다. 멤리스터 크로스바를 이용한 인메모리 컴퓨팅은 폰 노이만 구조의 메모리 액세스 병목 현상을 극복하기 위해 사용될 수 있다. 특히 컴퓨팅이 매우 에너지 효율적이어야 하는 near IoT 센서 엣지 인텔리전스를 구현하는 데 있어 멤리스터 크로스바가 있는 인메모리 컴퓨팅은 매우 유용할 수 있다^[12-14].

본 기술 동향 논문에서는 먼저 엣지 인텔리전스 하드웨어 구현을 위한 멤리스터 크로스바의 실용적인 응용 기술, 예를 들어 멤리스터 크로스바를 이용해서 이진과 삼진 신경망을 구현하는 것 등에 대해서 논의할 것이다. 멤리스터 크로스바는 공정 기술의 문제로 인해서 제작 후에 많은 개수의 불량 셀을 포함하고 있는 문제가 있다. 이러한 불량 셀을 포함하고 있는 멤리스터 크로스바를 신경망에 어떻게 응용할 수 있는지에 관한 문제에 관해서 설명하고 이 문제에 대한 완화 방법을 논의하고자 한다. 또한 멤리스터 회로의 기생 저항 등의 문제를 회로적, 알고리즘적으로 보상하기 위한 기술, 그리고 실용적인 관점에서의 멤리스터 크로스바의 응용 기술, 예를 들어 임의의 신경망을 멤리스터 크로스바에 맵핑하는 기술 등에 대해서 넓은 관점으로 살펴볼 것이다.

좀 더 구체적으로 먼저 2장에서는 멤리스터의 이진 및 삼진 시냅스를 갖는 양자화된 신경망에 대해 설명한다. 3장에서는 멤리스터 결함이 크로스바 신경망의 성능을 저하시키지 않도록 하기 위한 학습 방법을 설명한다. 4장에서는 멤리스터 크로스바의 성능을 저하시키는 요인 중 하나인 기생 저항을 보정하는 회로 기술에 대해 논의한다. 또한, 라인 기생 저항으로 인한 크로스바 신경망 성능 저하가 발생하므로, 사용할 수 있는 크로스바의 사이즈의 한계가 공정상에서 미리 정해져 있는데, 5장에서는 신경망을 정해져 있는 사이즈의 단위 멤리스터 크로스바에 효율적으로 맵핑하는 방법에 관해서 설명하려고 한다.

II. 크로스바 프로그래밍 한계와 가중치 양자화

인공신경망에서 학습된 가중치를 멤리스터 크로스바 신경망에 그대로 전사할 경우, 멤리스터 크로스바에서의 프로그래밍의 한계로 인해서 고정밀 비트를 크로스바 상에서 제대로 구현할 수 없다는 문제점이 존재한다. 따라서 가중치를 양자화하는 방법을 통해 크로스바 프로그래밍의 한계를 우회할 수 있으므로, 양자화된 크로스바 기반의 신경망에 관한 연구가 광범위하게 수행되고 있다^[15].

통상 멤리스터 크로스바 신경망에서 음수 값을 가지는 시냅스의 가중치를 멤리스터의 컨덕턴스로 바로 구현할 수는 없다. 따라서 음수 값을 가지는 시냅스 가중치를 구현하기 위해서, 양의 칼럼과 음의 칼럼, 두 개의 칼럼을 사용해서 양의 시냅스와 음의 시냅스 값을 구현한다. 멤리스터의 컨덕턴스를 프로그램할 때, 만약에 멤리스터가 주로 필라멘트 스위칭에 의해서 프로그램이 된다면, 프로그램되는 멤리스터의 저항은 낮은 저항 상태(LRS) 혹은 높은 저항 상태(HRS)의 두 가지 컨덕턴스값으로만 상태가 결정되게 된다. 이 경우에 시냅스의 가중치는 +1과 -1의 두 개의 값으로 프로그램이 된다면 이진 신경망(BNN)으로 동작할 수 있다. 또한, 만약에 시냅스의 가중치의 값이 +1, 0, -1의 세 개의 값으로 프로그램이 된다면 삼진 신경망(TNN)으로 동작할 수 있다^[16].

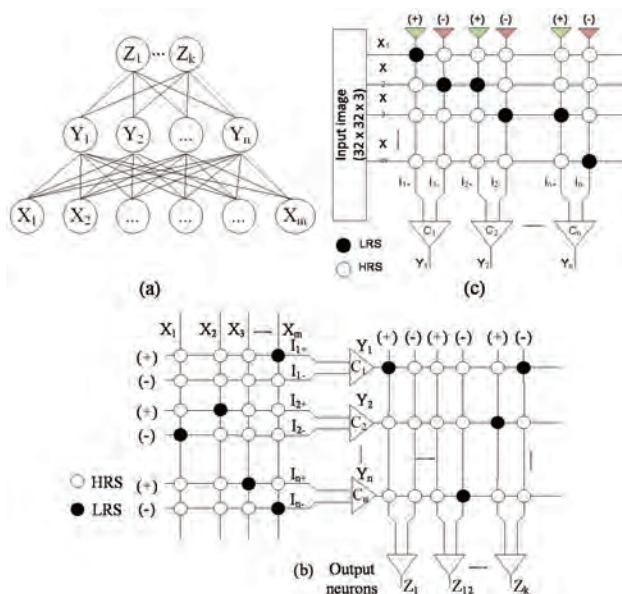
〈그림 3(a)〉은 일반적인 인공신경망(ANN)의 구조를 보여주고 있다. 인공신경망은 입력계층($X_1, \dots, X_m$),

은닉계층 ($Y_1, \dots, Y_n$), 출력계층 ($Z_1, \dots, Z_k$)으로 구성되어 있으며, 계층 간의 연결은 신경망의 가중치를 나타낸다. <그림 3(b)>에서 멤리스터 크로스바 신경망으로 구현시킨 인공신경망을 보여주고 있다^[17]. 신경망의 가중치는 (+)칼럼 및 (-)칼럼으로 이루어져 있는데, 이러한 양과 음의 이진 시냅스 가중치를 모두 나타내기 위해서는 멤리스터 크로스바에 두 개의 칼럼이 필요하다. (+)칼럼과 (-)칼럼 사이의 전류 차이는 크로스바의 뉴런 회로로 들어간다. 일반적으로, 뉴런 회로는 아날로그-디지털 컨버터 (ADC) 또는 감지 증폭기(SA)로 구현될 수 있다. 그림에서 보는 것과 같이 뉴런도 이진화된 뉴런을 사용할 수 있는데, 이진화된 뉴런 함수는 비교기(Comparator)를 사용하여 하드웨어적으로 매우 단순하게 구현될 수도 있다. <그림 3(c)>에서 1T-1R 구조를 갖는 멤리스터 크로스바의 회로를 보여주고 있다. 신경망에서 연산이 수행될 때 MAC 연산이 정확하게 이루어져야 하는데, 멤리스터 크로스바 다양한 non-ideal 특성의 영향에 의해서 신경망의 성능이 저하될 수 있다. 특히 선택 소자가 없는 1R로 이루어진 멤리스터 크로스바의 경우에는 sneak 누설전류의 영향이 매우 크기 때문에 MAC 연산의 정확도

가 매우 저하되게 된다. 하지만 그림의 1T-1R 구조에서는 트랜지스터 혹은 셀렉터를 완전히 off 시켜 멤리스터 누설전류를 전기적으로 차단할 수 있으므로 누설전류를 획기적으로 감소시킬 수 있다^[18].

앞에서 설명한 바와 같이 이진 신경망에서는 -1과 +1의 이진 시냅스 가중치만 사용되고, 삼진 신경망에서는 -1, 0, +1의 세 가지 시냅스 가중치가 사용된다. 크로스바 기반의 신경망에서 음의 가중치를 표현하는 방법에는 다음과 같이 두 가지가 있다. 크로스바의 행의 입력에 양의 값 혹은 음의 값의 입력 전압을 인가하거나, (+) 및 (-)칼럼 두 개를 이용하여 빼기 연산을 수행하는 것이다^[19]. 본 논문에서의 크로스바 기반의 양자화된 신경망 구현에서는 후자의 방식을 택하기로 한다.

인공신경망의 양자화된 가중치를 크로스바 신경망의 프로그램된 LRS, HRS의 컨덕턴스로 구현하기 위해서는 다음과 같은 규칙을 따라야 한다. 크로스바 (+), (-) 열에서 각각의 열의 셀을 HRS-LRS로 프로그램한다면 이는 가중치 -1을 나타내고, LRS-HRS로 프로그램하면 이는 가중치 +1을 나타내고, 각각의 열의 셀을 HRS-HRS로 프로그램한다면 이것은 가중치 0을 나타내게 된다. LRS 멤리스터는 HRS보다 전도성이 더 높아 멤리스터 크로스바의 전력 소모를 증가시키는 원인이 되므로, 각각의 열의 셀을 둘 다, LRS-LRS로 프로그램하지는 않는다^[20]. 위에서 설명한 바와 같이 LRS의 컨덕턴스로 인해서 크로스바의 소비 전류가 증가하지만, 크로스바 신경망의 MAC 연산에서 LRS 멤리스터가 active bit을 나타내고 HRS 멤리스터는 inactive bit으로 사용되기 때문에, LRS 멤리스터가 많을수록 신경망 연산의 정확도는 높아지게 된다. 따라서 크로스바 신경망의 전력 소모를 줄이고 효율성을 높이기 위해서는 LRS 멤리스터의 개수를 최적화해야 한다. 실험 결과 LRS 30%, HRS 70%를 사용했을 때가 크로스바 신경망의 전류 소비와 신경망 연산 정확도의 관점에서 최적의 효율을 얻을 수 있다^[21]. 이진 크로스바 신경망보다 삼진 크로스바 신경망을 사용했을 때 LRS 멤리스터가 더 작게 사용되고, 따라서 이진 크로스바 신경망보다 삼진 크로스바 신경망에서 전력 소모가 적다. 삼진 크로스바 신경망을 사용했을 때 전력 소모가

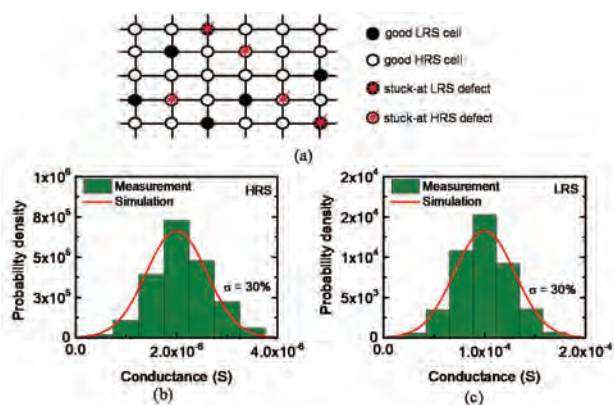


<그림 3> (a) 입력, 은닉, 출력 뉴런을 포함한 인공신경망 블록 다이어그램. (b) 멤리스터 크로스바 신경망으로 구현한 인공신경망^[17]
(c) 1T-1R 멤리스터 크로스바의 회로도^[18]

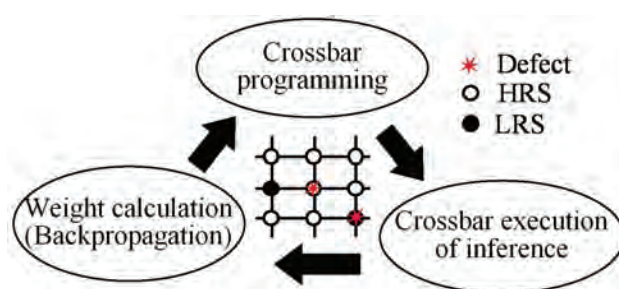
적지만, 성능은 이진 크로스바 신경망과 크게 차이 나지 않으므로 더욱 에너지 효율적이라고 생각할 수 있다.

III. 멤리스터 결함을 고려하는 chip-in-the-loop 학습 방법

멤리스터 공정의 불완전성으로 인해서 대부분의 제작된 멤리스터 크로스바는 non-ideal 특성을 갖게 되는데, 우선 stuck-at-fault 결함과 공정 변이와 같은 non-ideal 특성을 생각할 수 있다. <그림 4(a)>는 결함을 포함하는 멤리스터 크로스바의 도를 보여주고 있다^[22]. 색칠된 원과 색칠되지 않은 원은 각각 LRS와 HRS를 나타내며, 멤리스터 결함은 붉은 별 기호로 표현된다. 멤리스터 크로스바로 구현된 신경망의 학습 및 추론 정확도는 불량률이 있는 셀에 의한 잘못된 뉴런 활성화로 인해 급격히 낮아질 수 있다. 또한 멤리스터 크로스바의 non-ideal 특성으로 멤리스터의 컨덕턴스의 공정 변이가 있다. <그림 4(b)>와 (c)는 측정 및 시뮬레이션에서 얻은 LRS와 HRS의 공정 변이의 통계적 분포를 각각 보여주고 있다. <그림 4(b)> 및 (c)에서 멤리스터 컨덕턴스의 공정 변이의 비율은 30% 정도로 매우 크다. 이러한 non-ideal 특성들은 크로스바 신경망의 성능을 저해시키는 요인이 될 수 있다^[23]. 이러한 성능 저하에 대응하기 위해서 크로스바의 결함과 공정 변이를 고려한 chip-in-the-loop 학습 방법을 생각할 수 있다.



<그림 4> (a) 결함을 갖는 실제 멤리스터 크로스바^[22]
(b) σ 변동의 비율 = 30%인 HRS의 통계적 분포
(c) σ 변동의 비율 = 30%인 LRS의 통계적 분포^[23]



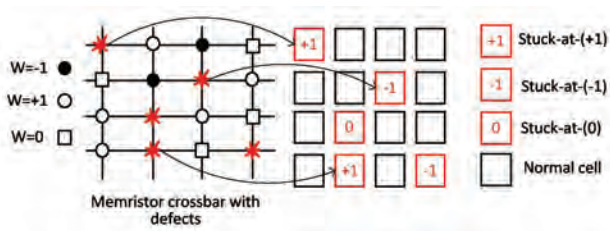
<그림 5> 멤리스터 결함을 고려하여 신경망을 학습시키는 chip-in-the-loop 학습 방법^[25]

chip-in-the-loop 학습은 앞서 설명한 멤리스터 크로스바의 non-ideal 특성들을 효과적으로 고려해서 이러한 non-ideal 특성이 신경망 성능 저하에 영향을 주지 않게 하려고 사용한다. 위의 chip-in-the-loop 학습 방식을 사용함으로써, stuck-at-faults와 같은 멤리스터의 결함과 멤리스터 크로스바를 학습시킬 때 발생하는 process variation에 대한 오류를 보상할 수 있다^[24]. 학습 단계에서 멤리스터 결함을 고려하지 않으면 멤리스터 신경망의 인식률이 크게 열화하기 때문에, 멤리스터 결함을 포함하는 학습 방법이 요구된다. 앞에서 언급한 chip-in-the-loop 학습은 다음과 같이 가중치 계산, 크로스바 프로그래밍, 크로스바 추론 실행의 3단계로 구성되고, <그림 5>에서 이를 보여주고 있다^[25].

IV. Defect-tolerant 학습 방법

1) Synapse-aware defect-tolerant 학습 방법

앞서 말한 chip-in-the-loop 학습방법은 결국 멤리스터 크로스바의 불량 셀의 정보를 미리 측정하여 defect map에 저장해놓고, 이 정보를 이용해서 크로스바 신경망을 학습해서 defect로 인한 신경망의 성능 저하를 최소화하는 것으로 요약할 수 있다. 이렇게 크로스바 신경망의 학습에서 멤리스터 불량 셀을 고려하기 위해서 defect map이 필요한데, 만약에 멤리스터 크로스바의 모든 셀에 대한 defect 정보를 크로스바의 학습에 사용한다면 defect에 대한 보상은 잘되지만 필요한 defect map의 사이즈가 매우 커지는 단점이 있게 된다. 멤리스터 크로스바에서 멤리스터 컨덕턴스는 시냅스 가중치 값에 해당하



〈그림 6〉 결함을 갖는 멤리스터 크로스바를 학습시키기 위한 synapse-aware 학습 방법^[26]

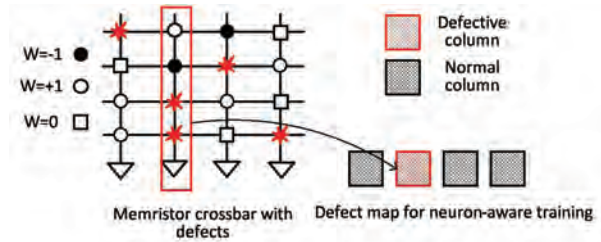
고 모든 멤리스터 셀의 불량 정보를 defect map에 저장하는 방법을 synapse-aware 크로스바 학습 방법이라고 한다. 아래의 〈그림 6〉에서 synapse-aware 크로스바 학습 방법의 개념도를 보여주고 있다.

〈그림 6〉에서 보이는 바와 같이 defect map의 메모리에 불량 셀에 대한 정보가 저장되어 있고, 이는 결함 유형과 결함 위치를 의미한다. 멤리스터 결함을 defect map에 저장하는 synapse-aware 학습 방법에서는 크로스바 신경망의 정확도 저하를 매우 효과적으로 보상할 수 있다. 그러나 학습 과정에서 크로스바 내의 모든 멤리스터 결함 정보와 위치를 저장해야 하기 때문에 추가적인 메모리 회로가 필요하며, 학습 시간 동안 많은 양의 메모리가 사용되어야 한다. 또한, 모든 멤리스터 결함을 하나씩 고려하기 위한 재학습 시간이 매우 길어질 수 있다. Defect map에 의한 추가로 필요한 메모리 오버헤드와 synapse-aware 학습 방법의 긴 재학습 시간은 옛지 인텔리전스 하드웨어에 큰 부담을 줄 수 있다.

Synapse-aware 학습 방법에서는 매우 큰 사이즈의 defect map을 사용하기 때문에 메모리 오버헤드 문제가 발생하는 것을 해결하기 위해서 다음 절에서는 크로스바 신경망의 뉴런의 활성화와 비활성화를 조절해서 defect-tolerant 학습을 수행하는 방법에 대해서 알아보기로 한다^[26].

2) Neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법

본 절에서 소개하는 neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법에서는 앞에서 설명한



〈그림 7〉 결함을 갖는 멤리스터 크로스바를 학습시키기 위한 neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법^[27]

synapse-aware 학습 방법과는 달리, 신경망의 학습 및 추론에서 결함이 있는 칼럼을 비활성화하는 방법을 사용한다. 아래의 〈그림 7〉에서는 어떤 칼럼이 불량 셀을 많이 포함하는 경우에 그것에 해당하는 뉴런을 비활성화해서 그 칼럼에 의해서 크로스바 신경망의 성능이 열화되는 것을 최소화하는 방법을 보여주고 있다. 다시 설명하면, 불량 셀을 많이 갖는 열에 뉴런이 연결된 경우, 그것에 해당하는 뉴런을 '심각한 결함이 있는 칼럼'으로 지칭하고, 그러한 심각한 결함을 갖고 있는 칼럼을 학습 및 추론 과정에서 활성화되지 않게 하면서 신경망을 동작시킨다. 따라서, 신경망의 학습과 추론 중에 결함이 있는 열이 비활성화되면 멤리스터 크로스바 내의 정상 열만 신경망의 작동에 참여할 수 있게 된다. 이를 통해 신경망은 학습과 추론 과정 동안 결함이 있는 열이 신경망의 성능에 영향을 미치는 것을 방지할 수 있다. Neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법을 사용할 때의 defect map의 크기는 synapse-aware 학습 방법에서의 defect map의 크기보다 훨씬 더 작은 메모리를 필요로 하는데, 이는 결함이 있는 열의 위치 정보만을 결함 맵의 메모리에 저장하면 되기 때문이다^[27].

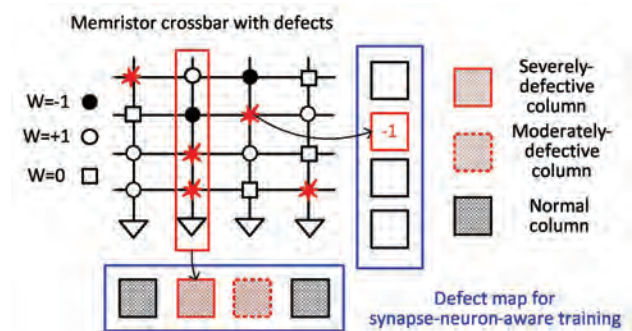
Neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법이 synapse-aware 방법에 비해서 하드웨어 오버헤드는 작지만, 신경망의 성능은 더 떨어지게 된다. 이는 synapse-aware 학습 방법에서 모든 시냅스의 불량 정보를 defect map에 기록하기 때문에 이러한 defect map을 이용하면 매우 정교하게 defect-tolerant 학습을 수행할 수 있어서 더 우수한 신경망 성능을 발휘할 수 있게 만들기 때문이다.

3) Synapse-neuron-aware defect-tolerant 학습 방법

아래의 <그림 8>에서 synapse-neuron-aware 학습 방법의 개념도를 보여주고 있다. 여기에서는 앞에서 언급한 synapse-aware 학습 방법과 neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법을 결합해서 신경망 성능은 최대로 하고 defect map을 위한 메모리 오버헤드는 최소로 할 수 있게 하였다.

아래의 synapse-neuron-aware 학습 방법에서는 칼럼 당 멤리스터 불량 셀의 개수에 따라서 칼럼을 severely defective 칼럼, moderately defective 칼럼, normal 칼럼의 3개의 종류로 구분한다. severely defective 칼럼의 경우에는 불량 셀을 매우 많이 포함하고 있기 때문에 해당 칼럼의 MAC 연산 전류는 제대로 된 값이 나오기 어렵다. 심각한 결함이 있는 칼럼을 자주 활성화하면 신경망 성능이 크게 저하될 수 있기 때문에, severely defective 칼럼에 대해서는 뉴런을 비활성화시켜서 신경망의 동작에 참여할 수 없게 만든다. 두 번째의 그룹의 moderately defective 칼럼의 경우에는 synapse-aware 학습 방법에서와같이 synapse 레벨에서 defect map을 이용해서 불량 셀을 학습 과정에서 보상하게 된다. Synapse-aware 학습 방법에서와같이 defect에 대한 셀 단위의 정교한 보상이 가능하게 되므로 defect에 의한 신경망의 성능 저하를 최소화할 수 있게 된다. 세 번째의 normal 칼럼의 경우에는 모든 셀이 정상이라고 가정하고 크로스바 신경망에 대해서 학습을 수행한다.

다시 요약해서 설명하면, synapse-neuron-aware 학습 방법은 앞에서 설명했던 synapse-aware 학습 방법과 neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법을 결합해서 두 방법의 장점을 합치기 위한 학습 방법으로 생각할 수 있다. 이러한 synapse-aware 학습 방법과 neuron-deactivation에 의한 defect-tolerant 학습 방법의 결합을 통해서 defect map의 크기를 작게 하면서도 크로스바 신경망의 성능 저하를 최소화할 수 있었다. Synapse-neuron-aware 방법은 neuron-deactivation 학습보다 불량에 의한 신경망 성능 저하가



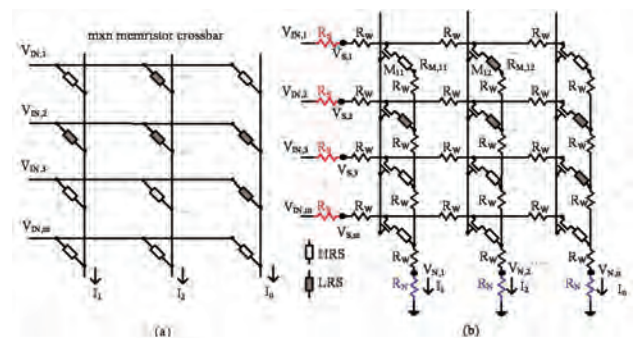
<그림 8> 결함을 갖는 멤리스터 크로스바를 학습시키기 위한 synapse-neuron-aware 학습 방법 [28]

더 작고, synapse-aware 학습 방법보다는 defect map에 의한 메모리 오버헤드가 작다. 즉, synapse-aware 방법과 neuron-deactivation 학습 방법을 함께 결합함으로써 synapse-aware 방법을 사용했을 때보다 하드웨어 부담을 줄일 수 있고, neuron-deactivation 방법을 사용했을 때보다 신경망의 성능을 향상시킬 수 있다 [28].

