

# 전자공학회지

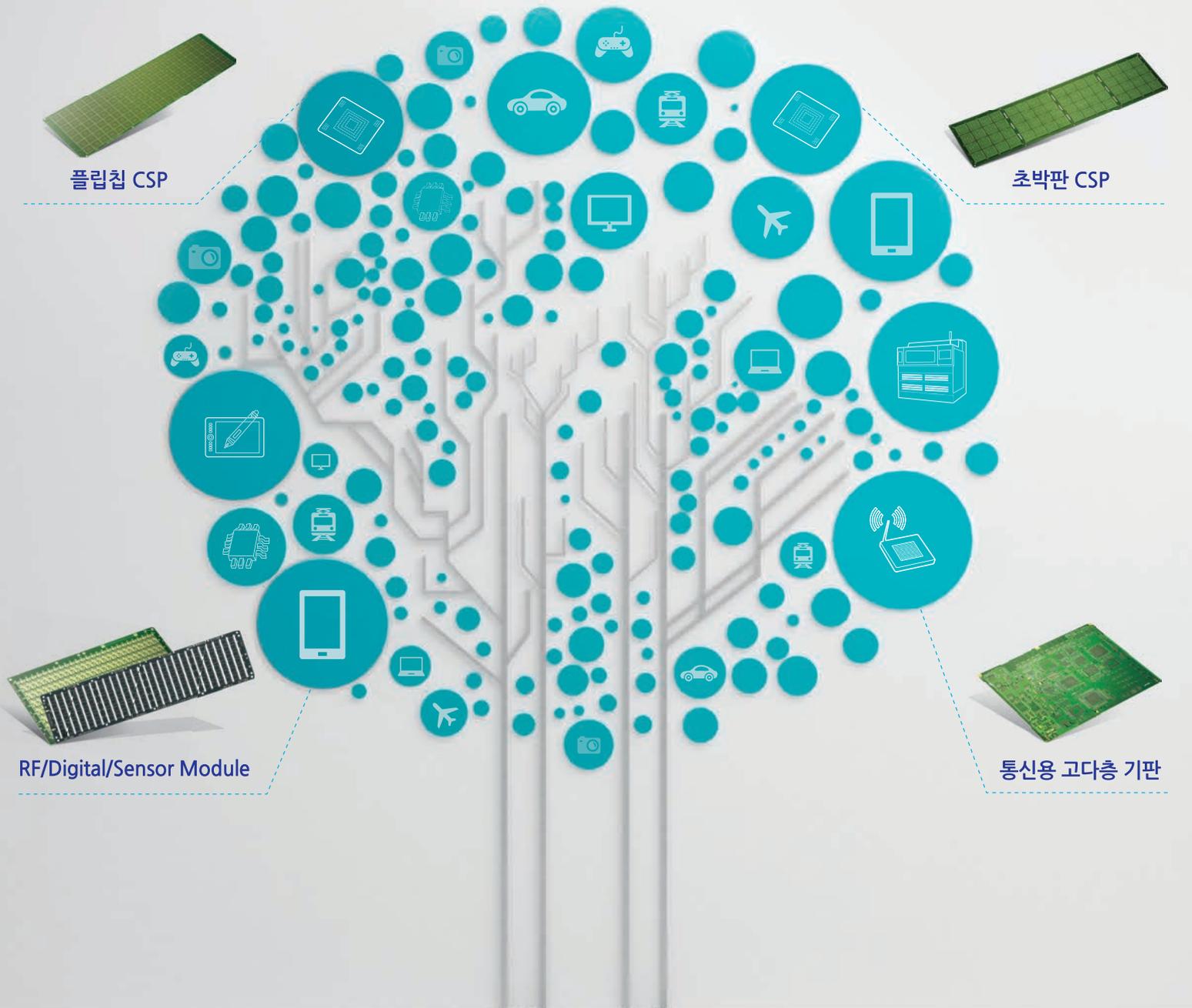
The Magazine of the IEIE

vol.42, no.2

## 바이오 신호 측정 및 처리

- 지속적인 뇌파 측정을 위한 센서 개발
- 뇌파 분석을 위한 Empirical Mode Decomposition Algorithm
- 생체 신호에서 나타나는 동기 역학적 특성 연구
- 대규모 데이터 기반의 뇌 신경망 (Brain Network) 연구 동향
- Persistent Homology를 이용한 뇌 신경망 분석 및 바이오마커 연구





# 반도체 · 통신 기판 전문회사 대덕전자

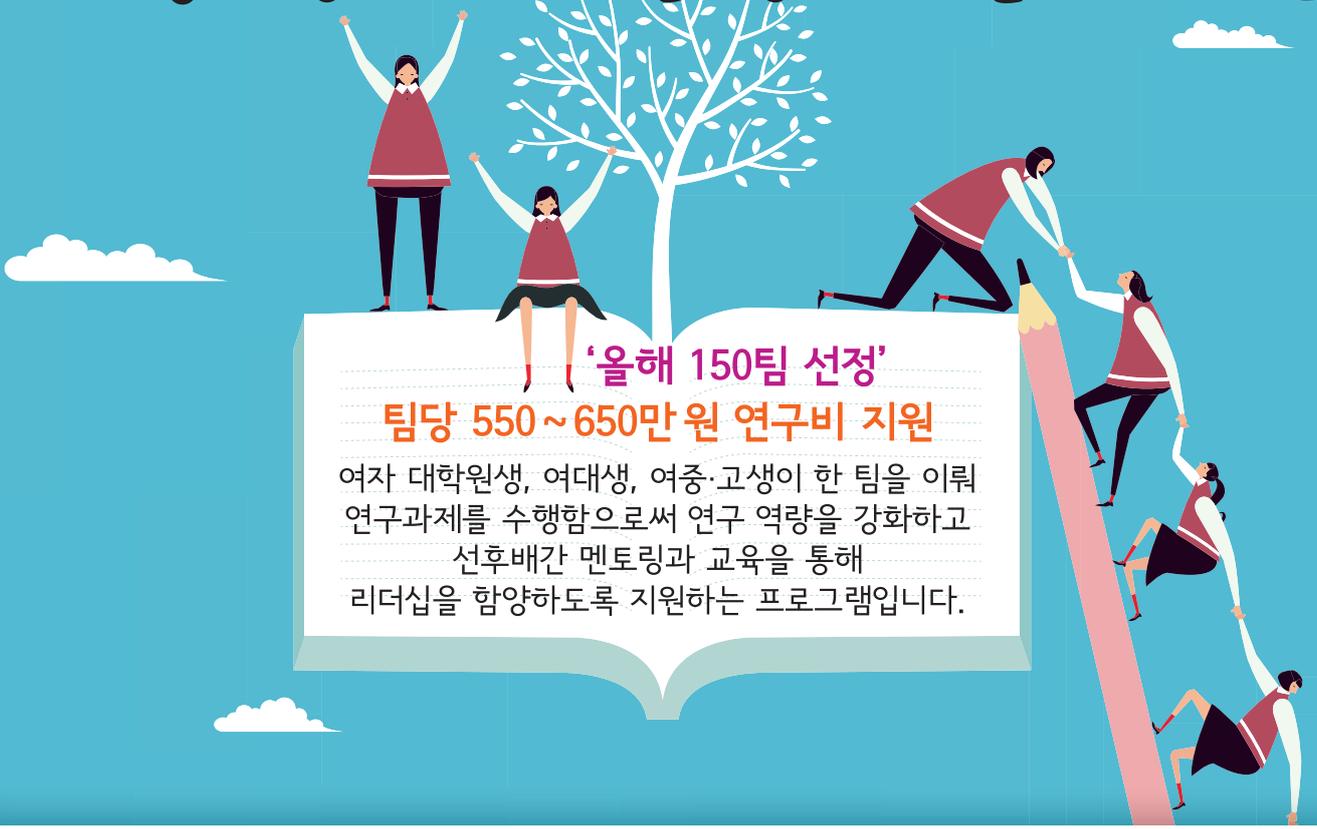
대덕전자는 앞선 기술과 품질을 바탕으로  
메모리 반도체용 초박판 CSP, Application Processor용 플립칩 CSP,  
통신장비용 초고다층 MLB, RF/Digital/Sensor Module 기판을 생산하고 있습니다.

