

ISSN1016-9288

제50권 5호

2023년 5월호

전자공학회지

The Magazine of the IEIE

vol.50. no.5

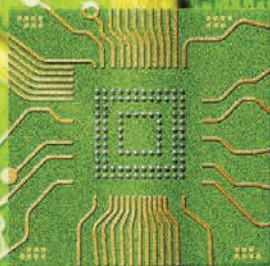
신진연구자 연구 소개

- 고신뢰성 저항변화 소자 개발과 응용
- 시스템 반도체 테스트 방법론
- 사물 인터넷 보안을 위한 물리적 복제 방지 함수
- FPGA HLS을 이용한 맞춤형 반도체 설계
- 원격 스토리지 접근을 위한 시스템소프트웨어



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





【멀티 Vi】



24.7% 줄어드는 소비 전력!
날씨, 공간, 상황을 정확히 분석해서 최적의 에너지 효율을 찾아내는

국내 최초 시엔진

LG WHISEN 시스템에어컨
MULTI V™ i



• 시스템에어컨 구입/제품문의: 1544-8777 • 서비스 문의: 1544-7777 • www.lge.co.kr/kr/business

• 국내 시스템에어컨 최초 AI+(에이아이플러스) 인증 획득, KSA 한국표준협회, 인증번호 AIM-0013, 유효기간 2021-03-17~2023-03-16 • AI+ 인증은 국내 유일의 인공지능 품질인증으로, 소프트웨어 품질 국제표준(ISO/IEC 25023 및 25051)과 품질경영시스템 국제표준(ISO 9001)을 기반으로 인공지능 기술이 적용된 제품과 서비스의 신뢰성, 안전성 등 품질을 증명 • NET(New Excellent Technology) 신기술 인증 획득, 한국산업기술진흥협회, 인증번호 제1345호, 유효기간 2021-09-29~2024-09-28 • NET 인증은 한국산업기술진흥협회가 우수한 신기술에 부여하는 인증으로, 현장학습 엔진을 장착한 AI기반 시스템에어컨 제어 기술 인증 • 쾌적공간 도달속도 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전 시 쾌적공간에 평균 28.5%(10.9~55.6%) 빠르게 도달 • 사용되는 소비전력 시험 결과, 일반 운전 대비 스마트케어 운전에 의한 소비전력 평균 24.7%(9~38.2%, 3시간 누적) 절감
• 시험장소: LG전자 창원 스마트 파크2 주택환경 챔버 실험실(38평(125㎡), 13.3m X 9.4m(총고 2.7m)), 와이즈 스톤(WISESTONE) 시험 진행 • 시험조건: KS B 15042, 냉방 표준(35℃/40%), 난방표준(7℃/87%) 및 냉방 정마월(27℃/78%) 조건을 추가하여 3가지 조건에서 진행 • 시험일시: 21.02.15~21.03.17 • 대상모델: MULTI V 57kw AI 엔진 장착 모델

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



Authorized
Dealer

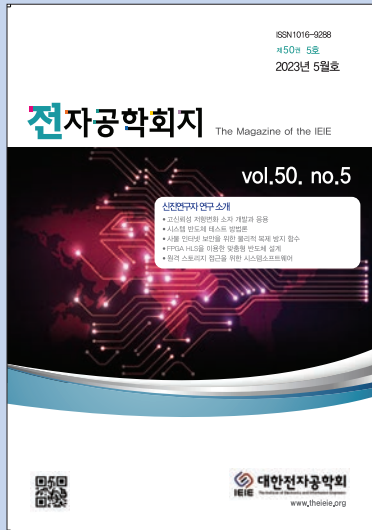


키티스 産學研情報(株)
KITIS Info. & Co., Ltd.

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

CONTENTS

제50권 5호 (2023년 5월)



※ 학회지 5월호 표지 (vol 50, No 5)

회지편집위원회

- 위 원 장 양 준 성 (연세대학교 교수)
- 위 원 박 관 서 (연세대학교 교수)
 - 박 승 창 (쑤유오씨 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 : 신진연구자 연구 소개

- 18 특집편집기 / 양준성
- 19 고신뢰성 저항변화 소자 개발과 응용 / 김건환
- 27 시스템 반도체 테스트 방법론 / 이영우
- 35 사물 인터넷 보안을 위한 물리적 복제 방지 함수 / 이종민
- 45 FPGA HLS를 이용한 맞춤형 반도체 설계 / 최영규
- 53 원격 스토리지 접근을 위한 시스템소프트웨어 / 황재현

회원광장

- 61 논문지 논문목차
- 63 박사학위 논문초록 / 오윤석(연세대학교)

정보교차로

- 64 국내외 학술행사 안내 / 편집부
- 78 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 (숭실대학교 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 (숭실대학교 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 (㈜LX세미콘 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 (KSDI 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 (이주대학교 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	고성제 (고려대학교 교수)
	김덕진 (고려대학교 명예교수)
	김영권 (건국대학교 명예교수)
	문영식 (한양대학교 교수)
	박진옥 (육군사관학교 명예교수)
	서정욱 (전 과학기술부 장관)
	이문기 (연세대학교 명예교수)
	이진구 (동국대학교 명예교수)
	임제탁 (한양대학교 명예교수)
	전홍태 (중앙대학교 명예교수)
	홍승홍 (인하대학교 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)	서승우 (서울대학교 교수)
성광모 (서울대학교 명예교수)	윤종웅 (한국공학교육인증원 이사장)
이상설 (한양대학교 명예교수)	이재홍 (서울대학교 명예교수)
이충웅 (서울대학교 명예교수)	이태원 (고려대학교 명예교수)
임혜숙 (이화여자대학교 교수)	전국진 (서울대학교 명예교수)
정정화 (한양대학교 명예교수)	홍대식 (연세대학교 교수)

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)

구본태 (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)
위원	권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)
	권관서 (연세대학교 교수)
	오운호 (고려대학교 교수)
	하태준 (광운대학교 교수)

한재호 (고려대학교 교수)	김진영 (광운대학교 교수)
김승환 (한국전자통신연구원 책임연구원)	송철 (DGIST 교수)
배현철 (한국전자통신연구원 책임연구원)	윤상민 (국민대학교 교수)
원용욱 (명지대학교 교수)	

논문편집위원회

위원장	정진곤 (중앙대학교 교수)
부위원장	정해준 (경희대학교 교수)
위원	강성복 (한국생산기술연구원 수석연구원)
	권구덕 (강원대학교 교수)
	김명선 (한성대학교 교수)
	김영로 (명지전문대학교 교수)
	김학구 (중앙대학교 교수)
	임민중 (동국대학교 교수)
	조성인 (동국대학교 교수)

강제원 (이화여자대학교 교수)	공규열 (한성대학교 교수)
권종원 (한국산업기술시험원 책임연구원)	김기연 (한국산업기술시험원 박사)
김상범 (한국폴리텍대학교 교수)	김선웅 (건국대학교 교수)
김영선 (대림대학교 교수)	김태환 (한국항공대학교 교수)
심규성 (한경대학교 교수)	유재준 (UNIST 교수)
임승찬 (한경국립대학교 교수)	정민채 (세종대학교 교수)
추민성 (한양대학교 교수)	

국제협력위원회

위원장	김용신 (고려대학교 교수)
부위원장	권영수 (한국전자통신연구원 책임연구원)
위원	김정석 (가천대학교 교수)
	최웅 (숙명여대 교수)

김종욱 (고려대학교 교수)	채관엽 (삼성전자(주) 마스터)
권혁인 (중앙대학교 교수)	
박성정 (건국대학교 교수)	
한진호 (한국전자통신연구원 책임연구원)	

대외협력위원회

위원장	김훈 (인천대학교 교수)	연규봉 (한국자동차연구원 책임연구원)
부위원장	김성우 (서울대학교 교수)	

위	원	김 동 순 (세종대학교 교수)	김 사 혁 (KISDI 책임연구원)	김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)
		김 형 준 (한국전자통신연구원 센터장)	안 광 호 (한국전자기술연구원 센터장)	이 권 형 (LG전자㈜ 책임연구원)
		이 형 민 (고려대학교 교수)	최 광 성 (한국전자통신연구원 실장)	한 상 옥 (삼성전자㈜ 책임연구원)
		황 성 운 (가천대학교 교수)		

산학협동위원회

위	원	장	연구 봉 (한국자동차연구원 실장)	김 원 중 (한국전자통신연구원 실장)	서 종 열 (LG전자㈜ 그룹장)
위	원		김 민 규 (LG이노텍㈜ 상무)	이 용 옥 (한화시스템 부사장)	이 재 관 (한국자동차연구원 소장)
			손 교 민 (삼성전자㈜ 마스터)	이 재 훈 (유정시스템 대표이사)	정 일 권 (한국전자통신연구원 본부장)
			이 재 규 (삼성전자㈜ 마스터)	최 병 호 (한국전자기술연구원 본부장)	
			최 기 창 (서울대학교 교수)		

회원관리위원회

위 원 장	선 우 경 (서울대학교 교수)				
부 위 원 장	강 명 곤 (한국교통대학교 교수)				
위 원	김 윤 (서울시립대학교 교수)	김 형 진 (인하대학교 교수)	민 경 식 (국민대학교 교수)		
	배 종 호 (국민대학교 교수)	송 익 현 (한양대학교 교수)	유 경 창 (삼성전자㈜ 수석연구원)		
	유 동 훈 (디사일로 연구소장)	이 상 훈 (㈜웨이브피아 대표이사)	이 정 원 (서울대학교 교수)		
	채 영 철 (연세대학교 교수)	최 웅 (숙명여자대학교 교수)			

회지편집위원회

위	원	장	양 준 성 (연세대학교 교수)	박 승 창 (㈜유오씨 사장)	안 진 호 (호서대학교 교수)
위	원		박 관 서 (연세대학교 교수)	장 지 원 (연세대학교 교수)	정 재 용 (인천대학교 교수)
			윤 석 현 (단국대학교 교수)	한 태 화 (연세대학교 의료원 팀장)	허 준 (고려대학교 교수)
			최 정 옥 (한양대학교 교수)		

사업위원회

위	원	장(총괄)	유 찬 세 (한국전자기술연구원 센터장)	김 중 헌 (고려대학교 교수)	김 철 우 (고려대학교 교수)
위	원	장	김 익 균 (한국전자통신연구원 본부장)	이 남 윤 (고려대학교 교수)	제 민 규 (한국과학기술원 교수)
			선 우 경 (서울대학교 교수)	김 시 준 (강원대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)
위	원		권 경 하 (한국과학기술원 교수)	안 호 균 (한국전자통신연구원 실장)	윤 상 훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
			신 세 운 (UNIST 교수)	임 매 순 (한국과학기술연구원 책임연구원)	장 지 수 (삼성전자㈜ PE)
			이 정 원 (서울대학교 교수)	허 재 두 (한국전자통신연구원 책임연구원)	
			한 동 국 (국민대학교 교수)		

교육연구위원회

위 원 장	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)		
부 위 원 장	변 대 석 (삼성전자㈜ 마스터)		
위 원	김 선 옥 (고려대학교 교수)	동 성 수 (용인예술과학대학교 교수)	류 현 석 (서울대학교 교수)
	박 영 우 (TEL 부사장)	변 영 재 (UNIST 교수)	윤 종 윤 (㈜파두 사장)
	이 영 택 (ASML 전무)	이 후 진 (한성대학교 교수)	최 병 수 (한국전자통신연구원 실장)

홍보위원회

위 원 장	정 영 모 (한성대학교 교수)		
부 위 원 장	김 수 연 (동국대학교 교수)	최 재 혁 (한국과학기술원 교수)	
위 원	서 민 재 (가천대학교 교수)	송 준 영 (인천대학교 교수)	심 용 (중앙대학교 교수)
	윤 희 인 (UNIST 교수)	이 구 순 (파이낸셜뉴스 부국장)	이 창 우 (가톨릭대학교 교수)
	정 완 영 (한국과학기술원 교수)	추 민 성 (한양대학교 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)	김 성 동 (서울과학기술대학교 교수)	박 재 영 (광운대학교 교수)
	배 준 호 (가천대학교 교수)	이 상 근 (성균관대학교 교수)	이 종 목 (SOL 대표)
	좌 성 훈 (서울과학기술대학교 교수)	차 철 웅 (한국전자기술연구원 센터장)	한 태 수 (한국전자기술연구원 연구위원)

정보화위원회

위	원	장	조 성 현 (한양대학교 교수)	김 범 현 (한양대학교 교수)	김 중 헌 (고려대학교 교수)
위	원		권 태 수 (서울과학기술대학교 교수)	임 동 구 (전북대학교 교수)	정 방 철 (충남대학교 교수)
			배 준 성 (강원대학교 교수)	추 상 혁 (현대자동차㈜ 책임매니저)	한 정 환 (충남대학교 교수)
			차 혁 규 (서울과학기술대학교 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 욱 (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 의 (㈜LX세미콘 대표이사)	신 윤 승 (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 림 (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 (라운텍 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) - 반도체소자및재료	김 상 인 (아주대학교 교수) - 광파밍및자전자공학	
연구회위원장	김 종 선 (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)

컴퓨터사이터티

회 명 예 회 장

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)
노소영 (월송출판 대표이사)
김포대 (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)

자 문 위 원
감 부 회 장

김승천 (한성대학교 교수)
박준명 (한국교통대학교 교수)
안현식 (동명대학교 교수)
허영 (스마트의료기기산업진흥재단 부이사장)

남상엽 (국제대학교 교수)
박수현 (국민대학교 교수)
심정연 (강남대학교 교수)

김형중 (고려대학교 교수)
신인철 (단국대학교 명예교수)
이규대 (공주대학교 교수)
홍유식 (상지대학교 교수)

정교일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
윤은준 (경일대학교 교수)

협동부회장

김병서 (홍익대학교 교수)
우운택 (한국과학기술원 교수)
이후진 (한성대학교 교수)

김영학 (산업기술평가관리원 본부장)
유성철 (LG히다씨 본부장)
정은성 (홍익대학교 교수)

총무이사
재무이사
홍보이사
편집이사

김진홍 (배재대학교 교수)
박영훈 (숙명여자대학교 교수)
이덕기 (연암공과대학교 교수)
강병권 (순천향대학교 교수)
김정욱 (경희대학교 교수)
노소영 (월송출판 대표이사)
김포대 (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)

기장근 (공주대학교 교수)
김천식 (세종대학교 교수)
심규성 (한경대학교 교수)
이민호 (경북대학교 교수)
이찬수 (영남대학교 교수)

김선욱 (고려대학교 교수)
김한울 (서울과학기술대학교 교수)
윤상훈 (한국전자기술연구원 책임연구원)
이세호 (전북대학교 교수)
정해명 (김포대학교 교수)

학술이사

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 (㈜태진인포텍 전무)

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 (㈜태진인포텍 전무)

김영선 (한성대학교 교수)
백광현 (중앙대학교 교수)
이정선 (울지대학교 교수)
임재균 (명지병원 소장)
한태화 (연세대학교 의료원 팀장)

사업이사
산학이사

박승찬 (㈜유오씨 사장)
김대휘 (㈜한국정보통신 대표이사)
서봉상 (㈜올포랜드 이사)
오소훈 (주얼린 대표이사)
조병순 (CNC instrument 사장)
심정연 (강남대학교 교수) - 멀티미디어
윤은준 (경일대학교 교수) - 융합컴퓨팅
김도현 (제주대학교 교수) - M2M/IOT
정영규 (가천대학교 교수) - 인공지능 및 보안
정영 (홍익대학교 교수) - 블록체인

진훈 (경기대학교 교수) - 휴먼ICT
이민호 (경북대학교 교수) - 인공지능/신경망/퍼지
우운택 (한국과학기술원 교수) - 중강유현
김명선 (한성대학교 교수) - AI응용

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) - 중강유현
김명선 (한성대학교 교수) - AI응용

인공지능 신초처리사이터티

회 명 예 회 장

송병철 (인하대학교 교수)
김정태 (이화여자대학교 교수)
김홍국 (광주과학기술원 교수)
이영렬 (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)
김소룡 (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)
김준조 (중앙대학교 교수)
곽진태 (고려대학교 교수)
김광주 (한국전자통신연구원 연구원)
김상호 (성균관대학교 교수)
김원하 (경희대학교 교수)
김종민 (강원대학교 교수)
김해광 (세종대학교 교수)
박구만 (서울과학기술대학교 교수)
박현진 (성균관대학교 교수)
서영호 (광운대학교 교수)

김종욱 (고려대학교 교수)
박종일 (한양대학교 교수)
전병우 (성균관대학교 교수)

김창익 (한국과학기술원 교수)
심종규 (광운대학교 교수)
조남익 (서울대학교 교수)

부회
협동부회장

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)

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)

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 (충남대학교 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)

협동이사

곽노준 (서울대학교 교수)
권구락 (조선대학교 교수)
김동현 (연세대학교 교수)
김동환 (한국전자기술연구원 수석연구원)
김진진 (계명대학교 교수)
김진우 (경성대학교 교수)
박구만 (서울과학기술대학교 교수)
박성훈 (한국과학기술원 교수)
배성호 (경희대학교 교수)
서진근 (연세대학교 교수)

곽노준 (서울대학교 교수)
권구락 (조선대학교 교수)
김동현 (연세대학교 교수)
김동환 (한국전자기술연구원 수석연구원)
김진진 (계명대학교 교수)
김진우 (경성대학교 교수)
박구만 (서울과학기술대학교 교수)
박성훈 (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)	엄명호 (인텔리빅스 대표이사)	유양모 (서강대학교 교수)
윤국진 (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)
이종석 (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)	장용준 (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)		
김현용 (경희대학교 교수)	한재호 (고려대학교 교수)	
김동보 (이화여자대학교 교수)		
강석주 (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 제어사이어티

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

산업전자사이어티

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 (한국정보통신 부장)
	이병건 (㈜오픈링크시스템 이사)	오재곤 (한국정보기술 상무이사)	이경원 (한국종합기술공사 상무이사)
	이승태 (㈜하나텍시스템 이사)	이성대 (시티랩스 이사)	이승민 (㈜통신시스템 대표이사)
	임준섭 (㈜대신정보통신 차장)	이웅우 (㈜쌍용정보통신 상무이사)	이지학 (한국암시시스템 대표이사)
	정민우 (한국정보통신 상무이사)	장기웅 (㈜나날에스앤아이 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)
김상완 (서강대학교 교수)	김성태 (한국산업기술평가관리원 연구위원)	김선용 (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)	김진상 (경희대학교 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)	김형탁 (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 (소암시스텔 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 (대전대학교 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 (시스메이트 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 충 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 홍 (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
 이소진 서기 - 국제학술대회 담당(ITC-CSCC, ICEIC, ICCE-Asia), 외국 기관과 국제협력(Joint Award 등), JSTS 및 SPC 발간

학회소식

제3차 상임이사회 회의록

제3차 상임이사회가 4월 14일(금) 17시 학회 회의실에서 개최되었으며, 이번 회의 결과는 다음과 같다.

- 다 음 -

1. 성원 보고

- 제3차 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.
- 간선평의원 후보 승인에 대해 원안대로 승인함.

4. 기타

스케일업 팁스 사업 협력 MOU 체결

우리 학회는 3월 17일 재미한인혁신기술기업인협회, KAIST기술가치창출원, 한국스케일업팁스협회 간 스케일업 팁스 선정기업의 기술사업화, 글로벌 진출, 기술이전 등을 위해 협력하는 MOU를 체결하였다.

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



가운데가 이영 중소벤처기업부 장관,
그 오른쪽에 이충용 수석부회장

반도체 민간 R&D 업무협약 체결(5.9)

국가의 반도체 기술 경쟁력 강화를 위해 과학기술정보통신부 주도하에 산업계, 학계, 연구계 등 주요 기관이 참여해 반도체 기술 정책과 사업 방향을 지속적으로 협력하는 “반도체 민간 R&D 협의체”의 일원으로 업무협약을 체결하였다.



이혁재 학회장, 유관 학회들을 대표하여 인사



과학기술정보통신부, 기업체, 연구기관, 학회, 협회 등 반도체 유관기관 참여

특별회원 및 유관기관 방문

학회 회장단은 4~5월 중 히타치하이테크코리아, 마르시스, 한국전자통신연구원 등을 방문하여 현안과제를 논의하고 상호 협력방안을 모색하였다.



히타치하이테크코리아(주) - 이용식 사장



(주) 마르시스 - 박용규 대표이사



한국전자통신연구원 - 방승찬 원장



뷰웍스 - 김후종 대표이사



솔리드 - 정 준 대표이사



국가보안기술연구소 - 최효진 소장

2023 IES 춘계학술대회 및 산업전자 기술세미나

2023년 IES 춘계학술대회 및 산업전자 기술교육 세미나(시 기술 기반 최신 기술동향 및 산학연 활용방안)가 2023년 4월 21일(금)~22일(토) 일정으로 개최되었으며, 4월 21일(금)에 개최된 일정으로 오전 세션에서는 춘계 학술발표로 카메라 왜곡 보정기법을 이용한 사출검사 시스템(인학공업전문대학 고정환 외 1)을 비롯한 8편의 논문 발표로 진행되었고, 오후 세션에서는 AI Enterprise Business Platform(대보정보통신(주) 한상욱 상무) 외 6편의 기술 세미나를 진행하였으며, 4월 22일(토) 오전에 세션에서는 2~3년제 대학을 비롯하여 대학들이 고민하고 있는 졸업예정자들에 대한 취업률 증대방안에 대한 패널 토론회를 진행하여 많은 대학들의 고민을 공유할 수 있었다. 특히, 4월 21일 오전 세션을 통하여 산업전자 소사이어티에 소속된 교수들 간의 학술교류를 진행하였으며, 오후 세션에서는 산학협력 업체들과의 기술세미나를 통한 기술 정보 공유의 장이 될 수 있도록 하였으며, 이번 행사에 학계 및 산업체에서 100여 명의 참여가 있었으며, 산학 협력의 장이 마련되었다. 4월 21일(금) 행사 이후에 진행된 만찬에서는 실질적인 산학협력 교류의 장이 될 수 있도록 하였고, 이 교류의 장을 통하여 산업체와 학계간의 교류, 산업체와 산업체 간의 협력 교류가 이루어질 수 있도록 진행하였다.



2023 IES 춘계학술대회 및 산업전자 기술세미나 기념촬영



기술 교육 세미나 강연모습

아날로그/파워 IC 설계 워크샵

반도체소사이어티(회장 : 김진상 교수(경희대))에서는 4월 27일(목) 한국반도체산업협회 9층 교육장(온라인병행)에서 “아날로그/파워 IC 설계 워크샵”을 개최하였다.

이번 워크샵은 시스템 반도체의 경쟁력을 높이기 위한 핵심 기술로서 아날로그 회로의 중요성은 지속적으로 강조되고 있는 상황에서 아날로그 회로 설계에 대한 기초적인 개념들과 최근의 주요 설계 이슈 등에 대한 내용으로 워크샵을 개최하였다.

또한 학계 및 산업계 최고의 강사들이 참여하여 최근 주요한 연구 주제로 부각되고 있는 다양한 분야의 설계 이슈 및 주요 기업의 제품 설계 등에 대한 강의를 통해 아날로그 회로 설계 전공자들의 지식의 폭을 넓히는 기회가 될 수 있었으며 90여명이 참가하였다.



아날로그/파워 IC 설계 워크샵 환영사
(김진상 반도체소사이어티 회장)



워크샵 발표모습

2023 정보 및 제어 심포지엄

시스템 및 제어소사이어티(김영진 회장, 한국생산기술연구원) 대한 전기학회와 공동 주최로 5월 2(화) ~ 4(목), 제주 부영호텔에서 양일간에 걸쳐 “정보 및 제어 심포지엄”을 진행하였다. 초청강연으로 “메타버스 산업 기술동향 및 활용전략” 김광웅 원장 (차세대 R & D 기술정책연구원) 강연 및 논문발표에 약 120명이 오프라인으로 참석한 가운데 성황리에 개최되었다.



2023 정보 및 제어 심포지엄 행사모습

2023 SoC 학술대회

SoC설계연구회(위원장 : 김중선 교수(홍익대))에서는 5월 13일(토) 국민대학교에서 "2023 SoC 학술대회"를 개최하였다.

이번 학술대회는 100여편의 논문이 발표되었으며 학술발표와 더불어 신진 교수 25편의 초청발표를 같이 구성하여 최신 연구 동향을 공유할 수 있는 프로그램을 구성하여 진행하였다.

이런 프로그램들이 국내 SoC 관련 연구 인력이 모여 정보 및 의견을 교환할 수 있는 장이 되었으며 SoC 연구 분야의 최신 연구 동향 및 향후 설계 연구에 도움이 되는 학술대회가 되었다. 그리고 약 300여 명이 참석하였다.



2023 SoC 학술대회

축사(대한전자공학회 이혁재 회장, 반도체소사이어티 김진상 회장, 반도체공학회 이규복 회장)

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



학술대회 구두, 포스터 세션 발표장 전경

신규회원 가입현황

기간 2023년 4월 1일 – 4월30일

〈정회원〉

신우중(㈜스탠더드시험연구소), 장진행(LG전자), GUDALA(SENSOR WITH YOU COMPANY), 장원두(부경대학교), 한서우(뷰메진), 오동렬(제주대학교), 권경하(한국과학기술원), 안선호(한국산업기술시험원), 김철순(한국전자기술연구원), 한종훈(한국철도기술연구원), 김정태, 김성영(한화시스템)

이상 12명

〈평생회원〉

채관엽(삼성전자), 김혁(서울시립대학교), 송혁(한국전자기술연구원), 한진호(한국전자통신연구원)

이상 4명

〈학생회원〉

송은기, 장서영, 최유진(DGIST), 서지원, 오현호, 조선아(가천대학교), 박인영(경북대학교), 권태환, 김홍석(고려대학교), 김도원, 박수빈(상명대학교), 강범진, 강희범, 김영찬, 서유민, 오성준, 윤석규, 이영민, 이해인, 정상범, 황인성(서울과학기술대학교), 김동현, 김호현, 박서연, 이원주(서울시립대학교), 장혜정(이화여자대학교), 이권수(충남대학교), 김동현(포항공과대학교), 김동연(한경대학교), 강전민(한국공학대학교), 유근영, 한승원(한양대학교)

이상 32명

학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF
ELECTRONICS AND INFORMATION
ENGINEERS

(2023년 4월 16일 ~ 5월 15일)

1. 행사 개최

구분	행사명	기간	장소
산업전자소사이어티	2023 IES 춘계학술대회 및 산업전자 기술세미나	4.21~22	서울가든호텔
반도체소사이어티	아날로그/파워 IC 설계 워크샵	4.27	한국반도체산업협회
시스템및제어소사이어티	2023 정보 및 제어 심포지엄	5.2~4	제주 부영호텔
반도체소사이어티	2023 SoC 학술대회	5.13	국민대학교

신진연구자 연구 소개



양 준 성 편집위원
(연세대학교)

최근 몇 년간 코로나 19로 인해 만남의 장이 제한되어 전자공학 분야 연구자들의 교류 기회가 온라인에서만 진행되었다. 이제 안전한 일상회복이 이루어짐에 따라 대한전자공학회 활동들이 대면행사로 이루어지고, 이를 통해 다양한 대면 교류의 기회가 많아 질 것을 기대한다.

특히, 대한전자공학회는 매년 여름, 가을에 개최하는 하계종합학술대회와 추계학술대회의 신진연구자 세션을 통해 교류의 장을 마련하고 신진연구자들을 소개하여 왔다. 그동안 제한적이었던 교류의 기회를 학술대회전에 먼저 마련하고자, 본 특집호는 전자공학회지를 통해 신진연구자들의 정보를 교류하고 소개하는 기회를 마련하고자 기획하게 되었다. 대한전자공학회의 다양한 소사이터티에 속하는 연구자들을 소개하고, 진행하고 있는 연구를 함께 공유할 수 있는 기회를 가지고자 한다.