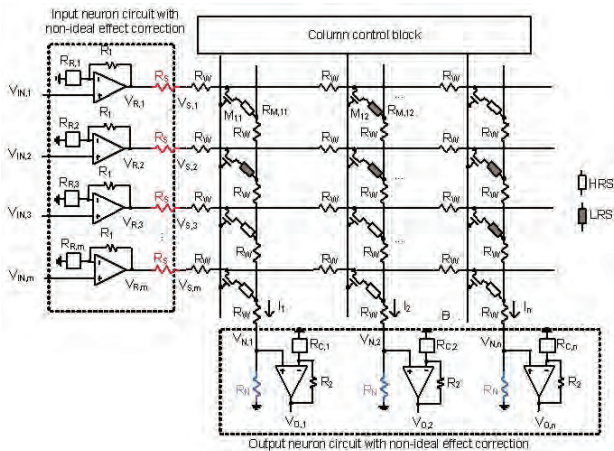
V. 크로스바의 기생 저항 보상 방법

1) 크로스바의 기생 저항 보상 회로

이상적인 크로스바에서는 라인 저항, 출력 뉴런 저항 및 입력 소스 저항과 같은 기생 크로스바 저항을 0으로 가정할 수 있다. 하지만 실제로 제작된 멤리스터 크로스바에는 기생 저항이 존재하기 때문에 이를 고려해야 하며, 이러한 기생 저항에 의해 발생하는 비이상적 효과들을 보상해야 한다. <그림 9(a)>에서 기생 저항이 없는 이



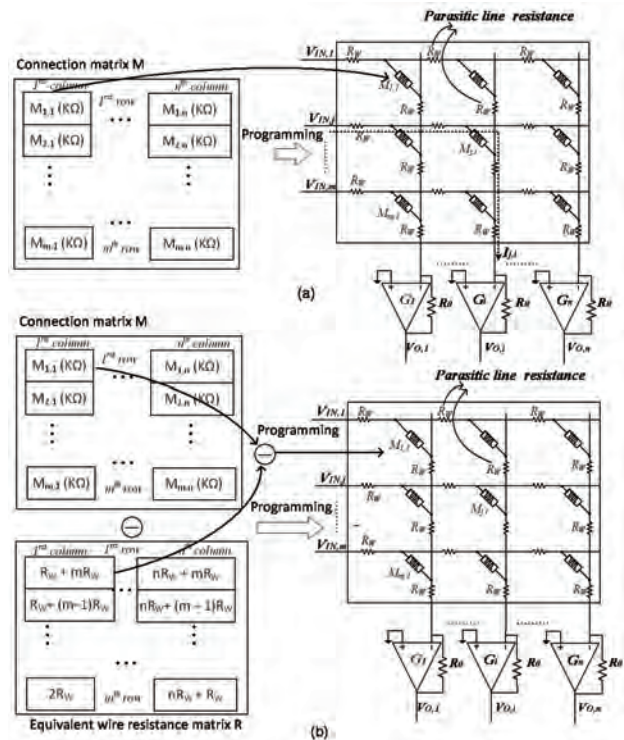
<그림 9> (a) 기생 저항을 갖고 있지 않은 이상적인 멤리스터 크로스바 회로 (b) 입력 소스, 출력 뉴런, 라인 저항과 같은 기생 저항을 갖는 비이상적인 멤리스터 크로스바 회로 [29]



〈그림 10〉 입력 소스 및 출력 뉴런 저항 보상을 위한 멤리스터 크로스바의 회로도 [30]

상적인 멤리스터 크로스바를, 9(b)는 입력 소스, 출력 뉴런, 라인 저항과 같은 기생 저항을 갖는 비이상적인 멤리스터 크로스바를 보여주고 있다. 〈그림 9(a)〉의 이상적인 크로스바와 비교했을 때, 비이상적인 크로스바의 입력 소스, 라인 및 출력 뉴런 저항은 〈그림 9(b)〉의 입력 소스 전압과 출력 뉴런 전류를 변화시켜 신경망의 성능을 저하시킬 수 있다. 〈그림 9(b)〉에서 R_S 및 R_W 로 인해 소스 전압이 저하된다. 크로스바 전류는 R_S 및 R_W 에서 전압 강하를 일으켜 저항을 통과하는 전류의 양에 비례하여 입력 소스 전압을 저하시킬 수 있다. 또한 출력 뉴런 전압은 입력 소스 전압과 유사한 방식으로 R_N 과 R_W 의 영향을 받는다 [29].

위와 같이 기생 저항으로 입력 소스 회로와 출력 뉴런 회로에서 발생한 전압 강하의 문제를 해결하기 위해, 기생 저항 보상 회로를 추가할 수 있다. 〈그림 10〉에서 기생 저항 R_S 및 R_N 보상을 위한 멤리스터 크로스바의 회로도를 보여주고 있다. 〈그림 10〉에서 좌측에 추가된 보정 회로는 입력 소스 전압 손실을 보상한다. $R_{R,m}$ 및 R_1 을 포함하는 앰프는 입력 소스 저항에 걸친 전압 강하에 의해 발생하는 전압의 손실을 보상할 수 있다. 또한, 하단에 추가된 보정 회로는 출력 뉴런 전압 손실을 보상한다. 출력 뉴런 전압은 입력 소스 전압이 저하되는 것과 동일한 방식으로 크로스바 열을 따라 R_N 과 R_W 의 영향을 받을 수 있다. $R_{C,n}$ 및 R_2 를 포함하는 앰프는 출력 뉴런 저



〈그림 11〉 (a) 전통적 프로그래밍 방법
(b) 라인 기생 저항 보정 프로그래밍 방법 [32]

항에 걸친 전압 강하에 의해 발생하는 전압의 손실을 보상할 수 있다. [30].

2) 프로그래밍을 통한 라인 기생 저항 보상 방법

멤리스터 크로스바에서 라인 기생 저항은 두 교차점 사이에 존재할 수 있는데, 라인 저항에 대한 전압 강하의 양은 이론적인 계산 값과 실제 측정값 사이에서 차이를 만들 수 있다. 그렇게 되면, 라인 기생 저항을 갖는 멤리스터 크로스바로 실현되는 신경망의 성능이 이상적인 계산으로부터 저하될 수 있다. 또한, 크로스바의 어레이 크기가 증가함에 따라 라인 저항의 크기가 증가하게 된다. 라인 기생 저항의 영향을 완화하기 위해 출력 뉴런 회로에 보상 회로를 추가할 수 있다 [31].

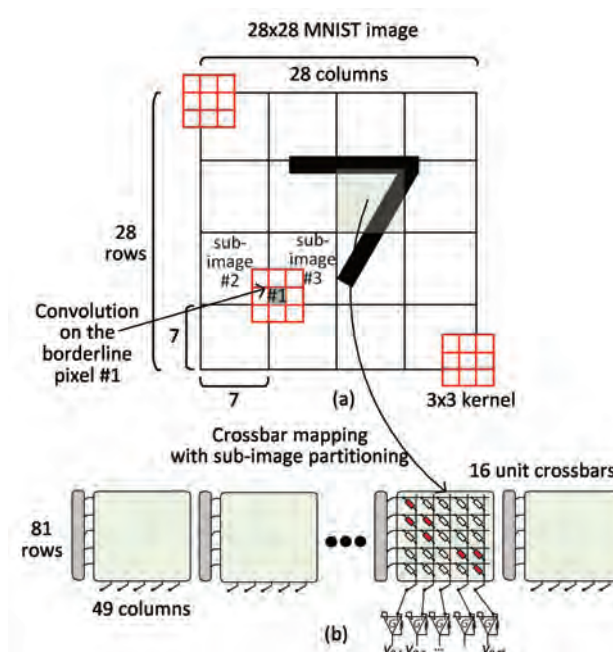
추가적인 보상 회로나 선택 장치를 사용하지 않도록 기생 저항 보상을 할 수 있는 적응형 프로그래밍 방법을 사용할 수 있다. 〈그림 11(a)〉에서 학습된 신경망 가중치가 크로스바 신경망의 멤리스터 셀에 프로그래밍 되는 방법을 보여주고 있다. 라인 기생 저항을 보상하기 위해서는

$M_{j,i}$ 멤리스터 셀이 <그림 11(a)>에 제시된 원래 값보다 작은 목표값으로 프로그래밍 되어야 한다. <그림 11(b)>에서는 라인 기생 저항을 보상하는 프로그래밍 방법의 개념도를 보여주고 있다. 기존 크로스바 신경망 가중치 값과 기생 저항이 포함된 크로스바 신경망 가중치 값을 고려하여 멤리스터 셀 프로그래밍이 수행된다. 라인 저항이 3Ω 일 때까지, 이러한 프로그래밍 방식을 갖는 멤리스터 크로스바는 인식률의 손실 없이 신경망의 성능을 유지할 수 있다^[32].

VI. 크로스바 맵핑 방법

크로스바 신경망을 구현함에 있어 고려해야 할 한 가지 사항은, 라인 기생 저항으로 인한 크로스바 신경망 성능 저하가 발생하므로, 크로스바의 사이즈의 한계가 공정상에서 미리 정해져 있다는 것이다. Full-size의 이미지에 대한 컨볼루션을 크로스바로 수행하기 위해서는 멤리스터 크로스바의 크기가 매우 커야 하는데, 멤리스터 크로스바의 크기가 매우 커지면 크로스바의 끝에서 끝까지의 전체 라인 저항도 매우 커지게 된다. 이 경우 MAC 계산에서의 정확도가 크게 저하될 수 있으므로 라인 저항 문제를 방지하려면 full-size의 이미지를 더 작은 서브 이미지로 분할해서 각각의 이미지를 작은 사이즈의 크로스바에 분할해서 컨볼루션을 수행해야 한다^[33]. 즉, 한계가 있는 단위 사이즈 멤리스터 크로스바로 컨볼루션을 수행하기 위해 전체 이미지 컨볼루션은 여러 개의 서브 이미지 컨볼루션 블록으로 분할되어야 하는 것이다. 각 서브 이미지에 대한 컨볼루션은 각 단위 크로스바에 의해 수행될 수 있으며, 여기서 단위 크로스바의 라인 저항은 전체 이미지 컨볼루션을 수행하는 크로스바의 크기보다는 훨씬 작아질 수 있다. 그렇게 함으로써, 각 서브 이미지에 대한 컨볼루션은 큰 크기의 한 개의 크로스바 대신 여러 개의 유닛 크로스바에 분할 맵핑될 수 있다. 이와 같이 full-size 이미지를 사용하는 대신 서브 이미지로 분할함으로써 크로스바의 라인 저항 문제를 피할 수 있게 된다^[34].

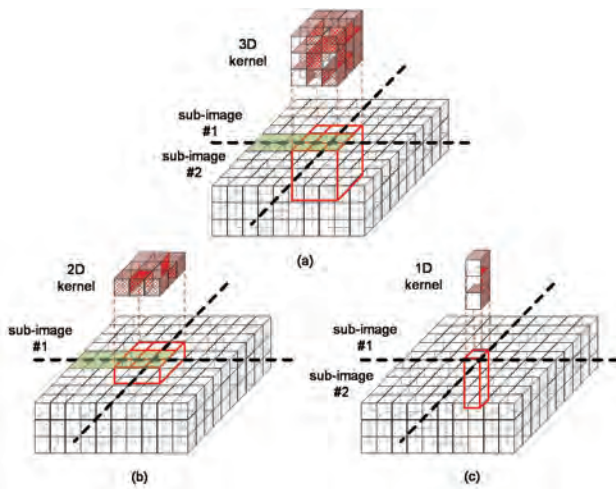
<그림 12(a)>에서 28×28 MNIST 이미지는 16개의 7×7 서브 이미지로 나눌 수 있음을 보여주며, 그렇게



<그림 12> (a)하위 이미지 분할을 이용한 3×3 커널을 가진 28×28 MNIST 이미지의 컨볼루션 (b) 하위 이미지 분할을 이용한 서브 이미지 컨볼루션을 위한 멤리스터 크로스바^[35]

나난 서브 이미지는 <그림 12(b)>에서 나타내고 있다. 전체 이미지 컨볼루션(784×784)과 서브 이미지 컨볼루션(81×49) 사이의 크로스바 크기를 비교하면, 서브 이미지 컨볼루션의 크로스바 크기가 전체 이미지 컨볼루션의 크기보다 ~ 10 배 작을 수 있음을 알 수 있다. 이러한 크로스바의 크기 감소는 라인 저항을 90% 감소시켜 MAC 계산 정확도를 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 서브 이미지 컨볼루션이 작은 크기의 단위 크로스바에 맵핑될 때 크로스바의 행의 개수가 증가하는 문제가 있다. 이는 서브 이미지를 컨볼루션할 때, 서로 인접한 서브 이미지 사이에 중복되는 경계선에 있는 픽셀은 두 개의 컨볼루션 계산에 모두 관여해야 해서, 결과적으로 오버헤드의 중복을 야기하게 된다^[35].

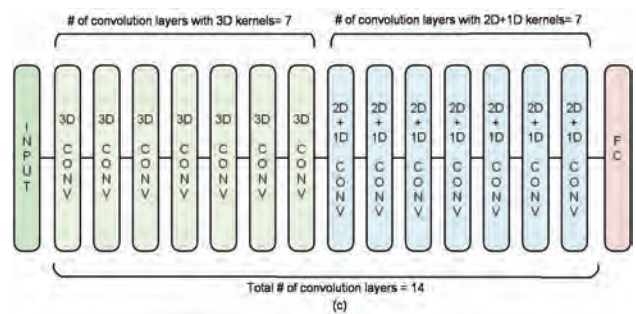
서브 이미지 컨볼루션을 단위 크로스바에 맵핑할 때 발생하는 오버헤드의 문제를 완화하기 위해 3D, 2D 및 1D 커널 구조를 생각해볼 수 있다. 이것은 <그림 13>에서 보는 것과 같이, 커널 구조에 따라서 오버헤드가 다를 수 있기 때문이다. <그림 13(a)–(c)>는 각각 3D, 2D 및 1D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션을 보여준다. <그림



〈그림 13〉 (a) 3D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션
(b) 2D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션
(c) 1D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션 [35]

13(a))에서 나타난 것과 같이, 3D 커널에 의한 중복은 가로 및 세로 방향 모두에서 발생할 수 있는데, 이는 두 이웃 서브 이미지가 가로 및 세로 방향 모두에서 경계선 픽셀을 공유할 수 있기 때문이다. 따라서, 3D 커널에 의한 서브 이미지 컨볼루션은 오버헤드의 중복을 매우 심각하게 증가시킬 수 있다. 〈그림 13(b))에서는 2D 커널로 인한 오버헤드가 가로 방향에서만 발생할 수 있음을 보여주고 있다. 2D 커널을 사용하는 depthwise 컨볼루션은 가로 방향에서만 경계선 픽셀을 공유하기 때문에, 2D 커널의 컨볼루션으로 인한 중복 오버헤드는 3D 커널의 컨볼루션으로 인한 중복 오버헤드보다 훨씬 작을 수 있다. 〈그림 13(c))는 1D 커널이 있는 서브 이미지 컨볼루션에 대해서는 오버헤드가 발생하지 않음을 보여준다. 커널의 가로 차원이 하나의 픽셀만큼 작기 때문에 1D 커널을 사용하는 pointwise 컨볼루션은 두 개의 인접한 하위 이미지 사이에 어떠한 중복도 만들지 않고, 이로 인한 오버헤드는 없다는 것을 알 수 있다 [35-36].

〈그림 13(a)-(c))에서 각 커널을 비교한 결과, 중복 오버헤드의 관점에서 비교하면, 3D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션이 2D 및 1D 커널보다 중복 오버헤드가 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 오버헤드의 중복을 완화하기 위해서는 서브 이미지 컨볼루션을 메모리 크로



〈그림 14〉 총 14개의 컨볼루션 레이어 중 2D + 1D 및 3D 컨볼루션 레이어의 수가 각각 7 및 7인 경우의 컨볼루션 신경망 아키텍처 [36]

스바에 맵핑할 때 3D 커널보다 2D 및 1D 커널을 더 많이 사용하는 것이 좋다.

신경망의 성능과 크로스바의 면적은 서로 trade-off 관계로 생각할 수 있다. 3D 커널이 2D와 1D 커널로 교체됨에 따라 크로스바의 면적을 줄이고 오버헤드의 중복을 완화할 수 있지만, 신경망의 성능은 저하된다. 따라서 3D 커널과 2D+1D 커널의 비율을 적절하게 조정해야 한다. 3D 커널을 사용한 서브 이미지 컨볼루션은 2D + 1D 커널보다 더 나은 인식률을 보여준다. 그러나 단위 크로스바의 수는 3D 커널 대신 2D + 1D 커널을 사용할 때, 더 작을 수 있다. 결론적으로 신경망 성능을 위해서는 3D 커널을 사용하는 것이 좋고 면적 감소를 위해서는 2D + 1D 커널을 사용하는 것이 더 좋다. 이것을 좀 더 분석하기 위해서 아래의 〈그림 14)에서는 3D 커널 레이어와 2D + 1D 커널 레이어를 혼합하여 사용하는 신경망 구조를 생각해 보았다.

〈그림 14)에서 전체 14개의 컨볼루션 레이어 중 2D + 1D 커널 레이어의 개수가 7이고 또한 3D 컨볼루션 레이어의 수가 7이다. 〈그림 14)에서 3D를 50%, 2D+1D를 50%로 사용하게 되면 인식률은 높이면서 크로스바의 면적을 거의 절반으로 줄일 수 있게 된다. 또한, 한 가지 언급할 것은, 인식률을 더 개선하기 위해서 〈그림 14)와 같이 2D + 1D 컨볼루션 레이어가 신경망의 아키텍처의 후단에서 사용되어야 하고, 3D 레이어가 신경망의 전단에서 사용되어야 한다 [33].

VI. 결론

IoT 시대에서 엣지 인텔리전스 기능을 전혀 사용하지 않고 오로지 클라우드 컴퓨팅에만 의존해서 모든 데이터에 대해서 컴퓨팅을 수행한다면 컴퓨팅과 통신의 두 분야에서 엄청난 양의 에너지를 소비해야 한다. 이를 극복하기 위해 엣지 인텔리전스 기능을 사용하는 것이 매우 중요한데, 엣지 인텔리전스 기능을 사용하는 경우에 클라우드로 모든 데이터를 전송하는 것이 아니고, 엣지 기기에서 일정 부분 데이터 추상화 및 압축을 수행해서 줄어드는 양의 정보만을 클라우드로 보낼 수 있으므로 시스템 전체적으로 소비되는 컴퓨팅과 통신 에너지의 부담을 크게 줄일 수 있기 때문이다.

위에서 언급한 엣지 인텔리전스 기능을 엣지 하드웨어에서 구현하기 위해서 멤리스터 크로스바 기반의 인메모리 컴퓨팅 기술을 활용하는 것을 생각할 수 있다. 멤리스터 크로스바는 에너지 효율적으로 읽기 및 쓰기 기능을 수행할 수 있는 비휘발성 메모리이다. 또한, 멤리스터 크로스바를 이용하면, 메모리 기능과 컴퓨팅 기능을 메모리 셀 단위에서 결합할 수 있기 때문에 궁극적인 의미에서의 인메모리 컴퓨팅을 가능하게 할 수 있다. 인메모리 컴퓨팅 기술을 사용할 수 있으면 기존의 폰 노이만 구조의 메모리 액세스 병목현상을 극복해서 컴퓨팅 에너지 소비의 절감을 달성할 수 있게 된다. 특히 엣지 인텔리전스는 컴퓨팅이 매우 에너지 효율적이어야 하는데, 멤리스터 크로스바는 이러한 에너지 효율적인 컴퓨팅을 하드웨어로 구현하는 데에 매우 적합할 것으로 예상할 수 있다. 결론적으로 멤리스터 크로스바로 구현한 신경망은 메모리와 컴퓨팅 기능을 모두 수행할 수 있어 폰 노이만 컴퓨터를 뛰어넘는 저전력 컴퓨팅 아키텍처가 될 수 있을 것이다.

하지만 멤리스터 크로스바를 실제로 하드웨어로 구현했을 때, 멤리스터 셀의 결함이나 기생 저항 등의 다양한 non-ideal effect 관련 문제들이 발생하게 된다. 이러한 문제를 실용적인 관점에서 논의하고 적절한 해결 방법을 제시하기 위해서, 본 기술 동향 논문에서는 먼저 엣지 인텔리전스 하드웨어 구현을 위한 멤리스터 크로스바의 실용적인 응용 기술, 예를 들어 멤리스터 크로스바를 이용

해서 이진과 삼진 신경망을 구현하는 것 등에 대해서 논의하였다. 멤리스터 크로스바는 공정 기술의 문제로 인해서 제작 후에 많은 개수의 불량 셀을 포함하고 있는 문제가 있다. 이러한 불량 셀을 포함하고 있는 멤리스터 크로스바를 신경망에 어떻게 응용할 수 있는지에 관한 문제에 대해서 설명했고 이 문제에 대한 완화 방법에 대해서 설명하였다. 또한 멤리스터 회로의 기생 저항 등의 문제를 회로적, 알고리즘적으로 보상하기 위한 기술, 그리고 실용적인 관점에서의 멤리스터 크로스바의 응용 기술, 예를 들어 임의의 신경망을 멤리스터 크로스바에 맵핑하는 기술 등에 대해서 본 논문에서 설명하였다.

좀 더 구체적으로 본 논문의 2장에서는 멤리스터의 이진 및 삼진 시냅스를 갖는 양자화된 신경망에 대해 설명했다. 3장에서는 멤리스터 결합이 크로스바 신경망의 성능을 저하시키지 않도록 하기 위한 학습 방법을 설명했고, 이어서 4장에서는 멤리스터 크로스바의 성능을 저하시키는 요인 중 하나인 기생 저항을 보정하는 회로 기술에 대해 논의하였다. 또한, 기생 저항으로 인한 크로스바 신경망 성능 저하가 발생하므로, 사용할 수 있는 크로스바의 사이즈의 한계가 정해져 있는데, 5장에서는 신경망을 정해져 있는 사이즈의 단위 멤리스터 크로스바에 효율적으로 맵핑하는 방법에 대해서 설명하였다.

참고 문헌

- [1] Z. Zhou, X. Chen, E. Li, L. Zeng, K. Luo, and J. Zhang, "Edge intelligence: Paving the last mile of artificial intelligence with edge computing," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1738–1762, 2019.
- [2] X. Sun and N. Ansari, "EdgeloT: Mobile Edge Computing for the Internet of Things," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, pp. 22–29, 2016.
- [3] S. Gusev, M. Dustdar, "Going back to the roots ×2014; the evolution of edge computing, an IoT perspective," *IEEE Internet Comput.*, vol. 22, 2018.
- [4] Z. Zhou, X. Chen, E. Li, L. Zeng, K. Luo, and J. Zhang, "Edge intelligence: Paving the last mile of artificial intelligence with edge computing," *Proc. IEEE*, vol. 107, no. 8, pp. 1738–

- 1762, 2019.
- [5] G. Plastiras, M. Terzi, C. Kyrkou, and T. Theodoridis, "Edge intelligence: Challenges and opportunities of near-sensor machine learning applications," *2018 IEEE 29th Int. Conf. Appl. Syst. Archit. Process. (ASAP)*, IEEE, pp. 1–7, 2018.
- [6] A. M. Ghosh and K. Grolinger, "Edge-Cloud Computing for Internet of Things Data Analytics: Embedding Intelligence in the Edge With Deep Learning," *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 17, no. 3, pp. 2191–2200, 2021.
- [7] S. Oh, J. An, and K. Min, "Circuit and Training Techniques Compensating for Non-Ideal Effects in Memristor Neural Networks," in *2022 IEEE 16th International Conference on Solid-State & Integrated Circuit Technology (ICSICT)*, pp. 1–2, 2022.
- [8] S. Deng, H. Zhao, W. Fang, J. Yin, S. Dustdar, and A. Y. Zomaya, "Edge intelligence: the confluence of edge computing and artificial intelligence," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 8, pp. 7457–7469, 2020.
- [9] K. Min, "비휘발성 메모리 크로스바 기반의 Processing-in-Memory 기술 동향 및 전망," *The Magazine of the IEIE*, pp. 2–4 Jun, 2021
- [10] C. D. Wright, P. Hosseini, and J. A. V. Diodado, "Beyond von-Neumann computing with nanoscale phase-change memory devices," *Adv. Funct. Mater.*, vol. 23, no. 18, pp. 2248–2254, 2013.
- [11] K. Min and K. Le, "About Processing -in-Memory Techniques using Non-Volatile Memories," *2022 6th International Conference on Information Technology(InCIT)*, Nov, 2022.
- [12] A. Keshavarzi and W. Van Den Hoek, "Edge intelligence—On the challenging road to a trillion smart connected IoT devices," *IEEE Design & Test* vol. 36,2, pp.41–64, 2019.
- [13] C. Yakopcic, M.-Z. Alom, and T.-M. Taha, "Memristor crossbar deep network implementation based on a Convolutional neural network," *Int. Jt. Conf. Neural Networks*, pp. 963–970, 2016.
- [14] K. Van Pham, S. B. Tran, T. Van Nguyen, and K. Min, "Asymmetrical training scheme of binary-memristor-crossbar-based neural networks for energy-efficient edge-computing nanoscale systems," *Micromachines*, vol. 10, no. 2, p. 141, 2019.
- [15] Y. Kim *et al.*, "Memristor crossbar array for binarized neural networks," *AIP Adv.*, vol. 9, no. 4, p. 45131, 2019.
- [16] T. Van Nguyen, J. An, and K. Min, "Comparative Study on Quantization-Aware Training of Memristor Crossbars for Reducing Inference Power of Neural Networks at The Edge," in *2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2021, pp. 1–6.
- [17] T. Van Nguyen, J. An, S. Oh, S. N. Truong, and K. Min, "Quantization, training, parasitic resistance correction, and programming techniques of memristor-crossbar neural networks for edge intelligence," *Neuromorphic Comput. Eng.*, 2022.
- [18] K. Van Pham, and K. Min, "Non-ideal effects of memristor-CMOS hybrid circuits for realizing multiple-layer neural networks," *IEEE Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS)*, pp. 1–5, 2019.
- [19] T. Van Nguyen, K. Van Pham, and K. Min, "Memristor-CMOS Hybrid Circuit for Temporal-Pooling of Sensory and Hippocampal Responses of Cortical Neurons," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 875, 2019.
- [20] H. Qin, R. Gong, X. Liu, X. Bai, J. Song, and N. Sebe, "Binary neural networks: A survey," *Pattern Recognit.*, vol. 105, p. 107281, 2020.
- [21] T. Van Nguyen, H. Mo, D. Kim, and K. Min, "Training Procedure of Memristor-Crossbar Neural Networks with Ternary Quantization," *Int. Conf. Electron. Information, Commun.*, pp. 4–6, 2020.
- [22] T. Van Nguyen, J. An, S. Oh, and K. Min, "Defect-Resilient Technique of Memristor Crossbar with Large On-Off Ratio for Implementing HTM Spatial Pooler in Near-IoT-Sensor Cognition," in *2021 17th International Workshop on Cellular Nanoscale Networks and their Applications (CNNA)*, 2021.
- [23] K. Van Pham, T. Van Nguyen, and K. Min, "Defect-Tolerant

- Crossbar Training of Memristor Ternary Neural Networks,” in *2019 26th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS)*, 2019, pp. 486–489.
- [24] I. Yeo, M. Chu, S. G. Gi, H. Hwang, and B. G. Lee, “Stuck-at-Fault Tolerant Schemes for Memristor Crossbar Array-Based Neural Networks,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 66, no. 7, pp. 2937–2945, 2019.
- [25] K. Van Pham, T. Van Nguyen, and K. Min, “Defect-Tolerant and Energy-Efficient Training of Multi-Valued and Binary Memristor Crossbars for Near-Sensor Cognitive Computing,” *IEEE 13th International Conference on ASIC (ASICON)*, 2019.
- [26] S. Oh, J. An, and K. Min, “Circuit and Training Techniques Compensating for Non-Ideal Effects in Memristor Neural Networks,” in *2022 IEEE 16th International Conference on Solid-State & Integrated Circuit Technology (ICSICT)*, 2022.
- [27] S. Oh, J. An, and K. Min, “Neuron Deactivation Scheme for Defect-Tolerant Memristor Neural Networks,” *Int. Conf. Mod. Circuits Syst. Technol.*, 2022.
- [28] J. An, S. Oh, T. Van Nguyen, and K. Min, “Synapse-Neuron-Aware Training Scheme of Defect-Tolerant Neural Networks with Defective Memristor Crossbars,” *Micromachines*, vol. 13, no. 2, 2022.
- [29] T. Van Nguyen, J. An, and S. Oh, “Training, Programming, and Correction Techniques of Memristor-Crossbar Neural Networks with Non-Ideal Effects such as Defects, Variation, and Parasitic Resistance,” *Proc. Int. Conf. ASIC*, pp. 1–4, 2021.
- [30] T. Van Nguyen, J. An, and K. Min, “Memristor-CMOS Hybrid Neuron Circuit with Nonideal-Effect Correction Related to Parasitic Resistance for Binary-Memristor-Crossbar Neural Networks,” *Micromachines*, vol. 12, no. 7, p. 791, 2021.
- [31] S. N. Truong, S. J. Ham, and K. Min, “Neuromorphic crossbar circuit with nanoscale filamentary-switching binary memristors for speech recognition,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [32] S. N. Truong, “A parasitic resistance-adapted programming scheme for memristor crossbar-based neuromorphic computing systems,” *Materials*, Dec, 24, 2019.
- [33] Y. Li, Z. Wang, R. Midya, Q. Xia, and J. J. Yang, “Review of memristor devices in neuromorphic computing: materials sciences and device challenges,” *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 51, no. 50, p. 503002, 2018.
- [34] R. Gopalakrishnan, Y. Chua, P. Sun, A. J. Sreejith Kumar, and A. Basu, “HFNet: A CNN Architecture Co-designed for Neuromorphic Hardware With a Crossbar Array of Synapses,” *Front. Neurosci.*, vol. 14, no. October, 2020.
- [35] S. Oh, J. An, and K. Min, “Area-Efficient Mapping of Convolutional Neural Networks to Memristor Crossbars Using Sub-Image Partitioning,” *Micromachines*, 14(2), 309, pp. 8–11, Jan, 2023.
- [36] F. Chollet, “Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions,” *Proc. -30th IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognition, CVPR 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1800–1807, 2017.