대덕전자(주)

경기도 안산시 단원구 범지기로 27(목내동) Tel. 031-599-8800 [www.daeduck.com](http://www.daeduck.com)

# 여성 엔지니어 드림팀 모여라

## -여중고생·여대학(원)생 학회발표에 도전!



**'올해 150팀 선정'**  
**팀당 550~650만원 연구비 지원**  
 여자 대학원생, 여대생, 여중·고생이 한 팀을 이뤄  
 연구과제를 수행함으로써 연구 역량을 강화하고  
 선후배간 멘토링과 교육을 통해  
 리더십을 함양하도록 지원하는 프로그램입니다.

# 2015 미래창조과학부 이공계 여성인재육성 사업 여대학(원)생 공학연구팀제 지원사업

### 일반과정

- 지원대상 : 여자 대학원생 1인, 여대학생 2인, 여중·고생 4인, 지도교수, 산업체 여성 멘토
  - ▶ 중학생 선발 기준 : 영재교육을 수료한 중3학생
- 지원규모 : 총 100팀, 팀당 550만원
- 연구주제 및 신청
 

① 토목, 환경 (대한토목학회)	② 기계, 소재 (대한기계학회)	③ 재료, 금속 (대한금속재료학회)
④ 생명공학, 식품공학 (한국생물공학회)	⑤ 전산, 컴퓨터 (한국정보과학회)	⑥ 전기, 전자, 반도체 (대한전자공학회)
⑦ 화학공학 (한국화학공학회)	⑧ 건축 (대한건축학회)	
- 접수
  - 신청 : WISET 홈페이지에서 신청서 다운로드 후 학회 제출
  - 기간 : 2015년 2월 10일~3월 30일
  - 문의 : 해당 공학학회

### 심화과정

- 지원대상 : 우수 여자 대학원생 1인, 여대학생 4인, 지도교수, 산업체 여성 멘토
  - ▶ 우수 여자 대학원생 선발 기준
    - 국제적으로 인정받는 학술지에 논문을 게재한 여학생
    - 우수한 논문을 발표하여 관련 학회로부터 상을 받은 여학생
    - 국내외 과학기술논문(경진대회)에서 우수한 논문 또는 발명으로 상을 받은 여학생
    - 성적이 우수한 사람으로서 이공계 학과장의 추천을 받은 여학생
- 지원규모 : 총 50팀, 팀당 650만원
- 연구주제
 

① 건축, 토목	② 기계, 재료, 선박	③ 생명공학, 식품공학
④ 전산, 컴퓨터	⑤ 전기, 전자, 반도체	⑥ 화학공학, 환경
- 접수
  - 신청 : WISET 홈페이지에서 신청서 다운로드 후 WISET에 제출
  - 기간 : 2015년 2월 10일~3월 3일
  - 문의 : WISET 기획정책실 최문용 (02-6411-1043, mychoi@wiset.or.kr)



미래창조과학부  
 Ministry of Science, ICT and  
 Future Planning



(재)한국여성과학기술인 지원센터  
 Center for Women In Science, Engineering and Technology



# IEIE

## 2015 대한전자공학회 하계종합학술대회

2015년 6월 21일(일)~23일(화) | 제주 라마다호텔(제주시)

### 제출마감

- ① 본논문 : 2015년 5월 8일(금) - 요약문 제출 생략
- ② 심사통보 : 2015년 5월 22일(금)
- ③ 사전등록기간 : 2015년 5월 22일(금)~6월 7일(일)까지
  - ※ 우수논문시상 : 학술대회 논문 중 우수논문을 선정하여 시상 할 예정입니다.
  - ※ WASET 젊은 여성연구자 우수논문상 : 학술대회 평가후 시상 예정

### 발표분야

소사이어티	연구회
통신 (Communication)	통신, 스위칭 및 라우팅, 마이크로파 및 전파전파, ITS, 정보보안 시스템, 군사전자, 방송·통신 융합기술, 무선 PAN/BAN, 미래 네트워크
반도체 (Semiconductor)	반도체 재료 및 부품, SoC 설계, 광파 및 양자전자공학, PCB & Packaging, RF 집적회로기술
신호처리 (Signal Processing)	영상신호처리, 음향 및 신호처리, 영상이해, 바이오영상신호처리
시스템 및 제어 (System and Control)	의용전자 및 생체공학, 제어계측, 회로 및 시스템, 전력전자, 지능로봇, 국방정보 및 제어, 자동차전자, 의료영상시스템
컴퓨터 (Computer)	융합컴퓨팅, 멀티미디어, 인공지능 신경망 및 퍼지시스템, 유비쿼터스 시스템, M2M/IoT
산업전자 (Industry Electronics)	산업전자제어, 임베디드시스템, 유비쿼터스 센세네트워크, 디지털통신 시스템

 **대한전자공학회**  
The Institute of Electronics and Information Engineers

135-703 서울시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 635-4) 과학기술회관 신관907호  
TEL 02-553-0255 (내선3) FAX 02-552-6093  
e-mail conf@theieie.org 홈페이지 http://confer2015.ieieweb.org



# ITC-CSCC 2015

The 30th International Technical Conference on Circuits/Systems,  
Computers and Communications

Grand Hilton Seoul, Seoul, Korea | June 29 ~ July 2, 2015

## Welcome to ITC-CSCC

The 30th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2015) will be held on June 29-July 2 at Grand Hilton Seoul, Seoul, 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

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

### • Computers

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

### • Communications

- Antenna & Wave Propagation
- Audio / Speech Signal Processing
- Circuits & Components for Communications
- IP Networks & QoS
- MIMO & Space-Time Codes
- Multimedia Communications
- Mobile & Wireless Communications
- Network Management & Design
- Optical Communications & Components
- Radar / Remote Sensing
- Communication Signal Processing
- Ubiquitous Networks
- UWB
- Visual Communications

## PROCEEDINGS

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

## SUBMISSION OF PAPERS

Prospective authors are invited to submit original papers of either MS Word or PDF format written in English. Abstracts are limited to two pages of text and figures. Only on-line abstract can be submitted to <http://www.itc-cscc2015.org>. If you have any trouble in preparing papers and on-line submission, please contact the conference secretariat.

## AUTHOR'S SCHEDULE

- Deadline for proposal of special session: Mar. 31, 2015
- Deadline for abstract submission: Mar. 31, 2015
- Notification of acceptance: Apr. 30, 2015
- Camera-ready manuscripts: May 15, 2015

## Sponsored 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, Thailand

## Contact Point

- Website : <http://www.itc-cscc2015.org>
- E-mail : [inter@theieie.org](mailto:inter@theieie.org)
- Phone : +82-2-553-0255(Ext. 4)



# CALL FOR PAPERS

## 정보 및 제어 심포지엄 ICS'15 (2015 Information and Control Systems Symposium)

장소: KIST(강릉분원)

일시: 2015년 4. 23(목) ~ 24(금)

<http://ics2015.ieieweb.org>

학술대회장	안현식(국민대)
오상록(KIST)	
조직위원장	김일환(강원대)
프로그램위원	
오승록(단국대)	이재관(자동차부품 연구원)
정길도(전북대)	이영일(서울과기대)
김영철(군산대)	유성진(중앙대)
이수열(경희대)	이정환(건국대)
강기호(한국기술교육대)	곽노준(서울대)
임이섭(경기과기대)	
재무위원	
고낙용(조선대)	이승수(㈜인피니언)
강대회(유도)	이종민(메스웍스(유))
박재홍(서울대)	김진영(ETAS)
최영진(한양대)	황동대( ㈜주영전기)
김수암(두산중공업)	원상영(현대건설)
	김재호(태영건설)
홍보위원	
권종현(한국산업기술시험원)	이건영(광운대)
최현택(한국해양과학기술원)	좌동경(아주대)
김호철(울지대)	김은태(연세대)
박재병(전북대)	안춘기(고려대)
김용태(한경대)	정구민(국민대)
변영재(울산과기대)	김도완(한밭대)
조영조(ETRI)	김상우(포항공대)
이학성(세종대)	양인범(자동차부품연구원)
조현중(강원대)	
발간위원	
김수찬(한경대)	김동준(청주대)
남기창(동국대)	지상훈(생산기술연구)
이석재(대구대)	조혜경(한성대)
김용권(건양대)	유범재(KIST)
서기성(서경대)	이형표(한화건설)
황익호(국방과학연구소)	박능수(건국대)
운영위원	
서성규(고려대)	심덕선(중앙대)
주영복(기술교육대)	박태형(충북대)
이경중(연세대)	오성권(수원대)
유정봉(공주대)	김준동(인천대)
김시호(연세대)	김경호(단국대)
김준동(인천대)	김용선(대우건설)
	문희창(㈜인앤드슬루션)
총무위원	
김영진(생산기술연구원)	서경열(㈜대하)
이덕진(군산대)	이영현(한세대)
우준석(MDS)	백주훈(광운대)
김준식(KIST)	
자문위원	
박종국(경희대)	양해원(한양대)
서일홍(한양대)	허욱렬(인하대)
김덕현(연세대)	김낙교(건국대)
김희식(서울시립대)	남부희(강원대)
허경우(단국대)	김영철(충북대)
오창현(고려대)	남현도(단국대)
김갑일(영지대)	주영훈(군산대)