본 특집호는 신진연구자들의 연구 내용 소개 글 5편으로 구성되었다. 첫째, “고신뢰성 저항변화 소자 개발과 응용(김건환)”에서는 외부의 자극에 대하여 저항이 변하고 그 변화된 저항 상태를 기억하는 소자인 멤리스터(Memristor : 메모리(Memory)와 레지스터(Resistor)의 합성어)에 대하여 소개하고 기존 전통적인 메모리에 대항하기 위한 동작 메커니즘과 고집적화를 위한 새로운 구조 및 동작 안정성을 극복하기 위한 내용에 대한 소개를 한다. 둘째, “시스템 반도체 테스트 방법론(이영우)”은 4차 산업 혁명에서 매우 중요한

역할을 하는 시스템 반도체의 동작 안정성을 보장하기 위해 필수적인 테스트 방법론을 소개하여 그 중요성을 전달한다. 셋째, “사물 인터넷 보안을 위한 물리적 복제 방지 함수(이종민)”은 사물 인터넷 기기들에서 발생하는 수많은 데이터를 보호하기 위하여 필수적인 보안 기술에 대하여 소개하며, 기존의 소프트웨어 보안 기술을 넘어서는 하드웨어 기반의 물리적 복제 함수를 통한 보안 향상에 대하여 소개한다. 넷째, “FPGA HLS을 이용한 맞춤형 반도체 설계(최영규)”는 신경망, 그래프 가속기 등 다양한 응용프로그램의 특징 연산에 특화된 맞춤형 반도체 설계에 많이 사용되는 FPGA 설계 방법으로 HLS(High Level Synthesis : 하이레벨 합성) 기술에 대한 자세한 설명을 한다. 마지막으로, “원격 스토리지 접근을 위한 시스템소프트웨어(황재현)”는 인공지능, 빅데이터, 자율주행, 메타버스 등 많은 컴퓨팅 자원을 필요로 하는 상황에서 원격 스토리지 접근에서 CPU 효율적인 소프트웨어 설계 기술에 대한 내용을 소개하고, 제안하는 기술의 성능 평가 결과에 대하여 논의한다.

바쁜 일정 중에 연구를 소개하여주시신 신진연구자분들께 감사드리며, 본 특집호가 신진연구자들과 다른 연구자들의 교류와 협력을 위한 계기가 되기를 바란다. 또한, 소개된 연구가 더 많은 학회 회원분들에게 공유되기를 기원하며, 신진연구자들의 성공적인 연구와 대한전자공학회 진입에 도움이 되기를 바란다. 또한, 본 특별지를 통해 신진 연구자들의 연구가 많이 소개되고 발전적인 연구로 이어질 수 있기를 응원한다.

고신뢰성 저항변화 소자 개발과 응용

I. 서론

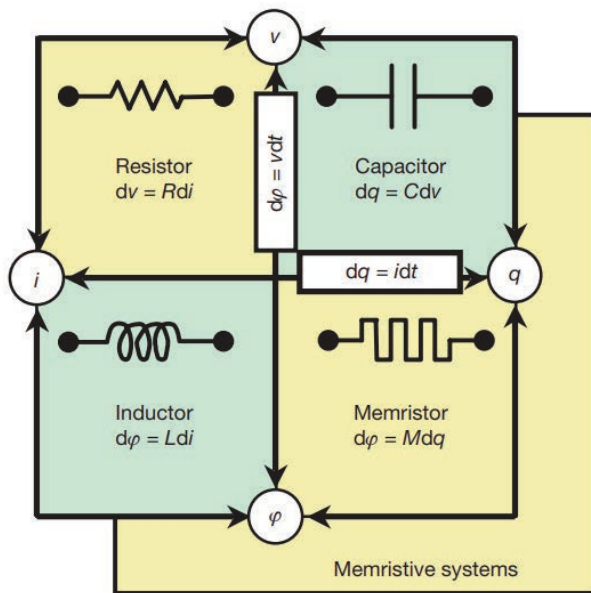
멤리스터 (Memristor)는 메모리 (Memory)와 레지스터 (Resistor)의 합성어로 외부의 자극에 대하여 저항이 변하고 그 변화된 저항 상태를 기억하는 소자를 통칭한다. 1971년 Leon Chua가 'The missing circuit element'에서 ^[1] charge와 flux간의 관계로부터 4th basic circuit element의 존재를 알렸으며, 2008년 Hewlett-Packard社의 R. S. Williams 연구팀은 Leon Chua의 이론을 실험을 통해 실증하였다. ^[2] 이후 많은 대학과 기업에 있는 연구자들이 멤리스터, 특히 저항변화 소자에 대한 연구에 뛰어들었으며, 그 결과 관련된 수많은 소재 개발, 동작 메커니즘 분석, 집적 소자 제작 및 평가, 동작 신뢰성 향상 등에 대한 연구 보고가 쏟아져 나왔다.

저항변화 소자의 응용처로써 가장 많이 연구된 것은 차세대 메모리 소자이다. 저항변화 소자는 빠른 동작 속도, 2 단자의 단순한 구조, 저장된 정보의 비휘발성 특성으로 현 컴퓨터의 메모리 hierarchy에서 working memory인 DRAM (Dynamic Random Access Memory)과 storage memory인 NAND flash의 동작 성능 간 차이를 메워줄 메모리 소자 (SCM, storage class memory)로써의 응용이 각광 받았다. 삼성, SK 하이닉스, 인텔, Micron, Sandisk, Toshiba, Panasonic, Sony 등의 유명 chip maker들은 2010년대에 이르러 경쟁적으로 집적화된 저항변화 소자를 발표하였으며, ^[3-5] 이들 기업과 공동연구를 진행한 유수의 대학들에서도 저항변화 소자의 동작 메커니즘 규명, 고집적화를 위한 새로운 소자 구조를 제안하였다.

오랜 기간의 연구에도 불구하고 저항변화 소자가 stand-alone memory 혹은 embedded memory로의 양산 (mass production)에 접어들지 못한 것은 반복적인 동작에서 나타나는 산포의 문제 때문이었



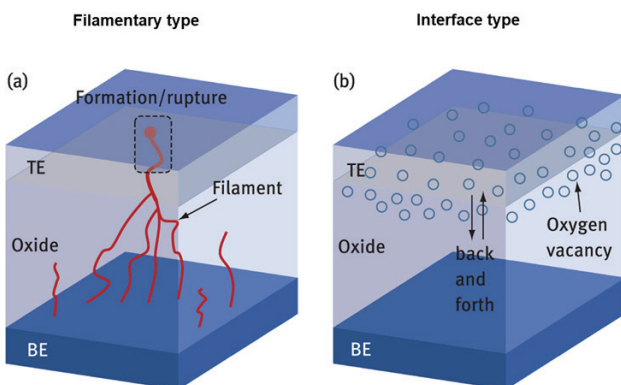
김 건 환
연세대학교



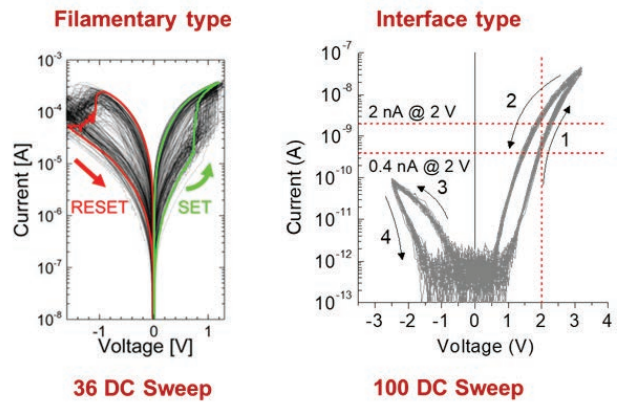
〈그림 1〉 HP 연구팀의 멤리스터 관련 도식^[2]

다. 메모리 소자로써 가져야하는 여타의 동작 특성 및 신뢰성은 거듭된 연구를 통해 지속적으로 개선되어 왔으나, 저항변화 소자가 갖는 동작 산포는 많은 연구에도 불구하고 뚜렷한 개선을 보이지 못하였다. 이는 저항변화 소자의 동작 기구인 이온의 확률적인 거동에 기인한다.

지금까지의 연구로 알려진 저항변화 소자의 동작 기구는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 하나는 conducting filament의 생성과 소멸에 의한 것이고, 다른 하나는 저항변화 층 내의 mobile ion의 움직임에 의한 전극과 절연층 (혹은 반도체 층)사이의 electronic barrier height modulation이다. 〈그림 2〉 Conducting filament의 생성과 소멸에 의한 저항변화 현상은 매



〈그림 2〉 (a) Conducting filament (b) Interface type 의 저항변화 동작 기구^[6]



〈그림 3〉 저항변화 동작 기구에 따른 DC 전류-전압 이력 곡선 비교 (좌^[7], 우^[8])

우 국소적인 영역에서 일어나며, 원인이 되는 이온의 종류에 따라 VCM (valence change memory)와 ECM (electrochemical metalization)으로 나눌 수 있다. 이들의 특징을 보면, 초기 pristine한 저항변화 층을 사이에 두고 있는 양단의 전극에 강한 전계를 인가하여 초기 conducting filament를 형성하고 (electro-forming 과정) 이어지는 reset (저저항 (LRS, Low Resistance State)에서 고저항 (HRS, High Resistance State)로의 저항변화) 과정을 통해 한 사이클의 저항변화 주기를 완성한다. 이러한 conducting filament 기반의 저항변화 현상은 그 생성 / 소멸 과정에서 확률적인 거동이 불가피하여 cycle-to-cycle의 산포뿐만 아니라 device-to-device의 산포도 매우 높다는 일반적인 특징을 보인다. 이러한 현상을 해결하고자 저항변화 층 내 금속나노입자의 삽입, 저항변화 층의 결정화도 조절, critical dimension의 축소 등의 방법이 제안되었으나 만족할 만한 동작 산포의 개선을 보이지는 못하였다.

반면 electronic barrier height modulation에 의한 저항변화 현상 (계면제어형 저항변화, Interface type resistive switching phenomenon)은 conducting filament 기반의 저항변화 현상 대비 동작 산포에서 매우 우수한 특성을 나타낸다. 그림에도 불구하고 계면제어형 저항변화 현상에 대한 많은 보고가 없었던 이유는 계면제어형 저항변화소자의 비휘발성 특성 (Retention characteristic)이 일반적으로 나쁘기 때문이다. 이에 대

〈표 1〉 저항변화 소자의 동작 기구별 비교

	Interface type	Filamentary type
Operation current	Low	High
Operation voltage	~	~
Operation latency	Slow (in low current)	Fast (in high current)
Operation distribution	Good	Poor
Endurance	Good	Poor
Retention	Poor (Improvable)	Good
Electro-Forming	Not needed (in most cases)	Essential (in most cases)
Linearity / Symmetry	Good	Poor

한 원인은 계면제어형 저항변화소자의 동작 기구를 생각해 보면 쉽게 알 수 있는데, 인가된 전계에 의해 한쪽 전극으로 모였던 mobile ion들이 인가되었던 전계를 제거하면 쉽게 흩어져서 우리가 원하는 만큼의 electronic energy barrier height를 유지하지 못하기 때문이다. 최근 본 연구진은 이에 대한 해결방안을 제시하여 매우 좋은 동작 산포와 신뢰성 특성을 구현한 연구 결과를 발표한 바 있다^[8]

〈표 1〉은 저항변화 기구에 따른 동작 parameter간 비교를 정리해 놓은 것이다. 표에서 보듯 두 가지 저항변화 기구 간 발현되는 동작 parameter들의 장/단점은 극명하게 상반되는 것을 알 수 있다. 하지만, 주목할 만한 것은 계면제어형 저항변화 소자의 경우 conducting filament type의 소자의 단점들 대비 ‘개선 가능한’ 점이라는 것이다. 즉, 계면제어형 저항변화 소자의 경우 최적화된 소재 및 소자구조의 도입을 통해 단점을 원하는 수준만큼 개선하는 것이 가능한 반면, conducting filament 기반의 저항변화 소자는 그 단점의 개선책들이 많이 보고되었으나, 원하는 수준에 이르지 못하는 경우가 더 많다는 것이다. 연구 개발자의 의지에 따라서 표에 도시된 각 저항변화 동작 기구에 따른 개발 방향이 차이가 있을 수는 있으나, 본 글에서는 저항변화 현상의 가장 근본적이고 해결이 힘든 동작 산포에 초점을 두고 그에

수반되는 여타의 단점을 극복하는 방안을 제시하는 것으로 방향을 정하고자 한다.

먼저, 계면제어형 저항변화 소자의 동작 parameter의 단점인 retention 특성과 동작 latency의 개선을 위한 방안을 제시하고, 계면제어형 저항변화 소자를 적용한 1 kb 수준의 집적소자 (CA, Crossbar array)에서의 동작 특성을 소개한다.

II. 계면제어형 저항변화 소자 특성 개선

1. Retention 특성 개선

앞서 서론에서 언급한 바와 같이 계면제어형 저항변화 소자는 외부에서 인가된 전계에 의해 저항변화층 내부의 mobile ion이 움직여서 형성하는 전극-저항변화층간 electronic energy barrier height의 변화를 그 동작 기구로 한다. 따라서, 특정한 저항상태를 구현하기 위해서 저항변화층 내부에는 ion들의 농도 구배 (concentration gradient)가 존재하며, 이는 외부 전계가 사라지게 되면 자연스럽게 흩어지게 된다. 우리에게 의지에 따라 특정한 저항상태를 유지하기 위해서는 ion들의 농도 구배를 유지할 수 있게 하기 위한 소재 또는 소자구조의 개선이 필요하며, 이와 관련한 본 연구진의 연구 결과를 소개하고자 한다.

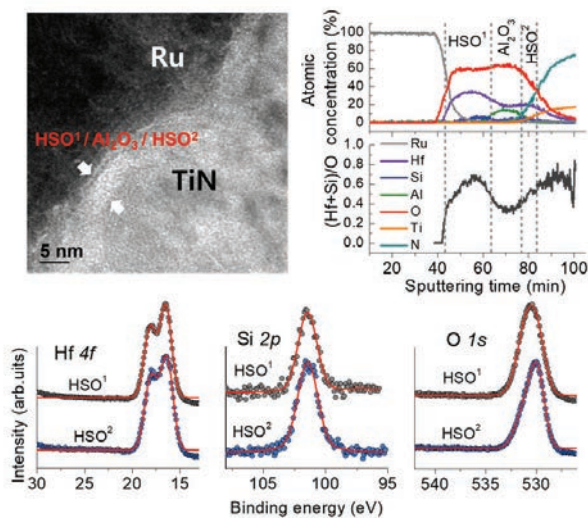
1-1. 산소저장층 및 산소확산 방지막의 적용

일반적으로 많이 보고된 저항변화층은 거의 대부분 금속산화물 (metal oxide)로 이루어져 있으며, 금속산화물은 내부의 산소공공 (oxygen vacancy) 혹은 이동 가능한 산소이온 (mobile oxygen ion)을 포함하는 것으로 잘 알려져 있다. 따라서, 외부 전계에 의해 전극 쪽으로 이끌려온 산소이온을 전계의 도움 없이도 흩어지지 않게끔 할 수 있다면 retention 특성을 개선할 수 있을 것이다. 이를 위해 사용되는 기능성 박막 (thin film)층을 산소저장층 (oxygen reservoir)라 한다.

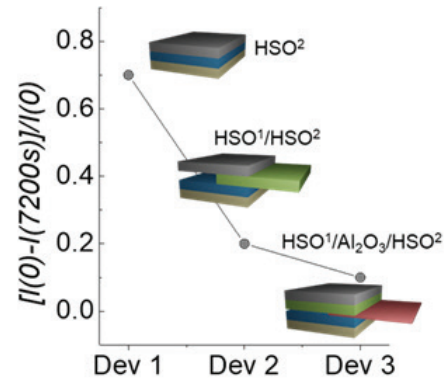
산소저장층은 그 기능의 특성상 저항변화층과 인접하여 구성되고 저항변화층으로부터 유입된 산소를 물리적 또는 화학적으로 ‘묶어’둘 수 있어야 하며, 필요에 따라서 (저항을 변화시키고자 하는 경우) 도로 내어줄 수도 있어야 한다. 따라서, 산소저장층으로 사용되는 소재는 저항변화층과의 산소친화도의 측면에서 ‘유사’한 정도의 화학적 특성을 가져야 한다.

본 연구진의 관련된 연구에서는 HfSiO_x (HSO2)를 저항변화층으로 사용하였으며, 이와 유사한 화학적 조성의 HfSiO_y (HSO1)를 산소저장층으로 적용하였다.

〈그림 4〉에서 볼 수 있듯이 HSO1과 HSO2는 화학적 조성에서 약간의 차이를 보인다. 즉, 산소저장층으로 사용되는 HSO1의 경우 HSO2 대비 산소의 평균적인 결합



〈그림 4〉 HfSiO_x 기반의 게이트제어형 저항변화 소자^[8]



〈그림 5〉 HSO 기반 저항변화 소자의 소자 구조별 retention 특성 평가 결과^[8]

에너지가 높다는 것을 알 수 있고, 이는 HSO1 층이 그 내부에 상대적으로 높은 산소공공이 있다는 것을 의미한다. 따라서 외부 전계에 의해 HSO2로부터 이끌려온 산소이온이 HSO1에 붙들리게 되고 이는 외부 전계가 인가되지 않은 상황에서도 어느 정도 산소이온의 농도 구배를 유지하여 retention 특성을 유지할 수 있게 해주는 역할을 할 수 있다. 〈그림 5〉에서는 이와 같은 특성을 통한 retention 특성의 향상을 실험적으로 확인한 결과를 볼 수 있다. HSO2 단일층을 사용하였을 때 (~ 70% of retention loss)에 대비하여 HSO1/HSO2 적층구조를 사용하였을 때 (~ 20% of retention loss)를 보임을 알 수 있다.

하지만, HSO1 산소저장층을 적용하였음에도 불구하고 여전히 만족할 만한 수준의 retention 특성이 구현되지는 못하였으며 추가적인 산소확산 방지층을 삽입하여 최종적으로 retention loss를 10% 이하로 줄일 수 있었다. 산소저장층의 적용을 통해 retention 특성의 비약적인 증가를 구현하였지만, 일부 산소이온의 재확산을 막지 못하여 완전한 retention 특성을 얻지 못하였다. 이를 위해 HSO1과 HSO2 사이에 1 nm의 Al₂O₃ 층을 삽입하였으며, 최종적으로 〈그림 5〉에서 확인할 수 있듯이 retention 특성의 추가적인 향상을 구현할 수 있었다. 이는 외부전계에 의해 산소이온이 매우 얇은 Al₂O₃ 층을 투과한 후 전계가 사라진 이후의 산소이온 재확산이 억제되는 것으로 생각된다. 관련한 계산 결과를 〈그림 6〉에서 확인할 수 있다.

1-2. 2차원 소재 기반의 산소저장층

산소저장층은 앞서와 같이 저항변화층과의 화학적 성질의 유사성을 전제로 하기 때문에 소재의 선택에 있어서 제약이 있을 수 있다. 이에 본 연구진은 2차원 소재를 사용하여 산소저장층 역할을 할 수 있음을 실험적으로 검증하여 보고한 바 있다.

2차원 소재는 단위 층간 공간이 존재하며, 이들 공간상에 이동해온 산소이온을 저장할 수 있다면 저항변화층과의 화학적 상관관계를 고려치 않게되어 폭 넓은 소재 선택이 가능할 것으로 판단된다.

〈그림 7〉은 원자층증착법 (ALD, atomic layer deposition) 방식으로 형성한 SnS_2 layer를 TiO_2 저항변화층과 연계하여 실험한 결과이며, 2차원 소재인 SnS_2 가 층간에 산소를 저장함으로써 산소저장층으로써의 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다.

2. 동작 지연 특성 개선

일반적인 계면제어형 저항변화 소자는 낮은 동작 전류 특성을 갖는다. 이는 소모 전력을 낮출 수 있다는 장점을 갖지만, 상대적으로 동작 속도를 느리게 하는 단점도 존재한다. 특히, 이온의 움직임에 의해 저항을 바꾸는 기구에 기반을 두고 있기 때문에 이에 대한 개선은 소재적인 면에서 찾아볼 수 있을 것이다.

산소이온의 움직임만에 의존하는 금속산화물 기반의 계면제어형 저항변화 소자에서 음이온 (산소이온) 뿐만 아니라 양이온 (금속이온)의 움직임을 함께 이용할 수 있

다면 동작 지연 특성을 개선할 수 있는 가능성이 있다. 이에 본 연구진은 공동연구를 하는 대학들과 함께 관련 연구를 진행하고 있으며, 알칼리 금속산화물 박막 소재를 사용한 동작 지연 특성의 개선에 대해 연구 중이다.

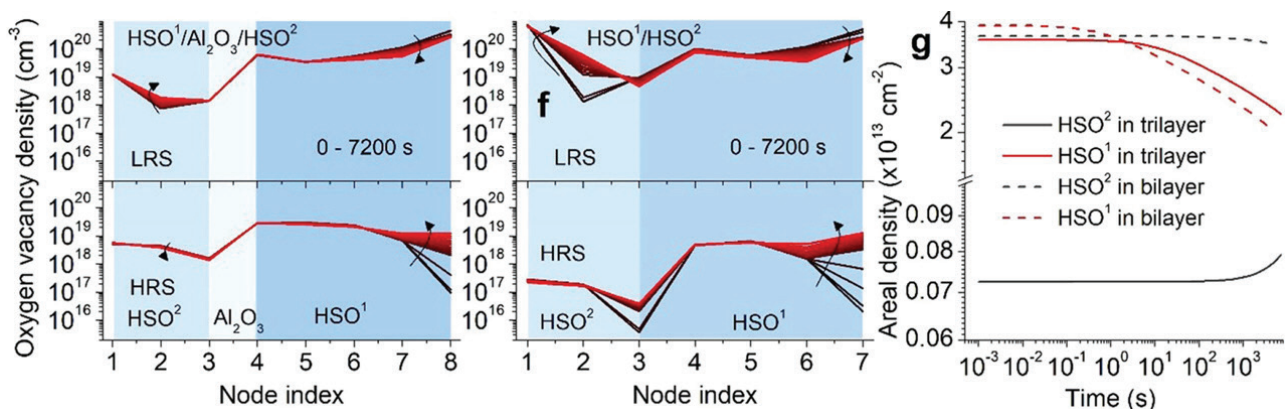
일반적으로 알칼리 금속 이온은 기능성 박막내에서 높은 이동도를 갖는 것으로 알려져 있다. 이를 이용하여 effective resistive switching layer를 만든다면 산소이온만을 이용하는 system 대비 좋은 동작 지연특성을 구현할 수 있을 것으로 판단된다. 〈그림 8〉

소재적인 측면으로의 접근 이외에도 여타의 해결방안이 있을 것으로 보이며 관련한 연구는 모든 가능성이 열려있는 상황이다.

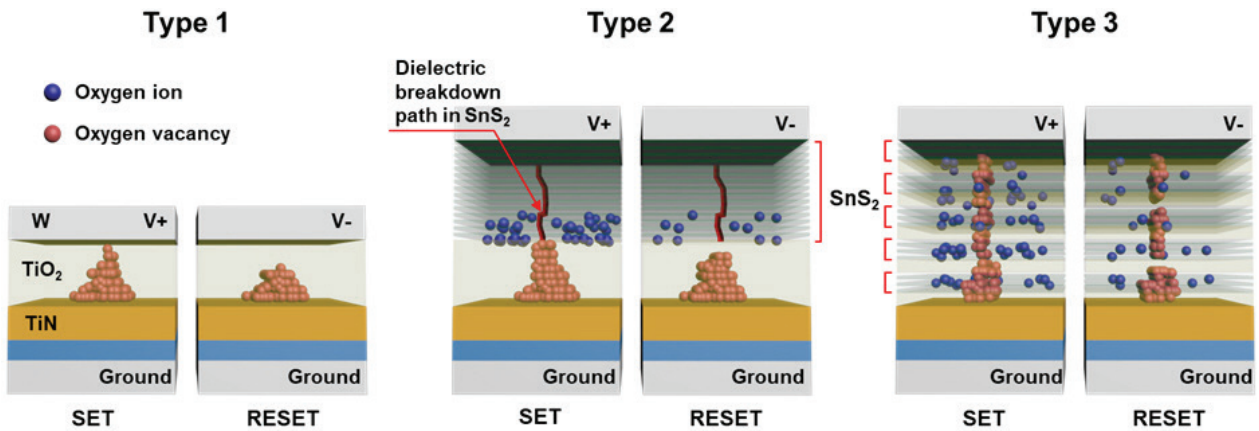
III. 계면제어형 전하변화 소자의 응용

본 연구진이 개발한 HSO 기반의 계면제어형 저항변화 소자를 이용하여 단일 소자 및 1 kb (32×32) 수준의 crossbar 집적 소자를 제작하여 동작 특성을 검증하였다.

〈그림 9〉는 HSO기반의 계면제어형 저항변화 소자의 단일 셀의 동작 특성을 보여주고 있다. 100 cycle의 반복적인 DC I-V sweep에서도 매우 균일한 이력곡선을 보여주며, retention 특성도 median 값을 기준으로 94%의 비휘발성 특성을 유지하였다. 또한 반복적인 저항변화 특성 (endurance) 및 읽기 동작에 대한 resistance state disturbance 특성은 각각 106과 1010의 우수한 특성을 확인하였다.



〈그림 6〉 HSO 기반의 저항변화 소자 구조에 따른 산소이온 확산 계산 결과^[8]



〈그림 7〉 2차원 구조의 SnS₂를 산소저장층으로 적용한 저항변화 소자의 모식도 [9]

더하여, 다치 기능 (multi-bit operation)도 매우 좋은 산포를 보여 메모리 소자로서의 effective integration density 증가에 대한 기능과 하드웨어 기반의 인공지능 소자에 적용가능함을 확인하였다. 〈그림 10〉

이를 기반으로 하여 1 kb 수준의 crossbar array 집적 소자를 제작하여 두 가지 방향의 특성 평가를 진행하였다. 먼저 HSO기반의 계면제어형 저항변화 소자가 갖는 자체적인 정류 작용 특성을 사용하여 crossbar array 집적 소자에서의 안정적인 쓰기/읽기 특성을 위한 집적도 및 biasing scheme 별 특성을 파악하였으며,

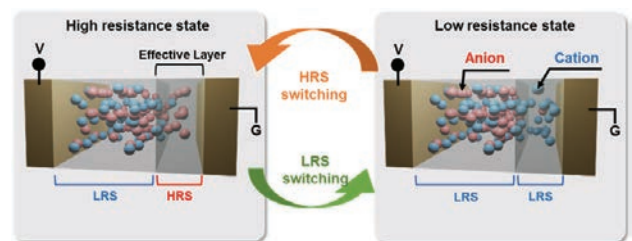
그 결과는 〈그림 11〉에서 보는바와 같다. ~ 100 kb 수준의 crossbar array에서도 본 저항변화 소자는 안정적인 random access가 가능하였으며, 단일 셀에서의 특성과 유사하게 우수한 동작 산포 및 신뢰성 특성을 보임을 실험적으로 확인하였다.

Crossbar array내 개별 셀들에 대한 access가 가능한 1 kb 수준의 집적소자에 대해서는 동작 수율의 전수 조사를 통해 해당 계면제어형 저항변화 소자의 동작 산포를 확인하였으며, 그 결과 동작 수율 100%의 우수한 특성을 구현하였다. 이를 이용하여 새로운 컴퓨팅 방식 (Beyond von-Neumann)의 적용 방식을 모사한 MAC (multiply-and-accumulation) 동작을 실험적으로 구현하였고, 해당 결과는 〈그림 12〉에서 확인할 수 있다. 적용한 biasing scheme은 1/3 방식을 취하였으며, 앞서 소개한 단위 소자의 다치 기능을 적용하여 crossbar array내 다양한 저항상태를 무작위로 분포시킨 4가지 경

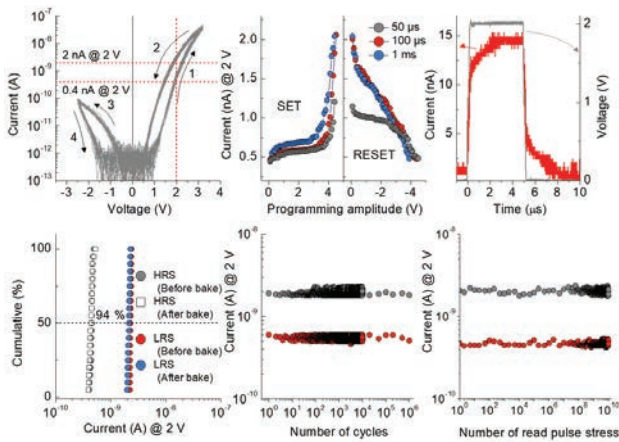
우를 기반으로 하여 MAC 연산을 실시한 결과 이론적인 계산값과 실험적인 측정결과가 상호가 잘 일치함을 확인하였다.