윤리나

- 2023년 2월 국민대학교 전자공학과 학사
- 2023년 3월 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 석사과정

〈관심 분야〉

Local-training algorithm, Deep learning, Processing-in-memory



조승명

- 2023년 2월 국민대학교 전자공학과 학사
- 2023년 3월 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 석사과정

〈관심 분야〉

Memristor modeling, Programming scheme of memristor, neuromorphic



민경식

- 1991년 2월 고려대학교 공과대학 전자공학과 학사
- 1993년 2월 KAIST 전기 및 전자공학부 석사
- 1997년 8월 KAIST 전기 및 전자공학부 박사
- 1997년 8월 ~ 2001년 12월 SK하이닉스 선임연구원
- 2001년 12월 ~ 2002년 8월 일본 동경대 연구원
- 2002년 8월 ~ 현재 국민대학교 전자공학부 교수

〈관심 분야〉

Processing-in-memory, neuromorphic, emerging memory



오석진

- 2021년 8월 국민대학교 전자공학과 학사
- 2021년 9월 ~ 현재 국민대학교 전자공학과 석사과정

〈관심 분야〉

Processing-in-memory, neuromorphic, emerging memory

경량화 인공지능경망을 위한 하드웨어 설계

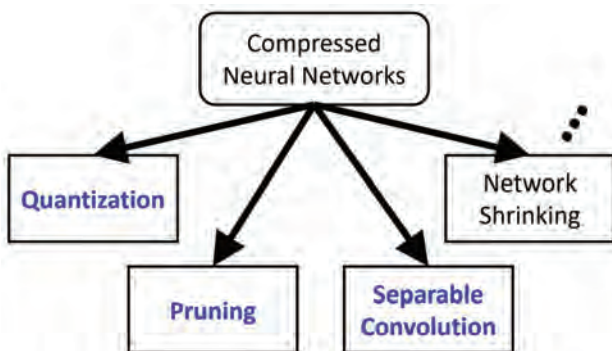
I. 서론

인공지능경망은 컴퓨터 비전, 음성 인식, 번역 등을 비롯한 많은 애플리케이션에서 전례 없는 성능 향상을 보여주고 있기에 큰 인기를 얻고 있다. 이는 일반적으로 수십에서 수백 개 이상의 Layer로 구성되며, 곱셈-덧셈 계산을 지칭하는 MAC (Multiply-accumulate) 연산으로 이루어져 있다. MAC 연산을 효율적으로 수행하기 위해 여러 전용 하드웨어 가속기들이 소개되고 있다. 기본적인 구조는 다수의 MAC 연산기들이 Array 형태로 구성되는 것이며, Array는 행렬 곱 연산을 수행한다. 그러나, 최근 인공지능경망 모델은 많은 연산 횟수와 큰 메모리 용량을 필요로 하고, 이러한 이유로 심지어 전용 하드웨어를 사용하여 연산을 수행하더라도 실시간으로 빠르게 연산하는 것은 어려운 문제로 남고 있다. 그리하여, 많은 연구자들이 이러한 인공지능경망의 복잡도를 줄이는 연구에 매진하고 있다 <그림 1>.

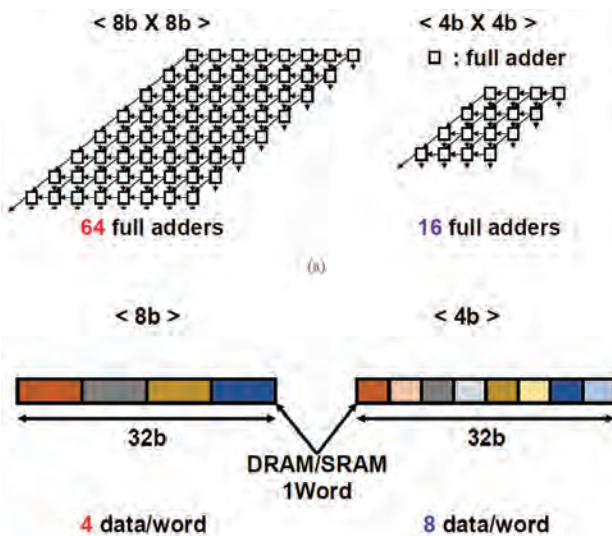
인공지능경망의 복잡도를 줄이는 한 가지 잘 알려진 방법은 Parameter를 이루는 데이터들의 Bit 수를 줄이는 것이다. 이 때 연산복잡도는 Bit 수에 따른 2차식의 형태로 감소하며, 메모리 사용량은 Bit 수에 따른 1차식의 형태로 감소한다. 또한, 다양한 인공지능경망 및 인공지능경망의 세부 Layer 각각에 대해 Parameter들의 다양한 Bit 수를 필요로 하며, 이러한 가변 Bit 기반의 인공지능경망을 기존 하드웨어에서 계산할 때 MAC 연산기를 충분히 활용하지 못하는 문제를 갖는다. 또 다른 방법은 0 값에 가까운 덜 중요한 Weight 값들을 0 값으로 근사화하여 신경망을 압축하는 방법이다. 이 방법 또한 Parameter 수 그 자체로는 크게는 90% 이상의 압축 효율을 보이지만, 기존 하드웨어를 이용한 가속에서는 의미없는 '0에 의한 곱셈'으로 인해 성능 향상을 달성하지 못한다. 마지막으로, Tensor의 분해를 이용하여 Parameter를 근사



류 성 주
서강대학교



〈그림 1〉 경량화 인공지능망의 종류



〈그림 2〉 Quantization에 따른 (a) 연산복잡도 및 (b) 메모리 사용 예시

하는 방법이 있으며, 특히 Convolution 연산의 복잡도를 낮추기 위해 기존 Standard Convolution을 Depthwise Convolution과 Pointwise Convolution으로 분해하여 연산하는 Depthwise Separable Convolution이 하나의 예시이다. 이러한 연산 또한 그 자체로는 매우 낮은 연산복잡도를 보이지만, 기존 하드웨어에서 연산할 때, Feature의 낮은 재사용률로 인해 연산 효율이 크게 감소하는 문제를 갖는다. 본 문헌에서는 앞에서 간략히 소개한 인공지능망의 경량화 방법들에 대해 살펴보고 (II장), 경량화 신경망들을 효율적으로 연산하기 위한 하드웨어 가속기 설계 방법들에 대해 ^[1-3] III장에서 소개한 후에, IV장에서 마무리한다.

II. 경량화 인공지능망

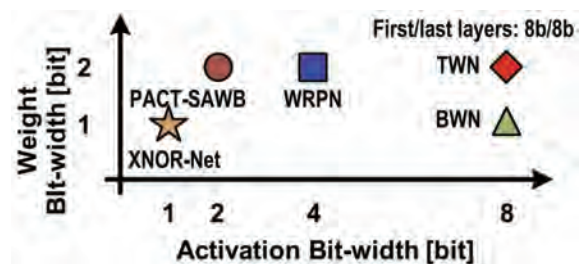
1. Quantized Neural Network

Quantization은 인공지능망을 경량화 하기 위한 하나의 대중적인 접근 방법이다. 〈그림 2〉는 경량화로 인한 연산복잡도 측면에서의 이득을 보여준다. 64개의 Full Adder들이 8-bit 연산을 수행하기 위해 필요한 것을 Baseline으로 가정했을 때, 이를 이루는 8-bit 데이터들을 4-bit으로 더 깊이 Quantize한다면 같은 수의 근사화 된 연산을 수행하기 위해 오직 16개의 Full Adder만 필요한 것을 확인할 수 있다. 따라서, 8-bit 데이터를 이용하여 연산할 때에 비해 4-bit 데이터를 이용할 때, Throughput 및 에너지 효율이 4배 증가한다. 메모리 사용량 측면에서는, 같은 용량의 메모리 Array에 담을 수 있는 데이터의 양이 2배 증가하기 때문에, 8-bit 데이터를 이용할 때에 비해 4-bit 데이터를 이용할 때 2배의 메모리 사용 효율을 보인다.

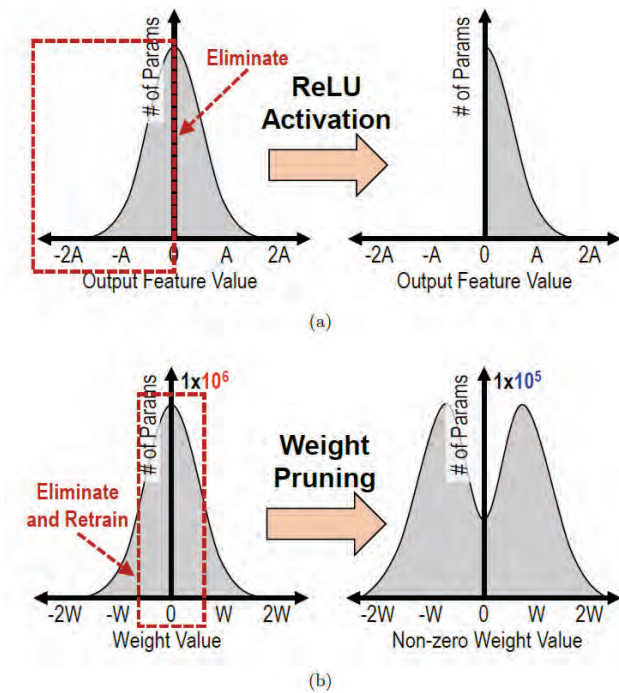
또한, 여러 인공지능망 및 이를 이루는 각 Layer들은 다양한 Bit 수의 요구량을 보인다. 각각에 대해 Bit수에 따른 다양한 정확도 분포를 보이는데, 일반적으로 목표하는 정확도를 제한 조건으로 하여, 각 상황에서 최소한의 Bit 수로 데이터를 표현하도록 학습한다 〈그림 3〉.

2. Sparse Neural Network

인공지능망에서 Weight값들은 보통 0을 중심으로 하여 Gaussian Distribution과 유사한 분포를 갖는다. 이 분포에서 0에 가까운 많은 Weight들을 0으로 근사한 후에 삭제하게 된다면 높은 경량화 효율을 얻을 수 있다 ^[4] 〈그림 4〉. 그러한 Weight Pruning 방법은 Weight들



〈그림 3〉 인공지능망들의 다양한 Bit 수 요구량



〈그림 4〉 Convolutional Neural Network에서 (a) Weight 및 (b) Activation 들에 대한 Sparsity

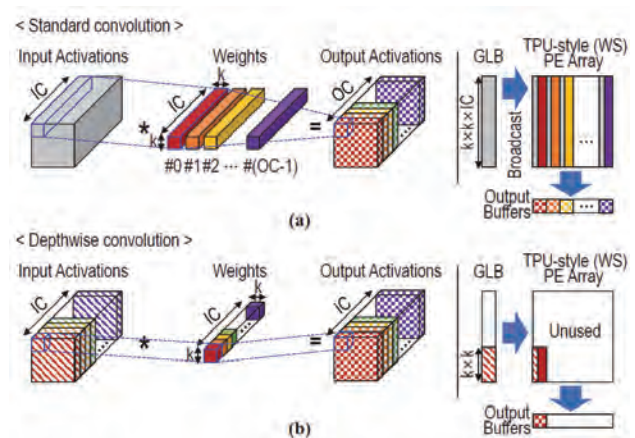
을 Chip 내부로 가져오기 위한 DRAM과 Chip 간의 통신량을 크게 줄일 수 있으며, 기존 모델의 재학습을 거쳐 Weight 근사화로 인한 정확도의 손실을 수% 이내로 최소화 할 수 있다.

한편, Convolution 연산의 Output Feature 연산은 본래 Dense Tensor 형태를 갖는다. 그러나, Convolution 연산에서 일반적으로 ReLU Activation Function을 사용하는데, 이 Function에 입력되는 음수는 모두 0으로 출력하는 특성을 이용하면 거듭된 Convolutional Layer에서 사용되는 Feature들의 절반에 가까운 양은 0으로 표현되기 때문에, 메모리와의 통신량을 줄일 수 있다.

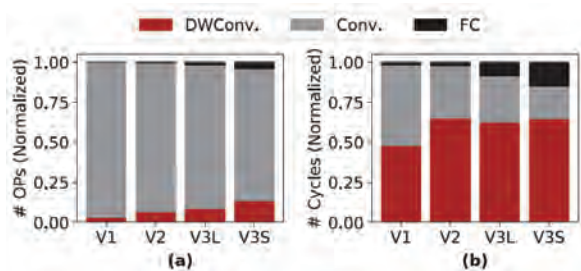
3. MobileNets

Convolution 연산은 영상처리를 비롯한 다양한 인공지능망에서 활발하게 사용되고 있다. Convolutional Layer에서 Input Activation 들은 Weight 들에 의해 Filtering되어 Output Activation 들을 완성한다. 기존의 Standard Convolution 〈그림 5a〉에서는 Convolution Window가 Input Activation 및 Weight들에 대한 모든

Input Channel들을 포함한다. 따라서, 해당 Window에 포함된 Input 및 Weight 짝들은 하나의 Dot Product 연산에 참여하여 하나의 Output Activation을 완성한다. Input Activation들을 복수의 Weight들과 Filtering되어 복수의 Output Channel들을 구성한다 (#0, #1, ..., #(OC-1)). Standard Convolution이 하드웨어 가속기에서 연산될 때에, Input들은 한번만 연산기로 Fetch되며, 이들은 여러 Weight들에 대해 재사용 됨으로써 메모리 접근 횟수를 줄인다. 〈그림 5a〉는 Standard Convolution 연산을 TPU-style의 Weight Stationary Dataflow 기반의 하드웨어에 Mapping한 모습을 보여준다 [5]. Weight Stationary 기반의 Array에서, Weight들은 메모리로부터 PE Array로 Pre-load되며, PE Array의 각 Column은 각 Output Channel에 해당하는 Weight들을 포함한다. 하나의 Input Activation이 여러 Output Channel에 해당하는 Weight들에 의해 Convolve되는 것을 고려할 때, Input들은 PE Array의 모든 Column에 Broadcast하여 사용할 수 있다. 면밀히 말해, Input Activation 값들은 Systolic 방법을 통해 여러 Clock Cycle에 걸쳐 Column들로 전달되며, 각 Column에서는 $k \times k \times IC$ 개의 Input 및 Weight 짝들을 이용하여 하나의 Dot Product 연산을 수행한다. 계산 결과는 Output Activation 혹은 Partial Sum으로 Output Buffer에 저장된다.



〈그림 5〉 (a) Standard Convolution 과 (b) Depthwise Convolution을 TPU-style의 Weight Stationary Dataflow 기반 하드웨어에 Mapping한 예시



〈그림 6〉 MobileNet 연산을 위한 (a) MAC 동작 수 및 기존 하드웨어 동작에서의 연산 Cycle 수

반면, Depthwise Convolution에서는 각 Channel에 해당하는 Activation들이 같은 Channel에 할당된 Weight들에 대해 2차원의 형태로 Convolve되어 같은 Channel의 Output Activation으로 완성된다. 이러한 방법을 볼 때, Depthwise Convolution은 Spatial Domain에서의 Convolutional Reuse를 여전히 수행하는 이점이 있지만, 하나의 Filter를 이용하여 Convolution 연산을 수행하기 때문에, Input Reuse를 수행하지 못한다. 〈그림 5b〉는 Weight Stationary 기반의 PE Array를 이용한 Depthwise Convolution의 Mapping 예시를 보여준다. Input 값들이 여러 Filter들에 의해 Convolve되는 Standard Convolution과 달리, Input Reuse의 성질이 없기에 Input 값들은 오직 하나의 Array Column에만 전달된다. 그리하여, PE Array의 오직 하나의 Column만 연산을 위해 사용되며, 다른 Column들은 사용되지 못한

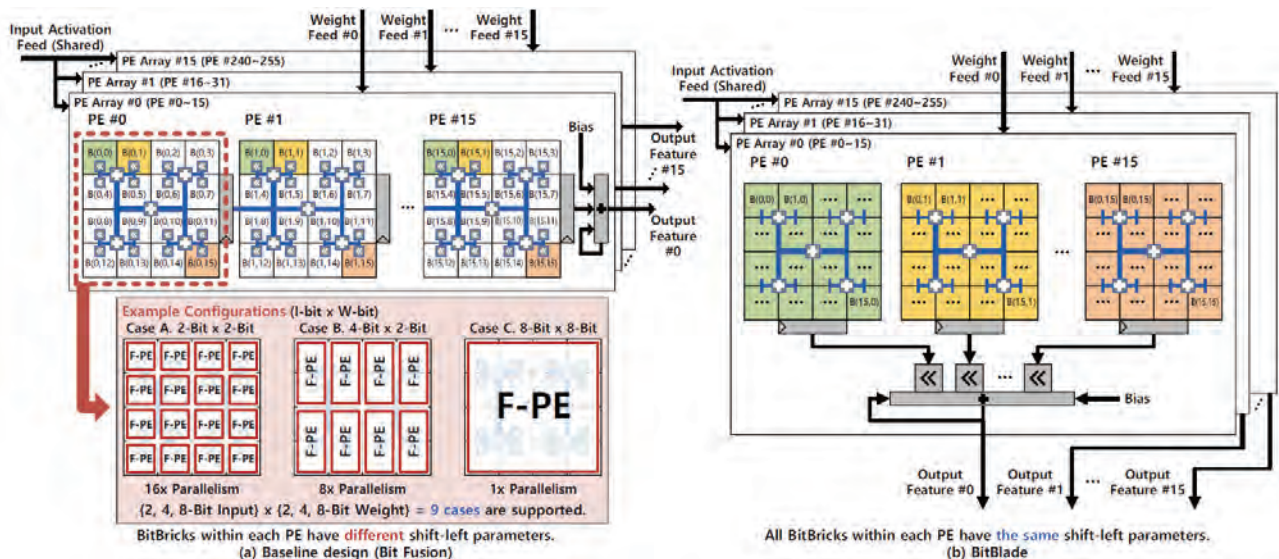
다. 게다가, 하나의 Output Activation을 완성하기 위해, 오직 몇 개의 Input 및 Weight 짝들이 활용되는데, 그 이유는 하나의 Output Channel을 위한 Dot Product 연산에서 단위 Channel에 존재하는 $k \times k$ Input 및 Weight 짝들이 사용되기 때문이다. 따라서, 하나의 Dot Product 연산을 위한 데이터 수는 Standard Convolution 경우에 비해 $IC \times k$ 작으며, 이로 인해 Standard Convolution 경우에 비해 훨씬 작은 수의 연산기만 동작하게 된다.

Depthwise Convolutional Layer는 전체 MAC 연산의 3~13%인 작은 부분을 차지하지만 〈그림 6a〉, 16×16 PE로 구성된 Weight Stationary 기반의 기존 하드웨어^[5]에서 동작시킬 때 48~65%에 해당하는 가장 많은 연산 비율을 차지한다 〈그림 6b〉. 이는 앞서 언급한 Depthwise Convolutional Layer에서 곱셈기의 낮은 Utilization으로 인해 발생한 결과이다.

III. 경량화 인공지능망을 위한 하드웨어 가속화로 설계

1. BitBlade: Quantized Neural Network을 위한 하드웨어 가속기

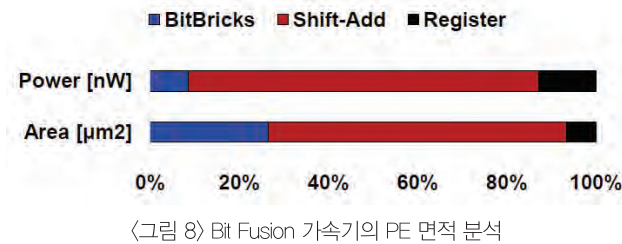
Quantized Neural Network의 효율적인 연산을 위해 다양한 Bit 수를 지원하는 하드웨어 설계에 대한 시도가



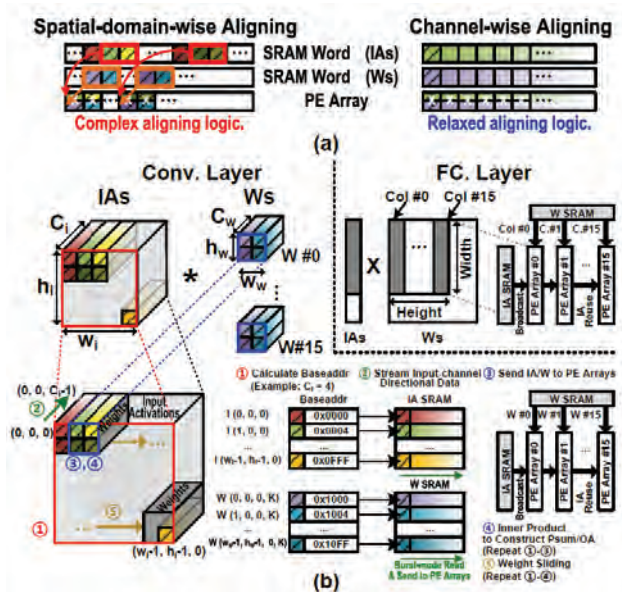
〈그림 7〉 (a) Baseline 가속기 (Bit Fusion) 및 (b) BitBlade 가속기의 대략적인 구조

이루어져오고 있다. 기존 연구 결과들은 1) Input 혹은 Weight 중 하나의 Data에 대한 Bit 수 가변을 지원하지거나, 2) 낮은 Bit 환경에서는 곱셈기의 낮은 Utilization을 보인다. 선행연구결과인 Bit Fusion^[6]은 타겟하는 Bit 수에 무관하게 항상 높은 PE-level Utilization을 보인다. <그림 7a>는 Bit Fusion 가속기의 대략적인 구조를 설명한다. 이 예시에서는 하나의 PE가 16개의 BitBrick이라고 불리는 2-bit 곱셈기를 갖는 형태를 가정하였다. BitBrick들이 2-bit 곱셈 결과를 먼저 완성하고, 이 결과는 타겟하는 Bit 수에 맞춰 Shift-left 연산된다. 이러한 방법으로 Bit Fusion은 다양한 Bit 수를 갖는 연산을 완성하지만, 유동적으로 Shift 연산을 지원하기 위한 Shift-add 회로에 의해 매우 큰 Chip 면적 증가가 발생하게 된다 <그림 8>.