대한전자공학회와 대한전기학회가 공동으로 주관하는 정보 및 제어 심포지엄 (ICS'15)이 2015년 4월 23일(목)~24일(금)에 KIST(강릉분원)에서 개최됩니다. 정보 및 제어 분야의 최신 연구 결과가 발표되는 본 학술회의는 특별강연, 논문발표 등 다양한 학술행사로 구성되며, 학계 및 산업계의 전문가들의 교류의 장이 될 것입니다. 정보 및 제어 분야의 현재를 진단하고 미래를 전망할 수 있는 정보 및 제어 심포지엄 (ICS'15)에 여러분을 초대합니다.

대한전자공학회 시스템 및 제어 소사이어티 회장 오 상 록  
대한전기학회 정보 및 제어 부문회 회장 안 현 식

### 논문 발표 분야

- Aerospace Control & Application
- Audio, Image, Video Signal Processing
- Automotive Electronics
- Communication and Signal Processing
- Control Systems
- Engineering for Defense Technology
- Human-Computer Interaction
- Mechatronics
- Medical Imaging
- Power Electronics
- Security & Content Protection
- Ship Information Technology
- Artificial Intelligence
- Biomedical Systems
- Embedded System
- Intelligent Control
- Mobile Systems
- Pattern Recognition
- Robot & Navigation
- Sensor and Measurement
- Ubiquitous Network

### 논문투고일정

1차 본논문 제출 마감 : 2015. 3. 13. (금)

심사결과 통보 : 2015. 3. 20. (금)

최종논문 접수 마감 : 2015. 3. 31. (화)

사전등록: 2015. 3. 20. (금) ~ 4. 10. (금)

제출처: <http://ics2015.ieieweb.org>

### 문의처

대한전자공학회 사무국 배지영 차장

전화: 02-553-0255(내선 3)

e-mail: [conf@theieie.org](mailto:conf@theieie.org)

발표논문 중 우수논문을 선정하여 대한전자공학회/대한전기학회 논문지에 추천됩니다.

# 2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회 논문 모집

2015년 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회를

대한전자공학회 마이크로파 및 전파전파 연구회,  
한국통신학회 마이크로파 및 전파 연구회,  
한국전자파학회 마이크로파 연구회 / 안테나 및 전파전파 연구회  
대한전기학회 광전자 및 전자파 연구회,  
IEEE MTT/AP/EMC Korea Chapter

합동으로 다음과 같이 개최하오니 많은 논문 투고 있으시기를 바랍니다.

## 일자 및 장소

2015년 5월 29일(금), 여의도중소기업중앙회 회관

## 논문 모집 분야

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| (1) 마이크로파 능동회로 분야  | (2) 마이크로파 수동회로 분야      |
| (3) RFIC/MMIC 분야   | (4) 안테나 분야             |
| (5) EMC/EMI/EMF 분야 | (6) 전자파 산란 분야          |
| (7) 스마트 안테나 및 SDR  | (8) Metamaterial 분야    |
| (9) 레이더            | (10) UWB, 통신 및 시스템 분야  |
| (11) 테라헤르츠         | (12) 마이크로파 및 전파 관련 신기술 |

### ※ 우수 논문상 선정 및 시상 안내

2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회에서 발표되는 논문 중 구두 논문과 포스터 논문에 대하여 각각 최우수 논문을 선정하여 당일 우수논문을 시상할 계획입니다. 부상도 마련되어 있으니 많은 관심 및 참여 바랍니다. 특히 우수논문 선정은 학생이 주저자인(발표, 포스터) 논문에 대하여 심사위원들의 심사와 등록자 모두가 투표를 하는 방식으로 진행되며, 시상식 때 다수의 경품도 제공할 예정입니다. 자세한 사항은 행사 당일 공지 예정입니다.

### ※ 초청 논문제 안내

2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회에 발표될 초청 논문을 모집합니다(단, 초청 논문은 박사학위를 소지한 저자가 직접 발표하여야 합니다).

### ※ 우수 논문 특별호 게재 안내

2015년도 마이크로파 및 전파전파 합동 학술대회에서 발표되는 논문 중 좌장 추천으로 우수 논문으로 선정될 경우 확장된 논문에 대하여 추가의 심사절차를 거쳐 한국전자파학회 8월호(영문논문은 영문지)에 게재될 예정입니다.

## 논문 제출방법

- 국문 또는 영문으로 A4용지 1페이지로 작성 (초청 논문 포함)
- Online 제출 (홈페이지 주소: <http://microwave2015.ieieweb.org>)
- 작성 양식은 홈페이지의 '논문제출 ▶ 논문양식' 을 참조
- 발표 형식 : 구두와 포스터 (저자가 논문 제출 시 선택)  
발표 형식은 가급적 저자의 선택을 존중하되, 모집된 논문 수와 장소 등을 고려하여 결정하고 그 결과를 저자에게 통지할 예정입니다.

## 논문 제출 마감

2015년 4월 26일 (일)

## 문의처

한국항공대학교 항공전자정보공학부 조춘식 교수  
TEL : (02)300-0419, E-mail : cscho@kau.ac.kr

# IHS Knowledge Collections

전세계 규격, 특허, 논문, eBook 등 1억 건 이상의 공학 전문 자료들을 대상으로, 세계최고 검색엔진 상을 수상한 시멘틱 검색기술을 통해 검색결과 이상의 해답을 만나보실 수 있습니다.

## 1. "How to increase the precision of optic flow?" 자연어 검색

Select where to search:  Codes & Standards  Articles  Patents  My subscription

EN how to increase the precision of optic flow? Advanced

Found in Content Classes:  Codes & Standards 2,416  Engineering Books 6,757  Patents & Applications 30,770  Other IHS Sources 318  Articles & Journals 22,08

62,345 results

**2. 검색 결과: 규격 2천건, eBook 6천종, 특허 3만 건, 논문 2만 건**

- US-8395659 B2 Moving obstacle detection using images  
U.S. Granted Patents  
optical flow determination module modifying optical flow  
In one embodiment, the optical flow determination module 154 also modifies the calculated optical flow to increase the density or accuracy of the calculated optical flow.  
Save Summary
- US-8395659 B2 Moving obstacle detection using images  
U.S. Granted Patents  
optical flow determination module modifying optical flow  
In one embodiment, the optical flow determination module 154 also modifies the calculated optical flow to increase the density or accuracy of the calculated optical flow.  
Save Summary 2 Similar Documents
- US-20130002854 A1 MARKING METHODS, APPARATUS AND SYSTEMS INCLUDING OPTICAL FLOW-BASED DEAD RECKONING FEATURES  
U.S. Patent Applications  
optical flow calculation performed on camera system data  
In another example, an optical flow calculation may be performed on camera system data 140 provided by both camera systems so as to increase the overall accuracy of the optical flow-based dead reckoning process of the present disclosure.  
Save Summary 2 Similar Documents
- The Compensated HS Optical Flow Estimation Based on Matching Harris Corner Points  
IEEE Articles  
optical flow constraint equation

**4. Stereo image capture 및 moving image capture 기능을 통한 향상 : 미국 특허**

**3. 질문에 대한 Answer 카테고리 자동 활성화**

**5. Compensated HS 계산 알고리즘을 통한 정확도 향상 : IEEE Article**

Refine your search results

General Facts Parts and Functions Parameters Causes and Effects

General facts about: how to increase the precision of optic flow?