IV. 전망과 결론

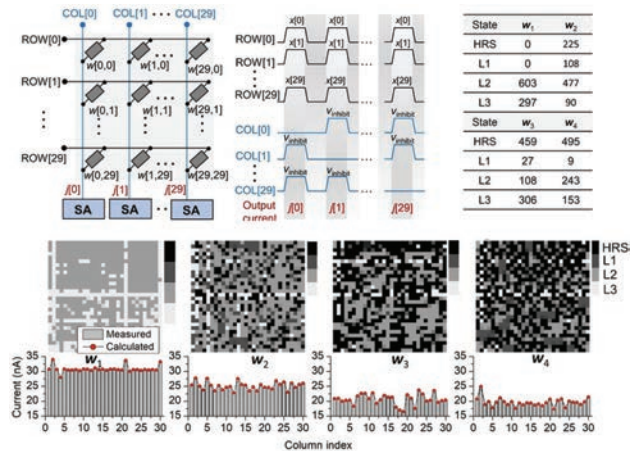
지난 2022년 12월, TSMC와 Infineon은 차량용 반도체 메모리 소자로 RRAM을 적용한 양산 계획을 발표하였다. 차세대 메모리로 각광받아온 소자는 여러 가지가 있으며 (FRAM (Ferroelectric RAM), PRAM (Phase change RAM), MRAM (Magnetic RAM), RRAM (Resistive switchign RAM)), 그 중 RRAM은 본연의 동작 산포로 인하여 이번 양산에 적용되기까지 상대적으로 많은 시간이 걸린 것이 사실이다. 다른 차세대 메모리 소자들이 기성 메모리인 DRAM 과 NAND flash의 월등한 성능의 벽을 넘지 못하고 사라지거나 embedded 向 으로 개발 및 적용이 되어온 지난 흐름을 참고하여, 이번 양산 계획 발표를 시작으로 RRAM이 좋은 소자로 더욱 발



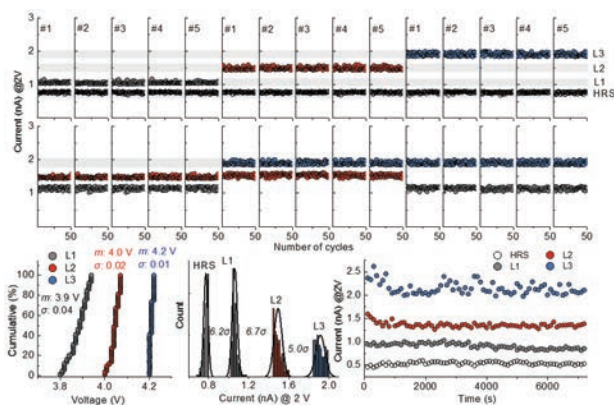
〈그림 8〉 양이온/음이온 동시 제어 기반 저항변화 소자의 모식도



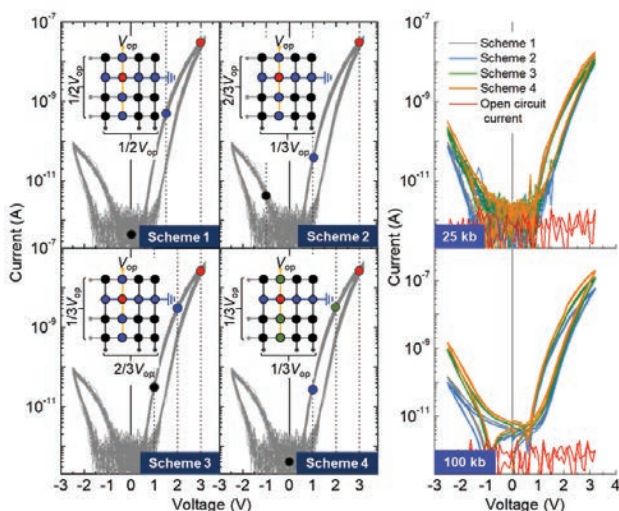
〈그림 9〉 HSO 기반의 계면제어형 저항변화 소자의 단위 셀 특성 평가 결과



〈그림 12〉 1 kb crossbar array 집적 소자를 이용한 MAC 연산 결과



〈그림 10〉 HSO 기반의 계면제어형 저항변화 소자의 다치 기능 특성 평가 결과



〈그림 11〉 Crossbar array 집적도 및 Biasing scheme별 동작특성 확인 결과

전하기 위해서는 추가적인 연구가 필요할 것임은 분명하다. 이에 본 저자는 계면제어형 RRAM소자를 이용한 연구개발에 초점을 맞추어 추가적인 성능 개선을 할 필요성이 있다고 판단하며, 이를 통해 최종적으로는 SCM 向 stand-alone memory 소자 및 하드웨어 기반 인공지능 소자에 RRAM 이 적극적으로 활용되기를 희망한다. 또한 관련한 기업과 대학의 연구를 뒷받침하기 위한 정부의 지원이 확대되기를 기대한다.

참고 문헌

- [1] LEON O. CHUA, "Memristor-The Missing Circuit Element", IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUIT THEORY, pp. 507-519, 1971
- [2] Dmitri B. Strukov, et al. "The missing memristor found", Nature, 453, pp. 80-83, 2008
- [3] M. J. Lee et. al. "A fast, high-endurance and scalable non-volatile memory device made from asymmetric Ta2O5-x/TaO2-x bilayer structures", Nature Materials, 10, pp 625-630, 2011
- [4] Tz-yi Liu et. al. "A 130.7-mm2-Layer 32-Gb ReRAM Memory Device in 24-nm Technology", IEEE JOURNAL OF SOLID-STATE CIRCUITS, 49, pp 140-153, 2014
- [5] R. Fackenthal, et, al, "A 16Gb ReRAM with 200MB/s Write and 1GB/s Read in 27nm Technology", ISSCC 2014
- [6] Amit Prakash et. al. "Multilevel Cell Storage and Resistance Variability in Resistive Random Access Memory", Physical



Sciences Reviews, 20160010, 2016

- [7] H. Kim et. al. "4K-memristor analog-grade passive crossbar circuit", Nature Communications, 12, 5198, 2021
- [8] K. Jeon et. al. "Self-rectifying resistive memory in passive crossbar arrays", Nature Communications, 12, 2968, 2021
- [9] S. Yoo et. al. "Strategic allocation of two-dimensional van der Waals semiconductor as an oxygen reservoir for boosting resistive switching reliability", Applied Surface Science, 577, 151936, 2022



김 건 환

- 2007년 2월 서울대학교 재료공학부 학사
- 2012년 8월 서울대학교 재료공학부 박사
- 2012년 9월 ~ 2015년 8월 삼성전자 반도체연구소 책임연구원
- 2015년 9월 ~ 2023년 2월 한국화학연구원 박막재료연구센터 책임연구원
- 2023년 3월 ~ 현재 연세대학교 시스템반도체공학과 부교수

〈관심 분야〉

차세대 메모리 소자, 하드웨어 기반 인공지능 소자, 기능성 박막공정 개발

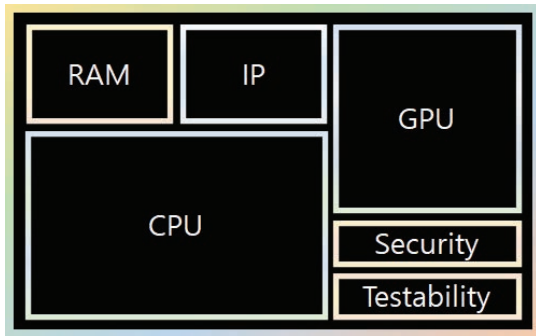
시스템 반도체 테스트 방법론

I. 서론

반도체 기술은 4차 산업 혁명에서 매우 중요한 역할을 담당하며, 인공지능(AI, Artificial Intelligence), 로봇(Robot), 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 클라우드(Cloud), 빅 데이터(Big Data), 자율 주행 자동차 등을 포함한 디지털 분야의 변화를 주도하고 있다. 이를 위해 반도체산업은 해당 분야에 특화된 전용 칩을 개발하여 처리 능력을 향상시키거나 단일 칩에 다양한 기능을 집적하는 연구를 진행하고 있으며, 이는 반도체산업 및 디지털 분야에서 빠르게 진화하는 기술에 대응하기 위해 필수적이다. SoC(System on Chip)는 다양한 기능을 가진 IP (Intellectual Property)로 이루어진 하나의 칩으로, 과거 PCB(Printed Circuit Board) 상에서 여러 개의 반도체 칩이 모여 구현되던 시스템이 한 개의 칩으로 집적되는 기술을 말한다^[1]. IP는 연산 소자(CPU), 메모리 소자(D램, 플래시 등), 디지털 신호처리 소자(DSP, Digital Signal Processor) 등과 같은 주요 기능을 하는 코어, 기능 모듈 등과 같이 지식재산권이 담겨있는 재사용이 가능한 집적회로를 의미한다. 이러한 IP는 이미 설계와 신뢰성 검증이 끝난 것으로 신규 제품 설계 시 검증된 IP 블록을 재사용하여 신속하게 적용할 수 있어 비용이 저렴해지며, 신뢰성 향상을 위해 기존 회로를 재설계하는 번거로움을 피할 수 있다. 이처럼 반도체 칩을 하나의 칩으로 통합하는 SoC 기술은 제품 크기를 줄이고 설계 및 제조비용을 줄이는 등 다양한 장점을 가지고 있다^{[2]-[3]}. 그러나, SoC는 기존의 반도체 칩을 PCB에 적재하는 과정보다 공정이 더 복잡하고 테스트 비용과 시간이 많이 소요되며, 테스트 기술의 발전이 요구된다. 또한, SoC 설계 기술은 빠른 속도로 성장하고 있어 고신뢰성 양질의 제품을 생산하고 제조비용을 절감하기 위해서는 테스트 기술도 함께 발전해야 한다.



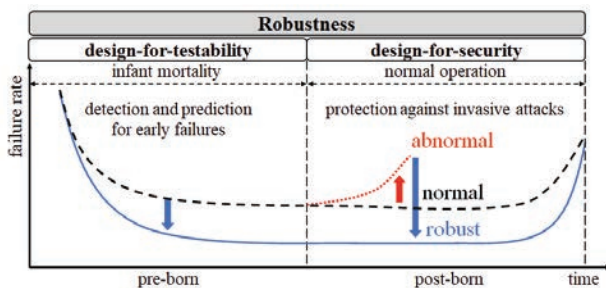
이 영 우
전남대학교



〈그림 1〉 SoC 구조의 예시

II. SoC 테스트 방법론

일반적으로 시스템 반도체의 고장률과 시간의 관계를 나타내는 시스템의 수명 곡선인 욕조 곡선(Bathtub Curve)은 〈그림 2〉와 같으며 주로 신뢰성공학에서 사용된다. 이 곡선은 고장률이 감소하는 초기 고장(infant mortality) 단계와 제품이 초기 고장율의 단계가 낮아지면서 유효 수명 기간 동안 안정적인 상태로 유지되는 정상 수명(Normal Operation) 단계로 나누어진다. 이후, 제품의 설계 수명을 넘어서게 되는 경우 열화(Wear-out) 단계로 노후화가 시작되어 고장률이 증가하게 된다. 초기 단계에서는 설계 및 공정상 등의 문제로 고장이 발생 가능하며, 정상 수명 단계에서는 Random 한 이유 또는 물리적 공격 등의 고의적인 요인으로도 고장이 발생할 수 있기 때문에, 각 단계에서 시스템 고장률을 낮추기 위해서는 테스트 기술을 통해 정확한 고장 검출 및 원인을 파악할 수 있어야 한다. 따라서 초기 단계에서는 정밀한 고장 검출 및 개선을 통해 초기 고장률을 낮출 수 있도록 하고, 정상 수명 단계에서는 칩의 자가 진단 또는 물리적 공격 등에 대응하기 위한 기술이 요구된다.



〈그림 2〉 욕조 곡선(Bathtub Curve)

1. 테스트 용이화 설계 방법론

제도가 완료된 SoC는 불량 제품의 출하를 방지하기 위해 전수조사 즉 테스트가 진행되어야 한다. 이는 불량 제품이 납품되어 고객의 신뢰를 저하하고 매출 감소, 손해 배상 등의 금전적 손실 또한 발생할 수 있기 때문이다. 제품의 다양한 특성에 맞춰 품질과 신뢰성을 확보할 수 있도록 다양한 항목의 테스트가 필요하며, 하나의 칩에 여러 개의 IP가 내장된 경우에도 한정된 시간 속에서 제한된 I/O 및 테스트 핀 수로 내장된 모든 IP에 대하여 테스트를 진행하기 때문에 설계 단계에서부터 테스트 용이화를 반드시 고려해야 한다. 이를 통하여 테스트 시간과 장비 및 제조비용 등의 절감이 가능하다. 테스트 용이화 설계(DFT, Design-for-Testability) 방법론은 설계 초기 단계부터 테스트를 고려하여, 테스트에 소요되는 테스트 핀, 시간, 크기 등의 여러 오버헤드를 줄이는 방법이다. 이는 IP의 기술 형태에 따라 테스트에 필요한 테스트 IP 블록을 제품 내부에 삽입하여 제품의 오류를 효율적으로 테스트하고 진단하여 신뢰성과 품질을 개선할 수 있다^[4]. 테스트 용이화 설계의 대표적인 기술은 1) 스캔 테스트(Scan Test), 2) 바운더리 스캔(Boundary Scan), 3) 내장 자체 테스트(BIST, Built-In-Self-Test), 4) 내장 예비자원 분석(BIRA, Built-In Redundancy Analysis) 등이 있다^[5]. 먼저 스캔 테스트는 DUT(Device Under Test)의 내부 로직 테스트 시 칩의 Observability와 Controllability를 향상시킬 수 있는 기술이며, 이를 위해 플립-플롭(Flip-Flop)에 MUX (Multiplexer)를 삽입한 스캔 셀(Scan Cell)을 사용한다^{[6]-[7]}. 이러한 스캔 셀은 선형으로 연결되어 스캔 체인(Scan Chain)을 형성하고, MUX의 선택 신호를 통해 회로의 내부에 접근하여 제어할 수 있다. 스캔 체인에 입력되는 테스트 패턴은 자동 테스트 패턴 생성(ATPG, Automatic Test Pattern Generation)을 사용하여 생성이 가능하다. 이후 스캔 체인이 테스트 모드일 때 테스트 패턴이 인가되며, 스캔 체인의 실제 출력값과 예상 출력값을 비교하여 회로의 오류나 결함을 찾아낼 수 있다. 두 번째로 바운더리 스캔은 여러 개의 칩이 집적된 PCB나 SoC에서 내/외부 칩 간 연결 등을 테스트하는 데 사용되는 기술이다. 이 기술은

JTAG(Joint Test Action Group)이라고도 불리며, IEEE 1149.1으로 정의한 표준화된 규격으로 테스트를 위한 5개의 TAP(Test Access Port)인 TDI (Test Data In), TDO(Test Data Out), TCK(Test Clock), TMS(Test Mode Select), TRST(Test Reset)으로 구성되어있다. 내부는 TAP제어기, BSC(Boundary Scan Cell), 인스트럭션 및 데이터 레지스터로 구성되어있으며, 이러한 구조를 기반으로 칩 또는 보드 내/외부의 입출력 핀을 제어하여 BSC로 칩의 동작 상태를 관찰하거나 레지스터를 읽고 수정하여 오류 및 결함을 찾아낼 수 있다. 하지만, 이러한 테스트 기법들은 특정 테스트 패턴을 인가하고 테스트 결과를 예상 값과 비교를 통해 고장 유무를 판정하기 때문에 회로의 크기 및 테스트 패턴의 수가 기하 급수적으로 증가하는 문제가 있어 이를 해결하기 위한 방법인 테스트 응답 압축 기술인 내장 자체 테스트 기법이다. 즉 BIST는 칩 내부에서 테스트 패턴을 생성하고, 그에 따른 테스트 응답을 압축하여 고장 여부를 검사하는 기술이다. 이를 위해 칩 내부는 LFSR (Linear Feedback Shift Register)과 MISR(Multiple Input Shift Register), 비교기로 구성된다^{[8]-[9]}. LFSR은 의사 난수(Pseudo Random Number) 패턴을 생성하여 테스트 패턴을 칩 내부에서 자동 생성하고, MISR는 인가된 테스트 패턴에 대한 회로의 응답을 압축한 후, 정상적인 결과(Golden Signature)와 비교하여 고장 여부를 검사할 수 있다.

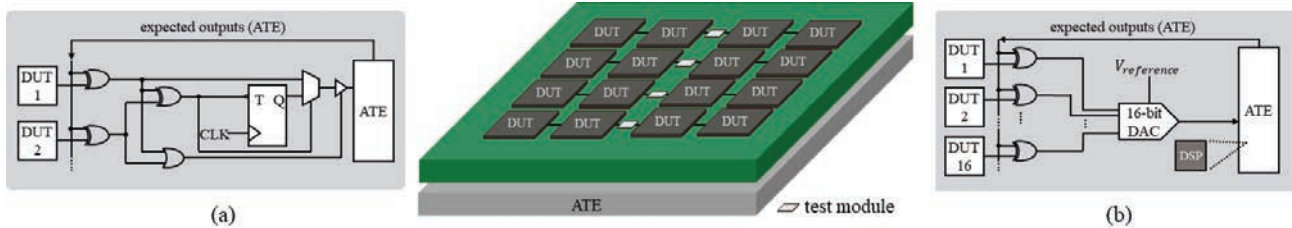
2. 보안 설계 방법론

앞서 언급한 바와 같이 SoC는 다수의 IP를 집적하여 구조화시키는 기술이며, 이러한 IP에는 칩의 설계 정보나 특히 보안과 관련된 IP의 경우 기밀 및 민감한 정보들을 포함하고 있다. 따라서 반도체의 안정적인 동작을 위해서는 비인가된 접근으로부터 IP를 보호하여 칩의 신뢰성과 안정성을 보장해줄 수 있는 기술이 필요하다^[10]. 칩에 가해지는 비인가된 접근의 목적은 시스템 자체에 물리적인 손상을 가하여 회로 구조 등을 분석하거나 원하는 정보를 획득하는데 있다. 이는 공격 종류와 방법에 따라 분류가 가능한데, 공격 태도의 경우 칩이 정상적인 상태에서 관찰을 진행하는 수동형(Passive)과 칩을 비정상적인

상태에서 공격을 진행하는 능동형(Active)으로 구분할 수 있고 공격 결과 발생한 물리적 접촉 정도에 따라 침투, 준 침투, 비 침투로 나눌 수 있다. 그 중 침투 공격은 물리적으로 접촉하여 칩 패키지를 분해 후 내부 회로를 직접 관찰하고 분석하는 방식으로, 가장 강력하고 위협적인 공격 방법 중 하나이다^[11]. 침투 공격의 방식은 마이크로프로빙(Microp probing), FIB (Focused Ion Beam) 장비를 이용한 회로 수정, layout reconstruction, de-packaging 등이 있으며, 가장 주된 위협인 마이크로프로빙과 회로 수정 공격에 대한 간략한 설명은 다음과 같다. 마이크로프로빙은 프로브를 칩 내부 와이어에 접촉한 후 회로의 데이터를 읽거나 변경, 주입하는 공격이며, 회로 수정 공격은 고가의 장비를 이용하여 회로를 재연결하거나 보안 회로를 파괴하여 무력화시켜 원하는 정보를 획득하는 방법이다^{[12]-[13]}. 보안 설계(DFS, Design for Security) 방법론은 테스트 용이화 설계와 마찬가지로 설계 초기 단계에 적용하며, 비인가된 접근으로부터의 방어를 통해 반도체 신뢰성을 향상시키는 기술이다. 마이크로프로빙에 대한 가장 효과적인 DFS 기술은 두 신호 간 도착 시간의 비대칭성을 감지하는 것이다. 프로브가 금속 와이어에 접촉하면 마이크로 프로브에 내장된 캐패시턴스에 의하여 신호가 지연되는데, 이 현상을 기반으로 두 금속 와이어의 도착 신호를 비교하여 마이크로프로빙 공격을 감지한다^[14]. 또한, 회로 수정 공격에 대한 대응책은 칩의 최상단에 안전한 금속층을 배치하고, 암호화 통신을 기반으로 금속층을 통과하는 입·출력 데이터의 무결성을 검사하는 것이 대표적인 방법이다^[11]. 암호화 인터페이스는 블록 단위로 IP 데이터를 암호화하는 대칭 키 암호화 시스템이 적용되며, 이를 원래 데이터와 비교하여 공격을 감지하는 구조로 구성되어있다.

III. SoC 테스트 방법론의 구현

본 장에서는 자동화 테스트 장비(ATE, Automatic Test Equipment)의 한정된 테스트 채널의 제약에서 테스트 병렬성을 극대화하여 고장을 분석·진단하는 기술과 반도체의 신뢰성을 향상하는 기술, 높은 수준의 보안



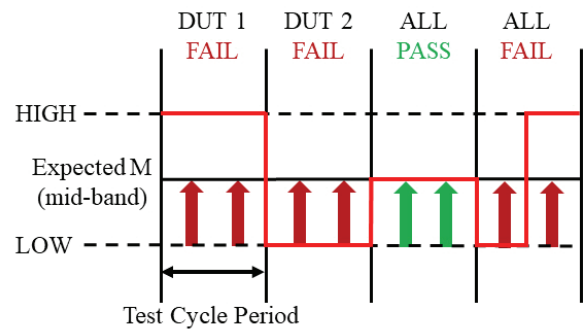
〈그림 3〉 DFT 기반 테스트 병렬성 확장 기술의 예시

성을 확보하기 위한 설계 기술 등을 몇 가지 예로 그 구체적인 구현 방법에 대하여 소개한다.

1. 테스트 용이화 설계 방법론

가. 테스트 병렬성 향상을 위한 핀 감소 기법

테스트 장비는 제조된 반도체 제품의 기능 검증, 전기적 특성 및 고장 진단 등을 수행하기 위한 장비로 매우 고가이다. 따라서, 테스트 시간이나 테스트 핀 절감 기술이나 병렬성 확장 기술은 제조 비용 절감 또는 동일한 테스트 비용으로 더 많은 테스트 항목 검증이 가능하여 칩의 신뢰성 향상이 가능하다. 따라서, 한정된 시간과 제한된 테스트 핀 수의 조건에서 반도체 테스트의 병렬성(PTE, Parallel Test Efficiency)을 극대화하는, 즉 한 번에 여러 DUT를 동시에 검사할 수 있는 테스트 기술은 반도체 제조 과정에서 발생하는 결함을 빠르게 진단하고 분석할 수 있다. 이러한 기술은 〈그림 3〉과 같이 적은 하드웨어 오버헤드로 구현이 가능하다. 하나의 테스트 모듈(Test Module)에는 〈그림 3(a)〉의 경우 2개, (b)의 경우 16개의 DUT가 동시에 연결되고, 모든 DUT는 ATE의 채널을 통해 테스트 결과 예상 값(Expected Output)을 테스트 클럭에 동기화하여 실시간으로 전송한다. 〈그림 3〉의 (a)는 논리 게이트, T 플립-플롭(TFF), MUX, 3-상태 버퍼(TBUF, Tri-State Buffer)로 구성된 테스트 모듈의 내부 회로이다. 먼저, DUT의 테스트 응답은 자동 테스트 장비의 기댓값과 일치하는지 연산한 후, DUT의 pass/fail 여부가 모듈 내부로 전달된다. 만약 두 DUT와 기댓값의 비교 결과가 모두 pass일 경우에는 OR 게이트의 출력으로 인해 3-상태 버퍼가 하이 임피던스(Hi-Z, High Impedance) 상태가 되며, 자동 테스트 장비에서



〈그림 4〉 테스트 출력에 따른 DUT별 테스트 결과 분석

는 중간값(Mid-Band Value)이 관측된다. 둘 중 하나의 DUT가 기댓값과 일치하지 않을 경우에는 불량 DUT의 위치 정보에 따라 다른 값이 관측되며, 모든 DUT가 일치하지 않을 경우에는 T 플립-플롭으로 인해 전환되는 값(Toggle Value)이 관측된다. 이때, 자동 테스트 장비는 단일 타이밍 2X(Single Timing 2X) 모드로 한 테스트 주기에서 두 번의 스트로빙(Strobing)이 가능하여 각 DUT의 pass/fail 여부를 한 테스트 주기에서 모두 파악할 수 있다. 〈그림 4〉는 테스트 진단(Diagnosis) 과정의 DUT별 모든 경우의 수에 대한 예시로 테스트 모듈의 출력을 자동 테스트 장비가 분석하여 고장 진단을 내리는 과정이다. 만약, 장비의 출력이 H(High)면 DUT 1이 고장이라 판단하고, 출력이 L(Low)이면 DUT 2가 고장이라 판단한다. 장비의 출력이 M(Mid-band)이라면 모든 DUT가 정상이라 판단할 수 있으며, 출력이 전환되는 값이라면 모든 DUT가 고장이라 판단할 수 있다. 개발한 DFT 방법론의 경우 자동 테스트 장비에서 기본적으로 제공하는 단일 타이밍 모드를 사용하므로 추가적인 회로나 시간 동기화 과정이 필요하지 않으며, 불량 DUT의 정확한 위치를 한 번의 테스트 주기에서 검출할 수 있으며, 테스트에 사

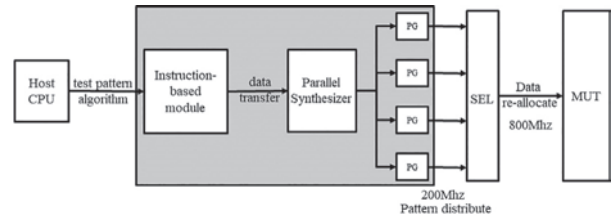
〈표 1〉 전압 레벨에 따른 DUT별 테스트 결과(0:정상, 1:고장)

voltage output	DAC input															
	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
0 V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≈ 0.07629 mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
≈ 0.15258 mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
≈ 0.22888 mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
≈ 0.30517 mV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
≈ 4.99969 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
≈ 4.99977 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
≈ 4.99984 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
≈ 4.99992 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
≈ 5 V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

용되는 핀의 개수를 50%가량 절감함으로써, 작은 하드웨어 오버헤드로 테스트 시간을 약 절반으로 감소시켜 테스트 비용 절감이 가능하다. 또한, 〈그림 3〉의 (b)는 16-bit DAC(Digital to Analog Converter) 기반의 병렬 테스트 모듈의 내부 회로이다. DAC는 디지털 신호를 아날로그 신호로 변환하는 장치로, N-bit의 디지털 신호를 받아서 그 신호에 해당하는 아날로그 전압으로 변환시켜 출력한다. 따라서, 테스트 조건은 DAC의 샘플링 클럭과 자동 테스트 장비와 동작 속도를 동기화하여 N개의 DUT 결과 값의 캡처 주기를 맞출 수 있도록 해야 한다. 먼저, 모듈에는 (a)와 마찬가지로 DUT의 테스트 결과와 ATE의 기댓값을 비교 연산한 후, 16개 DUT의 pass/fail 여부가 DAC로 입력된다. 이때, 해당 입력 값에 의해 변환된 아날로그 값을 ATE의 아날로그 인스트루먼트 또는 DPS (Device Power Supply)를 이용하여 캡처하고, 표 1의 값에 따라 한 테스트 주기에 모든 경우의 수에 대한 불량 DUT의 위치 검출이 가능하다. 또한, 이렇게 연속적으로 캡처되는 테스트 결과 값에 대한 분석은 ATE에 내장된 DSP를 이용하여 테스트가 계속해서 진행되는 동안 ATE 테스트의 백그라운드 스레드(Background Thread)로 실행되기 때문에 불량 DUT 위치 분석을 위한 추가적인 테스트 시간과 비용이 없이 구현이 가능하다.