이러한 면적 및 소모 전력 증가를 최소화하기 위해,



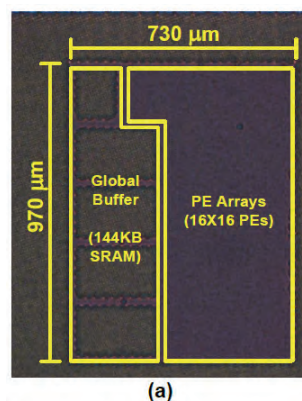
<그림 8> Bit Fusion 가속기의 PE 면적 분석



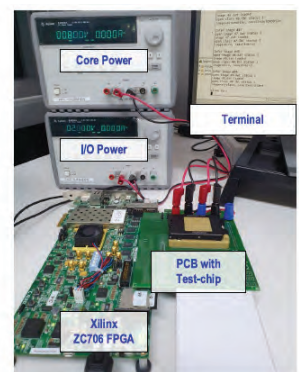
<그림 9> 다양한 Bit 수를 갖는 Data를 메모리 Word에 배치하기 위한 Channel-wise Aligning 방법

BitBlade의 논문에서는 Bitwise Summation 방법을 소개하였다. 기존 Bit Fusion 가속기는 BitBrick마다 가변적인 Bit-shift 연산이 필요하며, BitBrick들의 곱셈 결과들은 PE 내부의 Adder Tree를 이용하여 합산된다 <그림 7a>. 이 때, 다른 PE의 같은 Index에 위치한 BitBrick들은 항상 같은 Bit-shift Parameter를 갖는다. 반면 BitBlade 구조에서는 이렇게 같은 Bit-shift Parameter를 갖는 BitBrick들을 하나의 PE에 위치시켰다 <그림 7b>. Baseline 가속기에서는 BitBrick마다 하나의 Bit-shift 연산기가 배치되는 반면, BitBlade 구조에서는 오직 PE마다 하나의 Bit-shift 연산회로가 배치되기 때문에 회로복잡도가 크게 감소하는 장점이 있다.

Bitwise Summation 방법을 이용하여 가벼운 연산회로를 구성할 수 있지만, 다양한 Bit연산 지원으로 인해 매 Bit 구성마다 서로 다른 개수의 Data가 하나의 메모리 Word에 배치되는 문제가 있다. <그림 9>는 Channel-wise Aligning 방법을 기존 Spatial-domain-wise Aligning 방법과 비교하여 보여준다. 기존 방법에서는 Input 및 Weight값들 중 연속한 Spatial-domain에서 나열된 순으로 하나의 메모리 Word에 위치시킨다. 이러한 상황에서 Dot Product 연산을 위해 데이터를 PE로 보낼 때, 다양한 목표 Bit 수에 맞추어 PE에 정렬할 필요가 있기에 복잡한 Aligning 회로가 필요하다. 반면, Channel-wise Aligning 방법에서는 연속된 Channel 방향에 위치한 Data를 하나의 메모리 Word에 위치시키기 때문에 상대적으로 덜 부담스러운 회로를 이용하여 구



(a)



(b)

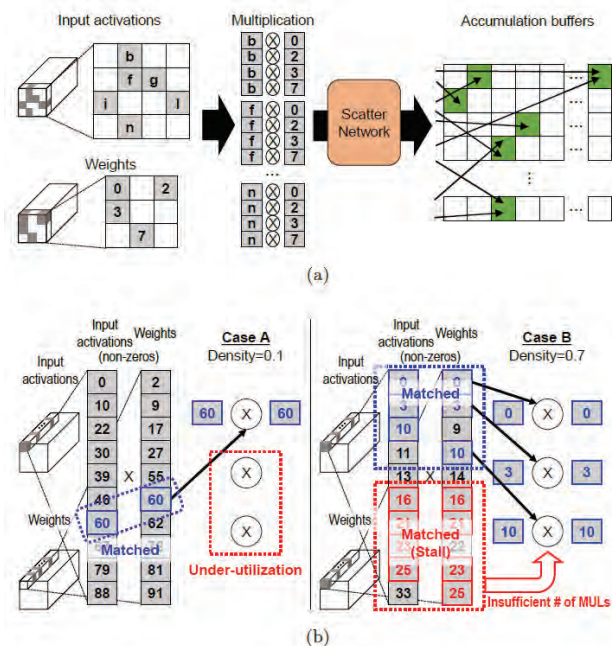
<그림 10> BitBlade Chip 및 실험 구성

성할 수 있다.

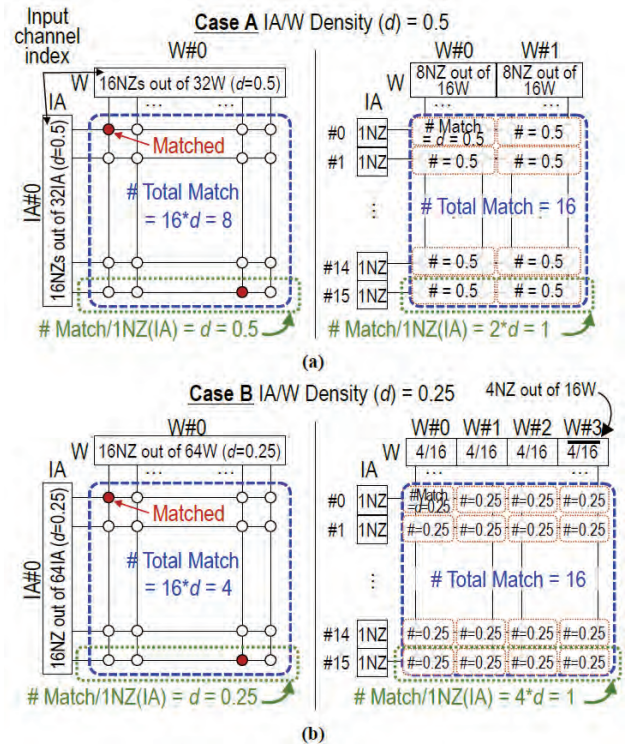
BitBlade 하드웨어는 Chip <그림 10>으로 구현되어 목표하는 Bit 수에 맞추어 인공지능 연산을 수행하도록 제작되었다.

2. SPRITE: Sparse Neural Network을 위한 하드웨어 가속기

Sparse Neural Network은 압축 정도에 따라 많은 수의 Input 혹은/그리고 Weight들이 삭제된 경량화 인공지능망이다. 0값을 압축하는 방법에는 CSC/CSR, COO, BVE, RLE 등이 있으며, Workload의 특성에 따라 이 중 가장 유리한 하나의 방법을 선택한다. 이러한 압축된 Tensor를 하드웨어에서 연산하는 잘 알려진 방법에는 Cartesian-product 및 Inner-product 기반의 하드웨어 연산 방법이 있다 <그림 11>. Cartesian-product 기반의 Tensor 연산 방법은 Non-zero Input 및 Weight값들을 서로 모두 곱한 후에 목표하는 Output Activation의 Index에 맞추어 Accumulation Buffer에 보내진다. 이때, 복수의 곱셈 결과가 같은 SRAM Bank로 보내진다면 한 번의 Clock Cycle에 동작이 수행되지 못하고 Stall



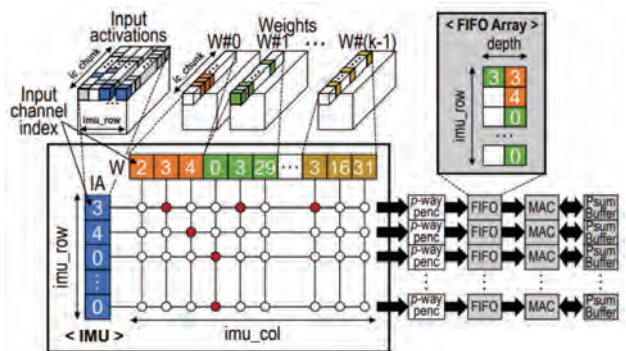
<그림 11> Sparse CNN의 하드웨어 연산 방법:
(a) Cartesian-product 및 (b) Inner-product 기반 방법



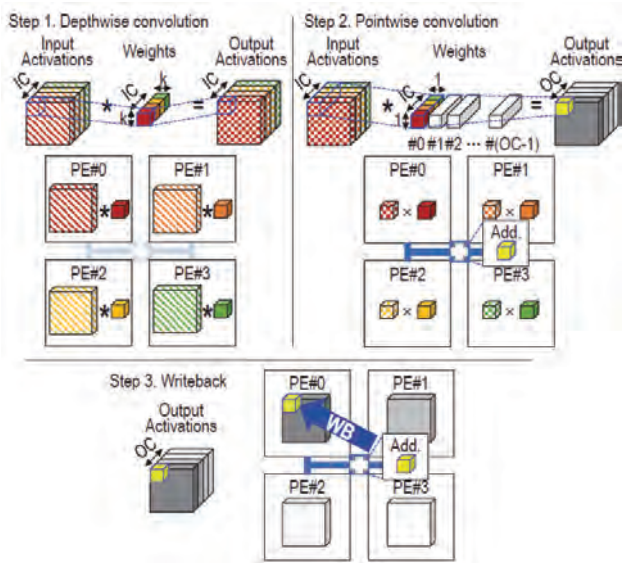
<그림 12> Density에 따른 SPRITE 하드웨어의 Index Matching 예시

이 발생한다. 반면 Inner-product 기반의 Tensor 연산 방법은 앞서 언급한 Backend Traffic의 문제는 발생하지 않지만, Tensor의 Density (혹은 Sparsity)에 따라 곱셈기의 Under-utilization이 발생한다.

앞서 언급한 문제를 해결하기 위해 SPRITE 논문에서는 <그림 12>와 같은 Index Matching 방법을 제안하였다. 기존의 Inner-product 방법은 (왼쪽) Tensor Density의 감소에 따라 Non-zero Input과 Weight의 Matching 확률이 선형적으로 감소함에 반해, SPRITE



<그림 13> SPRITE 하드웨어의 PE Microarchitecture



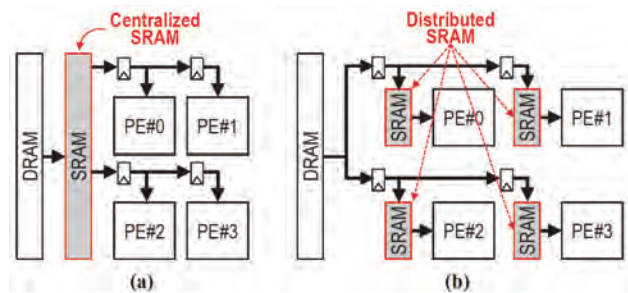
〈그림 14〉 Mobileware 하드웨어의 Channel Stationary Dataflow

논문에서 제안한 Index Matching 방법에서는 Density 감소 경우에 Weight의 복수 Output Channel을 동시에 사용함으로써 평균 Matching 확률을 일정하게 유지하였다 (오른쪽).

〈그림 13〉은 이러한 Matching 방법을 이용한 Index-Matching Unit (IMU)를 포함한 SPRITE 가속기의 PE 구조를 보여준다. 먼저, IMU Buffer에 위치한 Non-zero Index를 비교하여 짝을 찾는다. 이 때, 경우에 따라 여러 개의 짝이 발생할 수 있기 때문에 Multi-way Priority-encoder를 이용하여 찾아 FIFO에 전달한다. 이후, MAC연산 후에 Psum Buffer에 저장되며 Output Activation이 완성될 때까지 이러한 과정은 반복된다. 이러한 방법을 통해 기존의 하드웨어에 비해 일정한 확률의 Non-zero 값들의 Index Matching을 구현할 수 있어 Sparse Neural Network 연산 효율을 극대화 할 수 있다.

3. Mobileware: MobileNet들을 위한 하드웨어 가속기

기존 하드웨어 가속기들은 일반적으로 인공지능경망 연산을 Layer 단위로 수행한다. 이러한 기존 Dataflow를 이용하여 MobileNet 기반의 인공지능경망을 연산하게 된다면, 앞서 설명한 〈그림 5〉의 예시와 같은 곱셈기 Utilization의 저하가 크게 나타난다. 따라서 이러한 문



〈그림 15〉 (a) Centralized SRAM 및 (b) Distributed SRAM 구조를 이용한 Channel Stationary Dataflow의 구현

제를 완화하기 위해 Mobileware 논문에서는 Channel Stationary Dataflow 및 이에 특화된 하드웨어를 제시하였다 〈그림 14〉. Channel Stationary Dataflow의 핵심은 Data를 PE 밖으로 내보내지 않고 연속적으로 연산을 수행한다는 것이다. 각 PE는 각 Channel 연산에 필요한 정보들을 모두 담고 있으며, PE 내부에서 Channel 별 Convolution 연산이 수행된다. Step 1. Depthwise Convolution: Channel 별 Spatial domain에 해당하는 2D Convolution을 수행한다. 이 때, 서로 다른 PE 간에는 통신이 발생하지 않는다. Step 2. Pointwise Convolution: 먼저 각 Channel에 위치한 Input/Weight 짝에 대한 곱셈이 수행된 후에 곱셈결과들은 Inter-PE Adder Tree를 이용하여 모두 더해져 Psum이 완성된다. Step 3. Writeback: 완성된 Psum은 목표하는 Output Channel에 해당하는 PE로 보내진다. Step1-3의 방법을 통해 Depthwise Separable Convolution의 한 Block을 연산할 수 있으며 연속된 시행을 통해 MobileNet 인공지능경망들을 PE Array외부와 통신 없이 연산할 수 있다.

앞서 설명한 Channel Stationary Dataflow 연산을 효율적으로 지원하기 위해 〈그림 15a〉와 같은 기존 방식의 Centralized SRAM 구조 대신 〈그림 15b〉와 같은 Distributed SRAM 구조의 사용이 필요하다. 이 때, 각 SRAM Bank는 PE마다 할당되어 있으며, 이는 각 Channel 연산에 필요한 데이터를 모두 담고있기 때문에 외부와의 통신이 불필요하다. 그러나, 연산에 필요한 Data의 수가 매우 크다면 여전히 DRAM과의 통신이 필요하게 되고, Centralized SRAM을 사용하는 경우와 유사한 성능저하가 발생하게 된다. 그러나, Google의 Edge



TPU와 같은 최신의 모바일 NPU의 경우^[7], 8MB 이상의 매우 큰 On-chip 메모리를 포함하기 때문에 MobileNet 연산을 위한 데이터를 모두 Chip 내부에 저장할 수 있다. 따라서 이러한 방법을 이용하면 MobileNet 종류의 인공 신경망 연산을 효율적으로 하드웨어에서 가속할 수 있다.

IV. 전망과 결론

인공신경망의 성능이 나날이 발전함에 따라 이를 효율적으로 연산하는 전용 하드웨어의 수요 또한 크게 증가하는 추세이다. 행렬 곱 연산 기반의 기본적인 NPU 구조는 기존의 CPU 및 GPU에 비해 충분한 연산 효율을 보여주지만, 계속해서 빠르게 진화하는 여러 인공신경망 연산을 충분히 수행하기 위해서는 이에 최적화된 하드웨어 구조 연구가 뒷받침 되어야 한다. 본 문헌에서는 세 가지 대중적인 인공신경망의 경량화 방법을 뒷받침하기 위한 하드웨어 가속기들에 대해 소개하였으며, 이에 그치지 않고 앞으로 등장하게 될 인공신경망들을 빠르게 쫓아가는 연구가 반드시 필요하다고 판단된다. 이를 위한 연구자들의 끊임 없는 노력과 국가 및 기업들의 연구지원이 더욱 확대되길 기대한다.

참고 문헌

- [1] Sungju Ryu, Hyungjun Kim, Wooseok Yi, Eunhwan Kim, Yulhwa Kim, Taesu Kim, Jae-Joon Kim, "BitBlade: Energy-Efficient Variable Bit-Precision Hardware Accelerator for Quantized Neural Networks." IEEE Journal of Solid-State Circuits 57.6 (2022): 1924–1935.
- [2] Sungju Ryu, Youngtaek Oh, Taesu Kim, Daehyun Ahn, Jae-Joon Kim, "SPRITE: Sparsity-Aware Neural Processing Unit with Constant Probability of Index-Matching." 2021 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE). IEEE, 2021.
- [3] Sungju Ryu, Youngtaek Oh, and Jae-Joon Kim, "MobileWare: A high-performance mobilenet accelerator with channel stationary dataflow." 2021 IEEE/ACM International Conference On Computer Aided Design (ICCAD). IEEE, 2021.
- [4] Song Han, Jeff Pool, John Tran, William Dally. "Learning both weights and connections for efficient neural network." In Advances in neural information processing systems, pages 1135–1143, 2015.
- [5] N. P. Jouppi, C. Young, N. Patil, D. Patterson, G. Agrawal, R. Bajwa, S. Bates, S. Bhatia, N. Boden, A. Borchers et al., "In-datacenter performance analysis of a tensor processing unit," in Proceedings of the 44th Annual International Symposium on Computer Architecture, 2017, pp. 1.12.
- [6] H. Sharma, J. Park, N. Suda, L. Lai, B. Chau, V. Chandra, and H. Esmaeilzadeh, "Bit fusion: Bit-level dynamically composable architecture for accelerating deep neural network," in 2018 ACM/IEEE 45th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA). IEEE, 2018, pp. 764.775.
- [7] GoogleLLC. Edge tpu compiler: Parameter data caching. [Online].
- [8] Sungju Ryu, PhD Dissertation, POSTECH, 2021.



류 성 주

- 2015년 2월 부산대학교 전자전기공학부 학사
- 2021년 2월 POSTECH 창의IT융합공학과 박사
- 2021년 1월 ~ 2021년 8월 삼성종합기술원 연구원
- 2021년 9월 ~ 2023년 2월 숭실대학교 조교수
- 2023년 3월 ~ 현재 서강대학교 조교수

<관심 분야>

디지털회로설계, 인공지능프로세서, 인메모리컴퓨팅

3차원 Point Cloud 데이터 기반 시각 지능화 기술 및 가속기 설계 동향

I. 서론

최근 산업에서 로봇, 자동차, 드론 등의 무인화가 빠르게 진행되면서 완벽에 가까운 정확도(안전성)의 자율주행 기능을 요구하고 있다. 이를 위해서는 카메라 영상으로부터 객체 검출/분류, Motion 및 거리 추정 등을 통해 주행 환경을 인지할 수 있는 ‘시각지능’ 기술의 성능이 매우 중요하다. 또한, 주행 상황에서 즉각적으로 인지/판단하기 위한 ‘초고속’ 구동이 필수적이다.

최근 딥러닝 기술의 비약적인 발전으로 정확도가 대폭 향상되고 NPU(Neural Processing Unit) 설계 및 반도체 구현을 통해 딥러닝 알고리즘의 실시간/저전력 구동이 가능해짐에 따라 자율주행 기능이 실현되기 시작했다. 또한, 더 높은 수준의 자율주행 수준을 실현하기 위해 기존 ADAS와 같은 단일 2차원 카메라 영상 기반 시스템에서 다중 2차원 카메라 기반 시스템으로 확장되고 있다. 테슬라의 경우, ‘Autopilot’ 기능을 위해 8개의 2차원 카메라를 통합했다. 더 나아가, 라이다, 레이더와 같은 3차원 센서/카메라가 저가화됨에 따라 이들의 시스템 적용/통합이 시도되고 있다. 테슬라는 4D 이미징 레이더를 기존 다중 카메라 시스템에 통합 개발 중이며 인텔/모빌아이 또한, 라이다 융합 시스템을 완성차업체(BMW 등)와 협력 개발/적용 및 상용화를 준비 중이다.

3차원 센서의 적용과 함께, 최근 3차원 센서의 출력인 Point Cloud 데이터 입력을 기반으로 하는 시각지능 기술의 연구가 학계를 중심으로 활발하게 진행 중이다. 또한, 이를 고속/저전력 처리하기 위한 가속기 설계 연구가 일부 시도되고 있다.

이와 같은 산업 및 기술적 배경과 함께, 본 논문에서는 ‘3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술 및 가속기 설계 관련 최신 동향’을 분



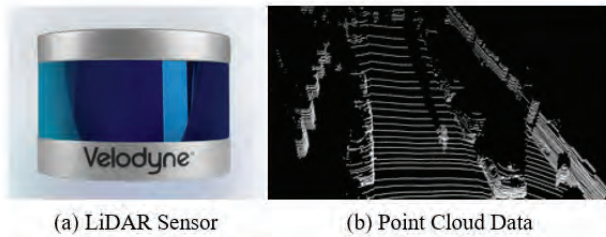
김 경 호
한국전자기술연구원



이 상 설
한국전자기술연구원



장 성 준
한국전자기술연구원



〈그림 1〉 라이다 센서^[1] 및 출력 Point Cloud 데이터^[2]

석/제시하고자 한다. 이에 앞서, 2장에서는 Point Cloud 데이터에 대해 간략히 소개한다.

II. 3차원 Point Cloud

라이다 센서는 레이저를 방출한 후 반사되어 돌아오는 시간 차이(ToF, Time of Flight) 또는 위상 차이(Pulse Phase Difference)를 이용하여 〈그림 1(b)〉와 같이 3차원 Point Cloud를 최종 출력한다.

Point를 표현하기 위해 일반적으로 Cartesian 좌표(x, y, z, γ)를 채택한다. $x/y/z$ 는 3차원 좌표이며 γ 은 reflectance intensity로 물체에 반사되어 돌아온 신호의 강도를 의미한다. Point들의 집합을 〈그림 1(b)〉와 같이 Point Cloud라고 한다. 기존 2차원 영상과 달리, Point Cloud 데이터는 ‘Unordered’, ‘Irregular’, ‘Sparse’ 3가지 특성을 가지고 있다.

Point 출력의 정해진 순서가 없고(Unordered), 불규칙적으로 출력되며(Irregular), 3차원 공간에서 데이터 분포가 Sparse하다. 이로 인해, 딥러닝 처리를 위해서는 모델 설계 시 입력의 정렬 순서에 상관없이 딥러닝 출력이

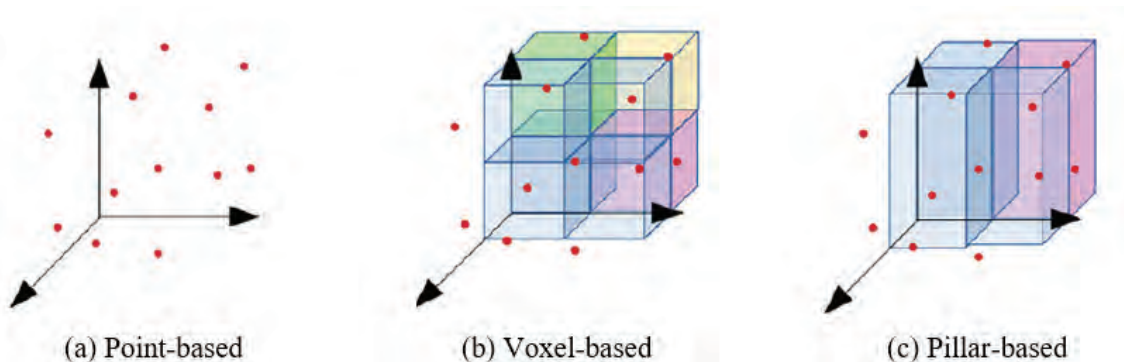
동일하도록(Permutation Invariant) 네트워크를 설계해야 한다.

III. 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술

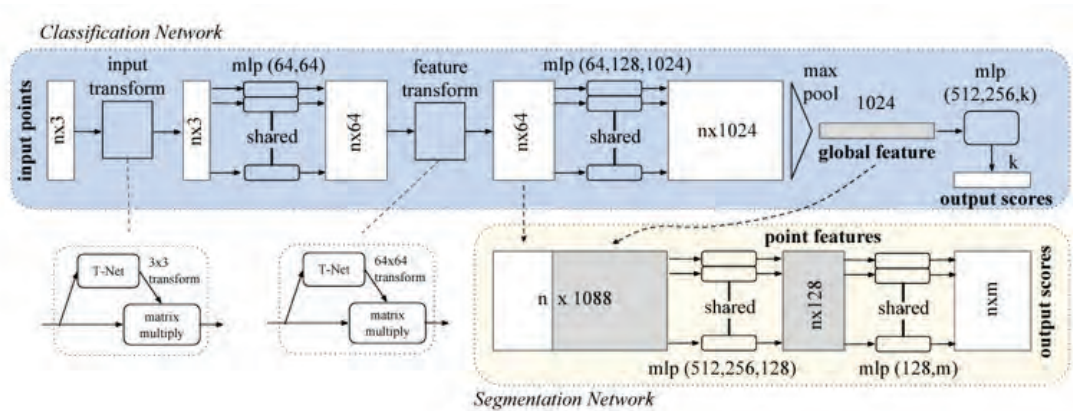
Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술은 데이터의 처리 방식에 따라 크게 다음 세 가지로 분류한다. 첫 번째는, 〈그림 2(a)〉와 같이 Point Cloud 데이터 입력 자체를 별도의 변환 없이 직접 Deep Neural Network(DNN)의 입력으로 사용하는 Point-Based 방식이다. 두 번째는, 3차원 공간에 불규칙하게 분포한 Point들을 〈그림 2(b)〉와 같이 균일한 Voxel(Volume+Pixel) 단위로 묶어 딥러닝 처리를 하는 방식이다. 세 번째는, 〈그림 2(c)〉와 같이 Voxel을 수직 방향으로 통합함으로써 수직 기둥인 Pillar 단위로 처리하는 방식이다. Voxel/ Pillar 방식은 Grid 방식으로 함께 분류되기도 한다.