Answers

- modification of optical flow by optical flow d... (5)
- optical flow determination module modifying... (5)
- increase of sample point (3)
- optical flow calculation performed on camer... (2)
- optical flow calculation on camera system data(2)

Methods

- modification of optical flow
- increase of sample point
- optical flow calculation on camera system data(2)
- calculation of optic flow between edge imag... (1)
- calculation of optic flow between edge imag... (1)

무인 비행 드론이나 재난구조용 로봇 등이 실시간으로 이동경로를 파악하기 위한 기술 중 하나인 Optic Flow의 정확도 향상을 위한 방법에는 어떠한 것들이 있는지 질문한 실제 검색 결과 화면입니다.

검색엔진이 결과 원문 전체를 읽어 들어서 요약해주는 **Dynamic Summary**를 비롯하여, 영어, 불어, 독어, 중국어, 일어 검색결과들을 각 5개국어로 자유롭게 번역해주는 번역기능 등 강력한 기능들을 Trial 신청을 통해 직접 경험해 보실 수 있습니다.



Authorized Dealer in Korea

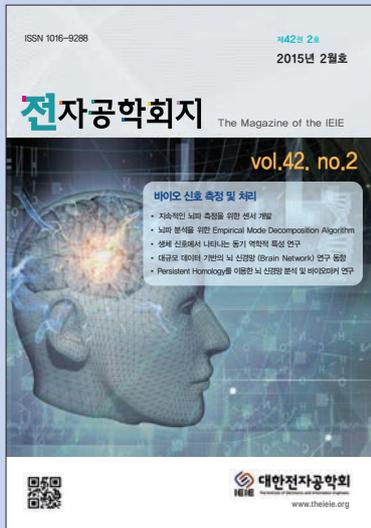


키티스産學研情報(株)  
KITIS Info. & Co., Ltd

http://www.kitis.co.kr TEL. 02-3474-5290(代)

# CONTENTS

제42권 2호 (2015년 2월)



※ 학회지 2월호 표지 (vol 42, No 2)

## 회지편집위원회

- 위원장 이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
- 위 원 권 호 열 (강원대학교 교수)
- 김 상 호 (성균관대학교 교수)
- 김 시 호 (연세대학교 교수)
- 김 영 식 (조선대학교 교수)
- 김 재 현 (아주대학교 교수)
- 김 정 호 (이화여자대학교 교수)
- 김 창 익 (KAIST 교수)
- 노 용 만 (KAIST 교수)
- 박 현 진 (성균관대학교 교수)
- 서 춘 원 (김포대학교 교수)
- 성 흥 석 (부천대학교 교수)
- 양 현 중 (UNIST 교수)
- 유 남 열 (광주과학기술원 교수)
- 이 수 열 (경희대학교 교수)
- 이 창 건 (서울대학교 교수)
- 이 희 덕 (충남대학교 교수)
- 인 치 호 (세명대학교 교수)
- 전 병 태 (한경대학교 교수)
- 정 방 철 (경상대학교 교수)
- 한 완 옥 (여주대학교 교수)
- 허 비 또 (LG유플러스 상무)
- 사무국 편집담당  
변 은 정 과장(내선 1)  
TEL : (02)553-0255(대)  
FAX : (02)552-6093
- 학회 홈페이지  
<http://www.theieie.org>

## 학회소식

- 12 학회소식 / 편집부
- 16 학회일지
- 17 특집편집기 / 박철수

## 특집 : 바이오 신호 측정 및 처리

- 18 지속적인 뇌파 측정을 위한 센서 개발 / 이승민, 이상훈
- 25 뇌파 분석을 위한 Empirical Mode Decomposition Algorithm / 박철수
- 33 생체 신호에서 나타나는 동기 역학적 특성 연구 / 김상경, 박광석
- 40 대규모 데이터 기반의 뇌 신경망 (Brain Network) 연구 동향 / 김창엽, 김상정
- 45 Persistent Homology를 이용한 뇌 신경망 분석 및 바이오마커 연구 / 유재준, 예종철, 장재승, 하규섭, 김은영, 안용민
- 57 논문지 논문목차
- 60 신간안내

## 정보교차로

- 61 국내외 학술행사 안내 / 편집부
- 69 특별회원사, 단체회원

## 2015년도 임원 및 각 위원회 위원

회 장	박 병 국 (서울대학교 교수)	김 경 원 (전자부품연구원 원장)
수석부회장	구 용 서 (단국대학교 교수) - 총괄	백 만 기 (김&장법률사무소 변리사)
고 문	구 원 모 (전자신문사 대표이사)	양 응 철 (현대자동차 부회장)
	김 흥 남 (한국전자통신연구원 원장)	이 재 욱 (노키아티엠씨 명예회장)
	신 종 균 (삼성전자 사장)	천 경 준 (씨젠 회장)
	이 기 섭 (산업기술평가관리원 원장)	황 승 구 (한국전자통신연구원 소장)
	이 희 국 (LG그룹기술협의회 사장)	박 흥 준 (포항공과대학교 교수) - 표준화, 회지편집, 교육/홍보
감 사 부 회 장	이 필 중 (포항공과대학교 교수)	안 승 권 (LG전자 사장) - 산학연
	박 현 욱 (KAIST 교수) - 회원, 지부	
	백 준 기 (중앙대학교 교수) - 영문논문지, 국제협력, 기획, 하계	
	홍 대 식 (연세대학교 교수) - ITC, 국문논문지, 추계, 사업	
산업체부회장	김 창 용 (삼성전자 부사장)	박 성 욱 (SK하이닉스 사장)
소사이머티 회장	안 현 식 (동명대학교 교수) - 컴퓨터소사이머티	오 상 록 (한국과학기술연구원 부원장) - 시스템 및 제어소사이머티
	원 영 진 (부천대학교 교수) - 산업전자소사이머티	이 재 진 (숭실대학교 교수) - 통신소사이머티
	전 병 우 (성균관대학교 교수) - 신호처리소사이머티	전 영 현 (삼성전자 사장) - 반도체소사이머티
협동부회장	곽 우 영 (현대자동차 부사장)	김 경 수 (만도 사장)
	김 기 호 (삼성전자 부사장)	김 달 수 (TI 대표이사)
	김 부 균 (송실대학교 교수)	김 상 태 (한국산업기술평가관리원 단장)
	김 수 원 (고려대학교 교수)	김 종 대 (한국전자통신연구원 소장)
	김 철 동 (세원텔레텍 대표이사)	남 상 업 (국제대학교 교수)
	박 찬 구 (LS파워세미텍 대표이사)	박 형 무 (동국대학교 교수)
	서 승 우 (서울대학교 교수)	송 문 섭 (엠세븐시스템 사장)
	여 상 덕 (LG디스플레이 사장)	유 현 규 (한국전자통신연구원 박사)
	유 회 준 (KAIST 교수)	윤 기 방 (인천대학교 교수)
	이 상 홍 (정보통신기술진흥센터 센터장)	이 상 희 (동서울대학교 교수)
	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	이 재 훈 (유정시스템 사장)
	임 차 식 (한국정보통신기술협회 회장)	장 태 규 (중앙대학교 교수)
	전 성 호 (삼성전기 부사장)	정 준 (샐리드 대표이사)
	정 진 용 (인하대학교 교수)	정 향 근 (전북대학교 교수)
	조 민 호 (고려대학교 교수)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	진 수 춘 (한백전자 대표이사)	최 길 천 (한능전자 회장)
	최 승 원 (한양대학교 교수)	한 대 근 (실리콘웍스 대표이사)
	허 열 (실리콘마이터스 대표이사)	허 영 (한국전기연구원 본부장)
	호 요 성 (광주과학기술원 교수)	
상 임 이 사	공 준 진 (삼성전자 마스터) - 산학연	김 선 욱 (고려대학교 교수) - SPC
	박 수 환 (서울대학교 교수) - 논문편집	박 종 일 (한양대학교 교수) - 재무
	백 광 현 (중앙대학교 교수) - 사업	엄 낙 용 (한국전자통신연구원 부장) - 표준화
	유 창 동 (KAIST 교수) - 국제협력	이 상 윤 (연세대학교 교수) - 사업
	이 재 성 (고려대학교 교수) - 회원/정보화	이 총 용 (연세대학교 교수) - 학술(하계)
	이 혁 재 (서울대학교 교수) - 학술(추계)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수) - 회지편집
	임 혜 숙 (이화여자대학교 교수) - 총무	최 천 원 (단국대학교 교수) - 기획
	한 동 석 (경북대학교 교수) - 교육/홍보	
산업체이사	고 요 환 (매그나칩반도체 전무)	김 보 은 (라운텍 사장)
	김 진 선 (SKI노베이션 전무)	김 태 진 (더즈텍 사장)
	김 현 수 (삼성전자 상무)	민 경 오 (LG전자 부사장)
	박 동 일 (현대자동차 상무)	송 창 현 (네이버 이사)
	오 의 열 (LG디스플레이 연구위원)	유 상 동 (SK하이닉스 상무)
	윤 영 권 (삼성전자 마스터)	정 한 욱 (KT 상무)
	조 영 민 (스카이크로스코리아 사장)	조 재 문 (삼성전자 전무)
	차 종 범 (구미전자정보기술원 원장)	최 승 중 (LG전자 전무)
	최 정 아 (삼성전자 전무)	최 진 성 (SKT 전무)
	함 철 희 (삼성전자 마스터)	홍 국 태 (LG전자 연구위원)
이 사	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) - 학술(하계)	권 중 기 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 사업
	권 호 열 (강원대학교 교수) - 회지편집	김 훈 (인천대학교 교수) - 학술(하계)
	김 동 식 (인하공업전문대학 교수) - 사업	김 문 철 (KAIST 교수) - 국제협력