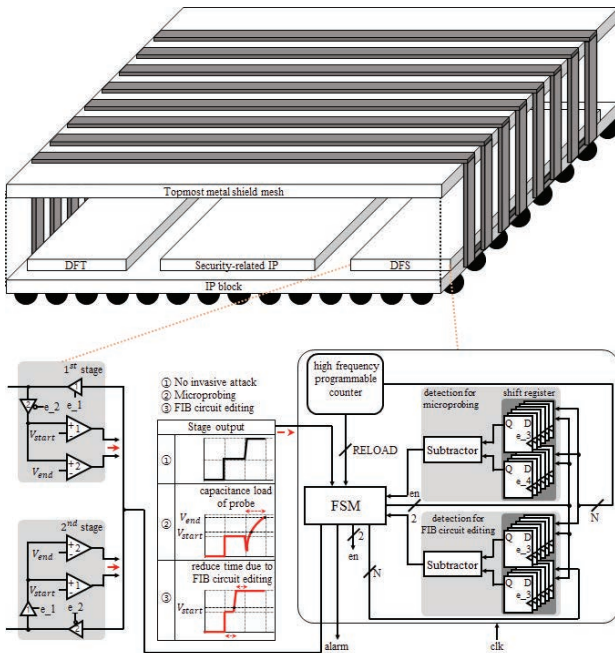
나. 신뢰성 향상을 위한 분석 및 테스트 기법

메모리 반도체는 SoC의 핵심 구성 요소 중 하나로 만



〈그림 5〉 명령어 기반 고속 패턴 생성구조

약 신뢰성 문제가 발생한다면 시스템의 안정성이 크게 저하될 수 있기 때문에 메모리의 고장을 예측하여 미리 방지하는 것뿐만 아니라 고장을 빠르게 진단하고 해결하는 것이 중요하다. 메모리 수리 기술은 메모리 셀(Cell)의 결함을 예비자원으로 대체 가능 여부를 분석(RA, Redundancy Analysis)하고, 수리가 필요한 라인을 교체하여 수율(Yield)을 높이는 것이다^{[15]-[16]}. 예비자원이 많은 메모리 반도체는 결함이 많더라도 테스트 및 수리를 통해 수율 향상으로 이어져 더 많은 제품을 생산할 수 있지만, 예비자원 수의 증가는 동일한 웨이퍼(Wafer) 내 메모리 칩의 수, 즉 넷다이(Net Die)를 감소시키기 때문에, 결과적으로 생산원가와 제품의 불량률은 올라가게 된다. 따라서, 서로 트레이드 오프 관계에 있는 높은 수율을 유지할 수 있는 메모리의 예비자원 수와 넷 다이를 최대한 증가시킬 수 있는 균형점을 찾는 것이 중요하다. 이는 인공지능을 활용하여 최적의 예비자원 수를 찾고, 그에 따른 수율을 예측하는 것이 가능하며 데이터셋(Dataset)은 예비자원의 수, 전체 결함의 수, 메모리의 저장 구조인 열과 행의 개수 등을 수치화하여 구성된다. 이와 같은 방식으로 데이터셋을 분석하고 최적의 예비자원 수를 결정함으로써, 반도체 수율을 향상 및 신뢰성을 높일 수 있다. 또한, 메모리 반도체의 신뢰성 향상을 위해서는 at-speed 테스트가 필수적이다. 이를 위해서는 자동 테스트 장비에서 생성되는 테스트 패턴이 MUT(Memory Under Test)에 고속으로 전달되어야 한다. 하지만, 고속의 테스트 장비는 매우 고가이기 때문에 제조비용이 크게 증가하여 저가의 저속 테스트 장비를 활용하여 테스트 패턴의 인가 속도를 저속에서 고속으로 변환하는 기술이 필요하다^[17]. 따라서, 〈그림 5〉와 같이 명령어 기반 모듈에서 메모리 크기와 무관하게 동일한 셋업 사이클로 메모



〈그림 6〉 물리적 침투 공격 검출이 가능한 보안회로의 구조도

리 크기에 맞는 선형 테스트 패턴을 빠르게 생성하고 생성된 테스트 패턴을 병렬 합성기를 통하여 테스트 패턴을 분배 후 인터리빙(Interleaving) 방식으로 고속의 테스트 패턴 생성이 가능하다. 명령어 기반 모듈은 Host CPU에서 제공받은 테스트 패턴 알고리즘을 진행 방향과 명령 데이터로 분리하여 재구성한 후, WOM(Word Oriented Memory)에 따라 MUT에 반영될 테스트 패턴으로 압축한다. 이를 위해 병렬 패턴 생성기에서는 사전에 정의된 20개의 명령어 조합으로 패턴 생성, 인터럽트 제어, PC 제어, 패턴 프로그램 반복 제어의 역할을 수행하고, 명령어 기반 모듈은 해당 명령어들을 활용하여 압축한 데이터를 병렬 합성기로 전달하며, 병렬 합성기는 테스트 패턴의 데이터를 압축 해제한 후 MUT의 주소에 따라 분류하고 각 패턴 생성기에 분배한다. 마지막으로 셀렉터는 분배된 데이터를 인터리빙하여 직렬화된 테스트 패턴을 고속 입출력 장치를 통하여 MUT에 전송함으로써 패턴 생성기의 개수에 비례하여 고속의 테스트 패턴 전송이 가능하다.

2. 보안 설계 방법론

침투 공격을 검출할 수 있는 기존의 기술들은 보호가 필요한 IP의 수가 증가함에 따라 칩의 사이즈가 커져 모니터링 해야하는 와이어의 수가 증가하게 되어 하드웨어 오버헤드 및 검출을 위한 분석 시간이 증가하는 단점이 있다. 따라서 보호해야 할 IP 수의 증가와 관계없이 동일한 하드웨어 오버헤드 및 분석 시간을 제공할 수 있는 기술은 〈그림 6〉과 같이 전송 선로를 따라 왕복하는 신호의 지연 또는 조기 도착 시각을 카운터로 타임스탬프(Timestamp) 하여 비인가된 접근을 검출할 수 있는 초소형 보안회로로 구현이 가능하다. 메쉬(Mesh) 구조의 최상단 메탈 층은 하나의 긴 전송 선로로 이어져 있으며, 회로의 동작을 제어하는 유한 상태 기계(FSM, Finite State Machine), 전송 선로를 왕복한 신호의 시간을 기록하기 위한 비교기, 전송 선로의 지점을 교대하기 위한 3-상태 버퍼, 카운터의 출력을 저장하기 위한 쉬프트 레지스터(Shift Register), 그리고 시간 차이 연산을 위한 뺄셈기(Subtractor)로 이루어져 있다. 보안 회로는 시간 영역 반사(TDR, Time Domain Reflection) 모니터링을 기반으로 동작을 하며, 전송 선로의 각 지점에서 임피던스(Impedance)로 인한 반사 신호를 측정한다. 만약 끝 지점이 개방 상태라면 입력 지점의 전압은 왕복 시간이 이후 〈그림 6-①〉과 같이 초기 입사 전압의 두 배로 증가한다. 또한, 공격자가 전송 선로에 프로브를 접촉하는 경우 〈그림 6-②〉와 같이 프로브의 정전용량(Capacitance)에 비례하여 전압이 일시적으로 감소한 후 증가하는 것을 확인할 수 있다. 마이크로프로빙을 검출하기 위한 모듈의 분석 과정은 종료 시점(End Stamp)의 카운터 출력과 시작 시점(Start Stamp)의 카운터 출력을 뺄셈하는 것으로, 만약 왕복 신호가 지연되었다면 연산 결과는 기준을 벗어난 값을 출력하게 된다. 또한, 공격자가 FIB 장비를 이용하여 회로를 수정하거나 메탈 층의 전송 라인의 길이가 바뀌게 된다면, 〈그림 6-③〉에서 볼 수 있듯이 펄스 신호의 도착 시간이 전송 선로의 길이 변화량에 따라 증가 또는 감소하기 때문에 만약 공격자가 전송 선로의 끝 지점에서 아주 미세한 길이의 와이어를 절단하여 데이터에 접근한다면, FIB 공격 검출이 불가능

하다. 하지만, 이러한 문제는 한 주기가 끝날 때마다 전송 선로의 각 지점을 교대로 측정하도록 설계하여, 두 주기에 걸쳐 FIB 기반의 회로 수정 공격을 검출하는 경우 해결이 가능하다. 이처럼 FIB 공격 검출 모듈은 한 테스트 주기마다 정상 길이일 때의 카운터 출력과 시작 시점의 카운터 출력을 연산하며, 왕복 신호의 도착 시간에 변화가 있을 시 정상 범위를 벗어난 값을 출력한다. 마지막으로 FSM은 두 검출 모듈로부터 출력을 전달받아 기준과 비교함으로써 칩 외부에서 비인가된 접근이 발생하는 경우 즉시 알람 신호 발생이 가능하다. 본 구조의 보안회로 크기는 기존 구조들의 약 3% ~ 30%의 초소형 크기로 구현이 가능하며, 공격 검출에 소요되는 분석 시간은 보호해야 할 회로 크기에 상관없이 두 클럭 주기로 빠르게 가능하다.

IV. 전망과 결론

4차 산업혁명 시대라는 새로운 패러다임의 변화 속에서 반도체산업은 인공지능, 사물인터넷 등의 다양한 분야와의 융합이 가속화되면서 현재 매우 빠르게 변화하고 있으며, 이에 따라 반도체 설계 및 테스트 방법론도 새로운 기술에 대응하기 위해 발전을 거듭하고 있다. 현재 반도체 제조기업들은 제품의 생산성을 높이기 위해 자동화된 테스트 시스템을 도입하고 있으며, 기계학습(Machine Learning)과 신경망(Neural Network)의 대용량 데이터 분석 및 모델링 기술을 활용하여 제품 설계의 초기 단계부터 테스트를 수행할 수 있는 시스템이 개발될 것이라는 전망을 보였다. 또한, 최근 몇 년간 반도체산업에서 발생한 보안 사고가 증가하면서 신뢰성 향상을 위하여 하드웨어 보안 모듈(Hardware Security Module)과 같은 보안 솔루션을 제품 내부에 탑재하여 제품의 보안을 강화하고, 제품의 보안을 위해 최신 암호화 기술을 적용하거나 인공지능을 이용하여 보안 취약점을 자동으로 탐지하고, 보안 위협을 예측하는 등의 기술이 개발되고 있다. 이러한 기술들은 향후 엔지니어의 역할을 대체하거나, 작업을 보조하는 데에 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 또한, 반도체 테스트 양산에 인공지능을 활용할 경우 테스트 설계

와 생산성을 강화함과 동시에 전체 공정 시간 단축, 기존 제품의 생산 및 운영 프로세스 속도를 높이는 등 여러 긍정적인 결과가 예상되지만, 실제 도입은 쉽지 않다. 이러한 기술을 응용하기 위해선 적용할 시간이 필요하고 충분한 연구개발이 이뤄져야 하기 때문이다. 따라서, 반도체 기업이 테스트공정에 새로운 기술을 도입하기 위해서는 학계와 산업계, 정부 모두가 협력하여 다음과 같은 전략이 필요하다. 먼저, 학계는 새로운 기술 개발과 관련된 연구를 수행하고, 이를 산업계에 전달하여 적용되도록 노력해야 한다. 산업계는 새로운 기술 개발에 투자하고, 학계와 협력하여 새로운 기술을 개발하고 적용하는 데 노력해야 한다. 정부는 이러한 연구를 지원하고, 산업생태계의 지속가능성을 고려하는 적극적인 노력을 해야 한다. 이러한 협력을 통해 반도체 테스트 및 설계 방법론에 관한 연구는 지속해서 이루어져야 하며, 반도체산업은 산업생태계의 변화를 고려하며 지속적인 기술 발전과 함께 미래를 준비해 나아가야 한다고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] B. Lee, I. -G. Lee and M. Kim, "Design and Implementation of Secure Cryptographic System on Chip for Internet of Things," IEEE Access, vol. 10, pp. 18730-18742, 2022.
- [2] J. R. Powell, "The quantum limit to Moore's law," in Proc. IEEE, vol. 96, no 8, pp. 1247-1248, Aug. 2008.
- [3] A. Sengupta, M. Ashraf, M. Nabeel and O. Sinanoglu, "Customized Locking of IP Blocks on a Multi-Million-Gate SoC," in Proc. IEEE/ACM International Conference on Computer-Aided Design, pp. 1-7, 2018.
- [4] J. Shenoy, K. Ockunzzi, K. Kamal and V. Singh, "Test cost reduction through increase in multi-site testing with reduced scan-out pins," in Proc. IEEE International Test Conference India, 2019.
- [5] R. Trivedi, S. Dhariwal and A. Kumar, "Comparison of various ATPG Techniques to Determine Optimal BIST," in Proc. International Conference on Intelligent Circuits and Systems, pp. 93-98, 2018.
- [6] Hyeonchan Lim, Sungyoul Seo, Soyeon Kang and Sungho



- Kang, "Broadcast scan compression based on deterministic pattern generation algorithm," in Proc. International Symposium on Quality Electronic Design, 2017.
- [7] "IEEE Standard for Reduced-Pin and Enhanced-Functionality Test Access Port and Boundary-Scan Architecture," in IEEE Std 1149.7-2022 (Revision of IEEE Std 1149.7-2009), pp.1-1048, 14 Oct. 2022.
- [8] S. Seo, Hyeonchan Lim, S. Kang and S. Kang, "Off-chip test architecture for improving multi-site testing efficiency using tri-state decoder and 3V-level encoder," in Proc. International Symposium on Quality Electronic Design, 2017.
- [9] G. S. Kumar and V. Saminadan, "Low Power LFSR for BIST Applications," in Proc. International Conference on Intelligent Computing and Control Systems, pp.1979-1984, 2018.
- [10] U. Guin, Z. Zhou, and A. Singh, "Robust Design-for-Security Architecture for Enabling Trust in IC Manufacturing and Test," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, vol. 26, no. 5, pp. 818-830, 2018.
- [11] X. T. Ngo, J. Danger, S. Guilley, T. Graba, Y. Mathieu, Z. Najim, and S. Bhasin, "Cryptographically Secure Shield for Security IPs Protection," IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 2, pp. 354-360, 2017.
- [12] S. Briaes, J. -M. Cioranescu, J. -L. Danger, S. Guilley, D. Naccache and T. Porteboeuf, "Random Active Shield," in Proc. Workshop on Fault Diagnosis and Tolerance in Cryptography, pp. 103-113, 2012.
- [13] 고영운, 고희호, "보안 칩의 물리적 공격 및 대응 기술 동향", 대한전자공학회논문지, vol. 43, no. 7, pp. 44-51, 2016년 7월
- [14] M. Weiner, S. Manich, R. Rodriguez- Montanes and G. Sigl, "The Low Area Probing Detector as a Countermeasure Against Invasive Attacks," IEEE Transactions on Very Large Scale Integration Systems, vol. 26, no. 2, pp. 392-403, 2018.
- [15] H. Lee, D. Han, S. Lee and S. Kang, "Redundancy Analysis based on Fault Distribution for Memory with Complex Spares," in Proc. International SoC Design Conference, pp. 235-236, 2019.
- [16] H. Lee, D. Han, H. Kim and S. Kang, "Redundancy Analysis Optimization with Clustered Known Solutions for High Speed Repair," in Proc. International SoC Design Conference, pp. 51-52, 2020.
- [17] H. Imada, K. Fujisaki, T. Ohsawa and M. Tsuto, "Generation technique of 500 MHz ultra-high speed algorithmic pattern," in Proc. International Test Conference 1996, Test and Design Validity, pp. 677-684, 1996.



이영우

- 2011년 2월 인하대학교 전자공학 공학사
- 2015년 8월 연세대학교 전기전자공학 공학석사
- 2020년 2월 연세대학교 전기전자공학 공학박사
- 2011년 1월 ~ 2015년 8월 Teradyne, SoC Test Division 선임
- 2020년 1월 ~ 2021년 2월 삼성전자, Test and System Package 책임
- 2021년 3월 ~ 현재 전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 조교수
- 2021년 ~ 현재 반도체테스트기술표준화위원회 (메모리테스터 분과 간사)
- 2023년 ~ 현재 한국디지털콘텐츠학회 편집위원
- 2023년 ~ 현재 한국반도체테스트학회 부회장

〈관심 분야〉

VLSI/SOC design and testing, test methodology, design-for-manufacturability, design-for-security, and design-for-testability.

사물 인터넷 보안을 위한 물리적 복제 방지 함수

I. 서론

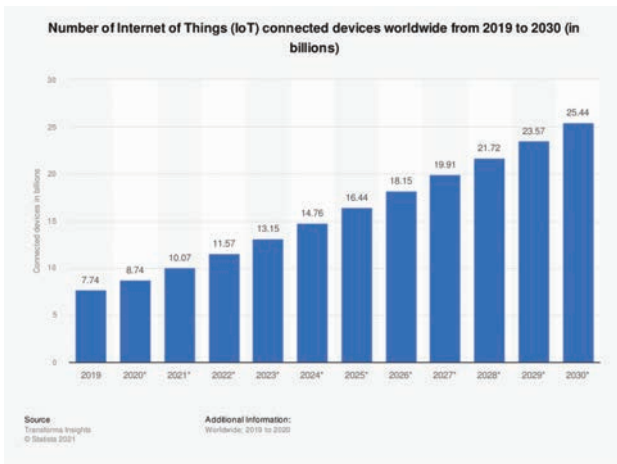
사물 인터넷 시대의 도래로, 수십억 개의 사물들이 네트워크를 통해 상호 소통하며, 정보를 공유하거나 다른 사물들을 제어하고 있다. 특히, 인공지능의 발달과 함께 지능형 센서, 프로세서를 내장하여 사물이 스스로 사용자의 정보를 수집하고 처리하면서 사용자의 일상생활은 더욱 편리해지고 있다. 이러한 편리성 덕분에 <그림 1>과 같이 사물 인터넷 기기의 수는 지속해서 증가하고 있으며, 이로 인해 수집되는 사용자의 사적인 정보의 양도 함께 증가하고 있다.

사물 인터넷을 통해 수집된 데이터는 대개 외부에 노출된 무선 네트워크를 통해서 사물 간에 송/수신 되고 있다. 이렇게 노출된 수단을 통해서 민감한 데이터를 주고받기에, 해커의 악의적인 공격 대상이 될 가능성이 상당히 크다. 따라서 통신 보안은 네트워크 의존적인 사물 인터넷 시대에 상당히 중요한 문제로 대두되고 있다. 또한, 사물 인터넷 기기의 저렴한 가격을 고려할 때, 경제적인 방법으로서의 사물 인터넷 보안 시스템 구축이 필수 불가결하다.

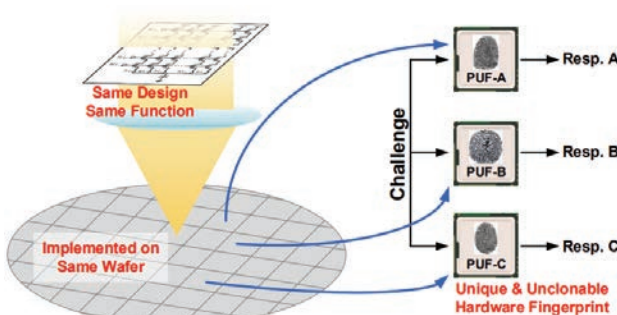
현대의 보안 시스템은 공격자로부터 데이터를 안전하게 지키기 위해 대칭 키 암호(Symmetric cipher) 방식과 공개키 암호(Asymmetric cipher) 방식을 활용하고 있다. 이러한 암호화/복호화 방식에서는 “암호 키”를 활용하고 있으며, 대체로 난수 발생기(Random Number Generator)를 통해서 생성된 난수를 암호 키로 활용해왔다. 난수 발생기를 통해서 인위적으로 만들어진 난수는 그 특성상 난수 stream 내에서의 자기상관관계(Autocorrelation)가 존재할 수 있어 순수한 난수라고 보기 어려우며, 이는 보안의 질적 저하를 초래할 수 있다. 따라서, 자연에서 얻어지는 순수한 난수를 통해 암호 키를 생성하는 물리적 복제 방지 함수(Physically Unclonable Function, PUF)가 주목받고 있다.



이종민
아주대학교



(그림 1) 2019-2030년 연도별 사물 인터넷 기기 수추세
(Source: Statista 2021)



(그림 2) Physically Unclonable Function 제작 모식도

(그림 2)와 같이 PUF는 동일한 구조가 동일한 웨이퍼에 회로로 새겨짐에도 불구하고, 반도체 제조 공정의 편차(Process variation)를 이용하여, 유일성(Uniqueness), 난수성(Randomness), 신뢰성(Reliability)을 담보한 암호 키를 생성할 수 있는 매력적인 구조이다. 특히, PUF에서 추출된 암호 키는 보안에서 여러 가지 방향으로 응용하여 활용할 수 있으나, 대개 상호 간의 보안 인증(Authentication) 과정이나 데이터의 암호화된 저장에 많이 사용된다.

2000년대 초반부터 다양한 PUF에 대한 연구가 진행되어 왔다. PUF는 난수 제공의 원천인 엔트로피 소스의(Entropy source) 조합을 활용하여 많은 수의 챌린지-리스폰스 쌍(Challenge Response Pairs, CRPs)를 제공할 수 있는 Strong PUF와, 엔트로피 소스 자체의 난수를 그대로 활용하여 CRP를 만들어내는 Weak PUF의 두 가

지 카테고리로 분류할 수 있으며, PUF를 통해 생성된 고유한 CRP를 “키(Key)”로 활용하여 암호화 및 보안 인증 과정에서 활용할 수 있다. 비록, Strong PUF는 많은 수의 CRP를 제공하지만, 엔트로피 소스의 조합을 활용하여 CRP를 만들어내기에, CRP 사이의 상관관계가 존재하여 machine learning 공격에 취약하다는 한계가 존재한다. 반면, Weak PUF는 적은 수의 CRP를 제공하지만, 엔트로피 소스 자체의 난수를 그대로 활용하기에, machine learning 공격에 강하다는 장점이 있다.

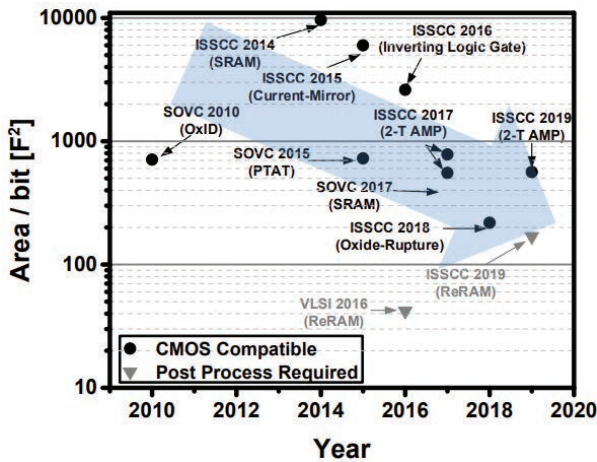
II. 근래의 PUF 연구 방향

1. 근래의 Strong PUF 연구

MIT의 Arbiter-based PUF를 시작으로, 다양한 Strong PUF 연구가 시작되었다. Arbiter-based PUF는 여러 개의 arbiter stage로 구성되어 있으며, 각 arbiter stage의 delay mismatch를 축적해서 리스폰스를 생성한다. 비록 해당 연구에서의 PUF는 높은 안정성을 달성할 수는 없었지만, 초창기 PUF 연구로서 그 가치가 있다. [1]은 다수의 CRP를 인버터의 pull-down 트랜지스터의 조합으로 하였고, [2]는 ring oscillator를 구성하는 인버터의 조합을 바꾸는 방식으로 CRP를 생성한다. 또한, [2]는 불안정한 CRP를 찾을 수 있는 안정화 기법을 통해서 높은 안정성을 달성할 수 있었지만, 30%가량의 CRP를 버려야 하기에, 비용 효율성을 중시하는 사물 인터넷 보안에 활용하기에는 한계가 있다. [3]은 6-T SRAM array의 선택을 조합이 아닌 순열 방식을 택하여 machine learning 공격에 대한 추가적인 내성을 확보할 수 있었다. 하지만, 본질적으로 엔트로피 소스의 조합 혹은 순열로 CRP를 생성하기에, 이들 간의 상관관계로 인한 machine learning 공격 내성 확보할 수 있는 추가적인 기법을 필요로 한다.

2. 근래의 Weak PUF 연구

PUF를 제작하는데 활용할 수 있는 엔트로피 소스는 여러 가지가 있으나, Weak PUF 제작에서는 문턱 전압 편차, 산화막 파괴, ReRAM의 저항 편차, via/contact 형



〈그림 3〉 Weak PUF의 비트당 면적 트렌드

성 편차 등이 활용되고 있다. Strong PUF에 비해 Weak PUF는 적은 CRP를 제공하기 때문에, 하나의 CRP를 생성하기 위한 엔트로피 소스인 단위 셀을 작게 만들어 비용 효율 향상을 도모해야 한다. 2010년대 초반에 연구되던 PUF 중, Intel에서 주로 개발하고 있는 SRAM의 bi-stability를 활용한 PUF는 [4]–[7], temporal majority voting (TMV), burn-in, dark bit masking과 같은 다양한 안정화 기법을 적용하였지만, 높은 안정성을 달성하는 데는 한계가 있었다. 또 다른 방법으로는 current-mirror의 transistor mismatch를 활용하는 [8]과, inverting logic gate를 활용하는 삼성전자의 [9]가 있다. 그러나, 이러한 PUF는 단위 셀 면적이 수천 F^2 (F : Feature size, $F=28\text{nm}$ in 28nm CMOS process)로, 높은 비용 효율성 달성에는 한계가 존재한다.

〈그림 3〉과 같이 weak PUF의 비트당 면적을 줄이고자 하는 지속적인 노력이 있었다. PTAT reference voltage를 활용한 [10]과 2-T Amplifier를 활용한 [11], [12]등이 개발되었으며, 이들은 수백 F^2 대의 단위 셀 면적을 달성하여 저비용의 PUF를 만들하고자 노력하였다. 다만, [10]은 74배 나은 안정성 지표를 달성하기 위해서 20%의 CRP를 버려야 하고, [11]은 TMV 이외에는 적용할 수 있는 안정화 기법이 없다. 이를 극복하기 위해서 reconfigurable switch를 활용한 [12]가 제안되었고, 안정성을 더욱 향상시킬 수 있었다.

Weak PUF는 [4]–[12]와 같이 문턱 전압의 편차를 활

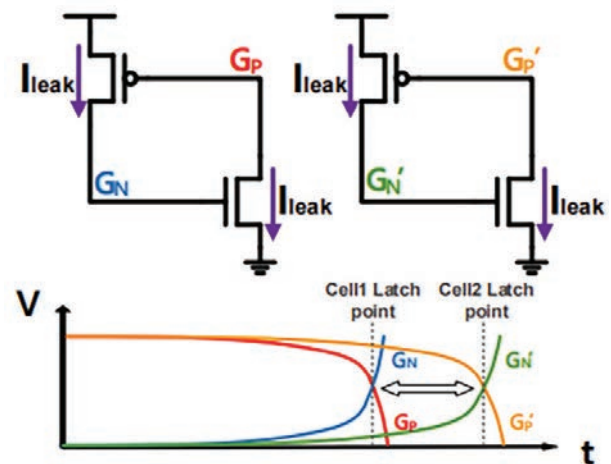
용하는 방법 뿐만 아니라, [13]과 [14]같이 산화막 파괴를 활용한 방법, [15]와 [16]과 같이 ReRAM을 활용한 방법, [17]과 [18]같이 via/contact의 형성 편차를 활용한 방법 등이 있다. 산화막 파괴 및 via/contact의 형성 편차를 활용한 [15]–[18]은 이상에 가까운 안정성을 담보하지만, 물리적으로 형성된 entropy이기에 reverse engineering attack을 통해서 공격받을 여지가 있다. 또한, ReRAM을 활용한 [15]와 [16]은 단위 셀 면적을 작게 만들 수 있는 장점이 존재하지만, ReRAM을 생성하는데 드는 추가적인 공정으로 인해 비용 효율성을 향상시키는 데 한계가 존재한다.

따라서, 사물 인터넷 보안을 위한 PUF를 제작하기 위해서는 충분한 안정성을 담보하면서도, ReRAM 생성과 같은 추가적인 공정 없이도 굉장히 작은 단위 셀 면적을 달성하여야 한다. 또한, 안정성 향상을 위해서 안정화 알고리즘을 적용하는 경우, 버려지는 CRP를 최소화해야 한다.