III-1. Point-Based 딥러닝 방식

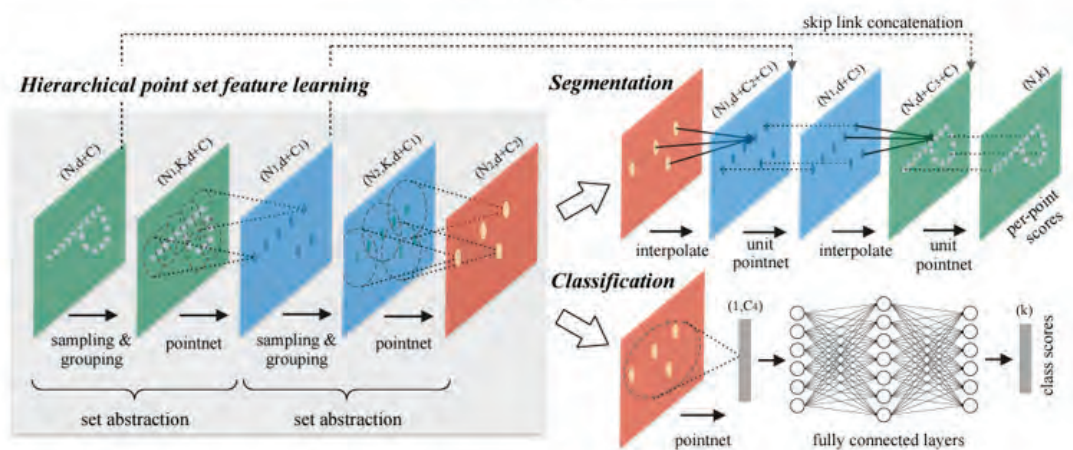
Point 기반 방식의 대표적인 딥러닝 모델은 〈그림 3〉의 PointNet^[4]과 PointNet++^[5]이며 다양한 응용 모델에서 베이스 네트워크로 채택/사용하고 있다. PointNet은 각 Point에 대해 Shared Weight로 MLP(Multi-Layer Perceptron) 연산 후 결과에 대해 Column-wise Max Pooling을 통해 Global Feature를 추출한다. 추출된 Global Feature와 각 Point의 Local Feature를 Concatenation하여 Aggregation을 수행한다.



〈그림 2〉 Point Cloud 데이터의 딥러닝 입력에 따른 분류 ^[3]



(a) PointNet^[4]



(b) PointNet++^[5]

〈그림 3〉 Point-Based 딥러닝 모델: PointNet^[4], PointNet++^[5]

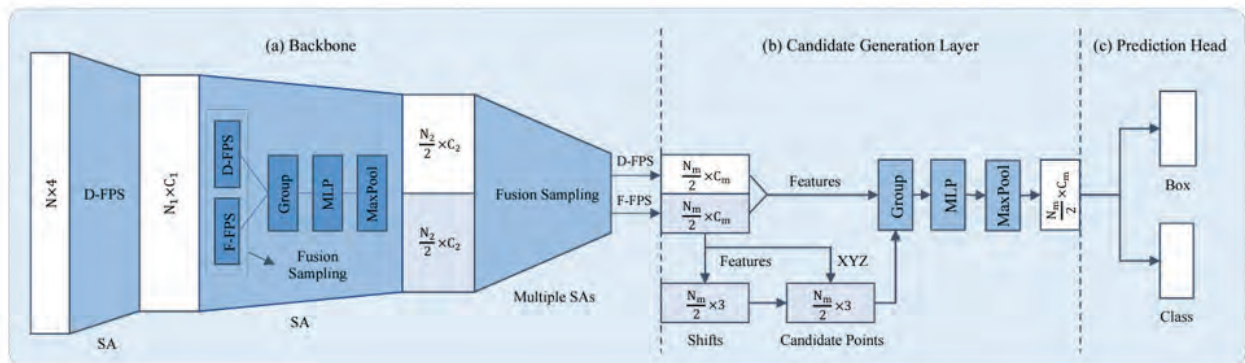
PointNet++은 Point가 존재하는 Local-Scale Feature를 학습하지 못하는 PointNet의 단점을 보완하기 위해 개발한 모델이다. 이를 위해, 입력 Point Set을 Nested Partitioning하고 PointNet을 반복 적용한다. 각 그룹(Region)의 Local-Scale Feature 학습을 위해 작은 PointNet을 적용하는 것이 특징이다. 또한, 3차원 공간에서 Sparse하게 흩어져 있는 Point들의 분포가 균일하지 않기 때문에 발생하는 학습 오차와 결과의 부정확성을 줄이기 위해 Multi-Scale/Resolution Grouping 방식을 제안/적용했다.

이 외에, 3DSSD^[6] 또한 대표적/특징적인 모델로 적용되고 있다. PointNet/PointNet++에서 사용하던 거리(Distance) 기반의 Point Sampling 방식인

D-FPS(Distance-Farthest Point Sampling)에 추가로 Feature의 특성을 고려한 F-FPS (Feature-Farthest Point Sampling) 방법을 새로 제안/적용하였다. 객체(Instance), 즉 Positive Point를 더 보존하고, 배경(background)인 Negative Point를 배제하기 위해 F-FPS 방법이 적용되었다. 또한, D-FPS와 F-FPS를 최적 융합하기 위한 Fusion Sampling 방식을 추가로 제안/적용하였다.

III-2. Voxel-Based 딥러닝 방식

Voxel 기반 딥러닝 방식의 대표 모델로 VoxelNet^[2]이 있다. 〈그림 5〉와 같이, VoxelNet은 크게 Feature Learning Network, Convolution Middle Layer,


<그림 4> Point-Based 딥러닝 모델: 3DSSD^[6]

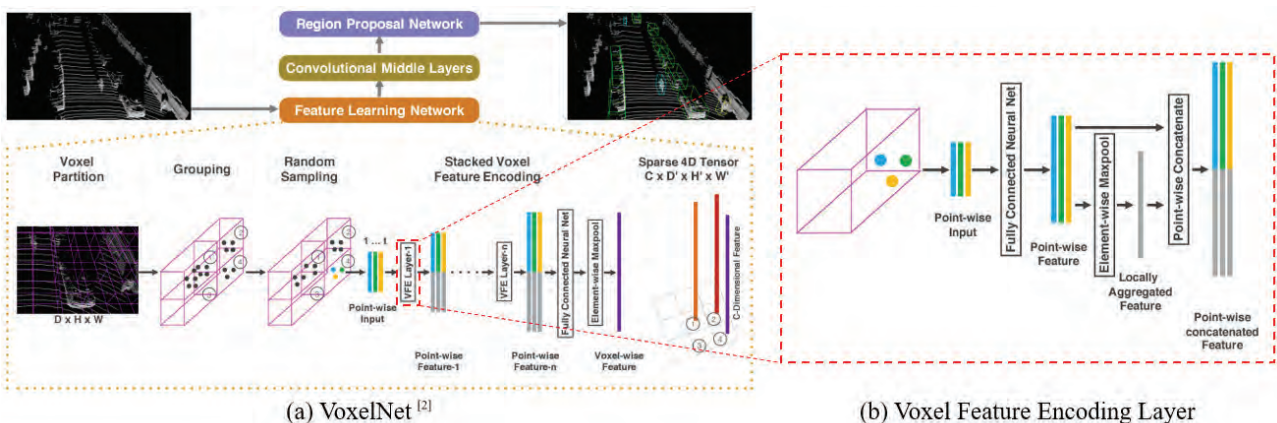
Region Proposal Network으로 구성된다. 각 Voxel의 대표 Feature 추출 시에 Voxel 내 Point들의 상호 작용(Interaction)을 함께 인코딩하기 위해 <그림 5(b)>와 같이 VFE(Voxel Feature Encoding) 레이어를 제안/적용했다. 이로 인해 Point-wise Feature와 Locally Aggregated Feature가 결합 되어 Shape Information에 대한 상세 정보 학습이 가능하다. Convolution Middle Layer에서는 Feature Learning Network에서 추출된 4D Tensor(Voxel-wise Feature)에 대해 3D Convolution을 수행한다. Voxel-wise Feature 들을 합쳐가며 점진적으로 Receptive Field를 넓힘 xt 추가가 가능하다. 하지만, 이로 인해 복잡도가 증가하고 처리 속도가 느린 단점이 있다. Convolution 연산은 기본적으로 2차원 영상과 같이 고밀도 구조(Dense Structure)를 가정한 학습으로 3차원 Point Cloud 데이터와 같이 Sparse

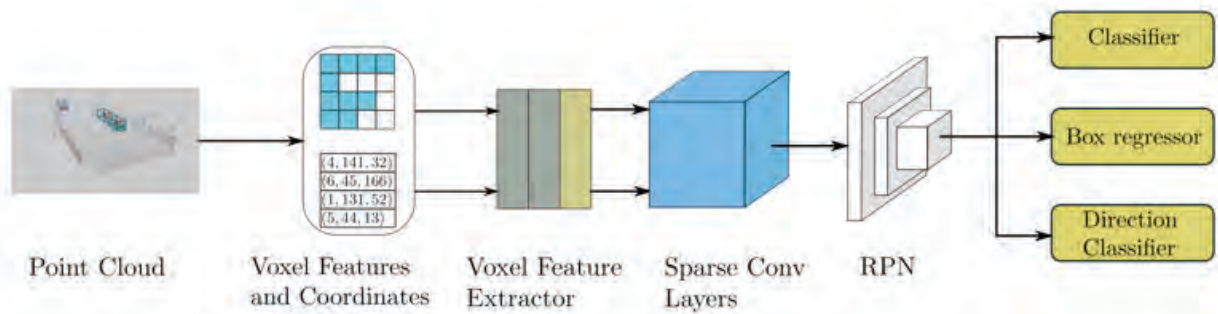
한 경우 리소스 낭비가 심하고 빈 공간에서 잘못된 학습으로 성능 저하를 초래할 가능성이 있다.

SECOND^[7] 모델은 유의미한 Voxel에 대해서만 Convolution을 적용하는 Sparse Convolution 방식으로 새로 적용하여 처리 속도를 약 4배 개선했다. 해당 방식은 Point Cloud 데이터의 Sparse한 특성에 기반하여 90% 이상의 Voxel이 Point가 존재하지 않는 점을 이용했다.

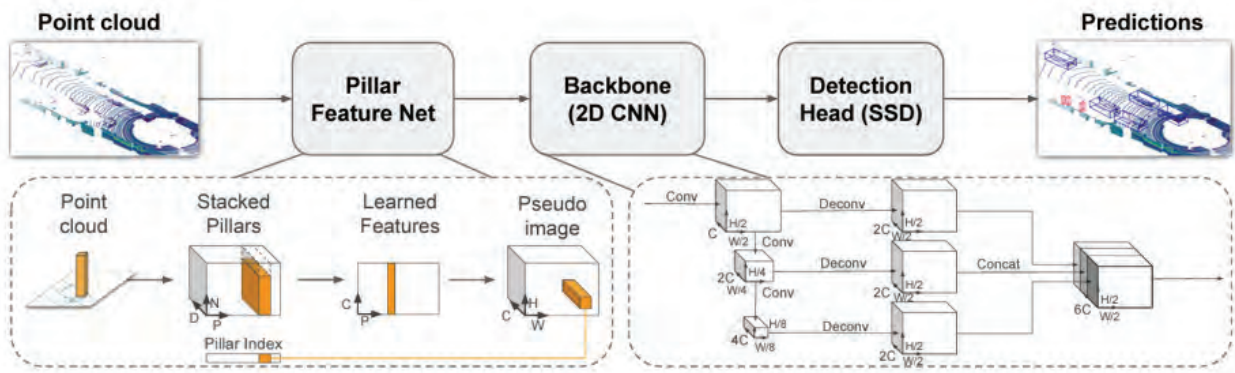
III-3. Pillar-Based 딥러닝 방식

PointPillars^[8]는 엔비디아 SDK에 포함된 Pillar 기반 딥러닝 방식의 대표 모델이다. Voxel 방식 대비, Voxel을 수직 방향으로 하나로 묶은 기둥(Pillar) 단위로 처리하기 때문에 고속 구동할 수 있는 장점이 있다. Pillar 단위 Feature 인코딩 처리로 인해 2차원 Pseudo Image를 생


<그림 5> Voxel-Based 딥러닝 모델: VoxelNet^[2]



〈그림 6〉 Voxel-Based 딥러닝 모델: SECOND^[7]



〈그림 7〉 Pillar-Based 딥러닝 모델: PointPillars^[8]

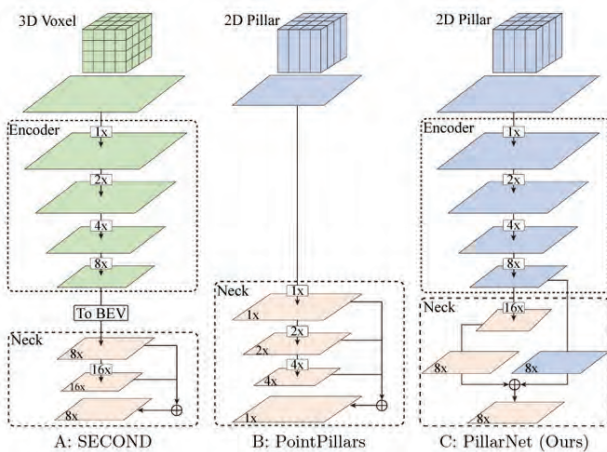
성하고 결과적으로 VoxelNet에서의 3D Convolution을 2D Convolution으로 대체할 수 있다. 하지만, 빠른 속도 대비 정확도가 비교적 낮은 단점이 있다.

PointPillars의 정확도를 향상하기 위해 개발된 PillarNet^[9] 모델은 〈그림 8〉과 같이 학습의 심도를 높

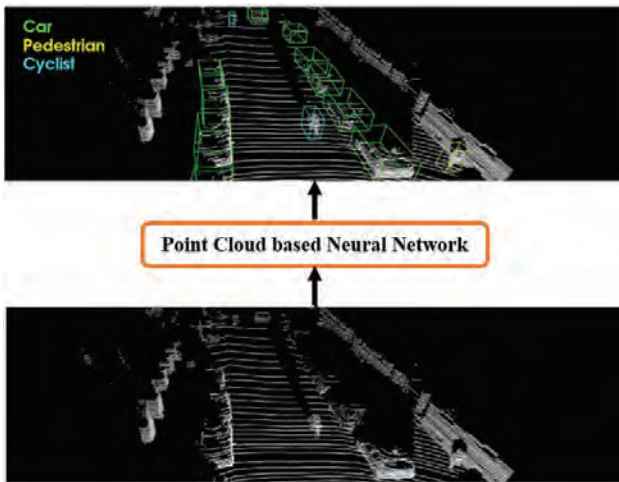
이기 위해 2D Pseudo Image와 Neck 사이에 인코더를 추가 구성하여 정확도를 개선했다. 비교적 단순한 VGGNet^[10], ResNet^[11]을 인코더로 사용하여 높은 정확도를 달성했으며 2D Sparse Convolution을 동시에 적용함으로 처리 속도 또한 추가 개선했다. Neck 부분 또한 $16 \times$ Down-sampled Dense Feature Map 적용을 추가하여 Receptive Field를 확대하고 Feature Pyramid Network를 기반으로 상위 수준의 추상화된 의미론적 특징과 하위 수준의 구체적인 공간적 특징을 융합했다. 또한, Sparse한 특성을 갖는 Point Cloud 데이터에 최적화한 Neck 구조 설계를 위해 인코더 최종 레이어의 Sparse한 Output Feature와 Neck의 첫 번째 레이어의 Dense한 Feature의 Aggregation하는 구조를 제안/적용했다.

III-4. 3차원 객체 검출 응용

Point Cloud 데이터 기반 시각지능 기술은 크게 객체 분류(Classification), 객체 검출(Detection), 영상 분할(Segmentation)의 3가지 응용^[2-9, 12-18]을 목적으로 연구



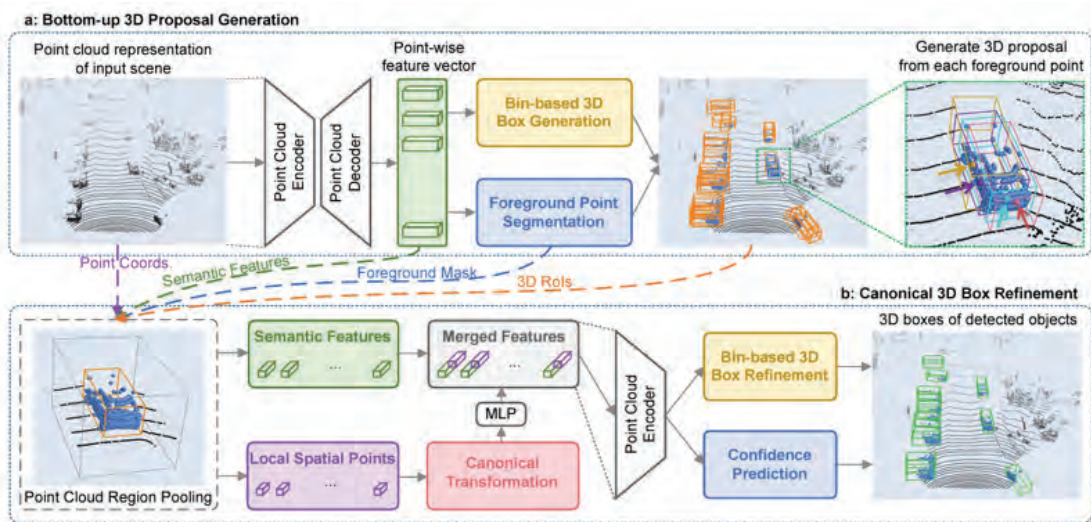
〈그림 8〉 Pillar-Based 딥러닝 모델: PillarNet^[9]



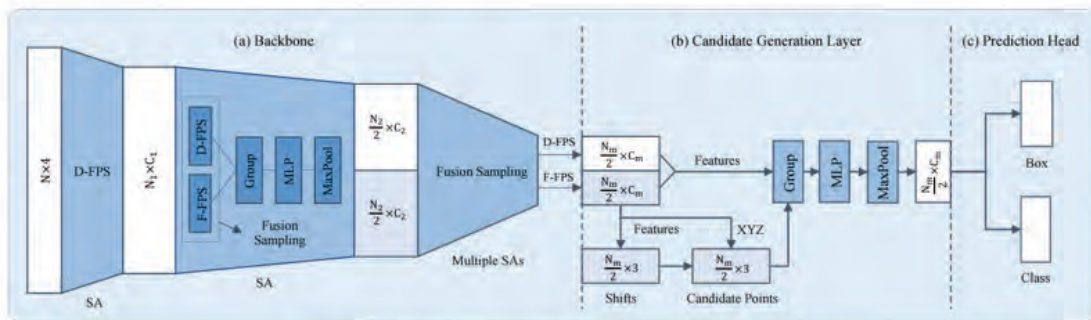
〈그림 9〉 3D Point Cloud 딥러닝을 이용한 객체 탐지 및 분류 (자동차, 보행자, 사이클리스트) [2]

되고 있다. 또한, 다양한 벤치마크를 통해 경쟁하고 있다. 〈그림 9〉는 자율주행 응용을 타겟으로 하는 ‘KITTI’ 벤치마크에서의 3개 객체(Pedestrian/Vehicle/Cyclist)에 대한 3차원 검출 결과이다. 해당 벤치마크는 전통적으로 2차원 영상 데이터베이스는 물론, 〈그림 9〉와 같이 라이다로 획득/가공한 3차원 객체에 대한 Ground Truth 및 학습/평가 데이터베이스를 제공한다. 2차원 검출 대비, 객체의 거리 및 3차원 형태를 추출할 수 있고 이를 기반으로 다양한 2차 정보(이동 방향, 속도 등)를 추출할 수 있는 장점이 있어 자율주행 기술에 있어 매우 중요한 정보(입력)이다.

Point Cloud 기반 객체 검출을 위한 DNN은 크게 ‘2-Stage Detector’와 ‘Single-Stage Detector’로 연구

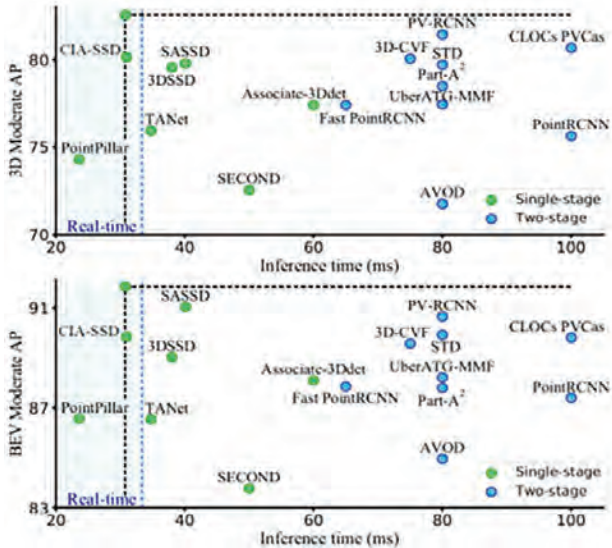


(a) 2-Stage Detector (PointRCNN) [12]



(b) Single-Stage Detector (3DSSD) [6]

〈그림 10〉 2-Stage Detector와 Single-Stage Detector 예시



〈그림 11〉 최신 3D Point Cloud 딥러닝 네트워크 성능 비교 (KITTI test set) [18]

개발 되어 왔다. 연구 초기에는 2-Stage Detector^[12-14] 개발이 주로 진행되었다. 〈그림 10(a)〉와 같이, 첫 번째 단계의 DNN은 객체의 Region 및 3차원 Bounding Box를 제안(Proposal) 하기 위해 구성한다. Point Cloud 데이터를 추상화(Set Abstraction) 및 특징 추출하여 다음 레이어로 전달(Feature Propagation)한 후, 최종으로 3차원 RPN(Region Proposal Network)을 통과한 후 객체의 위치가 제안된다. 두 번째 단계의 DNN은 첫 번째 DNN에서 얻은 결과의 정제(Refinement) 과정을 통해 최종적으로 객체의 검출/분류가 진행된다. 2-Stage Detector는 높은 검출 정확도를 얻을 수 있지만 두 단계의 DNN으로 구성되어 있어 복잡도가 높아 처리 속도가 느린 단점이 있다.

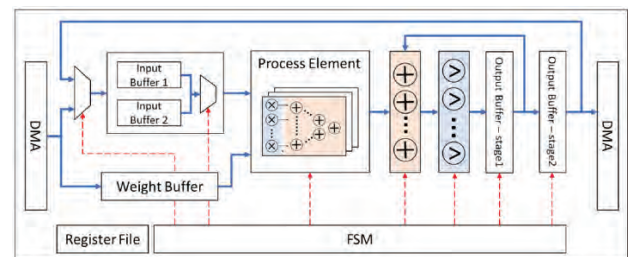
2-Stage Detector 대비, Single-Stage Detector는 〈그림 10(b)〉와 같이 단순한 구조적 장점으로 인해 처리 속도가 빠르다. 객체의 위치(Bounding Box)와 분류에 대한 신뢰도(Confidence)가 입력 Point Cloud 데이터로부터 하나의 Stage에서 바로 계산되어 출력된다. 또한, 〈그림 11〉와 같이 최근 2-Stage Detector 대비 낮은 정확도를 개선하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다.^[16-18]

IV. 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 연산 가속기 설계

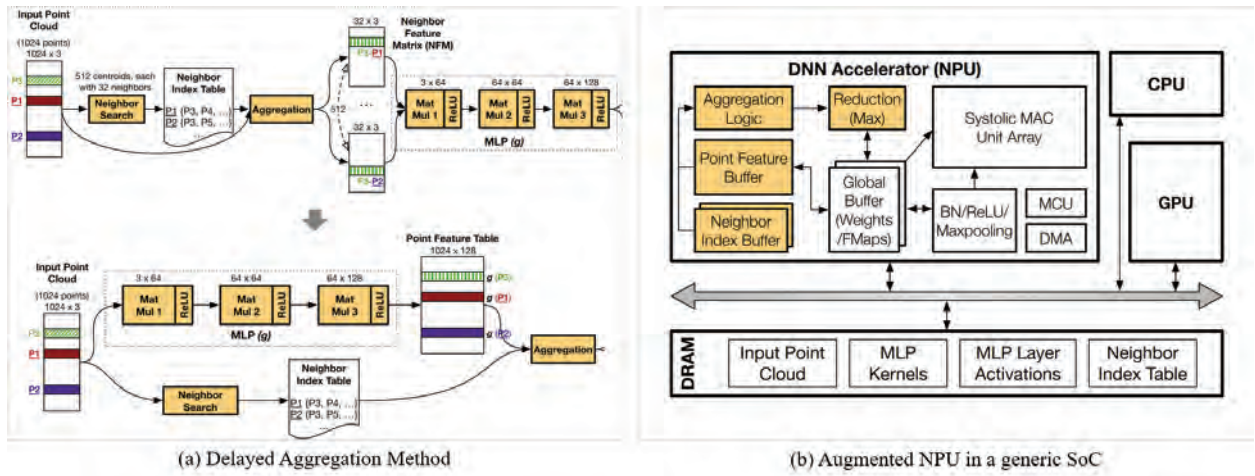
서론에서 언급하였듯이 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술이 무인자동차의 자율주행 시스템에 적용되기 위해서는 고속(실시간) 동작이 필수적이다. GPU를 사용하여 이를 구현하는 것은 막대한 전력이 소모되기 때문에 NPU와 같은 전용 가속 엔진 개발 및 반도체 구현이 필요하다. 최근 대학을 중심으로 가속기 개발이 시도되고 있다.