협동이사

- 김용석 (성균관대학교 교수) - 학술(추계)
- 김재현 (아주대학교 교수) - ICEIC
- 김종옥 (고려대학교 교수) - 총무
- 김창익 (KAIST 교수) - 회지편집
- 노용만 (KAIST 교수) - 회지편집
- 노태문 (한국전자통신연구원 실장) - 학술(추계)
- 박현창 (동국대학교 교수) - 논문편집
- 성해경 (한양여자대학교 교수) - 학술(추계)
- 송상현 (중앙대학교 교수) - 논문편집
- 심정연 (강남대학교 교수) - 하계/총무
- 유경동 (SK하이닉스 상무) - 산학연
- 유창식 (한양대학교 교수) - 회원/정보화
- 윤일구 (연세대학교 교수) - 사업/하계
- 이병선 (김포대학교 교수) - 기획
- 이용식 (연세대학교 교수) - 사업
- 인치호 (세명대학교 교수) - 학술(추계)
- 정용규 (을지대학교 교수) - 기획
- 정종문 (연세대학교 교수) - 논문편집
- 조성현 (한양대학교 교수) - 국제협력
- 최병재 (대구대학교 교수) - 교육/홍보
- 최성현 (서울대학교 교수) - 교육/홍보
- 최종호 (서울시립대학교 교수) - 사업
- 현경숙 (세종대학교 교수) - 총무
- 홍성철 (KAIST 교수) - 학술(추계)
- 황인철 (강원대학교 교수) - SPC/기획
- 고균병 (한국교통대학교 교수) - 사업
- 김현 (부천대학교 교수) - 기획
- 김대환 (국민대학교 교수) - 학술(하계)
- 김동호 (서울과학기술대학교 교수) - 교육/홍보
- 김소영 (성균관대학교 교수) - 총무
- 김영식 (조선대학교 교수) - 회지편집
- 김용신 (고려대학교 교수) - 사업
- 김준모 (KAIST 교수) - 국제협력
- 김태원 (상지영서대학교 교수) - 산학연
- 류수정 (삼성전자 상무) - 총무
- 박정욱 (연세대학교 교수) - 학술(하계)
- 서춘원 (김포대학교 교수) - 회지편집
- 신원웅 (단국대학교 교수) - 국제협력
- 안길초 (서강대학교 교수) - 사업
- 우은미 (삼성전자 마스터) - 산학연
- 유철우 (명지대학교 교수) - 논문편집
- 윤은준 (경일대학교 교수) - SPC
- 이강윤 (성균관대학교 교수) - 추계/재무
- 이상근 (중앙대학교 교수) - 추계/총무
- 이재훈 (고려대학교 교수) - 기획
- 전병태 (한경대학교 교수) - 회지편집
- 정승원 (동국대학교 교수) - SPC
- 조성환 (KAIST 교수) - 국제협력
- 차호영 (홍익대학교 교수) - 회원/정보화
- 최용수 (성결대학교 교수) - 논문편집
- 최현웅 (연세대학교 교수) - 논문편집
- 한완옥 (여주대학교 교수) - 회지편집
- 김원종 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 표준화
- 김정호 (이화여자대학교 교수) - 회지편집
- 김창수 (고려대학교 교수) - 회원/정보화
- 김회린 (KAIST 교수) - 국제협력
- 노원우 (연세대학교 교수) - 추계/재무
- 동성수 (용인송담대학교 교수) - 학술(하계)
- 범진욱 (서강대학교 교수) - 기획
- 송민규 (동국대학교 교수) - 기획
- 심동규 (광운대학교 교수) - 학술(추계)
- 위재경 (송실대학교 교수) - 표준화
- 유남열 (광주과학기술원 교수) - 회지편집
- 윤석현 (단국대학교 교수) - 논문편집
- 이문구 (김포대학교 교수) - 추계/총무
- 이수인 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 교육/홍보
- 이한호 (인하대학교 교수) - 산학연
- 정영모 (한성대학교 교수) - 총무
- 정의영 (연세대학교 교수) - ITC
- 조도현 (인하공업전문대학 교수) - 학술(하계)
- 최강선 (한국기술교육대학교 교수) - SPC
- 최병호 (전자부품연구원 센터장) - 기획
- 최수웅 (연세대학교 교수) - 학술(하계)
- 한종기 (세종대학교 교수) - 교육/홍보
- 홍민철 (송실대학교 교수) - ITC
- 홍용택 (서울대학교 교수) - 추계/기획
- 권혁인 (중앙대학교 교수) - 사업
- 김경연 (제주대학교 교수) - 학술(하계)
- 김동순 (전자부품연구원 박사) - SPC
- 김상호 (성균관대학교 교수) - 회지편집
- 김승천 (한성대학교 교수) - 기획
- 김용민 (충청대학교 교수) - 교육/홍보
- 김종훈 (KAIST 교수) - 표준화
- 김태욱 (연세대학교 교수) - 학술(하계)
- 노정진 (한양대학교 교수) - 총무
- 박재영 (광운대학교 교수) - 표준화
- 변대석 (삼성전자 마스터) - 산학연
- 신오순 (송실대학교 교수) - 논문편집
- 신현철 (송실대학교 교수) - 사업
- 연규봉 (자동차부품연구원 팀장) - 표준화
- 우중재 (한서대학교 교수) - 학술(추계)
- 윤성로 (서울대학교 교수) - 회원/정보화
- 윤지훈 (서울과학기술대학교 교수) - 논문편집
- 이광엽 (서경대학교 교수) - 학술(추계)
- 이용구 (한림성심대학교 교수) - 논문편집
- 이찬수 (영남대학교 교수) - 논문편집
- 정방철 (경상대학교 교수) - 회지편집
- 조면균 (세명대학교 교수) - 사업
- 차철웅 (전자부품연구원 책임연구원) - 표준화
- 최세호 (포스코 팀장) - 교육/홍보
- 최진호 (LG전자 수석연구원) - 사업
- 한영선 (경일대학교 교수) - SPC
- 허비도 (LG유플러스 상무) - 회지편집

지부장 명단

- 강원지부
- 대구·경북지부
- 부산·경남·울산지부
- 제주지부
- 호서지부
- 미국지부

- 임해진 (강원대학교 교수)
- 박길흥 (경북대학교 교수)
- 김성진 (경남대학교 교수)
- 강민제 (제주대학교 교수)
- 장은영 (공주대학교 교수)
- 최명준 (텔레다인 박사)

- 광주·전남지부
- 대전·충남지부
- 전북지부
- 충북지부
- 일본지부

- 최조천 (목포해양대학교 교수)
- 이혁덕 (충남대학교 교수)
- 조경주 (원광대학교 교수)
- 최영규 (한국교통대학교 교수)
- 백인천 (AIZU대학교 교수)