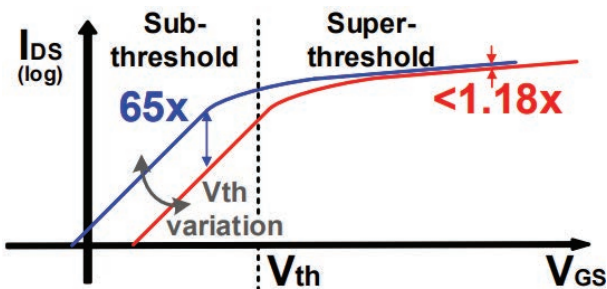
III. 사물 인터넷 보안을 위한 저비용 PUF

1. 누설전류 기반 PUF

PUF를 활용한 인증 프로세스는 반복적이지 않고, 자주 필요하지 않기 때문에 성능(Throughput, Energy-efficiency) 대비 비용 효율성이 더 중시된다. 따라서, 제안된 누설전류 기반 PUF는 기존에 제안된 PUF에 비해



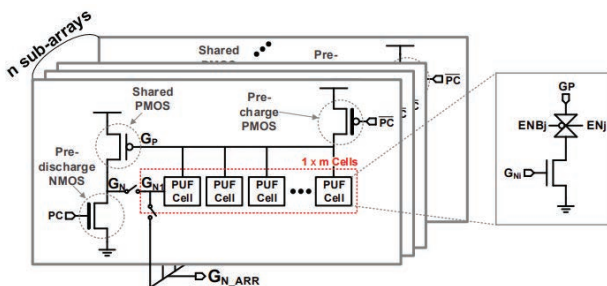
〈그림 4〉 누설전류 기반 PUF 셀과 동작



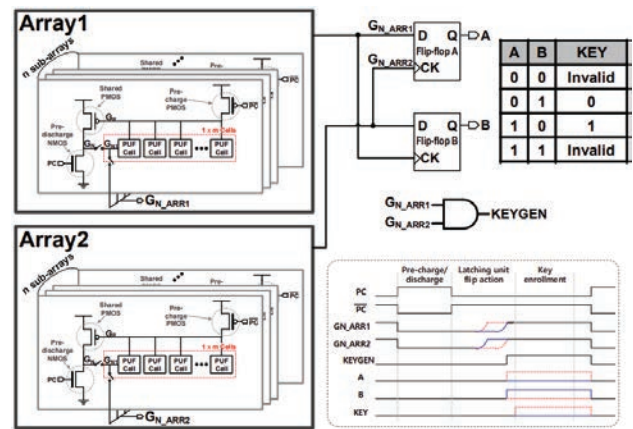
〈그림 5〉 CMOS 공정의 I-V 특성

비용 효율성을 크게 개선하는 것을 목표로 하였다. 비용 효율성 개선을 위해서 누설전류 기반 PUF는 작은 비트당 면적을 구현하여 CRP당 면적을 최소화하였고, 버려지는 불안정한 CRP의 개수를 최소화하였다. 이를 통해서 높은 안정성을 달성함과 동시에 높은 비용 효율성을 달성할 수 있었다.

〈그림 4〉의 누설전류 기반 PUF의 두 셀인 G_P 노드와 G_N 노드는 초기 상태에 각각 V_{DD} 로 충전, GND로 방전되어 있다. 이 상태에서 누설전류 기반 PUF 셀이 동작을 시작하면, PMOS의 누설전류는 G_N 노드의 전위를 서서히 끌어 올릴 것이고, NMOS의 누설전류는 G_P 노드의 전위를 서서히 끌어 내리게 된다. 〈그림 4〉의 하단과 같이 누설전류에 의해 변화하는 G_P 노드와 G_N 노드의 전위는 positive feedback에 의해 급격한 latching 동작을 하게 된다. 이렇게 latching 동작하는 누설전류 PUF 셀을 하나 더 두어, 한 쌍의 PUF 셀에서 어떤 셀이 먼저 latching 동작을 하느냐에 따라 난수성을 가지는 리스폰스를 생성할 수 있다. 특히, 〈그림 5〉와 같이 sub-threshold 영역에서의 누설전류를 활용하여 PUF 셀이 동작하기 때문에, 더 큰 문턱 전압 편차를 활용할 수 있다. 더 나아가, 누설전류 기반 PUF 셀은 문턱 전압 편차



〈그림 6〉 누설전류 기반 PUF의 배열



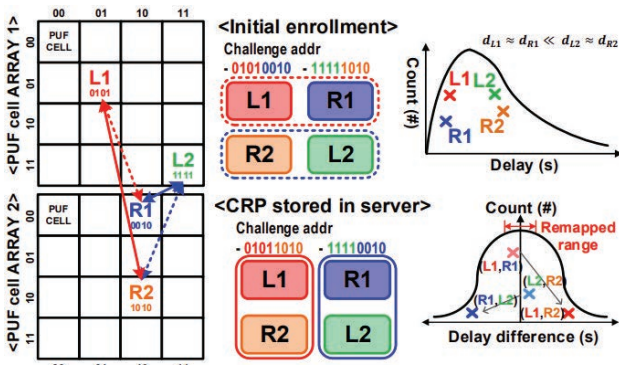
〈그림 7〉 누설전류 기반 PUF의 top-level architecture

를 누적하는 긴 시간을 통해서 latching delay의 큰 편차를 얻을 수 있으며, 빠른 rise/fall transition을 통해 latching delay 비교 시 noise에 의한 영향이 적다.

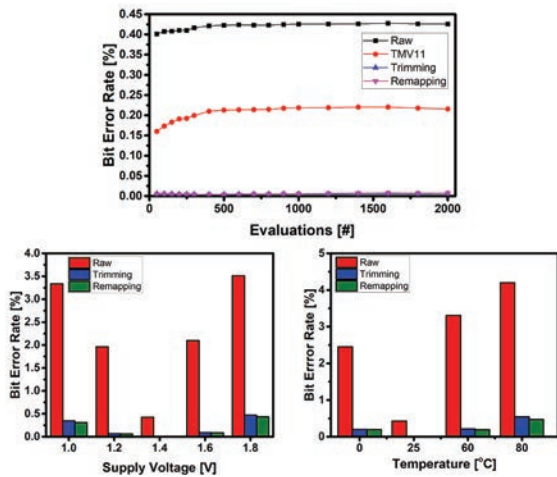
누설전류 기반 PUF의 배열 구조는 〈그림 6〉과 같이 내부에 n 개의 sub-배열이 존재하고, sub-배열 내에는 m 개의 PUF 셀이 존재한다. 한 쌍의 PUF 셀의 latching delay를 비교하기 위해 〈그림 7〉과 같이 두 개의 PUF 배열에서 셀을 하나씩 선택한다. 선택된 셀의 latching delay는 교차 연결된 두 개의 플립플롭을 통해서 리스폰스의 값과 유효성을 구분할 수 있다.

대개 PUF의 리스폰스는 자연적으로 얻어지는 공정 편차를 활용하기에, 불안정한 CRP가 존재하기 마련이다. 누설전류 기반 PUF 역시 두 셀 사이의 latching delay의 차이가 작다면 온도나 전원전압과 같은 외부 환경의 변화에 대해 값을 안정적으로 생성할 수 없다. 따라서, 안정화 기법의 적용을 통해서 더 안정적으로 PUF를 동작시켜야 한다. PUF의 안정적 동작을 위한 안정화 기법은 여러 가지가 제안되었다. [2]에서 제안한 dynamic-thresholding, [9]의 valid-map 등의 기법들이 있었으나, 기본적으로 불안정한 CRP들을 제거하는 방향으로 안정화를 수행하였기에 버려지는 CRP에 대한 비용 손실을 감내해야만 했다.

사물 인터넷 기기에서 활용될 누설전류 기반 PUF는 불안정한 CRP를 버리면서 발생하는 비용 손실을 극복하기 위해 무손실 안정화 기법인 “재조합(Remapping)”을 제



〈그림 8〉 재조합 기법과 불안정한 CRP를 안정화하는 예시



〈그림 9〉 누설전류 기반 PUF의 비트 에러율

안하였다. 재조합 기법의 예시는 〈그림 8〉과 같이 initial enrollment 단계에서 불안정한 셀 쌍 (L1, R1)과 (L2, R2)가 존재하고, 이들의 latching delay의 분포는 〈그림 8〉의 우측 상단과 같으며, 셀 쌍 간의 latching delay의 차이가 굉장히 작을 때, 셀 쌍을 (L1, R2), (L2, R1)으로 재조합하여 이들의 셀 쌍 간의 latching delay의 차이를 키워줌으로써 손실 없이도 CRP를 안정적으로 만들 수 있다. 이러한 예시를 불안정한 CRP 전체로 확장하여 적용함으로써 〈그림 9〉와 같이 누설전류 기반 PUF의 무손실 안정화를 가능케 하였다.

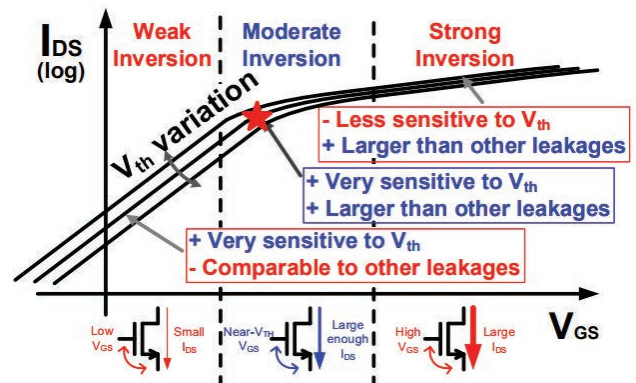
무손실 안정화 기법인 재조합의 적용을 통해 180nm CMOS 공정으로 만들어진 누설전류 기반 PUF는 공칭 조건(25℃, 1.4V)에서 73ppm의 비트 에러율을 달성할 수 있었다. 이는, 누설전류 기반 PUF에 불안정한 CRP를 제

거하는 전통적인 방법을 적용할 때 달성한 63ppm의 비트 에러율과 거의 비슷하였다. 따라서, 제안한 재조합 기법이 CRP의 손실 없이 PUF를 안정적으로 동작하게 하는 기법임을 확인할 수 있었다.

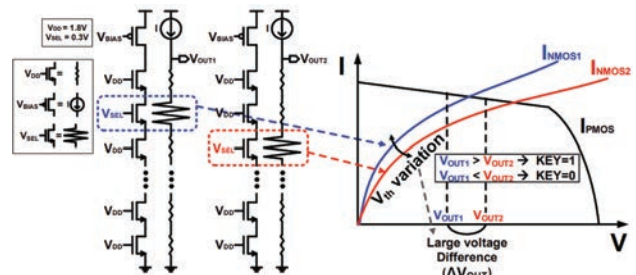
2. 극소면적의 Differential NAND-structured PUF

비록, 누설전류 기반 PUF를 통해서 354F²의 CRP 한 비트 당 면적을 달성하였지만, 이 역시 저가의 사물 인터넷 기기에 활용하기에는 비트 당 면적이 크다. 따라서 100F² 이하의 극소면적을 달성하기 위해 NAND PUF를 제안하였다.

〈그림 10〉과 같이 누설전류 기반 PUF는 weak inversion 영역에서의 동작을 통해 문턱 전압의 편차를 취득하기 용이했으나, 그 전류의 크기가 상당히 작아 원하지 않는 누설 전류에 의한 영향이 나타날 수 있다. 따라서, 원하지 않는 누설 전류에 의한 영향을 최소화하고, 문턱 전압의 편차를 잘 취득할 수 있도록, Differential NAND-structured PUF (NAND PUF)는 moderate



〈그림 10〉 MOSFET의 V_{GS}에 따른 I_{DS} 및 각 동작 영역에서의 특징

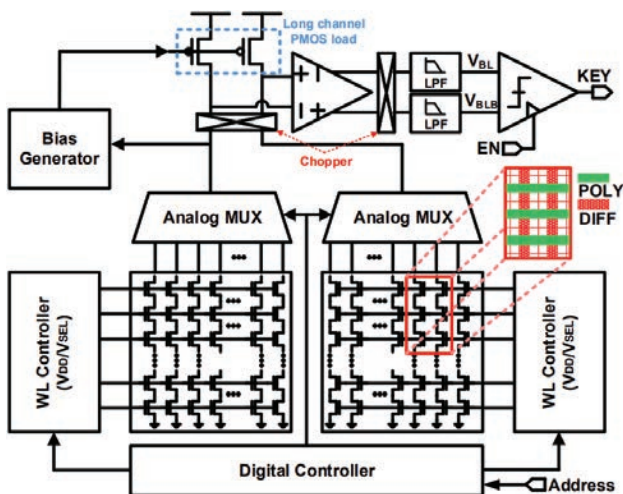


〈그림 11〉 NAND PUF의 동작특성

inversion 영역에서의 동작하도록 설계하였다.

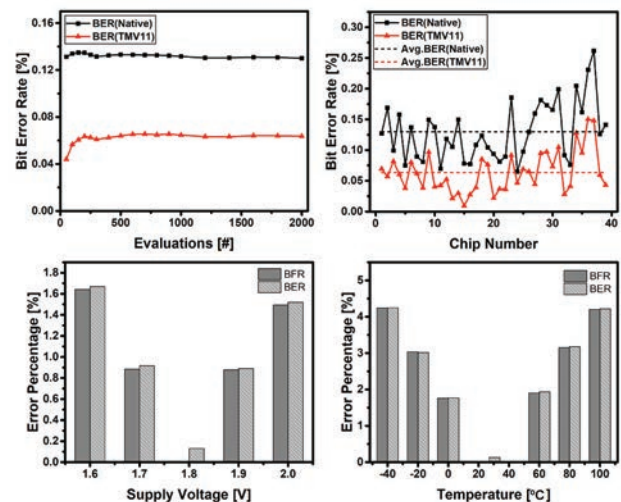
NAND PUF의 동작은 <그림 11>과 같이 두 개의 직렬로 연결된 NMOS셀 stack에서 셀을 각각 하나씩 선택하여, 이들의 문턱 전압을 출력전압(V_{OUT})형태로 변환하고 비교하는 방식을 선택하였다. NMOS셀 stack에서 셀을 선택할 때, 선택된 셀은 moderate inversion 영역에서 동작하기 위해 문턱 전압보다 약간 낮은 전압을 인가하고, 나머지 선택되지 않은 셀들은 V_{DD} 를 인가하여, 선택된 셀에 의해서 stack의 저항이 결정되도록 하였다. 셀 선택과 함께 두 stack에 동일한 크기의 전류를 흘려주게 되면, stack의 저항값이 출력 전압의 형태로 나타나게 된다. 즉, 선택된 셀의 문턱 전압이 셀의 저항값으로, stack의 총 저항값으로, 최종적으로 출력전압으로 변환된다. 이렇게 생성된 두 출력전압의 크기를 비교하여, V_{OUT1} 이 V_{OUT2} 보다 크다면 리스폰스를 “1”로, 반대의 경우는 “0”으로 하여 CRP를 생성할 수 있다.

NAND PUF의 top-level architecture는 <그림 12>와 같이 두 개의 NAND PUF 배열에서 셀을 하나씩 선택할 수 있도록 WL controller와 Analog MUX가 있다. 각 배열에서 선택된 셀의 문턱 전압은 상단의 load PMOS에서 흘리는 전류를 통해 출력 전압으로 변환되고, 이들의 차이를 차동 증폭기로 증폭시키고 비교기로 값을 디지털화 한다. 선택된 두 셀의 문턱 전압 구분 시, load PMOS의 mismatch와 차동 증폭기의 offset은 난수성을 저하시

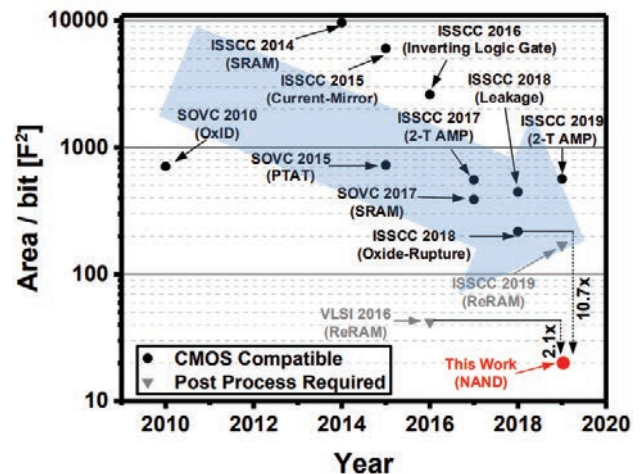


<그림 12> NAND PUF의 top-level architecture

키는 치명적인 요인이다. 따라서, long channel PMOS load를 사용하여 충분한 gain을 얻음과 동시에 PMOS load간의 mismatch를 최소화 할 수 있었다. 그림에도 불구하고 남아있는 PMOS load의 mismatch와 차동 증폭기의 offset은 chopping technique을 적용하여 완전히 제거할 수 있었고, chopper에서 발생하는 고주파 노이즈는 저대역 필터를 통해서 완전히 제거하여 비교기에서 정확한 구분이 가능하도록 설계하였다. 특히, 제안하는 NAND PUF의 배열은 <그림 12>의 우측과 같이 poly와 diffusion의 grid 형태로 구현 가능하기 때문에, 극단적으로 작은 $20F^2$ 의 비트 당 면적을 달성하여, 비용 효율



<그림 13> NAND PUF의 비트 에러율



<그림 14> 최근 발표된 PUF들의 면적 동향과 NAND PUF와의 비교

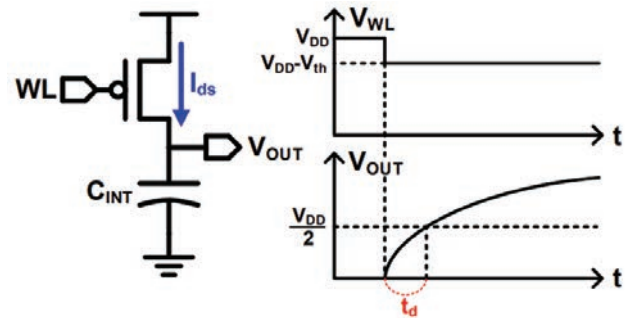
성을 극대화할 수 있었다.

NAND PUF는 180nm CMOS 공정으로 만들어졌으며, <그림 13>과 같이 공칭 조건(25℃, 1.8V)에서 안정화 기법 없이도 0.13%의 낮은 비트 에러율을 달성할 수 있었다. 또한, NAND PUF의 비트 당 면적은 25℃, 1.8V로, <그림 14>에 정리된 것과 같이 기존에 제안된 CMOS compatible PUF에 비해 10배, ReRAM PUF 대비 2배 작은 수준이다. ReRAM 기반 PUF의 경우 작은 비트 당 면적을 달성하였지만, ReRAM을 생성할 때 필요한 추가적인 공정으로 인해서 높은 비용 효율성을 달성하기에는 한계가 있다. 따라서, 제안한 NAND PUF는 작은 비트 당 면적을 달성하면서도, 추가적인 post process가 필요하지 않아 경제적인 PUF 설계 기법이 될 수 있음을 확인하였다.

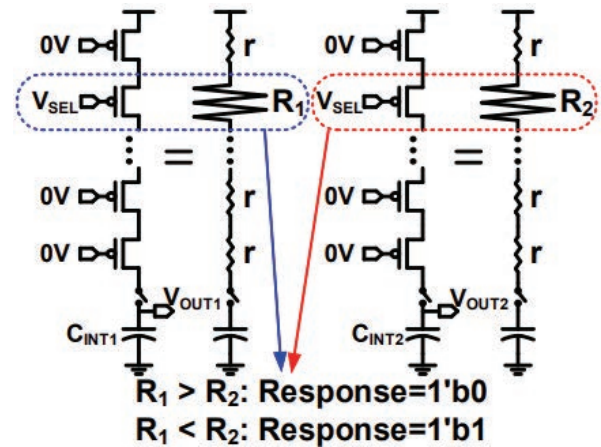
3. 전류 축적 방식의 Differential NAND-structured PUF와 재조합

비용 효율적인 PUF를 만들기 위한 노력은 계속되어왔고, NAND PUF는 PUF 셀의 면적을 최대한 줄여, CRP한 비트를 생성하는데 드는 면적을 극단적으로 줄이는 데 성공하였다. 하지만, NAND PUF 셀의 문턱 전압을 비교하고 디지털화 하는 부가 회로 면적의 크기를 무시할 수 없었고, 더 높은 비용 효율성을 달성하기 위해서는 부가 회로의 면적을 줄여야 했다. 또한, 안정화 기법의 부재로 인해 더 높은 안정성을 요구하는 application에 활용하기에 한계가 존재하였다. 따라서, 극단적으로 작은 $20F^2$ 의 비트 당 면적을 유지하면서도, 버려지는 CRP 없이 더 나은 안정성을 달성하기 위해 재조합 기법이 적용 가능한 전류 축적 (Current Integration) 방식의 NAND PUF (CI NAND PUF)를 제안하였다.

CI NAND PUF는 기존 NAND PUF와 동일하게, 문턱 전압의 편차를 취득하기에 유리하면서도, 원하지 않는 누설전류에 의한 영향을 최소화하기 위하여 moderate inversion 영역에서 동작하도록 설계하였다. 또한, 단위 셀 구조 역시 극단적으로 작은 비트 당 면적을 유지하기 위해서 NAND PUF의 배열 구조를 활용하였다. 다만, 안정화 기법이 적용 불가능하고, 꽤 큰 NAND PUF의 부가



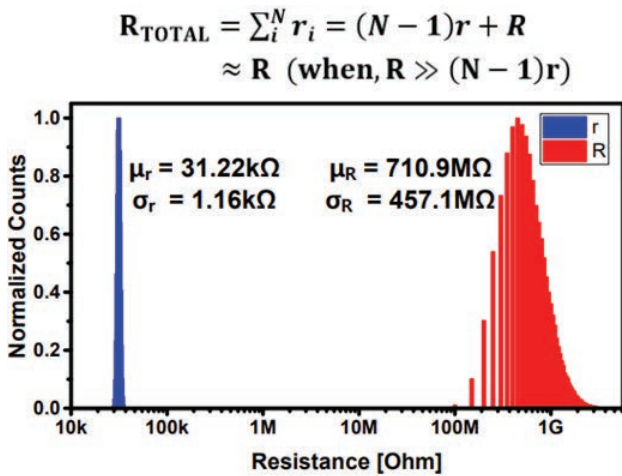
<그림 15> 전류 축적 방식의 NAND PUF 동작



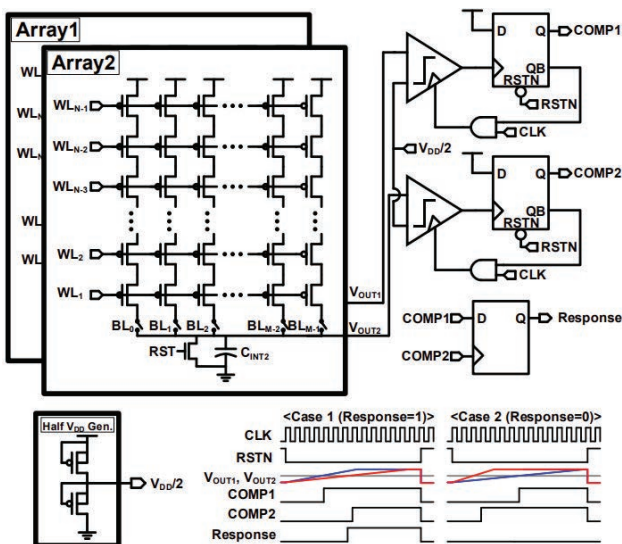
<그림 16> CI NAND PUF의 랜덤 리스폰스 생성 방법

회로를 개선하여, 더 작은 면적 내에 부가 회로를 설계하면서도, 무손실 안정화 기법인 재조합의 적용을 위해 전류 축적 방식을 채택하였다.

CI NAND PUF는 <그림 15>와 같이 PMOS로 구성된 셀을 활용한다. Moderate inversion 영역에서의 동작을 위해 PMOS 셀의 gate에는 $V_{DD} - V_{TH}$ 를 인가하고, 이 때 셀에 흐르는 전류가 하단에 연결된 축전기를 충전하여, V_{DD} 의 절반까지 충전되는 시간을 활용한다. <그림 15>의 구조를 배열로 확장하기 위해 <그림 16>과 같이 동일한 두 개의 PMOS 셀 stack으로 구성할 수 있다. <그림 16>의 두 셀 stack에서 각각 선택된 한 쌍의 PMOS 셀에 $V_{DD} - V_{TH}$ 를 인가하고, 나머지 선택되지 않은 PMOS에는 0V를 인가하여, 전체 stack의 저항값을 선택된 PMOS 셀이 결정하도록 한다. 이렇게 결정된 두 스택의 저항값에 따라 하단에 연결된 축전기를 V_{DD} 의 절반까지 충전하는 시간이 결정되고, 이를 비교하여 리스폰스로 활용



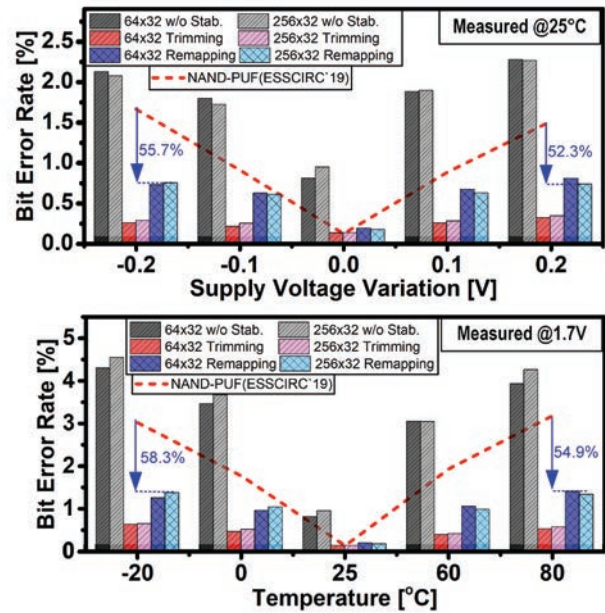
〈그림 17〉 선택된 셀과 선택되지 않은 셀의 저항 분포



〈그림 18〉 CI NAND PUF의 top-level architecture

할 수 있다. 즉, 문턱 전압의 편차가 선택된 두 PMOS 셀의 저항의 차이로, 또, 전체 스택 저항의 차이로, 마지막으로 축전지를 V_{DD} 의 절반까지 충전하는데 걸리는 시간의 차이가 되어 난수성의 리스폰스를 생성한다. 선택되지 않은 셀의 저항에 의한 영향이 나타날 수 있으나, 〈그림 17〉의 시뮬레이션 결과에 따르면, 선택된 셀의 저항은 선택되지 않은 셀에 비해서 22700배 가량 크며, 그 편차도 39만배 정도 차이가 난다.

CI NAND PUF의 top-level architecture는 〈그림 18〉과 같이 두 개의 PMOS로 구성된 NAND 배열과 비



〈그림 19〉 전원전압, 온도의 변화에 따른 CI NAND PUF의 비트 에러율 추이

교기, 플립플롭 등으로 구성되어 있다. 두 개의 PMOS NAND 배열에서 각각 선택된 한 쌍의 PMOS는 하단의 축전지를 충전하게 되고, 충전된 전압은 클럭의 매 상승엿지마다 V_{DD} 의 절반을 넘었는지 비교기를 통해 구분이 된다. 축전지에 충전된 전압 V_{OUT} 이 V_{DD} 의 절반을 넘어서게 되면, COMP 신호가 0에서 1로 변화되고, AND gate를 통해서 비교기에 인가되는 클럭을 차단하여 전력 소비를 줄이게 된다. 이런 과정을 통해 생성된 두 COMP 신호 중 어떤 COMP 신호가 먼저 0에서 1로 변화하는지 플립-플롭으로 구분하고, 이를 PUF의 리스폰스로 활용한다. 또한 두 COMP 신호가 생성되는 시간을 각각 디지털 카운터를 활용하여 그 시간을 quantize하고, quantize된 두 시간의 차이를 비교하여, 그 차이가 작다면 불안정하다고 판단하고 재조합을 통해서 안정성을 개선할 수 있다.

180nm CMOS 공정에서 제작된 CI NAND PUF는, 〈그림 19〉와 같이 재조합 기법의 적용을 통해서 기존 NAND PUF 대비 외부 환경 변화에 대해 더 나은 안정성을 달성하면서도, NAND 구조를 통해 $20F^2$ 의 극단적으로 작은 비트 당 면적을 유지할 수 있었다. 또한, 비교기, 플립플롭, AND gate로 구성된 간단한 부가 회로 덕분에

NAND PUF 대비 부가 회로의 면적을 8배 가량 줄일 수 있었다. 추가적으로, 무손실 안정화 기법인 재조합의 적용을 통해서 버려지는 CRP 없이도 안정적인 PUF를 제안하였다.