우스터 공대에서 〈그림 12〉와 같은 구조의 PointNet 가속기^[19]를 FPGA를 기반으로 개발했다. Matrix Multiplication에서의 특정 Loop을 Unrolling 처리하여 가속기의 Throughput을 높이고 Input Buffer와 Weight Buffer에 Double Buffering을 적용하여 Processing Throughput과 데이터 통신 포트 간의 대역폭 불균형을 완화했다. 또한, 2-Stage Output Buffer를 제안/구현하여 Matrix Multiplication에서 발생하는 Partial Sum을 위해 첫 번째 Stage를 두고, 최종 결과 값을 저장하고 이를 DMA를 통해 DDR 메모리로 전송하기 위해 두 번째 Stage를 두었다. 이를 통해 Partial Sum의 누적과 DDR 메모리로의 데이터 전송을 동시에 수행할 수 있도록 설계했다. 라이더를 FPGA 내에 PS(Processing System) 및 가속기와 연동하여 시스템을 구현/검증했다.

우스터 공대에서 제안한 가속기가 PointNet 전용인 것과 달리, 로체스터 대학교와 MIT에서는 다양한 모델의 구동을 위한 범용 가속기를 설계했다. 로체스터 대학의 Mesorasi 가속기^[20]는 GPU/NPU와 연동하여 여러 모



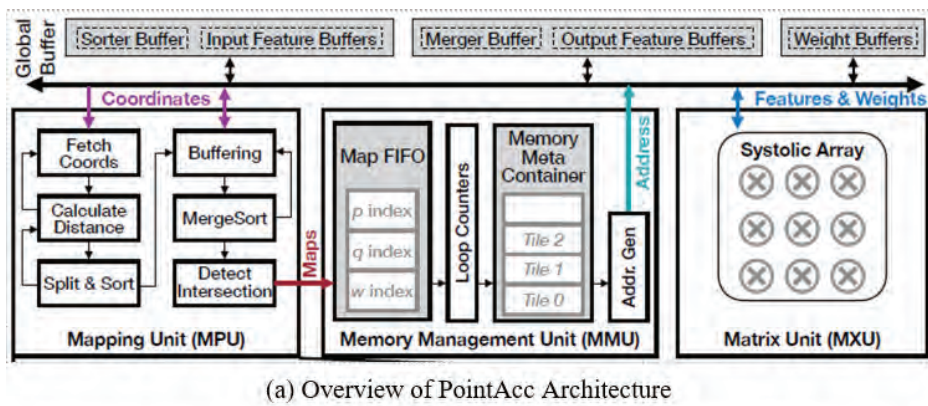
〈그림 12〉 우스터 공대에서 설계한 Point Cloud 딥러닝 가속기 (ISCAS 발표) [19]



〈그림 13〉 로체스터 대학에서 설계한 Point Cloud 딥러닝 가속기 (MICRO 발표) [20]

델을 구동할 수 있는 SoC를 설계했다. 또한, Neighbor Search, Aggregation, Feature Computation 순서로 처리되는 기존 방식에서 Feature Computation을 선 수행할 수 있는 점을 이용하여 Feature Computation

과 Aggregation을 NPU/GPU에서 병렬 처리한 후 Aggregation을 수행하는 ‘Delayed Aggregation’ 방식을 새로 제안하고 가속 유닛으로 구현하여 SoC에 통합했다. MIT에서 설계한 ‘PointAcc’^[21]은 알고리즘의 전 부분



〈그림 14〉 로체스터 대학에서 설계한 Point Cloud 딥러닝 가속기 (MICRO 발표) [21]

을 가속기로 설계했다. 특히 다양한 Mapping 기능을 제공하기 위해 Ranking 기반 Compute Kernel을 이용하여 Kenrel Mapping, Farthest Point Sampling, K-Nearest Neighbor, Ball Query와 같은 다양한 Mapping 알고리즘을 통합했다. 또한, Configurable Caching Control 방식을 제안하여 동일한 Input Point Feature의 반복적인 참조에 의한 외부 메모리 접근을 줄이도록 Memory Management Unit을 설계했다.

국내에서는 KAIST에서 Point-Based 딥러닝 방식을 지원하기 위한 ‘PNNPU’ 가속기^[22]를 설계하고 반도체를 구현했다. 처리 속도 향상을 위해, 입력 Point Cloud 데이터를 Block으로 구분/처리했다. Sampling의 경우 Block 내에서 수행하고 Grouping의 범위를 인접 Block으로 제한하여 처리 시간을 줄였다. 또한, Max Pooling 예측을 통해 큰 값의 입력에만 Convolution을 수행하여 Throughput을 개선했다.

V. 전망과 결론

높은 수준/안전도의 자율주행 기능 실현을 위해 3차원 센서의 탑재 및 인공지능 기술과의 통합 요구가 산업적으로 매우 커지고 있다. 이에 따라, 현재 연구개발 초기 단계인 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술 또한 빠르게 진화할 것이다. 또한, 3차원 Point Cloud 데이터 기반 딥러닝 기술이 무인 이동체 시스템에 탑재/구동하기 위해서는 초고속, 저전력 가속기/반도체 개발이 반드시 필요하다.

하지만, 데이터의 차원이 증가함에 따라 요구하는 연산/메모리의 양이 막대하게 늘어나 GPU 기반 고성능 시스템에서도 실시간 동작이 어려울 정도로 복잡도가 증가하고 있다. 또한, 2차원 영상과 달리 Point Cloud 데이터의 Unordered/Irregular/Sparse한 특성은 이를 더 어렵게 만들고 있다.

향후 시스템 탑재 및 상용화를 위해 알고리즘의 최적화 및 가속기 구조 설계가 매우 중요할 것으로 판단된다. 이는 초고난도 기술로 연구개발 초기 단계인 현 시점에서 주요 국가 및 글로벌 기업 간의 경쟁이 향후 매우 치열할 것

으로 예상된다. 국내에서도 관련 원천 기술을 선점하기 위한 집중적인 지원 및 연구역량 투입이 시급한 상황이다.

참고 문헌

- [1] <http://velodynelidar.com>
- [2] Yin Zhou, et al. "Voxelnet: End-to-end learning for point cloud based 3d object detection", CVPR 2018
- [3] Zamanakos, et al. "A comprehensive survey of LIDAR-based 3D object detection methods with deep learning for autonomous driving", Computers & Graphics 2021
- [4] Qi, et al. "Pointnet: Deep learning on point sets for 3d classification and segmentation", CVPR 2017
- [5] Qi, et al. "Pointnet++: Deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space", NIPS 2017
- [6] Zetong Yang, et al. "3DSSD: Point-based 3D single stage object detector", CVPR 2020
- [7] Yan Yan, et al. "SECOND: Sparsely embedded convolutional detection", Sensors 2018
- [8] Alex H. Lang, et al. "PointPillars: Fast encoders for object detection from point clouds", CVPR 2019
- [9] Guangsheng Shi, et al. "Pillarnet: Real-time and high-performance pillar-based 3d object detection", ECCV 2022
- [10] Karen Simonyan, et al. "Two-stream convolutional networks for action recognition in videos", NIPS 2014
- [11] Kaiming He, et al. "Deep residual learning for image recognition", CVPR 2016
- [12] Shaoshuai Shi, et al. "Pointnet: 3d object proposal generation and detection from point cloud", CVPR 2019
- [13] Zetong Yang, et al. "STD: Sparse-to-dense 3D object detector for point cloud" ICCV 2019
- [14] Shaoshuai Shi, et al. "PV-RCNN: Point-voxel feature set abstraction for 3D object detection", CVPR 2020
- [15] Yifan Zhang, et al. "Not all points are equal: Learning highly efficient point-based detectors for 3d lidar point clouds", CVPR 2022
- [16] Chenhang He, et al. "Structure aware single-stage 3D object detection from point cloud", CVPR 2020



- [17] Wu Zheng, et al. "CIA-SSD: Confident IoU-Aware Single-Stage Object Detector From Point Cloud", AAAI 2021
- [18] Wu Zheng, et al. "SE-SSD: Self-ensembling single-stage object detector from point cloud", CVPR 2021
- [19] Lin Bai, et al. "Pointnet on fpga for real-time lidar point cloud processing", ISCAS 2020
- [20] Yu Feng, et al. "Mesorasi: Architecture support for point cloud analytics via delayed -aggregation", MICRO 2020
- [21] Yujin Lin, et al. "Pointacc: Efficient point cloud accelerator", MICRO 2021
- [22] Sangjin Kim, et al. "PNNPU: A 11.9 TOPS/W high-speed 3D point cloud-based neural network processor with block-based point processing for regular DRAM access", S.VLSI 2021



김 경 호

- 2014년 2월 한양대학교 전자공학과 학사
- 2016년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 2016년 ~ 2021년 삼성전자 System LSI 사업부 선임
- 2021년 ~ 현재 한국전자기술연구원 선임연구원

〈관심 분야〉
인공지능 가속기 최적 구조 설계 및 반도체 개발



이 상 설

- 2007년 2월 인하대학교 정보통신공학과 학사
- 2009년 2월 인하대학교 정보통신공학과 석사
- 2016년 2월 인하대학교 정보통신공학과 박사
- 2007년 ~ 현재 한국전자기술연구원 책임연구원

〈관심 분야〉
영상 신호처리, 컴퓨터 비전 및 인공지능 가속기 최적 구조 설계 및 반도체 개발, 인공지능 모델 경량화



장 성 준

- 2005년 2월 경북대학교 전자전기공학과 학사
- 2007년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
- 2021년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
- 2007년 ~ 2012년 삼성전자 DMC 연구소 선임연구원
- 2012년 ~ 현재 한국전자기술연구원 시각지능IP팀 팀장

〈관심 분야〉
컴퓨터 비전 및 인공지능 가속기 최적 구조 설계 및 반도체 개발, 인공지능 모델 경량화

반도체 분야

[반도체 소자 및 재료]

- 고전압 어플리케이션을 위한 높은 홀딩전압 및 양방향 특성을 갖는 STACK 기술을 적용한 ESD 보호회로에 관한 연구
정승구, 권상욱, 이정민, 백승환, 구용서

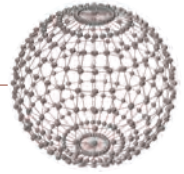
컴퓨터 분야

[융합컴퓨팅]

- 멀티 테넌트 환경에서 Multi-Instance 그래픽 프로세싱 유닛을 활용한 워크로드 단위 공정성 분석 연구
이제인, 윤명국
- 가상 환경에서의 가스 누출 음향 데이터 수집
임수빈, 박성욱

[인공지능, 신경망 및 퍼지시스템]

- 영상 흔들림 보정 구조를 적용한 시선 추정 딥러닝 모델 기반의 아동 집중도 분석 시스템
김호영, 박윤하, 이종택
- 멀티헤드 어텐션 병렬화를 통한 트랜스포머 기반 객체추적 모델의 실행속도 향상
김인모, 김명선
- 강화학습 기반 HVAC 제어 및 시뮬레이션 기법
한승준, 오현중, 김진형, 박성진, 박준상



인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

- 이미지 정합 pseudo-labeling을 이용한 GAN 기반의 seamless 차량번호판 합성영상 생성
김형래, 김학일

[음향 및 신호처리]

- 칼만 필터 기반 지역 기온 추정을 위한 시공간 보강
박상욱

[영상 이해]

- Graph Transformer SlowFast 모델 기반의 아동 이상 행동 분석 시스템
윤창섭, 박상현, 박윤하

시스템 및 제어 분야

[제어계측]

- 이차 불확실 플랜트의 터미널 슬라이딩 모드 제어를 위한 Utkin 정리의 증명
최명수, 이정훈, 김정규

[전력전자]

- 종관기상관측 자료 기반 태양광발전량 예측에 관한 연구
김준용, 정재원

산업전자 분야

[신호처리 및 시스템]

- 자동화 장치 다중 제어용 안드로이드-아두이노 플랫폼 개발
강문호

[컴퓨터 응용]

- 풀필먼트 센터 최적 운영을 위한 수요예측 방법 연구
김영남, 류상천, 김현

국 내 외 학 술 행 사 안 내

국·내외에서 개최되는 각종 학술대회/전시회를 소개합니다.
 게재를 희망하시는 분은 간략한 학술대회 정보를 이메일로 보내주시면 게재하겠습니다.
 연락처: biz@theieie.org

>>2023년 5월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.01 - 05.04	2023 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)	Dubai, United Arab Emirates	https://icbc2023.ieee-icbc.org/
05.01 - 05.05	2023 IEEE Radar Conference (RadarConf23)	San Antonio, Texas, USA	https://radar2023.ieee-radarconf.org/
05.01 - 05.03	2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics & Digital Healthcare Technologies (REEDCON)	New Delhi, India	https://reedconjmi.com/
05.01 - 05.04	2023 34th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)	Saratoga Springs, New York, USA	https://semi.org/en/connect/events/advanced-semiconductor-manufacturing-conference-asmc
05.01 - 05.04	2023 IEEE 7th International Conference on Fog and Edge Computing (ICFEC)	Bangalore, India	http://icfec2023.ontariotechu.ca/
05.01 - 05.04	2023 IEEE/ACM 23rd International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid)	Bangalore, India	https://ccgrid2023.iisc.ac.in/
05.01 - 05.04	2023 IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (RADIO)	Balaclava, Mauritius	http://www.radiosociety.org/radio2023/
05.01 - 05.04	2023 IEEE International Symposium on Hardware Oriented Security and Trust (HOST)	San Jose, California, USA	http://www.hostsymposium.org/
05.03 - 05.05	2023 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW)	Wismar, Germany	https://www.hs-wismar.de/iiphdw-2023
05.03 - 05.04	2023 9th International Conference on Web Research (ICWR)	Tehran, Iran	https://iranwebconf.ir/
05.03 - 05.05	2023 26th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS)	Tallinn, Estonia	https://ddecs2023.taltech.ee/
05.04 - 05.06	2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAIC)	Salem, India	http://icaaic.com/2023/
05.04 - 05.06	2023 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)	Astana, Kazakhstan	https://sist.astanait.edu.kz/
05.05	2023 IEEE Vision, Innovation, and Challenges Summit and Honors Ceremony (VIC Summit)	Atlanta, Georgia, USA	https://corporate-awards.ieee.org/event/2023-vic-summit-honors-ceremony-gala/
05.05 - 05.06	2023 International Conference on Advancement in Computation & Computer Technologies (InCACCT)	Gharuan, India	https://icacct-cu.com/
05.05 - 05.06	2023 32nd Wireless and Optical Communications Conference (WOCC)	Newark, New Jersey, USA	http://www.wocc.org/
05.05	2023 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)	Old Westbury, New York, USA	https://www.ieee.li/isat/
05.05 - 05.06	2023 2nd International Conference on Vision Towards Emerging Trends in Communication and Networking Technologies (VITECoN)	Vellore, India	https://vit.ac.in/VITECoN2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.06	2023 IEEE Workshop on Industry and Innovations enabled by Industry 4.0 Technologies (USEI40)	San Jose, California, USA	http://usei40.org/
05.06 - 05.08	2023 1st International Conference on Renewable Solutions for Ecosystems: Towards a Sustainable Energy Transition (ICRSEtoSET)	Djelfa, Algeria	http://www.univ-djelfa.dz/icrsetoset/
05.06 - 05.08	2023 IEEE 9th Intl Conference on Big Data Security on Cloud (BigDataSecurity), IEEE Intl Conference on High Performance and Smart Computing, (HPSC) and IEEE Intl Conference on Intelligent Data and Security (IDS)	New York, New York, USA	http://www.cloud-conf.net/dataset/2023/index.html
05.07 - 05.10	2023 IEEE 27th Workshop on Signal and Power Integrity (SPI)	Aveiro, Portugal	https://spi2023.av.it.pt/
05.07 - 05.10	2023 IEEE 31st Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM)	Los Angeles, California, USA	https://www.fccm.org/
05.07 - 05.10	2023 IEEE 4th International Conference on Electrical Materials and Power Equipment (ICEMPE)	Shanghai, China	http://www.icempe.org/
05.07 - 05.12	2023 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO)	San Jose, California, USA	https://www.cleoconference.org/home/
05.08 - 05.12	NOMS 2023-2023 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium	Miami, Florida, USA	https://noms2023.ieee-noms.org/
05.08 - 05.11	2023 International Conference on Optical Network Design and Modeling (ONDM)	Coimbra, Portugal	https://ondm2023.inesc.pt/
05.08 - 05.10	2023 IEEE 32nd Microelectronics Design & Test Symposium (MDTS)	Albany, New York, USA	https://mdts.ieee.org/
05.08 - 05.09	2023 8th International Engineering Conference on Renewable Energy & Sustainability (ieCRES)	Gaza, Palestine	http://engconf.iugaza.edu.ps/
05.09 - 05.12	2023 IEEE 29th Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS)	San Antonio, Texas, USA	http://2023.rtas.org/
05.09 - 05.11	2023 4th International Conference on Artificial Intelligence, Robotics and Control (AIRC)	Cairo, Egypt	http://www.airc.org/
05.09 - 05.12	2023 20th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)	Nakhon Phanom, Thailand	https://ecticon2023.ecticon.org/
05.09 - 05.12	2023 IEEE/ACM Eighth International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDI)	San Antonio, Texas, USA	https://conferences.computer.org/iotDI/2023/
05.09	2023 11th Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES)	San Antonio, Texas, USA	https://palensky.org/mscpes/2023/
05.10 - 05.12	2023 International Conference on Control, Automation and Diagnosis (ICCAD)	Rome, Italy	https://www.iccad-conf.com/
05.10 - 05.14	2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)	Timisoara, Romania	https://isse-conf.eu/
05.10 - 05.11	2023 3rd International Conference on Computing and Information Technology (ICCIT)	Tabuk, Saudi Arabia	https://ut-iccit.org/ICCIT/
05.10 - 05.12	2023 IEEE International 3D Systems Integration Conference (3DIC)	Cork, Ireland	https://3dic-conf.org/
05.12 - 05.13	2023 3rd International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE)	Greater Noida, India	http://icacite.com/index.php
05.12 - 05.14	2023 9th International Conference on Virtual Reality (ICVR)	Xianyang, China	http://www.icvr.org/
05.12 - 05.14	2023 IEEE 6th International Electrical and Energy Conference (CIEEC)	Hefei, China	https://www.cieec.com.cn/
05.12 - 05.14	2023 IEEE 12th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS)	Xiangtan, China	https://ddcls23.hnust.edu.cn/index.html

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.12 - 05.13	2023 Intermountain Engineering, Technology and Computing (ETC)	Provo, Utah, USA	https://www.uvu.edu/cet/i-etc/
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering (ICSE)	Melbourne, Australia	http://www.icse-conferences.org/
05.14 - 05.17	2023 IEEE 18th International Conference on Nano/Micro Engineered and Molecular Systems (NEMS)	Jeju Island, Korea (South)	https://ieee-nems2023.org/
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: Software Engineering Education and Training (ICSE-SEET)	Melbourne, Australia	https://conf.researchr.org/track/icse-2023/icse-2023-SEET
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Society (ICSE-SEIS)	Melbourne, Australia	https://conf.researchr.org/track/icse-2023/icse-2023-SEIS
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)	Melbourne, Australia	https://conf.researchr.org/track/icse-2023/icse-2023-technical-track
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice (ICSE-SEIP)	Melbourne, Australia	https://conf.researchr.org/track/icse-2023/icse-2023-SEIP
05.14 - 05.20	2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering: New Ideas and Emerging Results (ICSE-NIER)	Melbourne, Australia	https://conf.researchr.org/track/icse-2023/icse-2023-NIER
05.15 - 05.18	2023 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)	San Francisco, California, USA	https://www.iemdc.org/
05.15 - 05.19	2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)	Sochi, Russia	http://icieam.su-ieee.ru/
05.15 - 05.19	2023 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)	St. Petersburg, Florida, USA	http://www.ipdps.org/
05.15 - 05.17	2023 International Workshop on Antenna Technology (IWAT)	Aalborg, Denmark	http://iwat2023.org/
05.15 - 05.17	2023 IEEE Ural-Siberian Conference on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)	Yekaterinburg, Russia	http://usbereit.ieeesiberia.org/
05.16 - 05.19	2023 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)	Qingdao, China	http://www.em-conf.com/iws2023/
05.17 - 05.19	2023 7th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)	Madurai, India	http://iciccs.com/2023/
05.17 - 05.20	IEEE INFOCOM 2023 - IEEE Conference on Computer Communications	New York City, New York, USA	https://infocom2023.ieee-infocom.org/
05.17 - 05.19	2023 4th Information Communication Technologies Conference (ICTC)	Nanjing, China	http://www.ictc.net/index.html
05.17 - 05.19	2023 IEEE International Conference on Mobility, Operations, Services and Technologies (MOST)	Detroit, Michigan, USA	http://ieeemobility.org/
05.17 - 05.18	2023 International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE)	Islamabad, Pakistan	https://ccode.bahria.edu.pk/
05.17 - 05.19	2023 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)	Heraklion, Greece	http://jurse2023.org/
05.17 - 05.19	2023 IEEE Renewable Energy and Sustainable E-Mobility Conference (RESEM)	Bhopal, India	https://conf.manit.ac.in/resem2023/Important_dates.php
05.18 - 05.19	2023 3rd International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET)	Mohammedia, Morocco	http://iraset.org/2023/
05.18 - 05.20	2023 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT)	Romeoville, Illinois, USA	http://www.eit-conference.org/eit2023/
05.18 - 05.20	2023 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication, Embedded and Secure Systems (ACCESS)	Event Format: Virtual	https://sites.google.com/adishankara.ac.in/access-23?pli=1
05.18 - 05.19	2023 8th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR)	Bangkok, Thailand	https://icbir.tni.ac.th/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.19 - 05.21	2023 IEEE IAS Global Conference on Emerging Technologies (GlobConET)	Warsaw, Poland	https://www.globconet.org/
05.19 - 05.21	2023 International Conference on Control, Communication and Computing (ICCC)	Thiruvananthapuram, India	http://iccc2023.cet.ac.in/
05.19 - 05.21	2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP)	Chengdu, China	http://www.icmsp.net/
05.20	IEEE INFOCOM 2023 - IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)	Hoboken, New Jersey, USA	https://infocom2023.ieee-infocom.org/
05.20 - 05.22	2023 35th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)	Yichang, China	http://www.ccdc.neu.edu.cn/
05.21 - 05.24	2023 IEEE International Memory Workshop (IMW)	Monterey, California, USA	https://www.ewh.ieee.org/soc/eds/imw/
05.21 - 05.23	2023 IEEE 3rd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)	Benghazi, Libya	https://mista-con.org/
05.21 - 05.25	2023 IEEE/IAS 59th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)	Las Vegas, Nevada, USA	https://site.ieee.org/ias-icps/2023-conference/
05.21 - 05.25	2023 IEEE International Conference on Plasma Science (ICOPS)	Santa Fe, New Mexico, USA	http://ece-events.unm.edu/icops2023/index.html
05.21 - 05.25	2023 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)	San Francisco, California, USA	https://www.ieee-security.org/TC/SP2023/
05.21 - 05.25	2023 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)	Monterey, California, USA	https://iscas2023.org/
05.22 - 05.25	2023 IEEE PES GTD International Conference and Exposition (GTD)	Istanbul, Turkey	https://ieee-gtd.org/
05.22 - 05.26	2023 24th International Conference on the Computation of Electromagnetic Fields (COMPUMAG)	Kyoto, Japan	https://www.compumag2023.com/content/
05.22 - 05.26	2023 46th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)	Opatija, Croatia	http://www.mipro.hr/
05.22 - 05.26	2023 URSI International Symposium on Electromagnetic Theory (EMTS)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://www.emts2023.org/
05.22 - 05.25	2023 11th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2023 - ECCE Asia)	Jeju Island, Korea (South)	https://www.icpe-conf.org/
05.22 - 05.25	2023 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://i2mtc2023.ieee-ims.org/
05.22 - 05.24	2023 IEEE 53rd International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL)	Matsue, Japan	https://mvl.jp.org/ISMVL2023/
05.22 - 05.25	2023 IEEE International Interconnect Technology Conference (IITC) and IEEE Materials for Advanced Metallization Conference (MAM)(IITC/MAM)	Dresden, Germany	https://iitc-conference.org/
05.22 - 05.26	2023 IEEE European Test Symposium (ETS)	Venezia, Italy	https://cas.polito.it/ETS23/
05.23 - 05.26	2023 IEEE 17th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)	Timisoara, Romania	http://conf.uni-obuda.hu/saci2023/
05.23 - 05.25	2023 XIX International Scientific Technical Conference Alternating Current Electric Drives (ACED)	Event Format: Virtual	https://aced2023.ru/
05.24 - 05.26	2023 26th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)	Rio de Janeiro, Brazil	http://2023.cscwd.org/
05.24 - 05.26	2023 24th International Radar Symposium (IRS)	Berlin, Germany	https://www.dgon-irs.org/home/
05.24 - 05.26	2023 23rd International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)	Brno, Czech Republic	http://www.epe-conference.eu/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05.24 - 05.26	2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)	Saint Petersburg, Russia	https://etu.ru/en/university/conferences/scm2023
05.25 - 05.26	2023 Smart City Symposium Prague (SCSP)	Prague, Czech Republic	https://akce.fd.cvut.cz/en/scsp2023
05.26 - 05.29	2023 6th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD)	Chengdu, China	http://www.icaibd.org/
05.26 - 05.28	2023 2nd International Conference on Innovations and Development of Information Technologies and Robotics (IDITR)	Chengdu, China	https://iditr.org/
05.26 - 05.28	2023 IEEE 3rd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI)	Changchun, China	http://www.icetci.org/
05.26 - 05.28	2023 IEEE 3rd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA)	Chongqing, China	http://www.iciba.org/
05.26 - 05.28	2023 International Conference on Microwave, Optical, and Communication Engineering (ICMOCE)	Bhubaneswar, India	https://www.iitbbs.ac.in/conference/icmoce-2023/
05.26 - 05.28	2023 4th International Conference for Emerging Technology (INCET)	Belgaum, India	http://www.incet.org/
05.26 - 05.27	2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)	Oradea, Romania	http://www.icemes.uoradea.ro/icemes2023/
05.26 - 05.28	2023 Third International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC)	Jalandhar, India	https://www.nitj.ac.in/icsc2023/
05.28 - 06.01	2023 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)	Rome, Italy	https://icc2023.ieee-icc.org/authors/call-workshop-papers
05.28 - 06.01	ICC 2023 - IEEE International Conference on Communications	Rome, Italy	https://icc2023.ieee-icc.org/
05.29 - 05.31	2023 IEEE International Workshop on Metrology for Living Environment (MetroLivEnv)	Milano, Italy	https://www.metrolivenv.org/
05.29 - 06.02	2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)	London, United Kingdom	https://www.icra2023.org/
05.29 - 06.02	2023 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF)	St. Petersburg, Russia	http://media-publisher.ru/en/about-weconf-2023/
05.29 - 05.31	2023 IEEE/ACIS 21st International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA)	Orlando, Florida, USA	https://acisinternational.org/conferences/sera-2023/
05.29 - 06.03	2023 IEEE 73rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC)	Orlando, Florida, USA	https://www.ectc.net/
05.29 - 05.31	2023 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)	Novi Sad, Serbia	https://www.gozinc.org/
05.30 - 06.02	2023 22nd IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)	Orlando, Florida, USA	http://www.ieee-itherm.net/
05.31 - 06.02	2023 American Control Conference (ACC)	San Diego, California, USA	https://acc2023.a2c2.org/
05.31 - 06.01	2023 International Conference on Engineering, Science and Advanced Technology (ICESAT)	Mosul, Iraq	https://icesat.org/
05.31 - 06.02	2023 Prognostics and Health Management Conference (PHM)	Paris, France	http://www.phmice.org/