위원회 명단

자문위원회

위원장	이태원 (명예회장)		
위원	김덕진 (명예회장)	김도현 (명예회장)	김성대 (한국과학기술원 교수)
	김수중 (명예회장)	김영권 (명예회장)	김재희 (연세대학교 교수)
	김정식 (대덕전자 회장)	나정웅 (명예회장)	박규태 (명예회장)
	박성한 (명예회장)	박송배 (명예회장)	박진옥 (명예회장)
	박항구 (소암시스템 회장)	변증남 (울산과학기술대학교 석좌교수)	서정욱 (명예회장)
	성광모 (서울대학교 명예교수)	윤종용 (삼성전자 비상임고문)	이문기 (명예회장)
	이상설 (명예회장)	이재홍 (서울대학교 교수)	이진구 (동국대학교 석좌교수)
	이충웅 (명예회장)	임제탁 (명예회장)	전국진 (서울대학교 교수)
	전홍태 (중앙대학교 교수)	정정화 (한양대학교 교수)	홍승홍 (명예회장)

기획위원회

위원장	최천원 (단국대학교 교수)		
위원	김현진 (단국대학교 교수)	김현 (부천대학교 교수)	박현창 (동국대학교 교수)
	송상현 (중앙대학교 교수)	신오순 (숭실대학교 교수)	윤석현 (단국대학교 교수)
	윤지훈 (서울과학기술대학교 교수)	이병선 (김포대학교 교수)	

학술연구위원회

위원장	이충웅 (연세대학교 교수)		
위원	강동진 (한국정보통신기술대학교 교수)	강문식 (강릉원주대학교 교수)	김훈 (인천대학교 교수)
	김경연 (제주대학교 교수)	김대환 (국민대학교 교수)	김문철 (KAIST 교수)
	김상효 (성균관대학교 교수)	김윤선 (삼성전자 박사)	김재현 (아주대학교 교수)
	김창익 (고려대학교 교수)	김철우 (고려대학교 교수)	김태욱 (연세대학교 교수)
	김호철 (울지대학교 교수)	동성수 (홍익대학교 교수)	박정욱 (연세대학교 교수)
	박종선 (고려대학교 교수)	변영재 (UNIST 교수)	신현출 (숭실대학교 교수)
	심정연 (강남대학교 교수)	윤성로 (서울대학교 교수)	윤일구 (연세대학교 교수)
	이흥노 (광주과학기술원 교수)	임성준 (중앙대학교 교수)	정재훈 (LG전자 박사)
	조도현 (인하공업전문대학 교수)	조성현 (한양대학교 교수)	최수용 (연세대학교 교수)
	최현용 (연세대학교 교수)		

논문편집위원회

위원장	김수환 (서울대학교 교수)		
위원	김승천 (한성대학교 교수)	김재현 (아주대학교 교수)	남기창 (동국대학교 교수)
	범진욱 (서강대학교 교수)	송민규 (동국대학교 교수)	심동규 (광운대학교 교수)
	안성수 (명지전문대학 교수)	유철우 (명지대학교 교수)	이용구 (한림성심대학교 교수)
	이재훈 (고려대학교 교수)	이찬수 (영남대학교 교수)	정용규 (울지대학교 교수)
	정종문 (연세대학교 교수)	최병호 (전자부품연구원 센터장)	최용수 (성결대학교 교수)
	최현용 (연세대학교 교수)	한태희 (성균관대학교 교수)	홍용택 (서울대학교 교수)
	황인철 (강원대학교 교수)		

국제협력위원회

위원장	유창동 (KAIST 교수)		
위원	김문철 (KAIST 교수)	김성웅 (켈컴코리아 연구원)	김준모 (KAIST 교수)
	김회린 (KAIST 교수)	박현창 (동국대학교 교수)	백준기 (중앙대학교 교수)
	서진수 (강릉원주대학교 교수)	송상현 (중앙대학교 교수)	신원용 (단국대학교 교수)
	이준석 (연세대학교 교수)	이충웅 (연세대학교 교수)	이혁재 (서울대학교 교수)
	장길진 (경북대학교 교수)	정준 (솔리드 대표이사)	조성현 (한양대학교 교수)
	조성환 (KAIST 교수)	최우영 (연세대학교 교수)	

산학연협동위원회

위원장	공준진 (삼성전자 마스터)		
위원	김은원 (대림대학교 교수)	김태원 (상지영서대학교 교수)	박성정 (건국대학교 교수)
	방극준 (인덕대학교 교수)	변대석 (삼성전자 마스터)	오은미 (삼성전자 마스터)
	유경동 (SK하이닉스 상무)	윤영권 (삼성전자 마스터)	이정석 (인하공업전문대학 교수)
	이한호 (인하대학교 교수)	정석재 (영진전문대학교 교수)	함철희 (삼성전자 마스터)

### 회원관리위원회

위원장	이재성 (고려대학교 교수)		
위원	김용신 (고려대학교 교수)	김윤석 (상지영서대학교 교수)	김진태 (건국대학교 교수)
	김창수 (고려대학교 교수)	김형탁 (홍익대학교 교수)	서준원 (김포대학교 교수)
	신창환 (서울시립대학교 교수)	유창식 (한양대학교 교수)	윤성로 (서울대학교 교수)
	조성재 (가천대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)	

### 회지편집위원회

위원장	이흥노 (광주과학기술원 교수)		
위원	권호열 (강원대학교 교수)	김상호 (성균관대학교 교수)	김시호 (연세대학교 교수)
	김영식 (조선대학교 교수)	김재현 (아주대학교 교수)	김정호 (이화여자대학교 교수)
	김창익 (KAIST 교수)	노용만 (KAIST 교수)	박현진 (성균관대학교 교수)
	서준원 (김포대학교 교수)	성홍식 (부천대학교 교수)	양현종 (UNIST 교수)
	유남열 (광주과학기술원 교수)	이수열 (경희대학교 교수)	이창건 (서울대학교 교수)
	이희덕 (충남대학교 교수)	인천호 (세명대학교 교수)	전병태 (한경대학교 교수)
	정방철 (경상대학교 교수)	한완옥 (여주대학교 교수)	허비또 (LG유플러스 상무)

### 사업위원회

위원장	백광현 (중앙대학교 교수)	이상운 (연세대학교 교수)	
위원	고균병 (한국교통대학교 교수)	고종혁 (중앙대학교 교수)	권종기 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	권혁인 (중앙대학교 교수)	김동식 (인하공업전문대학교 교수)	김용신 (고려대학교 교수)
	김종욱 (고려대학교 교수)	노원우 (연세대학교 교수)	노태문 (한국전자통신연구원 팀장)
	문현욱 (동원대학교 교수)	박강령 (동국대학교 교수)	박정욱 (연세대학교 교수)
	서인식 (라이트웍스 대표이사)	신현출 (숭실대학교 교수)	심동규 (광운대학교 교수)
	안길초 (서강대학교 교수)	윤일구 (연세대학교 교수)	윤재철 (삼성전자 박사)
	이용식 (연세대학교 교수)	조면균 (세명대학교 교수)	조제광 (LG전자 박사)
	최수용 (연세대학교 교수)	최윤경 (삼성전자 마스터)	최중호 (서울시립대학교 교수)
	최진호 (LG전자 상무)	홍민철 (숭실대학교 교수)	

### 교육홍보위원회

위원장	한동석 (경북대학교 교수)		
부위원장	이수인 (한국전자통신연구원 책임연구원)		
위원	고정환 (인하공업전문대학 교수)	김덕영 (부천대학교 교수)	김동호 (서울과학기술대학교 교수)
	김정구 (부산대학교 교수)	김준태 (건국대학교 교수)	류시복 (자동차부품연구원 책임연구원)
	이동훈 (삼성전자 수석연구원)	이석필 (상명대학교 교수)	이종호 (서울대학교 교수)
	임기택 (전자부품연구원 센터장)	장길진 (경북대학교 교수)	장준혁 (한양대학교 교수)
	최병재 (대구대학교 교수)	최세호 (포스코 부장)	한종기 (세종대학교 교수)
	허준 (고려대학교 교수)		