IV. 전망과 결론

사물 인터넷을 통해 사람들의 삶이 편리해졌고, 사물 인터넷이 인공지능과 결합하게 되면서 사물이 스스로 판단하고 사용자의 삶을 더 윤택하게 만들어 주는 시대가 도래하였다. 사물이 스스로 사용자의 정보를 학습하면서, 사용자 개인이 입력한 정보뿐만 아니라, 사물이 스스로 학습한 데이터까지 네트워크를 통해서 송/수신 하고 있다. 즉, 사용자 개인의 민감한 사적 데이터가 네트워크를 통해 오가고 있다. 이에, 데이터의 강력한 보안은 굉장히 중요하며, 사물 인터넷 시장이 더 커질 미래에는 더 더욱 중요한 문제가 될 것이다. 이렇게 커지는 사물 인터넷 보안 시장에서 PUF의 활용은 높은 관심을 받고 있다. PUF는 자연에서 얻는 난수를 통해서 보안에 활용할 키를 생성할 수 있기 때문에, 인위적으로 생성하는 기존 키 생성 방식에 비해 난수성 측면에서 더 우수하기 때문이다.

PUF의 응용은 사물 인터넷에서의 기기간 보안 인증 과정에서의 활용과, 데이터를 암호화하여 저장할 때 암호화 모듈의 키(Key)로 활용할 수 있다. 이 분야에서는 Samsung, Intel 등과 같은 세계적인 기업뿐만 아니라, ICTK, eMemory와 같은 국내외 기업에서도 활발하게 연구 및 제품화가 진행되고 있다. 또한, 앞으로의 PUF는 자연에서 얻어지는 난수는 추측할 수 없다는 점을 활용하여, 퀀텀 컴퓨팅 시대에서 Post-Quantum Cryptography (PQC)에도 활용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

[1] S. Stanzione, D. Puntin, and G. Iannaccone, "CMOS Silicon Physical Unclonable Functions Based on Intrinsic Process Variability," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 46, no. 6, pp. 1456–1463, Jun. 2011.

[2] K. Yang, Q. Dong, D. Blaauw, and D. Sylvester, "A Physically

Unclonable Function with BER $<10^{-8}$ for Robust Chip Authentication Using Oscillator Collapse in 40nm CMOS," *IEEE International Solid-State Circuits Conference*, Feb. 2015, pp. 254–255.

[3] S. Jeloka, K. Yang, M. Orshansky, D. Sylvester, and D. Blaauw, "A sequence dependent challenge-response PUF using 28nm SRAM 6T bit cell," *IEEE symposium VLSI circuits*, Jun. 2017, pp. C270–C271.

[4] S. K. Mathew, S. K. Satpathy, M. A. Anders, H. Kaul, S. K. Hsu, A. Agarwal, G. K. Chen, R. J. Parker, R. K. Krishnamurthy, and V. De, "A 0.19pJ/b PVT-Variation-Tolerant Hybrid Physically Unclonable Function Circuit for 100% Stable Secure Key Generation in 22nm CMOS," *IEEE International Solid-State Circuits Conference*, Feb. 2014, pp. 278–279.

[5] S. Satpathy, S. Mathew, J. Li, P. Koeberl, M. Anders, H. Kaul, G. Chen, A. Agarwal, S. Hsu, and R. Krishnamurthy, "13fJ/bit Probing-resilient 250K PUF Array with Soft Dark-bit Masking for 1.94% Bit-error in 22nm Tri-gate CMOS," *IEEE European Solid-State Circuits Conference*, Sept. 2014, pp. 239–242.

[6] S. Mathew, S. Satpathy, V. Suresh, M. Anders, H. Kaul, A. Agarwal, S. Hsu, G. Chen, R. Krishnamurthy, and V. De, "A 4fJ/bit Delay-Hardened Physically Unclonable Function Circuit with Selective Bit Destabilization in 14nm Tri-gate CMOS," *IEEE symposium VLSI circuits*, Jun. 2016, pp. C248–C249.

[7] S. Satpathy, S. K. Mathew, V. Suresh, M. A. Anders, H. Kaul, A. Agarwal, S. K. Hsu, G. Chen, R. K. Krishnamurthy, and V. K. De, "A 4-fJ/b Delay-Hardened Physically Unclonable Function Circuit With Selective Bit Destabilization in 14-nm Trigate CMOS," *IEEE Journal Solid-State Circuits*, vol. 52, no. 4, Apr. 2017, pp. 940–949.

[8] A. B. Alvarez, W. Zhao and M. Alioto, "Static Physically Unclonable Functions for Secure Chip Identification With 1.9–5.8% Native Bit Instability at 0.6–1V and 15 fJ/bit in 65nm," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 51, no. 3, pp.763–775, Mar. 2016.

[9] B. Karpinsky, Y. Lee, Y. Choi, Y. Kim, M. Noh, and S. Lee, "Physically Unclonable Function for Secure Key Generation



- with a Key Error Rate of $2E-38$ in 45nm Smart-Card Chips," IEEE International Solid-State Circuits Conference, Feb. 2016, pp. 158-159.
- [10] J. Li, and M. Seok, "Ultra-Compact and Robust Physically Unclonable Function Based on Voltage-Compensated Proportional-to-Absolute-Temperature Voltage Generators," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 51, no. 9, pp. 2192-2202, Sep. 2016.
- [11] K. Yang, Q. Dong, D. Blaauw, and D. Sylvester, "A 553F2 2-Transistor Amplifier-Based Physically Unclonable Function (PUF) with 1.67% Native Instability," IEEE International Solid-State Circuits Conference, Feb. 2017, pp. 146-147.
- [12] D. Li and K. Yang, "A Self-Regulated and Reconfigurable CMOS Physically Unclonable Function Featuring Zero-Overhead Stabilization," IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 55, no. 1, pp. 98-107, Jan. 2020.
- [13] N. Liu, S. Hanson, D. Sylvester, and D. Blaauw, "OxID: On-Chip One-Time Random ID Generation using Oxide Breakdown," IEEE symposium VLSI circuits, Jun. 2010, pp. 231-232.
- [14] M-Y. Wu, T-H. Yang, L-C. Chen, C-C. Lin, H-C. Hu, F-Y. Su, C-M. Wang, J. P-H. Huang, H-M. Chen, C. C-H. Lu, E. C-S. Yang, and R. S-J. Shen, "A PUF Scheme Using Competing Oxide Rupture with Bit Error Rate Approaching Zero," IEEE International Solid-State Circuits Conference, Feb. 2018, pp. 130-131.
- [15] Y. Yoshimoto, Y. Katoh, S. Ogasahara, Z. Wei and K. Kouno, "A ReRAM-based Physically Unclonable Function with Bit Error Rate $< 0.5\%$ after 10 years at 125°C for 40nm embedded application," IEEE symposium VLSI technology, Jun. 2016, pp. 1-2.
- [16] Y. Pang, B. Gao, D. Wu, S. Yi, Q. Liu, W. H. Chen, T. W. Chang, W. E. Lin, X. Sun, S. Yu, H. Qian, M. F. Chang, and H. Wu, "A Reconfigurable RRAM Physically Unclonable Function Utilizing Post-Process Randomness Source with $< 6 \times 10^{-6}$ Native Bit Error Rate," IEEE International Solid-State Circuits Conference, Feb. 2019, pp. 402-403.
- [17] T. W. Kim, B. D. Choi and D. K. Kim, "Zero bit error rate ID generation circuit using via formation probability in $0.18\mu\text{m}$ CMOS process" in Electronic letters, vol. 50, no. 12, pp. 876-877, June 2014.
- [18] D. Jeon, J-H. Baek, Y-D. Kim, J. Lee, D. K. Kim, and B. Choi, "A Physical Unclonable Function With Bit Error Rate $< 2.3 \times 10^{-8}$ Based on Contact Formation Probability Without Error Correction Code" IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 55, no. 3, Mar. 2020, pp. 805-816.



이종민

- 2017년 2월 성균관대학교 반도체시스템공학과 학사
- 2022년 8월 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 박사
- 2022년 9월 ~ 2023년 1월 삼성전자 Foundry사업부 IP 개발팀 연구원
- 2023년 3월 ~ 현재 아주대학교 지능형반도체공학과 조교수

〈관심 분야〉

Low-Power Digital Integrated Circuits, Hardware Security, Post Quantum Cryptography, Neuromorphic Circuits.

FPGA HLS를 이용한 맞춤형 반도체 설계

I. 서론

멀티코어 시대가 끝나면서 그 대안으로 맞춤형 반도체가 주목받고 있다. 맞춤형 반도체는 특정 연산만을 전문적으로 수행하는 반도체로서, 낮은 전력으로도 높은 성능을 제공할 수 있다^[14]. 맞춤형 반도체는 신경망^[33], 그래프 가속기^{[4][11][28]}, 의료 영상^[6], 음성 인식^[5] 등 다양한 응용프로그램을 위하여 제작되고 있다.

맞춤형 반도체를 제작하는 방법으로 ASIC (Application-Specific Integrated Circuit)과 FPGA (Field-Programmable Gate Array)를 들 수 있다. ASIC이 속도가 빠르고 전력을 적게 소모하기는 하지만 초기 개발비(non-recurring engineering cost, NRE)가 많이 필요하기 때문에 모든 응용프로그램을 ASIC으로 설계하는 것은 실용적이라고 볼 수는 없다. 반면에 FPGA는 재구성성이 가능하기 때문에 상대적으로 NRE가 적게 발생하며, ASIC에 근접하는 성능과 에너지 효율성을 제공하기 때문에 맞춤형 가속 플랫폼으로써 많은 관심을 받고 있다. 또한 데이터 센터에서 실행되는 FPGA 가속기의 경우 초기 배포 후에도 고객의 요구 사항에 맞게 회로를 개선한 후 쉽게 업데이트할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 특성으로 인하여 FPGA는 Amazon Web Service (AWS)^[1] 및 Microsoft Azure^[22]와 같은 다양한 클라우드 컴퓨팅 서비스에서 제공되고 있다.

그러나 FPGA는 일반적으로 하드웨어 정보가 자세히 기술되는 로우 레벨 (low-level) 프로그래밍 환경에서 작성되기 때문에, 하드웨어 설계 경험이 적은 개발자가 FPGA 용 맞춤형 반도체를 만드는 것은 매우 어려운 일이다. FPGA 가속기는 일반적으로 Verilog 또는 VHDL과 같은 RTL (Register Transfer Level) 언어로 작성되며, 매 클럭 사이클 (clock cycle)마다 모든 신호의 동작을 지정해야 한다. 따라서 RTL 언



최영규
인하대학교

```

1 void mv(hls::vector<int,16> A, int y, ...){
2 #pragma HLS INTERFACE m_axi port=A bundle=gmem0
3 #pragma HLS INTERFACE m_axi port=y bundle=gmem1
4 int psum;
5 ...
6 for(row=0; row<N; row++){
7   for(col1=0; col1<N/16; col1++){
8     #pragma HLS pipeline II=1
9     for(col2=0; col2<16; col2++){
10      #pragma HLS unroll
11      psum+= A[col1][col2] * x[col1][col2];
12    } }
13    y[row] = psum;
14 } }

```

〈그림 1〉 Vitis HLS를 이용한 행렬-벡터 곱셈 코드

어로 응용 프로그램을 설계, 검증 및 최적화하기 위해서는 전문적이고 숙련된 하드웨어 엔지니어가 필요하게 된다. 이는 긴 개발 시간과 높은 개발 비용으로 이어진다.

이 문제를 해결하기 위해 Xilinx Vitis HLS^[29] 및 Intel HLS^[18]와 같은 하이레벨 합성(High-Level Synthesis, HLS) 툴이 도입되었다. HLS는 C++ 나 OpenCL과 같은 하이레벨 언어로 작성된 디자인을 입력으로 받은 다음, 자동적으로 RTL 언어로 된 디자인으로 변환한다. 이 과정에서 FPGA 세부 마이크로 아키텍처를 결정해 주기 때문에 프로그래머의 부담이 줄어들어 생산성이 높아진다. 또한 클럭 주파수를 변경하거나 기존 설계를 새로운 FPGA 플랫폼으로 포팅하는 것이 매우 쉽다. 그리고 C++ 레벨로 시뮬레이션을 할 수도 있어서 검증이 간소화된다.

〈그림 1〉은 Vitis HLS를 이용한 행렬-벡터 곱셈 코드 예시이다. HLS에서는 컴파일러 지시문을 이용하여 (예: 줄 8 및 10) 파이프라이닝이나 병렬화(unroll)를 간단히 적용할 수 있다. 또한 줄 2-3에서 볼 수 있듯이 외부와의 인터페이스를 AXI 프로토콜로 구현하는 것이 매우 간편하다. 이렇게 HLS에서는 십여줄 남짓한 코드로 행렬-벡터 가속기를 제작할 수 있는 반면에 이를 Verilog로 기술하면 비슷한 성능을 달성하는데 수천줄의 코드가 필요하다. 즉 HLS를 활용하면 개발 시간을 많이 단축할 수 있음을 알 수 있다.

이와 같은 장점 때문에 전세계 많은 회사에서 HLS를 활용하고 있으며 여러 성공 사례가 알려지고 있다. 예를

들어 Google사의 WebM 용 비디오 하드웨어 디코더^[27], Xilinx사의 NGCCCodec^[31], Horizon사의 로봇^[19] 설계를 위하여 HLS가 사용되었다.

하지만 이러한 많은 장점과 성공 사례에도 불구하고 현재 FPGA HLS에는 여러 제한점이 존재한다. 첫째, 현재 FPGA HLS는 FPGA 외부 시스템에 대한 고려가 부족하다. 가속기 외부 메모리나 호스트 프로세서 기술은 빠르게 진화하고 있지만 HLS는 이를 정확하게 반영하지 못한다. 둘째, 현재 FPGA HLS에는 성능 분석 도구가 부족하다. FPGA 가속기의 성능을 충분하지 않아도 성능을 저해하는 요인을 파악하기 매우 어렵다. 반면에 CPU 나 GPU의 경우에는 이를 위하여 VTune^[20] 이나 NSight^[25]와 같은 도구를 사용할 수 있다.

본 원고는 이 두 가지 문제점에 대한 해법을 소개하고 있다. II장에서는 고대역폭 메모리 (high bandwidth memory, HBM) 환경을 인지하고 있는 FPGA HLS와 이와 관련된 자동 최적화 프레임워크를 소개한다. III장에서는 맞춤형 반도체의 성능 병목 현상을 분석하는 HLS 성능 디버깅 프레임워크를 설명한다.

II. 시스템 인지 HLS

1. HBM Connect : HLS기반 HBM 연결회로 생성기

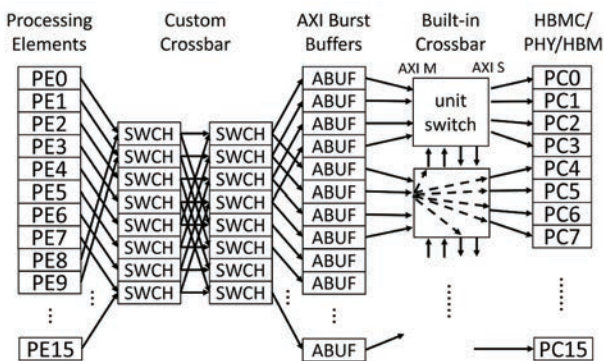
고대역폭 메모리 (High Bandwidth Memory, HBM)는 3D 스택킹 된 DRAM으로, Through Silicon Via (TSV) 기술을 이용하여 수천 개의 입출력 핀에서 데이터를 전송하기 때문에 매우 높은 메모리 대역폭을 제공한다^[21]. 이와 같은 특성을 이용하여 ChatGPT^[2]의 경우 매우 큰 언어모델을 메모리에서 빠르게 가져오는데 HBM을 활용하고 있다. 또한 Titan V GPU 보드에서 HBM를 장착하고 있으며^[24], 삼성전자는 HBM을 기반으로 인메모리 컴퓨팅 (HBM-PIM) 플랫폼을 구축하였다^[26]. FPGA 보드 중에는 Xilinx 사의 Alveo U280^[30] 및 Intel 사의 Stratix 10 MX^[17]를 들 수 있다. HBM은 여러 개의 채널 (pseudo channel, PC)를 제공하며 각 PC는 독립적으로 접근할 수 있다.

FPGA HBM 보드에서 고대역폭을 달성할 수 있는지

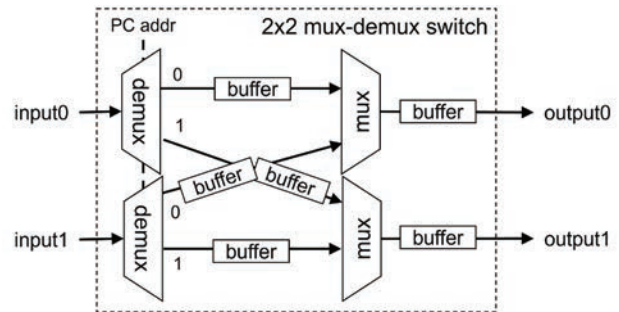
〈표 1〉 Alveo U280에서 메모리바운드 프로그램들의 유효대역폭^[13]

프로그램	PC 개수	CLK (MHz)	유효대역폭 (GB/s)	대역폭/PC (GB/s)
행렬벡터곱	16	300	211	13.2
스텐슬	16	293	206	12.9
버킷 정렬	16	277	65	4.1
병합 정렬	16	196	9.4	0.59

확인하기 위해 Alveo U280에서 메모리 대역폭에 성능이 큰 영향을 받는 메모리바운드 (memory-bound) 응용 프로그램을 구현한 결과는 표 1과 같다. 조밀한 (dense) 행렬-벡터 곱셈이나 스텐슬 (stencil) 프로그램과 같이 여러 연산기 (Processing Elements, PE)들이 독립적으로 HBM PC에 접근 가능할 경우 PC당 유효 대역폭은 HBM 최대 사용 가능한 대역폭인 13.2GB/s에 근접한다. 하지만 버킷 정렬 (bucket sort) 및 병합 정렬 (merge sort)의 경우 유효 대역폭이 훨씬 낮다. 유효 대역폭이 낮은 첫 번째 이유는 Alveo U280에는 여러 PC로의 통신에 쓰이는 내장 크로스바 사이에 공유 링크가 존재하는데 (lateral connection)^[30], 여러 PE에서 여러 PC로 데이터를 보내면 공유 링크에 병목현상이 생겨나기 때문이다. 두 번째 이유는 현재 HLS 프로그래밍 환경에서는 여러 개의 PC에 연속된 메모리 접근이 일어나도록 (버스트 접근, burst access) 만드는 것은 어렵기 때문이다. 예를 들어 버킷 정렬에서 하나의 버킷이 하나의 HBM PC에 할당되었다면, 입력 키가 무작위로 들어오면 이를 특정 출력 버킷에 연속적으로 분배하도록 만들기 어렵다.



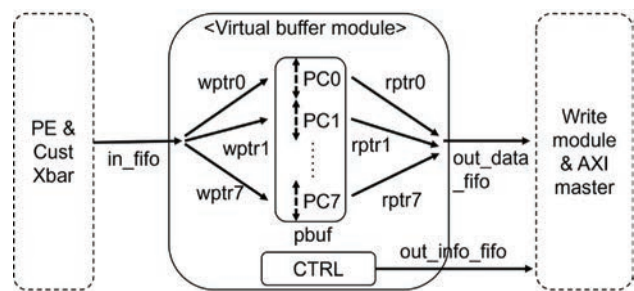
〈그림 2〉 HBM Connect 구조^[13]



〈그림 3〉 HLS mux-demux 구조^[13]

이 문제를 해결하기 위하여 FPGA HBM 보드용 고성능 맞춤형 연결회로 생성 프레임워크인 HBM Connect가 제안되었다^[13]. HBM Connect는 〈그림 2〉에서 볼 수 있듯이 맞춤형 크로스바(custom crossbar), AXI 버스트 버퍼 (burst buffer), 내장 크로스바(built-in crossbar)로 구성되어 있다. 각 요소는 Vitis HLS C++ 구문에 맞추어 제작되었고 RTL 코딩이 필요하지 않다.

이 중에 맞춤형 크로스바는 기존의 내장 크로스바의 통신 병목 현상을 줄이고 유효 대역폭을 늘리는 역할을 한다. 다만 완전히 연결된 (fully-connected) 크로스바는 Vitis 툴이 라우팅을 할 수 없으므로 2x2 스위치 기반의 버터플라이 멀티스테이지 네트워크를 활용하였다. 2x2 스위치는 두 개 입력의 목적지가 달라야 동시에 출력으로 보낼 수 있으므로, 기존의 HLS 프로그래밍 환경에서는 무작위 입력이 들어오면 평균적으로 데이터를 1.5개만이 출력된다. 처리량을 늘리기 위해 mux-demux 라는 HLS 기반 스위치 구조가 제안되었다^[13]. 〈그림 3〉에서 볼 수 있듯이 2x2 스위치를 간단한 구성요소로 분해한 다음 이들 사이에 버퍼를 삽입한다. 그러면 두 개의 출력으



〈그림 4〉 HLS 가상 버퍼 구조^[13]

〈표 2〉 HBM Connect 적용 실험 결과^[13]

프로그램	연결구조	FPGA 자원 (LUT/FF/BRAM)	유효 대역폭 (GB/s)
버킷 정렬	Vitis HLS HBMCon	102K/243K/248 189K/305K/248	65 203
병합 정렬	Vitis HLS HBMCon	195K/417K/424 264K/312K/672	9.4 136

로 동시에 보낼 수 있는 데이터가 있을 가능성이 높아지므로 평균 데이터 출력 처리량이 2에 근접하게 된다.

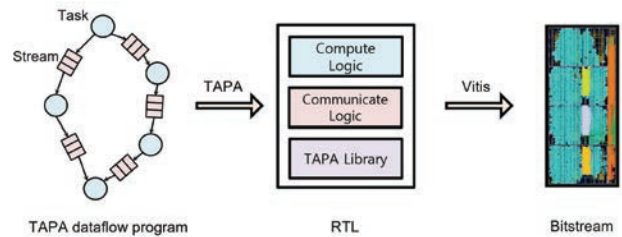
또한 다른 여러 HBM PC로 버스트 접근을 하기 위하여 AXI용 HLS 가상 버퍼 (HLS Virtual Buffer, HVB)를 제안하였다 〈그림 4〉^[13]. HVB는 물리적 FIFO 버퍼를 여러 개의 목표 (target) PC에 대한 가상 FIFO 버퍼로 분할한다. 임의의 목표 PC에 대한 데이터를 입력으로 받아도, 동일 PC에 대하여 데이터를 모은 다음 버스트로 출력을 전송한다. HVB를 이용하면 FPGA 내부 메모리의 활용도를 높일 수 있고, 물리적으로는 하나의 FIFO 버퍼 공간을 차지하기 때문에 FPGA 소자 배치 및 연결 (placement and routing) 결과를 향상시킨다.

실험 결과는 〈표 2〉와 같다. 이중 버킷 정렬은 쓰기를 수행할 때 PE들이 여러 PC를 접근하며, 병합 정렬은 읽기를 수행할 때 PE들이 여러 PC를 접근한다. 기존의 Vitis HLS에 비하여 HBM Connect로 연결구조를 구성한 경우 맞춤형 크로스바와 AXI HVB 때문에 자원소모량은 늘어난다. 하지만 통신 병목현상을 완화하고 버스트 접근 길이를 증가시키므로 유효 대역폭이 크게 늘어난 것을 확인할 수 있다.

2. TAPA: HLS 데이터플로우 프레임워크

HBM Connect에서 제안된 것과 같은 최적화를 자동적으로 적용하려면 소스 코드에서 소스 코드로 변환 (source-to-source transformation)을 손쉽게 할 수 있는 컴파일러 프레임워크가 필요하다. 이를 위하여 TAPA 프레임워크를 활용할 수 있다^[3]. TAPA는 FCCM'21에서 발표되었으며 현재까지 수십개의 FPGA 가속기를 최적화하는데 사용되었다 (예: [4][11][28]).

TAPA는 〈그림 5〉에서 볼 수 있듯이 HLS 데이터플로



〈그림 5〉 TAPA 프레임워크^[3]

우 프로그램을 입력으로 받아 연산 로직과 통신 로직으로 분리한다. 연산 로직은 기존의 Vitis HLS로 합성하며 통신 로직은 RTL 레벨에서 재구성한다. 이렇게 하는 이유는 대부분의 성능적 문제는 통신 로직에서 발생하기 때문에 이를 최적화하려는 것이다. TAPA는 플로우플랜^[15], 비트스트림 생성^[16], 자동 수행^[12], HBM 연결회로 (II. 1장) 등의 최적화를 자동적으로 수행하여 FPGA HLS 프로그래밍 환경을 지속적으로 개선시키고 있다.

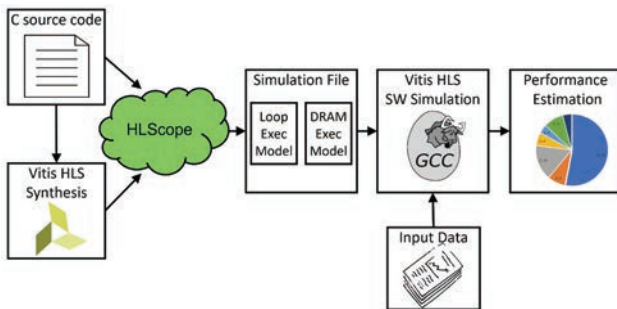
III. 성능 디버깅

서론에서 설명한 것과 같이 현재 HLS 환경에서는 FPGA 가속기의 성능이 충분하지 않아도 성능을 저해하는 요인을 파악하기 매우 어렵다. 이러한 성능 디버깅이 어려운 이유는 HLS 툴이 프로그래머로부터 하드웨어 실행 모델을 추상화하기 때문이다^[9]. 따라서 추상화된 정보 중에서 성능적인 것을 다시 추출한 후 분석하여 프로그래머에게 문제의 원인을 알려주어야 한다.

FPGA HLS기반 맞춤형 반도체 설계는 합성, 시뮬레이션, 실행으로 나눌 수 있으며, 각 단계마다 성능 디버깅을 적용할 수 있다.

1. HLScope-S : FPGA HLS 성능 추정기

일반적으로는 HLS 사용자들은 툴이 제공한 합성 보고서를 활용하여 대략적인 성능을 파악하게 된다. 하지만 어떤 프로그램이 입력 데이터에 의존하여 동작하거나 외부 메모리를 접근할 때 그 예측은 부정확할 수 있다. 예를 들어 퀵소트의 경우 반복문의 길이가 피벗 데이터에 따라 달라지며 외부 메모리 접근의 일부는 순행하며 일부는 역행한다. HLS 합성 보고서는 상수가 아닌 반복문이나 연



〈그림 6〉 HLScope-S 성능 추정기

속적이지 않은 외부메모리 접근을 정확하게 반영하지 못하므로 성능 추정은 매우 부정확하다^[7].

이 문제를 해결하고 합성 단계에서 정확한 성능 예측을 하기 위해 HLScope-S를 활용할 수 있다^[7]. HLScope-S 플로우는 〈그림 6〉과 같다. HLS 소스 코드를 입력으로 받아 HLS 합성을 수행한다. 합성 보고서를 바탕으로 루프의 파이프라인 깊이나 처리율을 파악하며, 이에 맞게 하드웨어 실행 동작을 모델링하는 루틴을 코드에 자동적으로 삽입한다. 또한 외부 메모리 접근의 버스트 길이와 여러 PE간의 경합을 반영하여 코드에 삽입한다. 이러한 하드웨어 모델링 코드는 수행 오버헤드를 최소화하기 위해 반복문 또는 함수 레벨에서 삽입된다. 변형된 코드에 HLS 소프트웨어 (SW) 시뮬레이션을 수행하면 입력 데이터를 반영하여 반복문이나 조건문이 실행된다. 따라서 입력 데이터에 의존적인 디자인에서도 성능 예측을 정확하게 할 수 있다.

ADM-PCIE-7V3 보드에 대한 실험한 결과 HLScope-S를 활용하면 입력 데이터에 의존적인 가속기에서도 연산 모듈 성능 예측은 평균 1.1%의 오차, 외부 메모리 접근 모듈 성능 예측은 평균 5.0%의 오차를 보인다^[8]. 이러한 성능 추정기법은 Falcon Computing사 (Xilinx사에 합병) Merlin Compiler^[32]에 구현된 후 배포되었다.