>>2023년 6월

06.01. - 06.03.	2023 8th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)	Coimbatore, India	http://icoecs.org/2023/
06.01. - 06.04.	2023 IEEE International Conference on Predictive Control of Electrical Drives and Power Electronics (PRECEDE)	Wuhan, China	http://www.precede2023.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.01. - 06.04.	2023 9th International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST)	Vientiane, Laos	https://iceast.kmitl.ac.th/2023/
06.02. - 06.04.	2023 IEEE 5th Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS)	Tainan, Taiwan	https://www.ecbios.asia/
06.04. - 06.08.	2023 IEEE Wireless Power Technology Conference and Expo (WPTCE)	San Diego, California, USA	https://ieee-wptce.org/
06.04. - 06.05.	2023 6th International Conference on Engineering Technology and its Applications (IICETA)	Al-Najaf, Iraq	https://iiceta.com/
06.04. - 06.09.	2023 IEEE Magnetic Society Summer School (MSSS)	Bari, Italy	https://ieeemagnetics.org/
06.04. - 06.07.	2023 11th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)	Paris, France	http://www.icsmartgrid.com/index.php?id=main
06.04. - 06.07.	2023 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)	Anchorage, Alaska, USA	https://2023.ieee-iv.org/
06.04. - 06.10.	ICASSP 2023 - 2023 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	Rhodes Island, Greece	https://2023.ieeeicassp.org/
06.05. - 06.08.	OCEANS 2023 - Limerick	Limerick, Ireland	https://limerick23.oceansconference.org/
06.05. - 06.07.	2023 IEEE 24th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)	Albuquerque, New Mexico, USA	https://hpsr2023.ieee-hpsr.org/
06.05. - 06.07.	2023 33rd ACM Great Lakes Symposium on VLSI (GLSVLSI)	Knoxville, Tennessee, USA	http://www.glsvlsi.org/
06.05. - 06.09.	2023 Days on Diffraction (DD)	Event Format: Virtual	http://www.pdmi.ras.ru/~dd/
06.05. - 06.07.	2023 IEEE International Conference on Advanced Robotics and Its Social Impacts (ARSO)	Berlin, Germany	https://ieee-arso.org/
06.05. - 06.06.	2023 IEEE Conference on Artificial Intelligence (CAI)	Santa Clara, California, USA	https://cai.ieee.org/2023/
06.05. - 06.07.	2023 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)	Montreal, Quebec, Canada	https://phmconf.org/
06.06. - 06.08.	2023 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0&IoT)	Brescia, Italy	https://www.metroind40iot.org/
06.06. - 06.09.	2023 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2023 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (IEEEIC / I&CPS Europe)	Madrid, Spain	https://www.eeeic.net/
06.06. - 06.09.	2023 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)	Warsaw, Poland	http://www.uasconferences.com/2023_icuas/
06.06. - 06.09.	2023 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit (EuCNC/6G Summit)	Gothenburg, Sweden	https://www.eucnc.eu/
06.06. - 06.09.	2023 24th International Conference on Process Control (PC)	Strbske Pleso, Slovakia	https://www.process-control.sk/
06.06. - 06.10.	2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)	Budva, Montenegro	https://mecoconference.me/meco2023/
06.06. - 06.08.	2023 International Conference on Localization and GNSS (ICL-GNSS)	Castellón, Spain	https://events.tuni.fi/icl-gnss2023/
06.07. - 06.09.	2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST)	Istanbul, Turkey	https://www.rast.org.tr/
06.07. - 06.10.	2023 IEEE World AI IoT Congress (AllIoT)	Event Format: Virtual	https://worldaiotcongress.org/
06.08. - 06.10.	2023 11th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD)	Bucharest, Romania	https://www.tererd.upb.ro/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.08. - 06.10.	2023 IEEE Sustainable Smart Lighting World Conference & Expo (LS18)	Mumbai, India	https://ieeesmartlightingworld.org/
06.08. - 06.10.	2023 5th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)	Istanbul, Turkey	http://www.horacongress.com/
06.08. - 06.09.	2023 9th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI)	Monopoli (Bari), Italy	https://mclabservices.di.uniroma1.it/iwasi/2023/aimsandscope.php
06.09. - 06.12.	2023 IEEE 14th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)	Shanghai, China	http://www.ieee-pedg2023.org/index.html
06.09. - 06.10.	2023 International Conference on Advanced & Global Engineering Challenges (AGEC)	Surampalem, Kakinada, India	http://aec.edu.in/agec/
06.09. - 06.10.	2023 17th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)	Oradea, Romania	http://www.icemes.uoradea.ro/icemes2023/
06.10. - 06.11.	2023 9th International Symposium on System Security, Safety, and Reliability (ISSSR)	Hangzhou, China	https://issr23.techconf.org/
06.11. - 06.13.	2023 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC)	San Diego, California, USA	https://rfic-ieee.org/
06.11. - 06.15.	2023 IEEE IAS Pulp and Paper Industry Conference (PPIC)	Spokane, Washington, USA	https://www.pulpaper.org/about/ppic-info/
06.11. - 06.14.	2023 XXIX International Conference on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT)	Sarajevo, Bosnia and Herzegovina	https://icat.etf.unsa.ba/
06.11. - 06.16.	2023 IEEE Symposium on VLSI Technology and Circuits (VLSI Technology and Circuits)	Kyoto, Japan	https://www.vlssymposium.org/
06.11. - 06.13.	2023 IEEE 5th International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS)	Hangzhou, China	http://www.aicas2023.org/
06.11. - 06.16.	2023 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - IMS 2023	San Diego, California, USA	https://ims-ieee.org/
06.12. - 06.16.	2023 International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)	Viareggio/Pisa, Italy	https://animma.com/
06.12. - 06.14.	2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC)	Miskolc-Szilvásvárad, Hungary	http://mzsola.iit.uni-miskolc.hu/iccc2023/
06.12. - 06.15.	2023 12th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)	Langkawi, Malaysia	https://attend.ieee.org/apl-2023/
06.12. - 06.14.	2023 International Conference on Future Energy Solutions (FES)	Vaasa, Finland	https://sites.uwasa.fi/fes2023/
06.12. - 06.14.	2023 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)	Gammarth, Tunisia	https://civemsa2023.ieee-ims.org/
06.12. - 06.15.	2023 IEEE 24th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)	Boston, Massachusetts, USA	https://coe.northeastern.edu/Groups/wowmom2023/
06.12. - 06.15.	2023 Photonics North (PN)	Montreal, Quebec, Canada	https://www.photonicsnorth.com/en
06.13. - 06.14.	2023 Multimedia Innovation and Digital Humanities International Conference (MIDHIC)	Event Format: Virtual	http://smtc.uum.edu.my/MIDHIC2022
06.13. - 06.16.	2023 European Control Conference (ECC)	Bucharest, Romania	https://ecc23.euca-ecc.org/
06.13. - 06.15.	2023 IEEE International Conference on RFID (RFID)	Seattle, Washington, USA	https://2023.ieee-rfid.org/
06.14. - 06.16.	2023 32nd Annual Conference of the European Association for Education in Electrical and Information Engineering (EAEIE)	Eindhoven, Netherlands	https://fontys.nl/EAEIE-2023.htm
06.14. - 06.16.	2023 8th International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)	Nice, France	https://mt-its2023.eurecom.fr/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.14. - 06.16.	2023 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)	Jeju, Korea (South)	https://memea2023.ieee-ims.org/
06.14. - 06.16.	2023 International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS)	Event Format: Virtual	http://icscss.com/
06.14. - 06.16.	2023 IEEE 17th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG)	Tallinn, Estonia	https://taltech.ee/en/cpe-powereng2023
06.14. - 06.16.	2023 IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)	Beijing, China	https://www.bmsb2023.com/index.html
06.14. - 06.16.	2023 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS)	San Diego, California, USA	https://www.aiaa.org/aviation/presentations-papers
06.15. - 06.16.	2023 IEEE Women in Engineering International Leadership Conference (WIE ILC)	San Diego, California, USA	https://ieee-wie-ilc.org/
06.15. - 06.17.	2023 5th International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Flexible Green Energy Technologies (ICEPE)	Shillong, India	http://nitm.ac.in/icepe2023/
06.16. - 06.23.	2023 IEEE/ACM 31st International Symposium on Quality of Service (IWQoS)	Orlando, Florida, USA	https://iwqos2023.ieee-iwqos.org/
06.16. - 06.18.	2023 11th International Conference on Intelligent Computing and Wireless Optical Communications (ICWOC)	Chongqing, China	http://www.icwoc.org/
06.16. - 06.19.	2023 International Conference Automatics, Robotics and Artificial Intelligence (ICARAI)	Sozopol, Bulgaria	http://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/?konf=198
06.16	2023 101st ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)	San Diego, California, USA	https://www.arftg.org/
06.16	2023 IV International Conference on Neural Networks and Neurotechnologies (NeuroNT)	Saint Petersburg, Russia	https://etu.ru/en/university/conferences/neuront2023
06.16. - 06.17.	2023 International Conference on Applied Intelligence and Sustainable Computing (ICAISC)	Dharwad, India	https://icaisc.in/
06.17. - 06.24.	2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	Vancouver, British Columbia, Canada	https://cvpr.thecvf.com/
06.17	2023 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)	Shah Alam, Malaysia	https://sites.google.com/view/i2cacis/home?pli=1
06.17. - 06.21.	2023 ACM/IEEE 50th Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)	Orlando, Florida, USA	https://iscaconf.org/isca2023/
06.18. - 06.21.	2023 IEEE 97th Vehicular Technology Conference (VTC2023-Spring)	Florence, Italy	https://events.vtsociety.org/vtc2023-spring/
06.18. - 06.19.	2023 International Conference on Sustaining Heritage: Innovative and Digital Approaches (ICSH)	Event Format: Virtual	https://heritage.uob.edu.bh/
06.19. - 06.22.	2023 IEEE 10th International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)	Milan, Italy	https://www.metroaerospace.org/
06.19. - 06.23.	2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)	Marrakesh, Morocco	https://iwcmc.org/2023/
06.19. - 06.22.	2023 ARC Workshop on Electrochemical Energy Conversion and Power Electronics (WEEPE)	Narvik, Norway	https://uit.no/tavla/artikkel/793268/2023_ieee_arc_workshop_on_electrochemical_energy
06.19. - 06.21.	2023 27th International Conference Electronics	Palanga, Lithuania	http://electronicsconf.ktu.edu/index.php/elc
06.19. - 06.23.	2023 IEEE 9th International Conference on Network Softwarization (NetSoft)	Madrid, Spain	https://netsoft2023.ieee-netsoft.org/
06.20. - 06.23.	2023 8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)	Split/Bol, Croatia	https://2023.splitech.org/home

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.20. - 06.23.	2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)	Aveiro, Portugal	http://cisti.eu/index.php/en/
06.20. - 06.22.	2023 IEEE Conference on Innovation Management (INNOCONF)	Los Angeles, California, USA	https://2023.innoconf.org/
06.20. - 06.22.	2023 15th International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)	Ghent, Belgium	https://sites.google.com/view/qomex2023
06.21. - 06.23.	2023 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)	Detroit, Michigan, USA	https://itec-conf.com/
06.21. - 06.22.	2023 IEEE Cognitive Communications for Aerospace Applications Workshop (CCAAW)	Cleveland, Ohio, USA	https://ieee-ccaa.com/
06.21. - 06.23.	2023 19th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)	Montreal, Quebec, Canada	http://www.wimob.org/wimob2023/
06.21. - 06.23.	2023 IEEE 25th Conference on Business Informatics (CBI)	Prague, Czech Republic	https://cbi2023.org/index.php
06.22. - 06.24.	2023 IEEE 36th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)	L'Aquila, Italy	https://2023.cbms-conference.org/
06.22. - 06.23.	2023 IEEE 7th Portuguese Meeting on Bioengineering (ENBENG)	Porto, Portugal	http://embs.ieee-pt.org/7th-enbeng-2023/
06.23. - 06.25.	2023 IEEE/ACIS 23rd International Conference on Computer and Information Science (ICIS)	Wuxi, China	https://acisinternational.org/conferences/icis-2023/
06.24. - 06.29.	2023 38th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS)	Boston, Massachusetts, USA	https://lics.siglog.org/lics23/
06.25. - 06.30.	2023 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)	Taipei, Taiwan	https://isit2023.org/
06.25. - 06.30.	2023 30th International Symposium on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum (ISDEIV)	Okinawa, Japan	http://isdeiv2023.w3.kanazawa-u.ac.jp/
06.25. - 06.29.	2023 IEEE Belgrade PowerTech	Belgrade, Serbia	https://powertech2023.com/
06.25. - 06.29.	2023 IEEE Pulsed Power Conference (PPC)	San Antonio, Texas, USA	http://www.ppc2023.org/
06.25. - 06.28.	2023 20th International Conference on Ubiquitous Robots (UR)	Honolulu, Hawaii, USA	https://2023.ubiquitousrobots.org/
06.25. - 06.30.	2023 International Forum on MPSoC for Software-Defined Hardware (MPSoC)	Helena, Montana, USA	http://mpsoc-forum.org/
06.25. - 06.28.	2023 Device Research Conference (DRC)	Santa Barbara, California, USA	https://www.mrs.org/drc-2023
06.25. - 06.29.	2023 22nd International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (Transducers)	Kyoto, Japan	https://www.transducers2023.org/
06.25. - 06.28.	2023 IEEE 24th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL)	Ann Arbor, Michigan, USA	https://ieee-compel.org/
06.26. - 06.30.	2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)	Torino, Italy	https://ieeecompsac.computer.org/2023/
06.26. - 06.28.	2023 IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking and Applications (MetaCom)	Kyoto, Japan	https://www.ieee-metacom.org/2023/
06.26. - 06.28.	2023 21st IEEE Interregional NEWCAS Conference (NEWCAS)	Edinburgh, United Kingdom	https://2023.ieee-newcas.org/
06.26. - 06.30.	2023 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe & European Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-EQEC)	Munich, Germany	https://www.cleo-europe.org/
06.26. - 06.30.	2023 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)	Nashville, Tennessee, USA	https://smartcomp.isis.vanderbilt.edu/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.26. - 06.30.	2023 Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW)	Divnomorskoe, Russia	http://rsemw.sfedu.ru/
06.26. - 06.27.	2023 China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC)	Shanghai, China	https://www.semiconchina.org/en/5
06.26. - 06.29.	2023 IEEE 11th International Conference on Healthcare Informatics (ICHI)	Houston, Texas, USA	https://ieeichi.github.io/ICHI2023/
06.26. - 06.30.	2023 ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries (JCDL)	Santa Fe, New Mexico, USA	https://2023.jcdl.org/
06.27. - 06.30.	2023 53rd Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)	Porto, Portugal	https://dsn2023.dei.uc.pt/
06.27. - 06.29.	2023 30th International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP)	Ohrid, Macedonia	http://iwSSIP.feit.ukim.edu.mk/
06.27. - 06.30.	2023 26th International Conference on Information Fusion (FUSION)	Charleston, South Carolina, USA	https://www.fusion2022.se/
06.28. - 06.30.	2023 IEEE MTT-S International Conference on Numerical Electromagnetic and Multiphysics Modeling and Optimization (NEMO)	Winnipeg, Manitoba, Canada	https://nemo-ieee.org/
06.28. - 06.30.	2023 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)	Seattle, Washington, USA	http://aim2023.org/
06.28. - 07.01.	2023 IEEE International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)	Paris, France	http://www.olab-dynamics.net/wetice2023/index.html
06.28. - 06.30.	2023 IEEE International Workshop on Metrology for Automotive (MetroAutomotive)	Modena, Italy	https://www.metroautomotive.org/
06.28. - 06.30.	2023 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)	Pskov, Russia	http://media-publisher.ru/en/about-synchroinfo-2023/
06.28. - 06.30.	2023 12th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCASST)	Athens, Greece	http://mocasst.physics.auth.gr/
06.28. - 06.30.	2023 Power Quality and Electromagnetic Compatibility at Low Frequency (PQEMC-LF)	Craiova, Romania	http://pqemc-lf.ucv.ro/
06.29. - 06.30.	2023 19th International Conference on Intelligent Environments (IE)	Uniciti, Mauritius	https://ie2023.mdxmr.com/
06.29. - 06.30.	2023 15th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)	Bucharest, Romania	https://ecai.ro/
06.29. - 07.03.	2023 IEEE 24th International Conference of Young Professionals in Electron Devices and Materials (EDM)	Novosibirsk, Russia	https://edm.ieeesiberia.org/
06.29. - 07.01.	2023 18th Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA)	Varna, Bulgaria	https://elma.tu-varna.bg/
06.29. - 07.01.	2023 58th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)	Nis, Serbia	https://icestconf.org/
06.30. - 07.03.	2023 Sixth International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)	Taichung, Taiwan	http://is3c2023.ncuteecs.org/

>>2023년 7월

07.01. - 07.08.	2023 IEEE World Congress on Services (SERVICES)	Chicago, Illinois, USA	https://conferences.computer.org/services/2023/
07.01. - 07.03.	2023 IEEE 10th International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)/2023 IEEE 9th International Conference on Edge Computing and Scalable Cloud (EdgeCom)	Xiangtan, Hunan, China	http://www.cloud-conf.org/csccloud/2023/
07.02. - 07.06.	2023 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)	Shanghai, China	http://oecc2023.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.02. - 07.05.	2023 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)	Chicago, Illinois, USA	https://2023.ieee-cec.org/
07.02. - 07.05.	2023 IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP)	Hanoi, Vietnam	https://www.ssp2023.org/about_SSP2023.html
07.02. - 07.05.	2023 IEEE 23rd International Conference on Nanotechnology (NANO)	Jeju City, Korea (South)	https://2023.ieeenano.org/
07.03. - 07.05.	2023 IEEE Petroleum and Chemical Industry Conference Brasil (PCIC Brasil)	Rio de Janeiro, Brazil	https://www.ieee.org.br/pcicbr/
07.03. - 07.07.	2023 IEEE 8th European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)	Delft, Netherlands	https://www.ieee-security.org/
07.03. - 07.05.	2023 Sixth International Workshop on Mobile Terahertz Systems (IWMTS)	Bonn, Germany	http://www.iwmts.org/
07.03. - 07.06.	2023 24th IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)	Singapore, Singapore	https://mdmconferences.org/mdm2023/
07.03. - 07.06.	2023 9th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)	Rome, Italy	http://codit2023.com/
07.03. - 07.05.	2023 IEEE Latin American Electron Devices Conference (LAEDC)	Puebla, Mexico	https://attend.ieee.org/laedc-2023/
07.03. - 07.06.	2023 Photonics & Electromagnetics Research Symposium (PIERS)	Prague, Czech Republic	https://prague2023.piers.org/
07.04. - 07.07.	2023 IEEE 13th International Conference on Pattern Recognition Systems (ICPRS)	Guayaquil, Ecuador	http://www.icprs.org/
07.04. - 07.07.	2023 30th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD)	Kyoto, Japan	http://www.amfpd.jp/
07.04. - 07.07.	2023 Fourteenth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN)	Paris, France	https://icufn.org/
07.05. - 07.07.	2023 Fifth International Conference on Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA)	Zouk Mosbeh, Lebanon	https://www.ndu.edu.lb/actea/home
07.05. - 07.07.	2023 14th Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems (DoCEIS)	Caparica (Lisbon), Portugal	https://doceis.dee.fct.unl.pt/
07.05. - 07.07.	2023 6th International Conference on Renewable Energy for Developing Countries (REDEC)	Zouk Mosbeh, Lebanon	http://www.redeconf.org/
07.05. - 07.07.	2023 12th International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar (IWAGPR)	Lisbon, Portugal	http://iwagpr2023.lnec.pt/index.html
07.06. - 07.08.	IEEE EUROCON 2023 - 20th International Conference on Smart Technologies	Torino, Italy	https://2023.ieee-eurocon.org/
07.06. - 07.08.	2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT)	Delhi, India	http://14iccnt.com/
07.06. - 07.08.	2023 4th International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC)	Event Format: Virtual	http://icesc.co.in/2023/
07.06. - 07.07.	2023 IEEE Cloud Summit	Baltimore, Maryland, USA	https://www.ieeecloudsummit.org/
07.07. - 07.08.	2023 International Conference on Smart Systems for applications in Electrical Sciences (ICSSES)	Tumakuru, India	http://icsses.sit.ac.in/home
07.07.	2023 7th International Young Engineers Forum (YEF-ECE)	Caparica / Lisbon, Portugal	https://yef-ece.deec.fct.unl.pt/
07.07. - 07.09.	2023 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR)	Adelaide, Australia	https://www.icmlc.com/
07.08. - 07.09.	2023 IEEE World Conference on Applied Intelligence and Computing (AIC)	Sonbhadra, India	https://aic2023.scrs.in/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.08. - 07.10.	2023 8th International Conference on Signal and Image Processing (ICSIP)	Wuxi, China	http://www.icsip.org/
07.08. - 07.10.	2023 International Conference on Advanced Robotics and Mechatronics (ICARM)	Sanya, China	http://www.ieee-arm.org/
07.09. - 07.13.	2023 60th ACM/IEEE Design Automation Conference (DAC)	San Francisco, California, USA	https://www.dac.com/
07.09. - 07.12.	2023 IEEE International Conference on Flexible and Printable Sensors and Systems (FLEPS)	Boston, Massachusetts, USA	https://2023.ieee-fleps.org/
07.09. - 07.11.	2023 International Conference on Machine Learning and Cybernetics (ICMLC)	Adelaide, Australia	https://www.icmlc.com/
07.09. - 07.12.	2023 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)	Gammarth, Tunisia	https://2023.ieee-iscc.org/
07.10. - 07.14.	2023 IEEE World Haptics Conference (WHC)	Delft, Netherlands	https://2023.worldhaptics.org/
07.10. - 07.14.	2023 IEEE 36th Computer Security Foundations Symposium (CSF)	Dubrovnik, Croatia	https://www.ieee-security.org/TC/CSF2023/index.html
07.10. - 07.13.	2023 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)	Orem, Utah, USA	https://tc.computer.org/tcalt/icalt-2023/
07.10. - 07.12.	2023 International Conference on Computer, Information and Telecommunication Systems (CITS)	Genoa, Italy	http://atc.udg.edu/CITS2023/
07.10. - 07.14.	2023 IEEE 36th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)	Cambridge, Massachusetts, USA	http://www.vacuumnanoelectronics.org/
07.10. - 07.14.	2023 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)	Brisbane, Australia	https://www.2023.ieeeicme.org/
07.11. - 07.13.	2023 17th International Conference on Telecommunications (ConTEL)	Graz, Austria	http://www.contel.hr/2023/
07.13. - 07.14.	2023 International Conference on Innovations in Engineering and Technology (ICIET)	Muvattupuzha, India	http://ieee.icet.ac.in/
07.13. - 07.14.	2023 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)	Iasi, Romania	http://scs.etti.tuiasi.ro:81/isscs2023/
07.14. - 07.16.	2023 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)	Bangalore, India	http://ieee-conecct.org/
07.14. - 07.16.	2023 IEEE 13th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)	Event Format: Virtual	http://www.iceiec.org/
07.14. - 07.16.	2023 International Conference on Digital Applications, Transformation & Economy (ICDATE)	Miri, Sarawak, Malaysia	https://dateconference.org/
07.14. - 07.16.	2023 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia)	Chongqing, China	http://ieee-icps.com/2023/index.html
07.14. - 07.16.	2023 IEEE 5th International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)	Shenyang, China	http://www.icpics.org/
07.14. - 07.16.	2023 World Conference on Communication & Computing (WCONF)	RAIPUR, India	https://wconf.in/
07.14. - 07.22.	IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	Pasadena, California, USA	https://2023.ieeeigarss.org/index.php
07.15. - 07.16.	2023 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications (ISIEA)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://www.isiea.asia/home
07.15. - 07.16.	2023 Intelligent Methods, Systems, and Applications (IMSA)	Giza, Egypt	http://imsa.msa.edu.eg/
07.15. - 07.18.	2023 IEEE International Workshop on Electromagnetics: Applications and Student Innovation Competition (IWEM)	Harbin, China	http://www.iwem2023.org/IWEM2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.16. - 07.20.	2023 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)	Orlando, Florida, USA	https://pes-gm.org/
07.16. - 07.19.	2023 28th IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems (ASYNC)	Beijing, China	https://asynsymposium.org/
07.17. - 07.20.	2023 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm)	Ithaca, New York, USA	https://procomm.ieee.org/conference/
07.17. - 07.19.	2023 IEEE Photonics Society Summer Topicals Meeting Series (SUM)	Sicily, Italy	https://www.ieee-sum.org/
07.17. - 07.20.	2023 IEEE International Conference on Decentralized Applications and Infrastructures (DAPPS)	Athens, Greece	https://ieeedapps.com/
07.17. - 07.20.	2023 11th IEEE International Conference on Mobile Cloud Computing, Services, and Engineering (MobileCloud)	Athens, Greece	https://ieemobilecloud.com/
07.17. - 07.19.	2023 International Conference on Consumer Electronics - Taiwan (ICCE-Taiwan)	PingTung, Taiwan	http://www.icce-tw.org/
07.18. - 07.27.	2023 IEEE 9th International Conference on Space Mission Challenges for Information Technology (SMC-IT)	Pasadena, California, USA	https://spacecomputing.ecs.baylor.edu/Home.php
07.18. - 07.21.	2023 IEEE Space Computing Conference (SCC)	Pasadena, California, USA	https://smcit-scc.space/
07.18. - 07.21.	2023 IEEE 43rd International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)	Hong Kong, Hong Kong	https://icdcs2023.icdcs.org/
07.18. - 07.20.	2023 IEEE BTS Pulse - 3rd Quarter (BTS PULSE - 3rd Quarter)	Event Format: Virtual	https://bts.ieee.org/pulse.html
07.18. - 07.20.	2023 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)	Ottawa, Ontario, Canada	https://2023.sensorapps.org/
07.18. - 07.20.	2023 International Telecommunications Conference (ITC-Egypt)	Alexandria, Egypt	https://www.itc-egypt-adc.org/
07.19. - 07.21.	2023 IEEE 34th International Conference on Application-specific Systems, Architectures and Processors (ASAP)	Porto, Portugal	https://www.asap2023.org/
07.19. - 07.21.	2023 2nd International Conference on Edge Computing and Applications (ICECAA)	Event Format: Virtual	http://icecc.co.in/2023/
07.20. - 07.28.	2023 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (USNC-URSI)	Portland, Oregon, USA	https://2023.apsursi.org/
07.20. - 07.23.	2023 IEEE 6th International Conference on Electronic Information and Communication Technology (ICEICT)	Qingdao, China	http://www.iceict.org/ICEICT2023/
07.21. - 07.23.	2023 IEEE 6th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)	Sapporo, Japan	https://www.ickii.org/
07.21. - 07.23.	2023 6th Asia Conference on Energy and Electrical Engineering (ACEEE)	Chengdu, China	http://www.aceee.net/index.html
07.22. - 07.27.	2023 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (ISAF)	Cleveland, Ohio, USA	https://2023.ieee-isaf.org/
07.23. - 07.26.	2023 IEEE International Symposium on the Physical and Failure Analysis of Integrated Circuits (IPFA)	Pulau Pinang, Malaysia	https://www.ipfa-ieee.org/2023/
07.23. - 07.25.	2023 IEEE International Conference on Omni-layer Intelligent Systems (COINS)	Berlin, Germany	https://coinsconf.com/
07.23. - 07.25.	2023 IEEE International Test Conference India (ITC India)	Bangalore, India	https://itctestweekindia.org/
07.24. - 07.28.	2023 IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC)	Kansas City, Missouri, USA	https://www.nsrec.com/
07.24. - 07.27.	2023 32nd International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)	Honolulu, Hawaii, USA	http://www.iccn.org/iccn23/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07.25. - 07.27.	2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)	Istanbul, Turkey	https://smarnets.ieee.tn/
07.26. - 07.28.	2023 IEEE 3rd International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES)	Shanghai, China	http://www.ieee-ieses.org/
07.27. - 07.29.	2023 8th International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC)	Dalian, China	http://www.icivc.org/
07.27. - 07.28.	2023 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)	Ho Chi Minh, Vietnam	https://icsse2023.hcmute.edu.vn/
07.28. - 07.29.	2023 International Conference on Data Science and Network Security (ICDSNS)	Tiptur, India	https://icdsns.co.in/index.php
07.29. - 08.04.	2023 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity (EMC+SIPI)	Grand Rapids, Michigan, USA	https://emc2023.org/
07.30. - 08.01.	2023 IEEE BioSensors Conference (BioSensors)	London, United Kingdom	https://2023.ieee-biosensors.org/
07.30. - 08.03.	2023 IEEE 18th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Ningbo, China	http://www.ieeeicica.org/2023/
07.31. - 08.02.	2023 IEEE International Conference on Cyber Security and Resilience (CSR)	Venice, Italy	https://www.ieee-csr.org/
07.31. - 08.03.	2023 International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN) and SBFoton International Optics and Photonics Conference (SBFoton IOPC)	Campinas, Brazil	https://www.sbfoton.org.br/