### 표준화위원회

위원장	엄낙웅 (한국전자통신연구원 부장)		
위원	강희훈 (여주대학교 교수)	공배선 (성균관대학교 교수)	구정래 (한국심사자격인증원 팀장)
	권기원 (성균관대학교 교수)	김동규 (한양대학교 교수)	김병철 (한양대학교 교수)
	김시호 (연세대학교 교수)	김옥수 (인피니언코리아 이사)	김원중 (한국전자통신연구원 책임연구원)
	김종훈 (KAIST 교수)	두영호 (현대오트론 책임연구원)	박세광 (경북대학교 교수)
	박장현 (한국전자통신연구원 선임연구원)	박재영 (광운대학교 교수)	박주현 (픽셀플러스 실장)
	신성호 (한국기술표준원 연구관)	연규봉 (자동차부품연구원 팀장)	위재경 (숭실대학교 교수)
	윤대원 (법무법인 다래 이사)	이경범 (표준과학연구원 책임연구원)	이민영 (한국반도체산업협회 본부장)
	이상근 (성균관대학교 교수)	이상미 (IITP 팀장)	이상준 (수원과학대학교 교수)
	이서호 (한국기계전기전자시험연구원 과장)	이성수 (숭실대학교 교수)	이시현 (동서울대학교 교수)
	이용희 (한라대학교 교수)	이종묵 (SOL 대표)	장미혜 (연세대학교 교수)
	장현수 (주아이에이 부장)	정교일 (한국전자통신연구원 책임연구원)	좌성훈 (서울과학기술대학교 교수)
	차철웅 (전자부품연구원 책임연구원)	한태수 (국가기술표준원/표준협회 표준코디)	

### 정보화위원회

위원장	이재성 (고려대학교 교수)		
위원	구자일 (인하공업전문대학 교수)	김용신 (고려대학교 교수)	김진태 (건국대학교 교수)
	김창수 (고려대학교 교수)	김형탁 (홍익대학교 교수)	신창환 (서울시립대학교 교수)
	안태원 (동양미래대학교 교수)	유창식 (한양대학교 교수)	윤성로 (서울대학교 교수)
	정연모 (경희대학교 교수)	조성재 (가천대학교 교수)	차호영 (홍익대학교 교수)

### 지부담당위원회

위원장	박현욱 (KAIST 교수)		
위원	강민제 (제주대학교 교수)	김성진 (경남대학교 교수)	박길흠 (경북대학교 교수)
	백인천 (AIZU대학교 교수)	이희덕 (충남대학교 교수)	임해진 (강원대학교 교수)
	장은영 (공주대학교 교수)	조경주 (원광대학교 교수)	최명준 (텔레다인 박사)
	최영규 (한국교통대학교 교수)	최조천 (목포해양대학교 교수)	

### 선거관리위원회

위원장	박성한 (한양대학교 명예교수)		
위원	박종일 (한양대학교 교수)	이재성 (고려대학교 교수)	이충용 (연세대학교 교수)
	임혜숙 (이화여자대학교 교수)	정영모 (한성대학교 교수)	최천원 (단국대학교 교수)

### 포상위원회

위원장	김성대 (KAIST 교수)		
위원	구용서 (단국대학교 교수)	김수환 (서울대학교 교수)	박종일 (한양대학교 교수)
	윤기방 (인천대학교 교수)	이충용 (연세대학교 교수)	임혜숙 (이화여자대학교 교수)

### 재정위원회

위원장	박병국 (서울대학교 교수)		
위원	고성제 (고려대학교 교수)	구용서 (단국대학교 교수)	박종일 (한양대학교 교수)
	백준기 (중앙대학교 교수)	서승우 (서울대학교 교수)	이필중 (포항공과대학교 교수)
	전국진 (서울대학교 교수)	정준 (솔리드 대표이사)	홍대식 (연세대학교 교수)

### 인사위원회

위원장	박병국 (서울대학교 교수)		
위원	구용서 (단국대학교 교수)	박종일 (한양대학교 교수)	이충용 (연세대학교 교수)
	임혜숙 (이화여자대학교 교수)		

### SPC위원회

위원장	김선욱 (고려대학교 교수)	백준기 (중앙대학교 교수)	
위원	김동순 (전자부품연구원 박사)	신원용 (단국대학교 교수)	심동규 (광운대학교 교수)
	윤은준 (경일대학교 교수)	이재훈 (고려대학교 교수)	정승원 (동국대학교 교수)
	조민호 (고려대학교 교수)	최강선 (한국기술교육대학교 교수)	한영선 (경일대학교 교수)
	홍대식 (연세대학교 교수)	황인철 (강원대학교 교수)	

### JSTS위원회

위원장	Hoi-Jun Yoo (KAIST)		
부위원장	Dim-Lee Kwong (Institute of Microelectronics)		
위원	Akira Matsuzawa (Tokyo Institute of Technology)	Cary Y. Yang (Santa Clara Univ.)	
	Changsik Yoo (Hanyang Univ.)	Chennupati Jagadish (Australian National Univ.)	
	Deog-Kyoon Jeong (Seoul National Univ.)	Dong S. Ha (Virginia Tech)	
	Eun Sok Kim (USC)	Gianaurelio Cuniberti (Dresden Univ. of Technology)	
	Hi-Deok Lee (Chungnam Univ.)	Hong June Park (POSTECH)	
	Hyounsub Kim (Sungkyunkwan Univ.)	Hyungcheol Shin (Seoul National Univ.)	
	Hyun-Kyu Yu (ETRI)	Jamal Deen (McMaster Univ.)	
	Jin-Koo Rhee (Dongguk Univ.)	Jinwook Burm (Sogang Univ.)	
	Jong-Uk Bu (Sen Plus)	Meyya Meyyappan (NASA Ames Research Center)	
	Min-kyu Song (Dongguk Univ.)	Moon-Ho Jo (POSTECH)	
	Nobby Kobayashi (UC Santa Cruz)	Paul D. Franzon (North Carolina State Univ.)	
	Rino Choi (Inha Univ.)	Sang-Hun Song (Chung-Ang Univ.)	
	Seung-Hoon Lee (Sogang Univ.)	Shen-luan Liu (National Taiwan Univ.)	
	Songcheol Hong (KAIST)	Stephen A. Campbell (Univ. of Minnesota)	
	Sung Woo Hwang (Korea Univ.)	Tadahiro Kuroda (Keio Univ.)	
	Tae-Song Kim (KIST)	Tsu-Jae King Liu (UC Berkeley)	
	Vojin G. Oklobdzija (Univ. of Texas at Dallas)	Weileun Fang (National Tsing Hua Univ.)	
	Woodward Yang (Harvard Univ.)	Woogeun Rhee (Tsinghua Univ.)	
	Yogesh B. Gianchandani (Univ. of Michigan, Ann Arbor)	Yong-Bin Kim (Northeastern Univ.)	
	Younghee Kim (Changwon National Univ.)	Yuhua Cheng (Peking Univ.)	

Society 명단

통신소사이어티

회 장	이 재 진 (송실대학교 교수)	이 흥 노 (광주과기원 교수) - 학술	최 천 원 (단국대학교 교수) - 재무/편집
부 회 장	유 명 식 (송실대학교 교수) - 사업	이 호 경 (홍익대학교 교수)	김 영 한 (송실대학교 교수)
감 사	방 성 일 (단국대학교 교수)	김 연 은 (㈜브르던 대표이사)	남 상 옥 (서울대학교 교수)
협동부회장	김 병 남 (에이스테크놀로지 연구소장)	김 인 경 (LG전자 상무)	방 승 찬 (한국전자통신연구원 부장)
	김 용 석 (㈜답스 대표이사)	박 용 석 (㈜LICT 대표이사)	오 정 근 (㈜ATNS 대표이사)
	류 승 문 (㈜카서 대표이사)	연 철 흘 (LGT 상무)	이 중 창 (홍익대학교 교수)
	연 임 복 (한국전자통신연구원 팀장)	이 재 훈 (유정시스템㈜ 대표이사)	정 현 규 (한국전자통신연구원 부장)
	이 승 호 (㈜하이게인 부사장)	정 진 섭 (이노와이어리스 부사장)	김 성 훈 (한국전자통신연구원 박사)
이 사	정 윤 채 (삼성전자 전무)	김 선 용 (건국대학교 교수)	김 진 영 (광운대학교 교수)
	김 광 순 (연세대학교 교수)	김 정 호 (이화여자대학교 교수)	성 원 진 (서강대학교 교수)
	김 재 현 (아주대학교 교수)	서 철 현 (송실대학교 교수)	윤 중 호 (한국항공대학교 교수)
	김 훈 (인천대학교 교수)	윤 석 현 (단국대학교 교수)	이 재 훈 (동국대학교 교수)
	신 요 안 (송실대학교 교수)	이 인 규 (고려대학교 교수)	허 서 원 (홍익대학교 교수)
	윤 지 훈 (서울과학기술대학교 교수)	최 진 식 (한양대학교 교수)	
	임 종 태 (홍익대학교 교수)		
	허 준 (고려대학교 교수)		
연구회위원장	김 재 현 (아주대학교 교수) - 통신연구회		
	유 제 훈 (한국전자통신연구원 팀장) - 스위칭 및 라우팅연구회		
	조 춘 식 (한국항공대학교 교수) - 마이크로파 및 전파전파연구회		
	이 철 기 (아주대학교 교수) - ITS연구회		
	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 정보보안시스템연구회		
	김 강 옥 (경북대학교 교수) - 군사전자연구회		
	류 원 (한국전자통신연구원 부장) - 방송·통신융합기술연구회		
	박 광 로 (한국전자통신연구원 부장) - 무선 PAN/BAN연구회		
	김 봉 태 (한국전자통신연구원 소장) - 미래네트워크연구회		
간 사	신 오 순 (송실대학교 교수)	김 광 순 (연세대학교 교수)	