HLScope-S의 빠른 성능추정과 입력 HLS 소스 코드를 바탕으로 각 모듈들이 실행되는 비율을 파악할 수 있다. 만약 외부 메모리 접근 모듈이 지속적으로 실행되고 이로부터 데이터를 받는 모듈들이 멈추는 비율이 높으면, 외부 메모리 포트를 늘리거나 접근 패턴을 최적화해

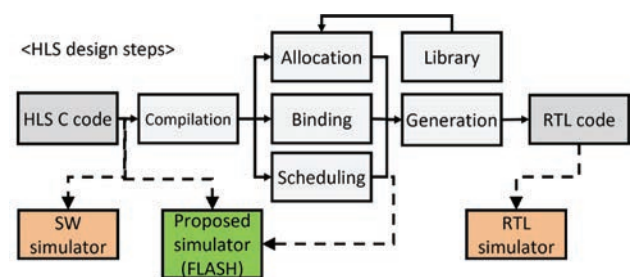
야 한다. 만약 특정 연산 모듈의 실행비율이 높고 다른 모듈들이 그 결과를 기다리고 있으면, 해당 연산 모듈을 병렬화하여 병목 현상을 없애는 방식으로 성능 디버깅을 수행한다.

2. FLASH : 고속 FPGA HLS 시뮬레이터

HLScope-S는 합성 리포트 정보를 바탕으로 하드웨어 수행 모델을 코드에 삽입한 후 HLS 소프트웨어 시뮬레이션을 수행하여 성능 예측을 한다. 하지만 현재 FPGA HLS 상용 소프트웨어 시뮬레이터는 때때로 잘못된 결과를 생성하며 이로 인해 HLScope-S가 부정확한 성능 추정치를 제공할 수 있다. 예를 들어 A, B, C 순서대로 인스턴스화 된 모듈 사이에 피드백 FIFO가 존재해도, 소프트웨어 시뮬레이션은 A, B, C 순서대로 수행되므로 C에서 B, B에서 A로 보내는 FIFO 데이터가 반영되지 않아 오류가 발생한다^[10]. 또한 FIFO 버퍼 크기를 반영하지 못하여 여러 멈춤 (stall) 상황을 구별할 수 없다^[10].

이 문제를 해결하기 위해 FLASH라는 HLS 시뮬레이터가 개발되었다^[10]. FLASH는 HLS 합성 리포트에서 스케줄링 정보를 추출하여 새로운 시뮬레이션 파일을 자동적으로 생성한다. 이 시뮬레이션 파일은 FIFO 버퍼 크기, FIFO 통신이 일어나는 사이클, 각 모듈의 상태 전이가 일어나는 사이클을 정확하게 반영하므로 성능을 사이클 단위로 정확하게 추정할 수 있다.

〈그림 7〉은 FLASH와 기존의 HLS SW/RTL 시뮬레이터를 비교한다. HLS SW 시뮬레이터는 매우 빠르게 수행되지만, 앞에서 설명한 것처럼 때때로 정확하지 않으며 성능 추정을 제공하지 않는다. 이에 반해 HLS RTL 시뮬레이터는 HLS 컴파일을 통하여 할당, 바인딩, 스케



〈그림 7〉 FLASH와 기존의 HLS SW/RTL 시뮬레이터와의 비교^[10]

〈표 3〉 HLS 시뮬레이션 수행시간 비교 ^[10]

	HLS SW Sim	HLS RTL Sim	FLASH
수행시간 평균	1.0X	2,800X	1.72X

줄링, 구성요소 라이브러리를 반영하기 때문에 매우 정확하게 시뮬레이션을 수행한다. 하지만 이러한 정보가 모두 시뮬레이션 되면서 속도가 매우 느리다. FLASH는 HLS C 코드 기반으로 수행되며 FIFO 통신 및 모듈 상태 전이 스케줄링 정보를 반영하고 있다. 따라서 성능 추정치는 사이클이 정확하지만 (cycle-accurate), 할당, 바인딩 정보와 연산문들의 수행 시간이 추상화되며 RTL 시뮬레이션보다 매우 빠르게 수행된다. 이는 〈표 3〉에서 확인되며 FLASH는 RTL 시뮬레이션 보다 천배 이상 (2,800/1.72) 빠르게 수행된다. SW 시뮬레이션에 비해서는 1.72배 느리기는 하지만 정확한 성능 추정이 가능하다.

이 외에도 FLASH는 시뮬레이션 중 변수 값을 모니터링 하거나 데드락 상황을 잡아내는 등 디버깅 기능도 제공하여 HLS기반 맞춤형 반도체의 유효성 검사 시간을 단축하는데 기여하고 있다.

3. HLScope-M : FPGA 모니터링 시스템

HLScope-S와 FLASH는 프로그래머가 대표적인 입력 데이터를 보유하고 있을 때는 안정적인 성능 추정을 제공한다. 하지만 FPGA 배포 후 입력 데이터 특성이 시뮬레이션에 비하여 크게 변경될 경우 FPGA 실행을 하면서 성능 모니터링이 필요하다. 이를 위하여 HLScope-M이라는 HLS 기반 FPGA 온보드 성능 모니터링 프레임워크가 제안되었다^[8]. 디버깅에 사용되는 하드웨어 모니터는 기존 HLS 흐름과 쉽게 통합할 수 있도록 HLS C++ 언어만으로 기술되었으며 수백 개의 LUT만 사용할 정도로 적은 오버헤드를 가진다. FPGA HLS 디자인에 자동적으로 하드웨어 모니터 코드를 삽입하여 모듈들이 멈춤(stall)이 일어나는지 확인한다. 멈춤이 일어나면 이를 발생시키는 원인이 되는 모듈을 찾아 주는 SAN(Stall Analysis Network)가 추가되었다. 이를 통하여 FPGA 온보드 실행에서 멈춤의 근본 원인을 추적하고, 프로그래머가 HLS

디자인의 성능 병목 현상을 신속하게 식별하는 데 도움을 준다.

IV. 전망과 결론

II장에서는 FPGA HBM 환경에서 여러개의 연산기가 여러개의 HBM 채널에 접근할 때 연결회로를 생성해주는 HBM Connect와 이러한 최적화를 자동적으로 적용할 수 있는 TAPA 프레임워크에 대하여 설명하였다. 최근 Compute Express Link, PCIe 6.0, HBM-PIM 등 새로운 통신 및 메모리 기술이 지속적으로 도입되고 있다. HLS가 이러한 가속기 외부 기술의 특성을 정확히 반영하고 사용자들이 손쉽게 시스템적으로 최적화된 맞춤형 반도체를 설계할 수 있도록 여러 추상화와 자동화 기술이 추가되어야 한다.

III장에서는 HLS 환경에서 성능적인 문제가 발생하였을 때 그 원인을 분석하고 정확한 성능 예측을 해주는 방법에 대하여 설명하였다. 그리고 합성, 시뮬레이션, FPGA 실행 단계에서 각각 성능 디버깅을 하는 프레임워크가 소개되었다. 앞으로 이러한 분석결과를 바탕으로 자동적으로 가속기 최적화를 적용하거나 프로그래머가 이해하기 쉽게 개선 방법을 제안할 수 있는 추가 연구가 필요하다.

그 외에도 HLS 분야에는 여러 연구과제가 남아 있다. 예를 들어 현재 많은 연구자들이 각자 다른 추상화 레벨에서 별도의 컴파일러 프레임워크를 사용하고 있어 서로 연구 결과를 재사용이 매우 어렵다. 이를 MLIR^[23] 같은 프레임워크를 활용하여 시스템적인 레벨부터 함수/반복문 레벨까지 통합된 환경에서 개발하면 더욱 연구 효율성이 증대될 것이다. 다른 하나는 여러 병렬 플랫폼으로 제작된 코드를 HLS에 맞게 변형시키는 것이다. 멀티코어 CPU나 GPU를 목표로 제작된 코드는 많이 존재하지만, 이를 HLS로 포팅하려면 포인터나 동적메모리 할당 등의 문제가 존재한다. 따라서 기존 코드에 존재하는 병렬화를 FPGA에 맞게 변형하면서 HLS가 다양한 프로그래밍 방법을 지원할 수 있도록 만들 필요가 있다.

HLS는 맞춤형 반도체 개발 과정을 단순화시켜 그 진입



장벽을 낮추는 역할을 한다. 현재 국내 반도체 설계 인력이 매우 부족한 상황에서 관련 인력을 빠르게 양성하는데 HLS가 큰 도움이 될 수 있다. 이를 위하여 온라인 FPGA HLS 강의가 제공되고 있으며 ¹⁾, 국내 산업체와 학생들의 수요에 맞게 HLS 교육 프로그램을 제작할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] Amazon, Amazon EC2 F1 Instance, 2023, <https://aws.amazon.com/ec2/instance-types/f1/>
- [2] ChatGPT, <https://openai.com/blog/chatgpt>, 2023.
- [3] Y. Chi, L. Guo, J. Lau, Y. Choi, J. Wang, and J. Cong, "Extending high-level synthesis for task-parallel programs," in Proc. IEEE Int. Symp. FCCM, 204–213, 2021.
- [4] Y. Chi, L. Guo, and J. Cong, "Accelerating SSSP for power-law graphs," ACM/SIGDA Int. Symp. FPGA, 2022.
- [5] Y. Choi, K. You, J. Choi, and W. Sung, "A real-time FPGA-based 20,000-word speech recognizer with optimized DRAM access," IEEE TCAS I, 57(8), 2119–2131, 2010.
- [6] Y. Choi and J. Cong, "Acceleration of EM-based 3D CT reconstruction using FPGA," IEEE TBCAS, 10(3), 754–767, 2016.
- [7] Y. Choi, P. Zhang, P. Li, and J. Cong, "HLScope+: Fast and accurate performance estimation for FPGA HLS," in Proc. IEEE/ACM ICCAD, 691–698, 2017.
- [8] Y. Choi and J. Cong, "HLScope: High-level performance debugging for FPGA designs," in Proc. IEEE Int. Symp. FCCM, 125–128, 2017.
- [9] Y. Choi, "Performance debugging frameworks for FPGA high-level synthesis," Ph.D dissertation, UCLA, 2019.
- [10] Y. Choi, Y. Chi, J. Wang, and J. Cong, "FLASH: Fast, Parallel, and Accurate Simulator for HLS," IEEE TCAD, 39(12), 4828–4841, 2020.
- [11] Y. Choi, et al., "FPGA Acceleration of Probabilistic Sentential Decision Diagrams with High-Level Synthesis," ACM TRET, 2023.
- [12] Y. Choi, Y. Chi, J. Lau, and J. Cong, "TARO: Automatic Optimization for Free-Running Kernels in FPGA High-Level Synthesis," IEEE TCAD, 2023.
- [13] Y. Choi, et al., "HBM Connect: High-Performance HLS Interconnect for FPGA HBM," in Proc. Int. Symp. FPGA, 116–126, 2021.
- [14] Cong, V. Sarkar, G. Reinman, and A. Bui, "Customizable domain-specific computing," IEEE Design & Test of Computers, 28(2), 6–15, 2010.
- [15] L. Guo, et al., "AutoBridge: Coupling Coarse-Grained Floorplanning and Pipelining for High-Frequency HLS Design on Multi-Die FPGAs" in Proc. ACM/SIGDA Int. Symp. FPGA, 2021.
- [16] L. Guo, et al., "RapidStream: parallel physical implementation of FPGA HLS designs" in Proc. ACM/SIGDA Int. Symp. FPGA, 2022.
- [17] Intel, "High Bandwidth Memory (HBM2) Interface Intel FPGA IP User Guide," <https://www.intel.com/>, 2021.
- [18] Intel, High Level Synthesis Compiler <https://www.intel.com/>, 2023.
- [19] Intel, HLS Compiler Success Story, <https://www.intel.com/>, 2019.
- [20] Intel, Intel VTune Profiler, <https://www.intel.com/>, 2023.
- [21] JEDEC, High Bandwidth Memory (HBM) DRAM, <https://www.jedec.org/>, 2023.
- [22] Microsoft, "Microsoft Azure", <https://azure.microsoft.com/>, 2023.
- [23] MLIR, Multi-Level IR Compiler Framework, <https://mlir.llvm.org/>, 2023.
- [24] NVIDIA, NVIDIA Titan V, <https://www.nvidia.com/en-us/titan/titan-v/>, 2023.
- [25] NVIDIA, NVIDIA Nsight Visual Studio Edition, <https://developer.nvidia.com/nsight-visual-studio-edition>, 2023.
- [26] Samsung, "Samsung Develops Industry's First High Bandwidth Memory with AI Processing Power," <https://news.samsung.com/global/>, 2021.
- [27] Siemens, "Google develops WebM video decompression

1) HLS Programming with FPGA, <https://youtu.be/6Jn8Vj3Hk5Y>



hardware IP using High-Level Synthesis", <https://www.siemens.com/>.

- [28] L. Song, et al., "Sextans: A Streaming Accelerator for General-Purpose Sparse-Matrix Dense-Matrix Multiplication," ACM/SIGDA Int. Symp. FPGA, 65–77, 2022.
- [29] Xilinx, "Vitis High-Level Synthesis User Guide (UG1399)," www.xilinx.com, 2023.
- [30] Xilinx, "Alveo U280 Data Center Accelerator Card User Guide," www.xilinx.com, 2023.
- [31] Xilinx, "NGCodec Hardware HEVC Encoding (UG1408)," <https://www.xilinx.com/>, 2020.
- [32] Xilinx, "Merlin FPGA Compiler," <https://github.com/Xilinx/merlin-compiler/>, 2022.
- [33] C. Zhang, et al., "Optimizing FPGA-based accelerator design for deep convolutional neural networks," in Proc. Int. Symp. FPGA, 161–170, 2015.



최영규

- 2019년 UCLA Computer Science 박사
- 2008년 서울대학교 공과대학 전기공학부 석사
- 2006년 서울대학교 공과대학 전기공학부 학사
- 2021년 ~ 2023년 인하대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2019년 ~ 2021년 UCLA Postdoctoral Scholar
- 2017년 Falcon Computing Software Engineer
- 2011년 ~ 2012년 인하대학교 강사 및 연구원
- 2008년 ~ 2011년 LG전자 SystemIC 주임연구원

〈관심 분야〉

System-Aware HLS, Performance Debugging, FPGA Accelerator & CAD Tools, Quantum Computing

원격 스토리지 접근을 위한 시스템소프트웨어

I. 서론

오늘날 4차 산업 시대를 대표하는 인공지능, 빅데이터, 자율주행, 메타버스 등의 서비스들은 매우 많은 컴퓨팅 자원을 필요로 한다. 이러한 자원은 일반적으로 클라우드 데이터센터에서 제공된다. 오늘날의 데이터센터 인프라스트럭처(infrastructure)는 초창기 시대와 비교하여 다음과 같은 두 가지의 큰 트렌드를 보여왔다. 첫째, 네트워크와 스토리지 하드웨어의 성능이 비약적으로 발전하였다. 네트워크의 액세스 링크 대역폭은 과거 1~10 Gbps에서 100 Gbps로 증가하였고^[1], NVMe (Non-Volatile Memory express) 표준의 등장으로 약 백만 IOPS (Input/Output per second) 이상의 성능을 보이는 스토리지 장치가 널리 보급되기 시작하였다^[2]. 둘째, 자원의 탄력적인 관리와 높은 활용성을 위해 분리형 스토리지 (storage disaggregation) 시스템이 클라우드 데이터센터에 널리 적용되어왔다^{[3][4][5]}. 이것은 점점 더 많은 응용들이 네트워크를 거쳐 원격으로 스토리지 장치에 접근을 한다는 것을 의미한다. 이러한 트렌드가 만들어낸 가장 큰 변화는 성능 병목지점을 과거 하드웨어에서 점차 소프트웨어 스택으로 옮겨왔다는 것이다. 예를 들어 과거에는 원격 스토리지 접근을 위해 iSCSI^[6]와 같은 프로토콜을 사용하였는데, CPU 코어당 약 70 kIOPS의 성능을 보였다^[2]. 이러한 성능 수준은 HDD와 같이 매우 느린 스토리지 장치와 상대적으로 낮은 대역폭을 가지고 있던 초창기 데이터센터에서는 한 CPU 코어만으로도 하드웨어의 성능을 모두 사용하기에 충분하였다. 그러나 오늘날 NVMe 스토리지의 최대 성능(백만 IOPS 이상)을 달성하기 위해서는 약 14개 이상의 CPU 코어가 필요하며, 100 Gbps의 링크 대역폭을 다 채우기 위해서는 40개 이상의 CPU 코어가 필요하다.

한편, 원격 스토리지 접근을 지원하기 위해 NVMe 표준 역시



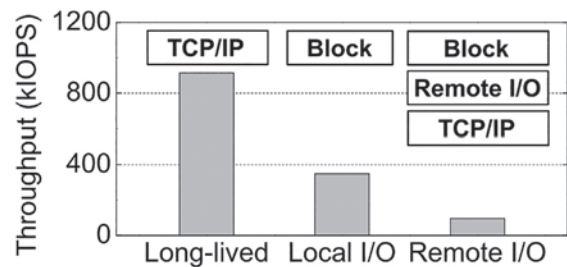
황재현
성균관대학교

NVMe-over-Fabrics(NVMe-oF)^[7]으로 확장되었다. 이는 NVMe SSD 등의 스토리지 장치에 접근하는 데 있어 네트워크 패브릭을 통해 원격 접근을 가능하게 한 표준이다. 특히 네트워크 패브릭으로 RDMA(Remote Direct Memory Access) 기술을 적용한 NVMe-over-RDMA^[8]는, 스토리지 스택을 운영체제 커널 안에 유지한 채 네트워크 스택을 하드웨어에 구현함으로써 CPU가 보다 많은 I/O 요청을 처리할 수 있도록 하였다. 그러나 RDMA 프로토콜을 사용하기 위해서는 이를 지원하는 하드웨어 장치가 필요하며, 이는 데이터센터 내 전체 인프라스트럭처의 변화를 요구한다. 이후 NVMe-oF 표준에서 이더넷(Ethernet) 기반의 TCP/IP를 사용하는 데이터센터를 함께 지원하기 위해 2018년 말에 TCP를 네트워크 패브릭의 하나로 포함시켰고^[7], 리눅스 커뮤니티에서도 2019년 3월부터 리눅스 커널 내에 NVMe-over-TCP 모듈을 포함시켰다. 이러한 커널 기반의 접근 방식은 기존의 응용들을 변경 없이 그대로 사용하면서 새로운 하드웨어를 요구하지 않기 때문에 배포 비용이 상대적으로 매우 낮으며, 기능 업데이트 등의 유지 보수가 하드웨어 기반의 접근 방식에 비해 쉽다는 장점이 있다. 그러나 NVMe-over-TCP 역시 기존의 iSCSI가 가지고 있던 CPU 병목에 의한 성능 저하 문제를 그대로 가지고 있다.

본 원고는 NVMe-over-TCP와 같은 커널 접근 방식이 가지는 장점을 수용하면서, CPU 효율적인 원격 스토리지 스택을 설계하는 것에 초점을 맞추고 있다. 가장 중요한 것은 기존의 커널 기반의 접근 방식이 왜 성능이 낮은지를 이해하는 것이다. 이를 기반으로 i10이라는 원격 스토리지 스택 구조를 제안한다. 먼저 NVMe-over-TCP의 성능 저하 원인을 분석한 뒤 이어서 i10의 구조, 그리고 성능 평가 결과에 대해 논의한다.

II. 원격 I/O의 성능 분석

먼저 NVMe-over-TCP를 통해 원격 스토리지 접근을 수행할 때 운영체제 커널 내의 병목지점을 특정할 필요가 있다. 본 특집호에서는 오늘날 가장 널리 사용되는 운영체제 중 하나인 리눅스 커널을 기준으로 원격 스토리지

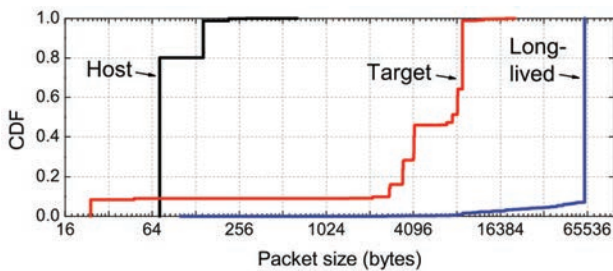


〈그림 1〉 리눅스 커널의 계층별 성능 비교

접근의 성능을 분석한다. 리눅스에서는 스토리지 장치에 접근할 때 블록 디바이스(Block device) 계층에서 I/O 요청 처리를 담당하며, 소켓 인터페이스를 사용하는 네트워크 응용의 경우 TCP/IP 네트워크 스택 계층에서 네트워크 패킷 처리를 담당한다. 원격 스토리지 접근의 경우 블록 디바이스 계층과 네트워크 계층 사이에 NVMe-oF과 같은 원격 I/O(Remote I/O) 계층이 추가되어 I/O 요청과 네트워크 패킷 간의 변환을 담당한다.

〈그림 1〉은 리눅스 커널의 네트워크 계층을 사용하는 응용, 로컬 스토리지를 사용하는 응용, 원격 스토리지를 사용하는 응용에 대해 하나의 CPU 코어를 사용하여 각각의 처리량을 측정한 뒤 동일한 IOPS 단위로 환산하여 나타낸 그래프이다. 로컬 및 원격 I/O의 경우, 4KB 임의 읽기(random read) 요청을 생성하여 측정한 것이며, 네트워크 성능과 원격 I/O 성능 측정을 위해 두 서버를 100 Gbps 링크로 연결하였다. 네트워크 계층 사용 시에는 TSO (TCP Segmentation Offload) / GRO (Generic Receive Offload), 점보 프레임 (Jumbo Frame) 등, 잘 알려진 TCP 최적화 기법을 모두 적용하였다^[9]. 측정 결과에 따르면 네트워크 응용(Long-lived로 표시)의 경우 약 30 Gbps의 대역폭을 사용하여 900 kIOPS 이상의 성능을 달성하였고, 로컬 I/O 역시 약 400 kIOPS에 근접한 성능을 보여주었다. 그러나 원격 스토리지에 접근하는 경우 전체 처리량이 100 kIOPS 이하로 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이 결과가 의미하는 바는, 운영체제 내 주요 병목지점이 블록 계층과 네트워크 계층 사이에 존재한다는 것이다.

여기서 구체적인 병목지점을 파악하기 위해 CPU 프로파일링을 진행하였고, TCP와 RDMA를 패브릭으로 사용



〈그림 2〉 네트워크 응용과 원격 I/O 응용의 패킷 크기 비교

하였을 때의 차이점을 비교하였다. 그 결과 TCP를 썼을 때 네트워크 프로세싱에 약 20% 이상 더 소모되는 것을 확인할 수 있었다(그림 포함 안 됨). NVMe-over-TCP에서 네트워크 프로세싱 오버헤드가 상대적으로 크다는 점은 〈그림 1〉의 결과와 배치된다 - 〈그림 1〉에서는 TCP/IP 계층에서의 오버헤드가 작은 것으로 (따라서 처리량이 높은 것으로) 나타났기 때문이다. 그 원인을 분석하기 위해 〈그림 2〉와 같이 〈그림 1〉에서의 TCP/IP 측정(Long-lived)과 원격 I/O 수행 (4KB 임의 읽기)시의 패킷 크기를 비교하였다. 〈그림 2〉에서 Host는 I/O 요청(즉 임의 읽기 요청)을 보내는 서버이고, Target은 실제 스토리지 장치가 달려있어 해당 I/O 요청에 대해 응답을 보내는 서버를 의미한다. 먼저 파란색 선(long-lived)의 결과를 보면, 일반적인 네트워크 응용들은 패킷의 크기가 대부분 64KB에 근접하게 매우 큰 것으로 나타난다. 이것은 TSO가 적용된 결과로, 커널 스택 내부에서 한 패킷이 64KB까지 합쳐져 처리된 뒤 네트워크 카드에서 실제 MTU (Maximum Transmission Unit) 크기로 쪼개져 내보내기 때문이다. 이때 패킷을 쪼개는 과정은 네트워크 카드에서 실행되기 때문에 CPU를 사용하지 않아 네트워크 처리 오버헤드를 크게 낮출 수 있다. 한편, NVMe-over-TCP 역시 TSO가 적용되었으나 Host(검은색 선)에서 약 80%의 패킷이 72B로 매우 작게 나타나는 것을 확인할 수 있다(이것은 NVMe-over-TCP에서 생성되는 I/O 요청의 크기와 같다). 즉, 여러 개의 I/O 요청이 생성되어 네트워크 계층에 전달될 때, TSO로 합쳐지지 않고 하나의 요청에 한 번의 네트워크 처리가 진행되어 CPU 자원을 많이 소모한 결과임을 파악할 수 있다. Target의 경우(빨간색 선) Host보다 큰 크기의 패킷을 만들어낸

하지만 Target이 4KB의 응답 데이터를 생성하기 때문이며, 여전히 대부분(98%)의 패킷들은 점보 프레임 크기 이하임을 알 수 있다 (점보 프레임은 MTU 크기를 1500B에서 9000B로 증가시킨다). 결과적으로, 원격 I/O 계층이 도입됨으로 인해 네트워크 계층의 최적화 기법이 제대로 작동을 하지 않음을 확인할 수 있다.

또 한 가지의 문제점은, 커널 쓰레드(thread) 간 잦은 문맥 전환(context switch)에 따른 오버헤드가 발생하기 때문이다. 일반적으로 로컬 I/O의 경우 커널의 블록 계층에서 I/O 요청을 처리한 뒤 디바이스 드라이버 계층에서 NVMe SSD 장치에 도어벨(doorbell) 시그널을 보냄으로써 I/O 제출(submission)과 관련된 모든 커널 처리가 완료된다. 그러나 원격 I/O의 경우 여기서 추가적으로 NVMe-oF 계층 처리, 네트워크 계층 처리가 진행되어야 한다. 현재의 커널 구조는 이를 위해 별도의 전달 커널 쓰레드를 두고 있으며, 따라서 I/O 요청이 하나 만들어질 때마다 로컬 I/O의 도어벨에 해당하는 부분에서 추가 문맥 전환이 발생한다.

III. i10 설계와 구현

1. 설계 개요

2장에서 설명한 문제를 해결하기 위해 본 특집호에서는 i10이라는 원격 I/O 계층의 설계와 구현에 관해 설명한다. 먼저 i10의 주요 장점은 다음과 같다. 첫째, i10은 커널 기반의 접근 방식으로, 기존의 응용들을 수정 없이 사용할 수 있고 TCP/IP 프로토콜 스택을 그대로 사용할 수 있다는 NVMe-over-TCP의 장점을 수용한다. 둘째, i10은 기존의 NVMe-oF 표준과 연동되며, 따라서 최신의 NVMe SSD 장치들과 함께 동작한다. 셋째, i10은 별도의 하드웨어 없이 NVMe-over-RDMA와 비슷한 수준의 CPU 사용량으로 100 Gbps 링크 대역폭을 모두 채우는 성능을 달성한다. i10에서 사용한 두 가지 주요 기법은 다음과 같다.

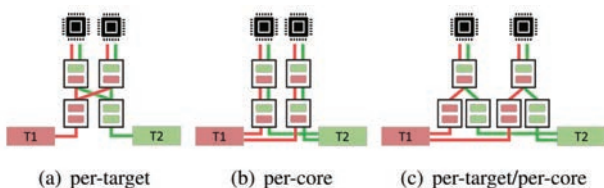
중단 간 전용 자원 할당 및 배치(batching) 적용: 전용 자원(dedicated resources) 사용과 배치 기법은 널리 사용되고 있는 잘 알려진 기법이다. 2장에서의 분석을 통

해 i10은 기존의 기법들을 필요한 위치에 적용하여 성능 최적화를 달성한다. 구체적으로, i10에서는 (CPU 코어, Target) 페어마다 하나의 최적화된 i10-lane이라는 데이터 파이프라인을 제공한다. 같은 i10-lane 상에서 전송되는 NVMe-oF 제어/데이터들은 동일한 Target으로 전송되기 때문에 이들에 대한 배치가 가능해지며, 이를 통해 네트워크 처리 오버헤드를 최소화할 수 있다.

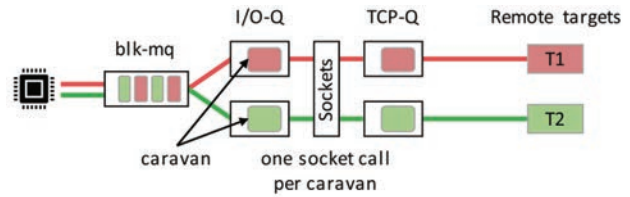
지연 도어벨 (Delayed Doorbells): 2장에서 분석한 문맥 전환 오버헤드를 최소화하기 위해 i10에서는 지연 도어벨을 도입한다. 주요 아이디어는 i10 계층 내 I/O 큐에 일정 정도의 I/O 요청이 도착하여 배치가 가능해질 때까지 “도어벨”을 늦추는 것이다. 따라서 지연 도어벨은 전용 자원의 사용 및 배치와 함께 동작함으로써 CPU 효율적인 원격 I/O 처리가 가능하다. 각 기법에 대한 보다 자세한 설명은 다음과 같다.