>>2023년 8월

08.01. - 08.03.	2023 IEEE 24th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI)	Bellevue, Washington, USA	https://homepages.uc.edu/~niunn/IRI23/
08.01. - 08.04.	2023 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)	Alexandria, Virginia, USA	https://ests.mit.edu/
08.02. - 08.04.	2023 IEEE 2nd German Education Conference (GECon)	Berlin, Germany	https://gecon2023.org/
08.02. - 08.03.	2023 International Conference on Advancement in Data Science, E-learning and Information System (ICADEIS)	Bali, Indonesia	https://icadeis.com/
08.03. - 08.05.	2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)	Event Format: Virtual	http://www.icirca18.com/2023/
08.04. - 08.06.	2023 IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP)	Madison, Wisconsin, USA	https://iccp2023.iccp-conference.org/
08.04. - 08.06.	2023 IEEE 4th International Conference on Pattern Recognition and Machine Learning (PRML)	Urumqi, China	http://www.prml.org/
08.04. - 08.06.	2023 7th International Conference on Automation, Control and Robots (ICACR)	Kuala Lumpur, Malaysia	http://www.icacr.org/
08.05. - 08.07.	2023 IEEE 4th Annual Flagship India Council International Subsections Conference (INDISCON)	Mysore, India	https://www.indiscon.org/
08.05.	2023 IEEE 14th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC)	Shah Alam, Malaysia	https://sites.google.com/view/icsgrc/home
08.06. - 08.09.	2023 IEEE 66th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)	Tempe, Arizona, USA	https://www.mwscas2023.org/
08.06. - 08.09.	2023 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	Harbin, Heilongjiang, China	http://2023.ieee-icma.org/
08.07. - 08.08.	2023 IEEE/ACM International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED)	Vienna, Austria	http://www.islped.org/2023/
08.07. - 08.10.	2023 IEEE 14th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS)	Montreal, Quebec, Canada	http://ieee-peds.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.07. - 08.09.	2023 IEEE 35th International Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET)	Tokyo, Japan	https://conf.researchr.org/home/cseet-2023
08.08. - 08.10.	2023 International Electronics Symposium (IES)	Denpasar, Indonesia	https://ies.pens.ac.id/2023/
08.08. - 08.11.	2023 24th International Conference on Electronic Packaging Technology (ICEPT)	Shihezi City, China	http://www.icept.org/
08.09. - 08.11.	2023 Silicon Valley Cybersecurity Conference (SVCC)	San Jose, California, USA	https://svcc2022.svcsi.org/
08.09. - 08.12.	2023 IEEE 3rd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SEFET)	Bhubaneswar, India	https://sefet.in/
08.09. - 08.10.	2023 International Conference on Information Technology (ICIT)	Amman, Jordan	http://icit.zuj.edu.jo/icit2023/Index.html
08.09. - 08.11.	2023 8th International Conference on Instrumentation, Control, and Automation (ICA)	Jakarta, Indonesia	http://icaib.id/
08.09. - 08.11.	2023 International Workshop on Intelligent Systems (IWIS)	Ulsan, Korea (South)	http://islab.ulsan.ac.kr/iwis2023/
08.10. - 08.12.	2023 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC Workshops)	Dalian, China	https://iccc2023.ieee-iccc.org/
08.10. - 08.11.	2023 International Conference on Circuit Power and Computing Technologies (ICCPCT)	Kollam, India	http://www.iccpct.in/
08.10. - 08.11.	2023 10th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA)	Tokyo, Japan	https://dsa23.techconf.org/
08.11. - 08.13.	2023 IEEE 6th International Conference on Knowledge Innovation and Invention (ICKII)	Sapporo, Japan	https://www.ickii.org/
08.13. - 08.17.	2023 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)	Incheon, Korea (South)	http://fuzz-ieee.org/
08.13. - 08.16.	2023 IEEE International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC)	San Jose, USA, California, USA	https://2023.ifetc.org/
08.14. - 08.16.	2023 10th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FICloud)	Marrakesh, Morocco	http://ficloud.org/2023/
08.14. - 08.16.	2023 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT)	Cairns, Australia	https://www.rfit2023.org/index_s.php
08.15. - 08.16.	2023 9th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCE)	Kuala Lumpur, Malaysia	https://conference.iium.edu.my/iccce/
08.16. - 08.18.	2023 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)	Bridgetown, Barbados	https://ieeecs.org/event/7th-ieee-conference-control-technology-and-applications
08.16.	2023 International Conference on Information Technology Research and Innovation (ICITRI)	Event Format: Virtual	https://icitri.nusamandiri.ac.id/
08.18. - 08.19.	2023 Second International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon)	Singapore, Singapore	http://smarttech-conference.org/2023/
08.18. - 08.22.	2023 IEEE 18th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Ningbo, China	https://www.ieeeiciea.org/2023/
08.18. - 08.19.	2023 7th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation (ICCUBEA)	Pune, India	http://iccubea.pccoepune.com/
08.18. - 08.20.	2023 IEEE 6th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI)	Haikou, China	http://www.prai.net/index.html
08.19. - 08.26.	2023 XXXVth General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS)	Sapporo, Japan	https://www.ursi-gass2023.jp/
08.20. - 08.21.	2023 International Conference for Technological Engineering and its Applications in Sustainable Development (ICTEASD)	Al-Najaf, Iraq	https://icteasd.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.21. - 08.24.	2023 IEEE Conference on Games (CoG)	Boston, Massachusetts, USA	https://2023.ieee-cog.org/
08.21. - 08.23.	2023 20th Annual International Conference on Privacy, Security and Trust (PST)	Copenhagen, Denmark	https://pstnet.ca/
08.21. - 08.24.	2023 5th International Conference on Industrial Artificial Intelligence (IAI)	Shenyang, China	http://conf.kzgc.com.cn/iai2023/
08.22. - 08.25.	2023 27th International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics (MMAR)	Mi. dzysdroje, Poland	http://mmar.edu.pl/
08.23. - 08.24.	2023 11th International Conference on Information and Communication Technology (IColCT)	Event Format: Virtual	https://www.icoict.org/
08.23. - 08.25.	2023 IEEE Symposium on High-Performance Interconnects (HOTI)	Event Format: Virtual	https://hoti.org/
08.23. - 08.25.	2023 Second International Conference on Augmented Intelligence and Sustainable Systems (ICAISS)	Event Format: Virtual	http://icaiss.in/2023/
08.25. - 08.28.	2023 IEEE Smart World Congress (SWC)	Portsmouth, United Kingdom	https://ieee-smart-world-congress.org/
08.25. - 08.26.	2023 IEEE 13th International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)	Penang, Malaysia	http://acscrg.com/iccsc2023/
08.25.	2023 IEEE 8th International Conference On Software Engineering and Computer Systems (ICSECS)	Penang, Malaysia	https://icsecs.ump.edu.my/index.php/en/
08.25. - 08.27.	2023 3rd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)	Ravet IN, India	https://asiancon.org/
08.25. - 08.27.	2023 IEEE 17th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)	Peradeniya, Sri Lanka	https://iciis.org/
08.25. - 08.27.	2023 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)	Xining, China	https://www.ieee-smartiot.org/
08.25. - 08.26.	2023 International Conference on Networking, Electrical Engineering, Computer Science, and Technology (IConNECT)	Bandar Lampung, Indonesia	https://iconnect.teknokrat.ac.id/
08.26. - 08.27.	2023 15th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)	Hangzhou, China	http://ihmsc.zju.edu.cn/
08.26. - 08.30.	2023 IEEE 19th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)	Auckland, New Zealand	https://case2023.org/
08.27. - 08.29.	2023 IEEE Workshop on Wide Bandgap Power Devices and Applications in Asia (WIPDA Asia)	Hsinchu, Taiwan	https://www.wipda-asia2023.org/
08.27. - 08.29.	2023 IEEE Hot Chips 35 Symposium (HCS)	Palo Alto, California, USA	https://www.hotchips.org/
08.28. - 08.31.	2023 IEEE AUTOTESTCON	National Harbor, Maryland, USA	https://2023.autotestcon.com/
08.28. - 08.30.	2023 IEEE 11th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)	Athens, Greece	https://www.segah.org/2023/
08.28. - 08.31.	2023 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)	Busan, Korea (South)	http://ro-man2023.org/main
08.28. - 08.31.	2023 IEEE 14th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED)	Chania, Greece	https://www.ieee-sdemped.org/
08.28. - 08.31.	NAECON 2023 - IEEE National Aerospace and Electronics Conference	Dayton, Ohio, USA	https://attend.ieee.org/naecon-2023/
08.28. - 08.30.	2023 IEEE Regional Symposium on Micro and Nanoelectronics (RSM)	Langkawi, Malaysia	https://ieeemalaysia-eds.org/rsm2023/
08.29. - 08.31.	2023 IEEE Conference on Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology (CIBCB)	Eindhoven, Netherlands	https://cmte.ieee.org/cis-bbcb/cibcb2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
08.29. - 09.01.	2023 12th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)	Oshawa, Ontario, Canada	http://www.icrera.org/
08.30. - 09.01.	2023 28th International Conference on Automation and Computing (ICAC)	Birmingham, United Kingdom	https://cacsuk.co.uk/icac/
08.30. - 09.01.	2023 IEEE 6th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)	Singapore	http://www.ieee-mipr.org/
08.30. - 09.01.	2023 IEEE 29th International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA)	Niigata, Japan	https://rtcsa.org/
08.30. - 09.01.	2023 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS)	Taipei, Taiwan	https://www.aris2023.org/
08.31. - 09.01.	2023 10th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)	Semarang, Indonesia	https://icitacee.undip.ac.id/2023/

The Magazine of the IEIE

특별회원사 명단

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)디비하이텍	최창식	경기도 부천시 수도로 90(도당동)	032-680-4700	www.dbhitek.com
(주)레티널	김재혁	경기도 안양시 동안구 부림로170번지 41-10, 4층	02-6959-7007	https://letinar.com
(주)마르시스	박용규	서울시 강남구 언주로 85길 7	02-3445-3999	http://www.marusys.com
(주)세미파이브	조명현	경기도 성남시 분당구 양현로 322, 코리아디자인센터 2층		http://www.semifive.com
(주)센서위드유	이윤식	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 501-4호	052-912-4282	http://www.sensorwyoyou.com
(주)에스비솔루션	변영재	울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 106동 401-3호	052-217-7343	http://www.sb-solutions.co.kr
(주)에어포인트	백승준	대전광역시 유성구 테크노2로 187, 204호(용산동, 미건테크노월드 2차)	042-484-5460	http://www.airpoint.co.kr
(주)와이솔	김지호	경기도 오산시 가장로 531-7	070-7837-2730	http://www.wisol.co.kr
(주)웨이브피아	이상훈	경기도 화성시 동탄기흥로 557 금강펜테리움IT타워 1301호	031-8058-3384	http://www.wavepia.com
KT	구현모	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.com
LG이노텍(주)	정철동	서울시 강서구 마곡중앙10로 30	02-3777-1114	www.lginnotek.com
LG전자(주)	조주완, 배두용	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG넥스원	김지찬	서울시 서초구 강남대로 369(서초동, 나라빌딩)	02-1644-2005	http://www.lignex1.com
LPKF Laser&Electronics	이웅상, 벤델레코츠마티아스	경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길	031-689-3660	www.lpkf.com/kr
SK텔레콤(주)	유영상	서울시 중구 을지로65(을지로2가) SK T-타워	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com
SK하이닉스(주)	박정호, 곽노정	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
네이버(주)	최수연	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	https://www.navercorp.com
누리미디어	최순일	서울시 영등포구 선유로 63, 4층(문래동 6가)	02-710-5300	http://www.nurimedia.co.kr
대덕전자(주)	신영환	경기도 안산시 단원구 강촌로230 (목내동 475)	031-8040-8000	http://www.daeduck.com
대전테크노파크	임현문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djtpr.or.kr
도요일렉트론코리아(주)	원재형	경기도 화성시 장안면 장안공단 6길 51	031-260-5000	https://www.tel.com
리얼텍코리아 주식회사	팅치창	서울시 서초구 사임당로 18, 석오빌딩 5층	070-4120-7966	www.realtek.cpm/en
비전테크	이원복	대전 유성구 테크노2로 187, 미건테크노월드2차 1층 118호	042-934-0236	http://www.visiontechkorea.com
삼성전자(주)	한종희, 경계현	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	02-1588-3366	https://www.samsung.com
스카이칩스	이강윤	수원시 장안구 서부로 2066, 산학협력센터 85511호	031-299-6848	http://www.skaichips.co.kr
스테코(주)	박영우	충청남도 천안시 서북구 3공단1로 20(백석동)	041-629-7480	http://www.steco.co.kr
에스에스앤씨(주)	한은혜	서울시 영등포구 당산로171, 1301	02-6925-2550	http://www.secnc.co.kr
에어스메디컬	이진구	서울시 관악구 남부순환로 1838	070-7777-3186	www.airsmmed.com
오토아이티(주)	정명환	대구시 수성구 알파시티1로 117	053-795-6303	www.auto-it.co.kr
유정시스템(주)	이재훈	서울시 구로구 디지털로26길 110	02-852-8721	www.yjsys.co.kr
정보통신정책연구원	권호열	충북 진천군 덕산읍 정통로 18	043-531-4389	www.kisdi.re.kr
(주)LX세미콘	손보익	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	www.lxsemicon.com

회원사	대표자	주 소	전 화	홈페이지
(주)넥스틴	박태훈	경기도 화성시 동탄면 동탄산단9길 23-12	031-629-2300	http://www.nextinsol.com
(주)더스텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	http://www.doestek.co.kr
(주)만도	정몽원, 조성현, 김광현	경기도 평택시 포승읍 하만호길 32	02-6244-2997	www.mando.com
(주)빅텍	임만규	경기도 이천시 마장면 덕이로 180-31	031-631-7301	http://www.vitek.co.kr
(주)스프링클라우드	송영기	경기도 성남시 창업로 42	031-778-8328	www.aspringcloud.com
(주)시스메이트	이상만	대전시 유성구 유성대로 1184길 41	042-486-6135	http://www.sysmate.com
주식회사 뷰웍스	김후식	경기도 안양시 동안구 부림로 170번길 41-3	070-7011-6161	https://www.vieworks.com
(주)실리콘마이터스	허엽	경기도 성남시 분당구 대왕판교로 660 유스페이스-1 A동 8층	1670-7665	http://www.siliconitus.com
(주)싸이몬	정창호	경기도 성남시 분당구 별말로48(구 야탑동 272-1 케이디티빌딩)	02-480-8580	http://www.cimon.com
(주)싸인텔레콤	박영기	서울시 영등포구 경인로 775, 문래동 3가 에이스하이테크시티 1동 119호	02-3439-0033	http://www.signtelecom.com
(주)솔리드	정준, 이승희	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 솔리드스페이스	031-627-6000	http://www.st.co.kr
(주)유니트론텍	남궁 선	서울시 강남구 영동대로 638(삼도빌딩) 9층	02-573-6800	http://unitrontech.com
(주)코클리어닷에이아이	한윤창	서울시 강남구 봉은사로 51길 26		www.cochl.ai
(주)크레셈	오상민	대전시 유성구 대덕대로 582, 4층 402호(도룡동, 옥토빌딩)	031-427-3445	http://www.cressem.com
(주)텔레칩스	이장규	서울시 송파구 올림픽로 35다길 42(신천동 한국루터회관)19~23층	02-3443-6792	www.telechips.com
(주)티에이치엔	이광연, 채승훈	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
(주)티엘아이	김달수	경기도 성남시 중원구 양현로 405번길 12 티엘아이 빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
(주)해치텍	최성민	충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 40, 스타기업관 207호	043-715-9034	http://www.haechitech.com
중소벤처기업진흥공단	김학도	경상남도 진주시 동진로 430	055-751-9380	www.kosmes.or.kr
케이케이테크(주)	김경하	경기도 안성시 대덕면 무능로132	031-678-1586	http://www.k-ktch.co.kr
코어인사이트(주)	유용훈	경기도 성남시 중원구 갈매치로 186 반포테크노피아 5층	031-750-9200	http://www.coreinsight.co.kr
한국알박(주)	김선길	경기도 평택시 청북읍 한산길5	031-683-2922	http://www.ulvackora.co.kr
한국인터넷진흥원	이원태	서울시 송파구 중대로 135 (가락동) IT벤처타워	02-405-5118	http://www.kisa.or.kr
한국전기연구원	명성호	경남 창원시 성산구 불모산로10번길 12 (성주동)	055-280-1114	http://www.keri.re.kr
한국전자기술연구원	김영삼	경기도 성남시 분당구 새나리로 25 (야탑동)	031-789-7000	http://www.keti.re.kr
한국전자통신연구원	김명준	대전시 유성구 가정로 218	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한화시스템(주)	김연철	서울시 중구 청계천로 86 (장교동) 한화비딩 (19,20층)	02-729-3030	http://www.hanwhasystems.com
현대로템(주)	이용배	경기도 의왕시 철도박물관로 37	031-596-9114	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스(주)	조성환	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차(주)	정익선, 장재훈, 이동석	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
호리바에스텍코리아(주)	김성환 외 1명	경기도 용인시 수지구 디지털벨리로 98 호리바빌딩	031-6520-6500	http://www.horiba.com
히로세코리아(주)	이상엽	경기도 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
히타치하이테크코리아(주)	MIYOSHI KEITA	경기도 성남시 분당구 정자일로 155, 엔16층(정자동, 분당두산타워)	031-725-4201	https://www.hitachi-hightech.com

박사학위 논문초록 게재 안내

본 학회에서는 전자공학회지에 국내외에서 박사학위를 취득한 회원의 학위 논문초록을 게재하고 있으니 해당 회원 여러분의 적극적인 참여를 바랍니다.(단, 박사학위 취득후 1년 이내에 제출해 주시는 것에 한함.)

성 명	(국문)	(한문)	(영문)
학위취득	학 교 명	대학교	학과
	취득년월	년 월	지도교수
현 근무처 (또는 연락처)	주 소	(우편번호 :)	
	전화번호	FAX번호	
학위논문 제목	국 문		
	영 문		
KEY WORD			

국문 초록(요약) : 1000자 이내

보내실 곳 _ 06130

서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)

사무국 회지담당자앞

E-mail : biz@theieie.org

TEL : (02)553-0255(내선 5)

FAX : (02)552-6093



대한전자공학회

The Institute of Electronics and Information Engineers

전자공학회지 <월간>

제50권 제4호(통권 제467호)

The Magazine of the IEIE

2023년 4월 20일 인쇄

2023년 4월 25일 발행

발행및

편집인

인쇄인

발행인

(사) 대한전자공학회

한림원(주)

사 단 법 인 대 한 전 자 공 학 회

회장 이 혁 재

대표 김 흥 중

(우)06130 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 제1관 907호)

TEL.(02)553-0255~7 FAX.(02)552-6093

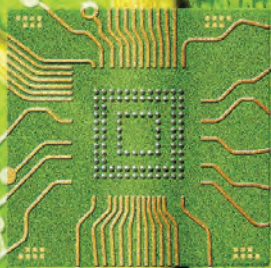
E-mail : ieie@theieie.org

Homepage : http://www.theieie.org

씨티은행 102-53125-258

첨단기술로 더 나은 환경을 만듭니다

더 나은 미래를 열어가는 기술
환경문제를 해결하는 기술
반도체의 미래를 준비하는 일
지금, SK하이닉스가 하고 있습니다
We Do **Green** Technology



“미래 기술 · 신산업 기술 정보의 보고” 해동일본기술정보센터, 최신 정보 한글요약 제공



서울대학교 공과대학 해동일본기술정보센터는 대덕전자(故)김정식 회장의 열정과 지원에 의해 최신 일본 기술정보를 산업계와 학계에 널리 알리고자 2010년 3월에 설립하여 현재까지 운영해 오고 있습니다.

3천여권의 공학 및 신산업 관련 서적과 20여종의 Nikkei가 발행한 정기간행물과 40여개사의 기술보고서 등 4천여권의 도서를 통해 다양한 분야의 기술 정보를 제공하고 있습니다.

2016년부터는 소장 정보를 26개의 신산업 카테고리로 구분하여 미래기술과 신산업 관련한 정기간행물의 특집기사와 신문기사의 한글요약 제공과 함께, 주간브리핑 등을 통해 매주 새로운 정보를 메일과 SNS 등으로 배포하고 있습니다.

상세한 사항은 로그인 없이 모든 정보와 이용이 가능한 홈페이지를 참조바랍니다.