2. i10-lane: 종단 간 전용 자원

일반적으로 원격 I/O를 처리하는 데에는 블록 계층에서의 요청 큐, 원격 스토리지 계층에서의 I/O 큐, 네트워크 연결을 위한 TCP 소켓, 그리고 실제 커널 내 프로세싱을 담당할 코어별 전용 커널 쓰레드 등의 자원들이 필요하며, i10-lane은 이러한 전용 자원을 제공하는 단위가 된다. 전용 자원은 크게 Target 서버별 할당<그림 3(a)> 또는 CPU 코어별 할당<그림 3(b)>의 두 가지 옵션이 가능하다. 먼저 I/O 요청이 많은 경우, 첫 번째 옵션은 여러 코어들이 같은 I/O 큐에 접근해야 하므로 동기화로 인한 오버헤드가 높아진다. 두 번째 옵션은 이러한 동기화 오버헤드는 낮출 수 있지만, I/O 큐 내에 서로 다른 Target 서버로 향하는 요청들이 들어오기 때문에 배치를 수행하기 어렵다. 이러한 이유로 i10-lane은 (코어, Target) 페



〈그림 3〉 응용이 Host 서버에서 두 개의 CPU 코어를 사용하여 T1, T2의 두 Target 서버에 접근할 때 전용 자원 생성에 대한 세 가지 옵션



〈그림 4〉 i10-lane 상에서의 i10 Caravan (배치) 생성

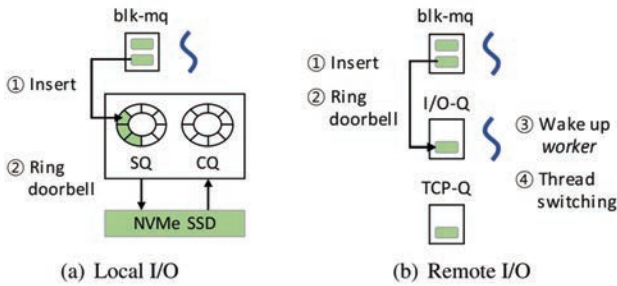
어 단위로 전용 자원을 할당한다 <그림 3(c)>. 즉, P개의 Host 코어를 쓰는 응용이 T개의 Target 서버에 접근하는 경우 i10은 $P \times T$ 개의 i10-lane을 생성한다.

3. Caravans: 제어/데이터 배치

〈그림 3〉에서 알 수 있듯이, i10-lane 내의 I/O 큐<그림 3〉에서 하단 큐)에서는 항상 같은 Target 서버로 향하는 요청 데이터가 모이게 됨을 알 수 있다. i10에서는 배치를 통해 Caravan이라 불리는 더 큰 데이터 전송 유닛으로 여러 개의 요청 데이터를 합치는 과정을 진행한다. 〈그림 4〉는 이것을 표현한 그림으로, 여러 개의 I/O 요청이 TCP 소켓 이전에 하나의 Caravan으로 합쳐지면, Caravan 당 한 번의 소켓 콜로 Caravan 크기에 해당하는 데이터를 한번에 네트워크 계층으로 전달하는 것이 가능해진다. 이것은 네트워크 계층에서 TSO의 효율성을 높여 보다 큰 패킷 생성을 가능하게 하고, 결과적으로 바이트 당 패킷 처리 오버헤드를 크게 낮추는 역할을 한다. 배치의 크기는 TSO의 최대 패킷 크기에 맞추어 64KB로 하거나, 미리 정해진 I/O 요청의 개수에 따라서 결정된다. 본 원고에서는 최대 16개까지의 I/O 요청을 모아 배치 처리를 수행한다.

4. 지연 도어벨 (Delayed Doorbells)

지연 도어벨의 도입 이유를 설명하기 위해 먼저 <그림 5〉에서 로컬 I/O<그림 5(a)>와 원격 I/O<그림 5(b)>의 도어벨 시그널 발생 과정을 그림으로 표현하였다. 먼저 로컬 I/O의 경우 커널 내 블록 계층의 큐(blk-mq로 표시)에서 디바이스 드라이버의 서브미션 큐(SQ로 표시)에 I/O 요청을 삽입하면 곧바로 도어벨 시그널을 PCI express (PCIe)를 통해 스토리지 장치에 전달한다. PCIe를 통해 커널과 로컬 스토리지 장치 간의 저지연 커뮤니



〈그림 5〉 I/O 요청당 도어벨 신호 오버헤드의 비교

케이션이 가능하기 때문에 요청 당 도어벨 신호를 보내도 큰 오버헤드 없이 최대 성능에 도달할 수 있다. 반면 원격 I/O는 원격 I/O 계층의 큐에 요청이 도착했을 때 같은 식으로 동작한다면, 원격 I/O 전달 쓰레드로 전환한 뒤 NVMe-oF 계층 처리, TCP/IP 네트워크 계층 처리 단계를 거쳐야 한다. 따라서 불필요하게 많은 커널 쓰레드 간의 문맥 전환이 발생할 수 있다. i10은 지연 도어벨을 통해 이러한 오버헤드를 최소화한다. 즉, I/O 큐에 미리 정의된 Caravan 크기만큼(64KB 또는 16개의 요청)의 데이터가 쌓였을 때 문맥 전환을 시작한다. 여기서 중요한 점은, 응용이 적은 수의 I/O 요청을 생성할 때 이러한 배치 기법이 매우 긴 대기 시간으로 이어질 수 있다는 점이다. 이를 위해 i10에서는 도어벨 타이머를 사용하여 해당 큐에 첫 요청이 도착했을 때마다 도어벨 타이머를 세팅하고, 타임아웃 내에 최소 한 번의 문맥 전환이 발생할 수 있도록 하였다.

IV. 성능 평가

본 성능 평가를 위해 i10 Host와 Target을 리눅스 커널 내에 구현하였다^[10]. CPU 병목을 발생시키기 위해 동일한 두 대의 서버를 100 Gbps 링크로 직접 연결하여 원격 I/O 요청 및 응답 트래픽을 발생시켰다. 구체적인 하드웨어 및 소프트웨어 구성은 〈표 1〉과 같다.

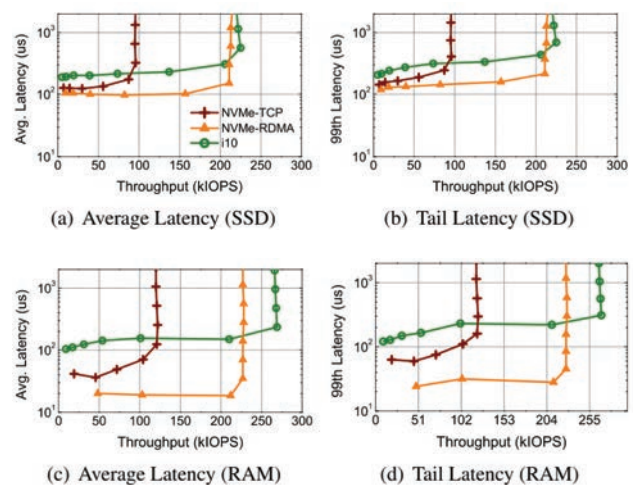
기존 NVMe-over-TCP (NVMe-TCP로 축약) 및 NVMe-over-RDMA (NVMe-RDMA로 축약)와의 성능 비교를 위해 FIO^[11] 벤치마크 툴을 사용하였고, Direct I/O를 통해 응용에서 발생된 I/O 요청은 커널 내 페이지 캐

〈표 1〉 성능 평가를 위한 테스트베드 구성

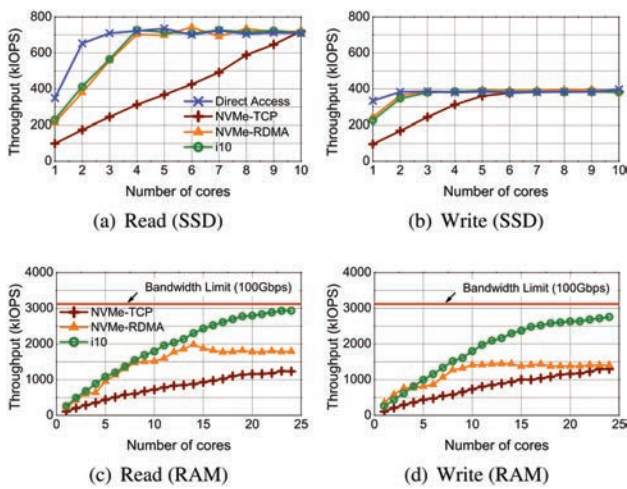
H/W	CPU	4 소켓 Intel Xeon Gold 6128 CPU (3.4GHz, 소켓 당 6 코어)
	메모리	256GB DRAM
	NIC	Mellanox ConnectX-5 VPI (100Gbps) TSO/GRO=on, LRO=off, 점보 프레임 사용 (9000B)
	SSD	1.6TB 삼성 PM1725a
S/W	OS	우분투 16.04 (커널버전 4.20.0)
	FIO (응용)	블록 크기: 4KB, Direct I/O=on, I/O engine=libaio, CPU affinity 사용

시(page cache)를 거치지 않고 곧바로 네트워크를 통해 Target 서버의 스토리지 장치로 전달되도록 하였다. 스토리지 장치는 NVMe SSD와 RAM 블록 장치를 사용하였다.

먼저 〈그림 6〉은 단일 코어 기준의 성능을 나타낸 그래프로, I/O 깊이(I/O depth, 응답을 기다리지 않고 내보낼 수 있는 요청의 최대 개수)를 1부터 1024까지 2의 배수로 증가시켜가며 처리량(x축)과 평균 및 꼬리 지연시간(tail latency)을 측정한 것이다. 〈그림 6(a)와 (b)〉는 원격 NVMe SSD 장치를 사용한 결과로, NVMe-RDMA와 비교했을 때 i10은로드가 클 때 더 나은 성능을 보이지만,로드가 낮은 경우 살짝 높은 지연시간을 보인다. 이것은 i10의 배치와 관련이 있는데,로드가 높을 때는 Caravan 크기의 요청 데이터를 타임아웃 없이 곧바



〈그림 6〉 단일 코어 성능 비교 (4KB 임의 쓰기 기준)

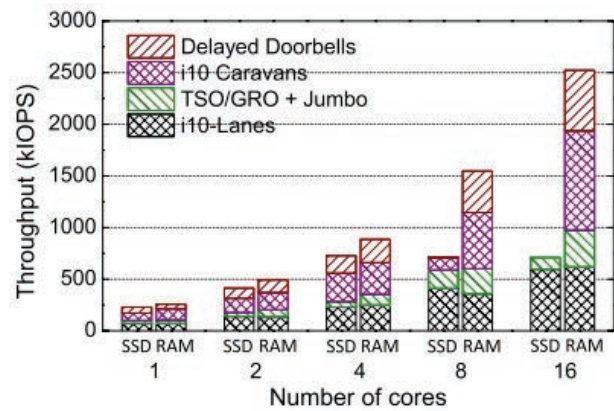


〈그림 7〉 다중 코어 성능 비교 (4KB 임의의 읽기 및 쓰기)

로 내보낼 수 있으므로 높은 처리량을 달성하지만, 로드 가 낮을 때는 도어벨 타이머(50us)에 의해 전송이 지연되는 측면이 있다. 그러나 여전히 평균 지연시간은 NVMe-RDMA와 크게 차이 나지 않는다. 예를 들어 낮은 로드에서 NVMe-RDMA의 평균 지연시간은 105us인 반면 i10은 189us를 보인다. 꼬리 지연의 경우에도 NVMe-RDMA는 119us이고, i10은 206us로 약 1.7배 이내 수준이라고 할 수 있다. 이것은 SSD 내부의 접근 지연시간에 따른 결과이다.

커널이 가지고 있는 내부 지연시간 오버헤드를 더 분석하기 위해 RAM 블록 장치를 사용하여 같은 실험을 진행하였다 〈그림 6(c)와 (d)〉. 여전히 i10이 NVMe-RDMA와 비슷하거나 더 나은 성능을 보이고 있으며, 지연시간 측면에서는 더 벌어진 것을 확인할 수 있다. 특히 대부분의 차이가 도어벨 타이머에 의해 발생한 것이다. 이러한 지연시간은 실제 데이터센터에서 발생하는 수백us 또는 수ms 단위의 네트워크 혼잡 지연과 SSD 지연시간에 비해 매우 작은 수준이라 할 수 있다.

다음으로 코어 수 증가에 따른 확장성(scalability)을 테스트하기 위해 코어 수를 1부터 24까지 증가하며 성능을 측정하였다 〈그림 7〉. 이 실험에서는 I/O 깊이를 128로 고정하여 충분히 많은 I/O 요청이 발생하도록 하였다. 〈그림 7(a)〉는 임의의 읽기 요청에 대한 결과로, NVMe-RDMA와 i10이 4개의 코어를 써서 SSD의 최대 성능에



〈그림 8〉 다중 코어 성능 비교 (4KB 임의의 읽기 및 쓰기)

접근할 수 있으며, NVMe-TCP 대비 약 2.5배의 향상이 있다는 것을 확인할 수 있다. 〈그림 7(b)〉의 임의의 쓰기 요청에 대한 결과도 비슷한 트렌드를 보인다. NVMe-RDMA와 i10은 약 3개의 코어로 최대 성능에 도달하지만, NVMe-TCP는 6개의 코어를 필요로 한다.

RAM 블록 장치의 경우 i10이 NVMe-RDMA와 NVMe-TCP보다 더 나은 성능을 보인다 〈그림 7(c)와 (d)〉. 특히 i10은 약 20개의 코어를 사용했을 때 2.8M IOPS의 성능을 달성하며, 이는 100 Gbps 링크 대역폭을 모두 사용한 결과이다. NVMe-RDMA의 경우 10코어 이전까지는 i10과 비슷한 수준으로 성능이 증가하다가 10코어 이후부터는 약 1.5~2M IOPS 수준에 머무르는 경향을 보인다. 하드웨어 구현에 대한 구체적인 동작을 분석하기 어려워 정확한 이유를 판단하기는 어렵지만, NVMe-RDMA 기술 자체의 근본적인 문제는 아닌 것으로 판단한다.

마지막으로 〈그림 8〉은 i10에 대한 성능 분해 그래프를 나타낸 것으로, i10에서 제안한 기법들이 전체 성능에 얼마만큼 기여하는지 확인할 수 있다. 〈그림 8〉에서 16코어를 썼을 때 RAM 블록 장치의 경우를 살펴보면, i10-lane, Caravans, 지연 도어벨이 전체 성능에서 차지하는 비율이 각각 24.5%, 38.2%, 23.2%이며, TSO/GRO, 점보 프레임 등 TCP 최적화가 차지하는 비율이 약 14%였다. 이를 통해 i10을 구성하는 각각의 설계 컴포넌트들이 전체 성능에 고르게 기여하고 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

컴퓨팅 자원의 원천인 데이터센터의 성능은 오늘날 수많은 클라우드 서비스의 성능에 영향을 주기 때문에 매우 중요하다고 볼 수 있다. 초창기 데이터센터에서는 하드웨어의 성능을 올리는 것이 전체 데이터센터의 성능을 올리는 데 크게 이바지했지만, 오늘날과 같이 네트워크 및 스토리지 하드웨어의 성능이 높아진 지금, 성능 병목이 자연스레 소프트웨어 스택으로 옮겨오게 되었고, 결과적으로 운영체제와 같은 시스템소프트웨어의 성능 개선이 매우 시급한 시점이 되었다^{[11][12][13][14][15][16]}.

본 특집호에서는 스토리지 서비스에 초점을 두고, 데이터센터 내에서 원격 I/O에 대한 시스템소프트웨어의 성능을 개선하기 위한 i10 스택의 구조를 제안하고 성능을 평가하였다. 기존의 RDMA 기반의 솔루션과는 달리 i10은 커널 기반의 접근 방식으로, 응용과 인프라스트럭처의 변화 없이 사용 가능하다는 장점이 있다. 또한 커널이 가지고 있는 TCP/IP 네트워크 스택을 수정없이 그대로 사용한다. 본 원고에서는 i10을 실제 리눅스 커널에 구현하여 그 성능을 평가하였고, NVMe-RDMA 수준의 높은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 원격 스토리지 접근에 한하여 운영체제 커널의 성능 향상이 가능함을 보였지만, 네트워크 계층이나 로컬 스토리지 계층 등, 다양한 계층에서 구조적 개선을 통한 성능 향상을 달성할 필요가 있다. 이것은 결국 데이터센터의 성능 향상과 사용자들이 체감하는 서비스 질의 향상으로 이어질 것이다.

참고 문헌

- [1] Arjun Singh, et al. "Jupiter Rising: A Decade of Clos Topologies and Centralized Control in Google's Datacenter Network", ACM SIGCOMM 2015
- [2] Ana Klimovic, et al. "Flash Storage Disaggregation", ACM Eurosys 2016
- [3] Midhul Vuppapapati, et al. "Building An Elastic Query Engine on Disaggregated Storage", USENIX NSDI 2020
- [4] Peter Gao, et al. "Network Requirements for Resource Disaggregation", USENIX OSDI 2016
- [5] Juncheng Gu, et al. "Efficient Memory Disaggregation with Infiniswap", USENIX NSDI 2017
- [6] J. Satran, et al. "Internet Small Computer Systems Interface (iSCSI)", IETF RFC 3720, 2004
- [7] NVM Express over Fabrics 1.1. <https://nvmexpress.org/>
- [8] Zvika Guz, et al. "NVMe-over-fabrics Performance Characterization and the Path to Low-Overhead Flash Disaggregation", ACM SYSTOR 2017
- [9] Jaehyun Hwang, et al. "TCP~RDMA: CPU-efficient Remote Storage Access with i10", USENIX NSDI 2020
- [9] i10 kernel implementation, <https://github.com/i10-kernel/i10-implementation>
- [10] Flexible IO Tester (FIO), <https://github.com/axboe/fio>
- [11] EunYoung Jeong, et al. "mTCP: a Highly Scalable User-level TCP Stack for Multicore Systems", USENIX NSDI 2014
- [12] Antoine Kaufmann, et al. "TAS: TCP Acceleration as an OS Service", ACM Eurosys 2019
- [13] Ilias Marinou, et al. "Network Stack Specialization for Performance", ACM SIGCOMM 2014
- [14] Amy Ousterhout, et al. "Shenango: Achieving High CPU Efficiency for Latency-sensitive Datacenter Workloads", USENIX NSDI 2019
- [15] George Prekas, et al. "ZygOS: Achieving Low Tail Latency for Microsecond-scale Networked Tasks", ACM SOSP 2017
- [16] Kenichi Yasukata, et al. "StackMap: Low-Latency Networking with the OS Stack and Dedicated NICs", USENIX ATC 2016



황재현

- 2003년 2월 가톨릭대학교 컴퓨터전자공학부 학사
- 2005년 8월 고려대학교 컴퓨터학과 석사
- 2010년 8월 고려대학교 컴퓨터학과 박사
- 2010년 9월 ~ 2015년 3월 Bell Labs Seoul
책임연구원
- 2015년 5월 ~ 2018년 8월 삼성전자 책임연구원
- 2018년 11월 ~ 2021년 10월 코넬대학교 박사후연구원
- 2022년 2월 ~ 현재 성균관대학교 반도체시스템공학과
조교수

〈관심 분야〉

운영체제, 시스템소프트웨어, 데이터센터 시스템, 클라우드
컴퓨팅

반도체 분야

[반도체 소자 및 재료]

- W, Nb, Mo 산화물의 슈퍼커패시터 전극특성 연구
윤대한, Vaibhav, C. Lokhande, 지택수
- Floating Gate FET를 위한 수직 전계 효과 트랜지스터의 집적 공정 개발 및 특성 분석
정인우, 백승재

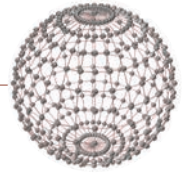
[SoC 설계]

- 고성능 Sigma-Delta ADC를 위한 데시메이션 필터 최적화 설계 기술
박상보, 김형원

컴퓨터 분야

[인공지능, 신경망 및 퍼지시스템]

- 모바일 실시간 프레임 보간을 위한 경량화 네트워크
안현모, 유광석, 이무재, 황원준
- AI 학습 모델을 통한 욕실에서의 생활 감지 연구
한경현, 김명옥, 최민혁, 이수영



인공지능 신호처리 분야

[영상 신호처리]

- 선택적 영상처리를 이용한 안구 내 각막 궤양 영역 분할
김인환, 김대원
- 계층별 트랜스포머를 활용한 비선형 스타일 결합 기반 생성적 스타일 변환 기법
이준형, 김준우, 오희석, 지준

[음향 및 신호처리]

- 인지부하 감지를 위한 HRV와 PRV의 파라미터 중요도 분석
김민아, 홍상기, 이강복, 김정균

시스템 및 제어 분야

[의용전자 및 생체공학]

- 불소 처리에 따른 ITO-ISFET pH 센서 특성 변화
김대훈, 송광섭

오윤석
YUN-SEOK OH
연세대학교

학위논문 제목	국문 : 공유 캐시에 대한 액세스 우위 분석을 기반으로 하는 에너지 효율적인 알고리즘
	영문 : Energy-Efficient Algorithms based on Access Dominance Analysis for Shared Cache
학위취득	연세대학교
취득년월	2022년 8월
지도교수	정의영
KEY WORD	Computer architecture, Multiprocessing systems, Cache Memory, Energy Efficiency, Way prediction

〈논문 요약〉

멀티프로세서 성능 요구에 따라 캐시 메모리 용량과 계층이 증가해왔습니다. 그에 따라 적용된 공유 하위 레벨 캐시는 다중 웨이 세트-어소시에이티브 구조를 사용해 충돌 손실을 줄이고 빠른 접근을 가능케 하지만, 동적 에너지 소비량이 큰 단점이 있습니다. 이러한 캐시 메모리의 전력 효율을 높이기 위한 여러 에너지 절약 아이디어들이 연구되어 왔습니다. 본 논문에서는 두 가지 접근 우세 분석 기반의 알고리즘을 제안하여 L2 공유 캐시의 전력 효율을 개선하고자 합니다.

첫번째 알고리즘은 웨이 단위의 저전력 알고리즘으로, 해당 세트 내에서의 접근 우세를 탐지하여 웨이 예측에 적용함으로써 동적 에너지 소비를 줄이고자 합니다. 카운터를 이용해 각 코어의 접근이 어떤 웨이에 집중되는지 감지하고, 이를 토대로 웨이 예측 시 활성화시킬 웨이 후보들을 선택합니다.

두 번째 알고리즘은 캐시 메모리를 여러 섹터로 나누어 수행하는 저전력 알고리즘으로, 여러 코어에서의 공유 캐시 접근 우세를 분석하여 에너지 효율적인 드로우지 캐시 구조를 제안하여 정적 에너지 소비를 줄입니다. 분석 결과에 따르면 최근 접근한 섹터와 그 주변 섹터에 접근이 집중되므로, 이들 섹터만 깨어있게 하여 커버리지를 유지하면서 캐시 세트 비율을 줄입니다.

이 두 알고리즘을 융합하여 동적 에너지 소비와 정적 에너지 소비를 함께 제어하는 효율적인 저전력 캐시 메모리를 구현합니다. 시뮬레이션 결과, 제안된 웨이 예측 알고리즘은 기존 캐시에 비해 13.5%의 에너지 딜레이 곱을 감소시키며 가장 높은 에너지 효율을 보입니다. 드로우지 캐시 알고리즘은 전체 캐시 용량의 평균 5.7%만 깨워 평균 60%의 커버리지를 확보하며, 기존 캐시의 39.3% 에너지 딜레이 곱을 나타냅니다. 결과적으로 제안된 두 알고리즘을 적용한 구조는 기존 캐시에 비해 64.4%의 에너지 딜레이 곱을 감소시킨 에너지 효율적인 공유 L2 캐시를 구현합니다.

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 6월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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://ieemagnetics.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 (EEEIC / 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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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)	Štrbske Pleso, Slovakia	https://www.process-control.sk/
06.06. - 06.10.	2023 12th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)	Budva, Montenegro	https://mecocoference.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 AIoT 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/
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.pulpipaper.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

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.13. - 06.14.	2023 Multimedia Innovation and Digital Humanities International Conference (MIDHIC)	Event Format: Virtual	http://smmtc.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 (EAEEIE)	Eindhoven, Netherlands	https://fontys.nl/EAEEIE-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/
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

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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
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.cleoeurope.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06.26. - 06.30.	2023 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)	Nashville, Tennessee, USA	https://smartcomp.isis.vanderbilt.edu/
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 (MOCAST)	Athens, Greece	http://mocast.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.mdxmru.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/cscloud/2023/
07.02. - 07.06.	2023 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)	Shanghai, China	http://oecc2023.com/
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

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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 (ICSSSES)	Tumakuru, India	http://icssses.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/
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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/tclt/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/
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://asynctsymposium.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://ieeemobilecloud.com/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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.icccn.org/icccn23/
07.25. - 07.27.	2023 International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets)	Istanbul, Turkey	https://smartnets.ieee.tr/
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.ieeeiciea.org/2023/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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 (ICCCCE)	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://smartechnology-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/
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 (ICoICT)	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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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://ieemalaysia-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/
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/

>>2023년 9월

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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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/
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://ieeecss.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/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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 (ICCUBE)	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/
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)	Międzybóże, Poland	http://mmar.edu.pl/
08.23. - 08.24.	2023 11th International Conference on Information and Communication Technology (ICICT)	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://acsorg.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 (SDMPED)	Chania, Greece	https://www.ieee-sdmped.org/

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
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-bbtc/cibcb2023/
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.sensorwyou.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 가창로 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	이용상, 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	임헌문	대전시 유성구 테크로9로	042-930-4300	www.djt.or.kr
도요일렉트론코리아(주)	원제형	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-rottem.co.kr
현대모비스(주)	조성환	서울시 강남구 테헤란로 203	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대자동차(주)	정의선, 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 제5호(통권 제468호)

The Magazine of the IEIE

2023년 5월 20일 인쇄

2023년 5월 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



2023년도 회비납부 안내

1. 회비의 납부 및 유효기간

2023년도 회원 연회비는 2022년과 동일함을 알려드리며, 아직 2023년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서서는 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해연도에 한합니다.

◆ 2023년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.

- 정 회 원 : 70,000원 (입회비 : 10,000원)
- 학생회원 : 30,000원 (입회비 면제)
- 평생회원 : 700,000원
 - 평생회비 할인 제도 : 학회 홈페이지 안내 참조
 - 평생회비 분납 제도(1년 한) : 평생회비 분할 납부를 원하시는 회원께서는 회원 담당에게 요청하여 주시기 바랍니다.
 - 7월 1일부터 연회비 50% 할인 적용

2. 논문지(eBook) 제공

학회지와 논문지(국·영문)가 eBook으로 발간되어 학회 홈페이지(<http://www.theieie.org>)를 통해 제공되고 있습니다.

3. 회비의 납부방법

신용카드(홈페이지 전자결제) 및 계좌이체(한국씨티은행, 102-53125-258)를 이용하여 학회 연회비, 심사비 및 논문게재료 등 납부 가능합니다.

4. 석·박사 신입생 및 재학생 다년 학생회원 가입 및 회비 할인 제도 안내

우리 학회에서는 석·박사 신입생 및 재학생을 위하여 다년 학생회원 가입 제도 및 회비 할인 제도를 마련하였습니다. 한 번의 회원가입으로 졸업 및 수료 때까지 학회 활동에 참여하실 수 있는 기회가 되시기 바라며 회비 할인 혜택까지 받으시길 바랍니다.

◎ 가입 대상 및 할인 혜택

- 가입 대상 : 2023년 석·박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년당 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)
3년 90,000원(1년당 30,000원) → 3년 70,000원(22.2% 할인)
4년 120,000원(1년당 30,000원) → 4년 90,000원(25% 할인)
5년 150,000원(1년당 30,000원) → 5년 110,000원(26.7% 할인)

5. 문의처

◆ 대한전자공학회 사무국 변은정 부장(회원담당)

Tel : 02-553-0255(내선 3번) / E-mail : edit@theieie.org



BACK TO JEJU

JEJU CVB
제주컨벤션뷰로

Instagram



facebook



home