반도체소사이어티

회 장	전 영 현 (삼성전자 사장)	선우명훈 (아주대학교 교수)	신 윤 승 (삼성전자 고문)
자 문 위 원	권 오 경 (한양대학교 교수)	우 남 성 (삼성전자 사장)	임 형 규 (SK하이닉스 부회장)
감 사	신 현 철 (한양대학교 교수)	최 준 림 (경북대학교 교수)	
수 석 부 회장	정 진 균 (전북대학교 교수)		
연구담당부회장	조 중 휘 (인천대학교 교수)		
사업담당부회장	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)		
학술담당부회장	김 진 상 (경희대학교 교수)		
총 무 이 사	범 진 옥 (서강대학교 교수)	김 동 규 (한양대학교 교수)	박 종 선 (고려대학교 교수)
	공 준 진 (삼성전자 마스터)		
	이 한 호 (인하대학교 교수)		
편 집 이 사	이 희 덕 (충남대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)	한 태 희 (성균관대학교 교수)
학 술 이 사	강 진 구 (인하대학교 교수)	김 영 환 (포항공과대학교 교수)	김 재 석 (연세대학교 교수)
	노 정 진 (한양대학교 교수)	박 성 정 (건국대학교 교수)	박 훈 준 (포항공과대학교 교수)
	송 민 규 (동국대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	정 연 모 (경희대학교 교수)
	정 진 용 (인하대학교 교수)	정 항 근 (전북대학교 교수)	최 우 영 (연세대학교 교수)
사 업 이 사	강 성 호 (연세대학교 교수)	강 태 원 (넥셀 사장)	공 배 선 (성균관대학교 교수)
	권 기 원 (성균관대학교 교수)	김 경 기 (대구대학교 교수)	김 달 수 (TI 대표이사)
	김 동 현 (ICTK 사장)	김 보 은 (라운텍 사장)	김 소 영 (성균관대학교 교수)
	김 시 호 (연세대학교 교수)	김 준 석 (ADT 사장)	김 철 우 (고려대학교 교수)
	김 한 기 (코아로직 사장)	손 보 익 (LG전자 전무)	송 태 훈 (휴인스 사장)
	신 용 석 (케이던스코리아 사장)	안 흥 식 (Xilinx Korea 지사장)	양 영 인 (민토 사장)
	유 경 동 (SK하이닉스 상무)	윤 광 섭 (인하대학교 교수)	이 도 영 (옵트론텍 사장)
	이 윤 중 (동부하이텍 상무)	이 중 열 (FCI 부사장)	정 해 수 (Synopsys 사장)
	정 희 범 (한국전자통신연구원 본부장)	조 대 형 (스위스로전연방공대 총장수석보좌관)	조 상 복 (울산대학교 교수)
	조 태 제 (삼성전자 마스터)	최 승 중 (LG전자 전무)	최 윤 경 (삼성전자 마스터)
	최 중 찬 (전자부품연구원 본부장)	황 규 철 (삼성전자 상무)	
재 무 이 사	김 희 석 (청주대학교 교수)	임 신 일 (서경대학교 교수)	
회 원 이 사	이 광 엽 (서경대학교 교수)	최 기 영 (서울대학교 교수)	
연구회위원장	이 재 성 (고려대학교 교수) - 반도체 재료 및 부품연구회		
	오 민 철 (부산대학교 교수) - 광파 및 양자전자공학연구회		
	최 중 호 (서울시립대학교 교수) - SoC설계연구회		
	신 현 철 (광운대학교 교수) - RF 집적회로연구회		
	정 원 영 (동부하이텍 상무) - PCB & Package연구회		
간 사	김 형 탁 (홍익대학교 교수)	문 용 (송실대학교 교수)	전 경 구 (인천대학교 교수)
	어 영 선 (한양대학교 교수)	이 성 수 (송실대학교 교수)	백 광 현 (중앙대학교 교수)
	차 호 영 (홍익대학교 교수)		

**컴퓨터소사이터티**

회 장	안 현 식 (동명대학교 교수)	박 인 정 (단국대학교 교수)	박 춘 명 (한국교통대학교 교수)
명 예 회 장	김 형 중 (고려대학교 교수)	허 영 (한국전기연구원 본부장)	임 기 욱 (선문대학교 교수)
	신인철 (단국대학교 교수)	안 병 구 (충익대학교 교수)	이 규 대 (공주대학교 교수)
자 문 위 원	홍 유 식 (상지대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)	
감 사	이강현 (조선대학교 교수)	심 정 연 (강남대학교 교수)	
부 회 장	남 상 업 (국제대학교 교수)	김 승 천 (한성대학교 교수)	강 문 식 (강릉원주대학교 교수)
	김도현 (제주대학교 교수)	조 민 호 (고려대학교 교수)	
협동부회장	이민호 (경북대학교 교수)	김 영 학 (한국산업기술평가관리원 본부장)	김 천 식 (세종대학교 교수)
	권 호 열 (강원대학교 교수)	정 용 규 (울지대학교 교수)	조 병 순 (㈜시엔시 인스트루먼트 사장)
총 무 이 사	임병민 (㈜Agerigna 회장)	최 용 수 (성결대학교 교수)	
재 무 이 사	박수현 (국민대학교 교수)	이 기 영 (울지대학교 교수)	
홍 보 이 사	김진홍 (한성대학교 교수)		
편 집 이 사	황인정 (명지병원 책임연구원)	기 장 근 (공주대학교 교수)	변 영 재 (UNIST 교수)
	강 병 권 (순천향대학교 교수)	이 석 환 (동명대학교 교수)	진 훈 (연세대학교 교수)
	윤은준 (경일대학교 교수)		
학 술 이 사	진 성 아 (성결대학교 교수)	김 대 휘 (㈜경봉 대표이사)	김 선 욱 (고려대학교 교수)
	강 상 욱 (상명대학교 교수)	김 종 윤 (경동대학교 교수)	김 홍 균 (이화여자대학교 교수)
	김성길 (주)K4M 이사)	박 세 환 (한국과학기술정보연구원 전문연구원)	박 승 창 (㈜유오씨 사장)
	노 소 영 (월송출판 대표이사)	송 치 봉 (웨이버스 이사)	오 승 훈 (LG C&S 과장)
	성해경 (한양여자대학교 교수)	유 성 철 (LG히다찌 산학협력팀장)	이 문 구 (김포대학교 교수)
	우운택 (한국과학기술원 교수)	이 찬 수 (영남대학교 교수)	전 병 태 (한경대학교 교수)
	이성로 (목포대학교 교수)		
	허 준 (경민대학교 교수)		
논문편집위원장	최 용 수 (성결대학교 교수)		
연구회위원장	윤은준 (경일대학교 교수) - 융합컴퓨팅 연구회		
	이민호 (경북대학교 교수) - 인공지능/신경망/퍼지 연구회		
	강 문 식 (강릉원주대학교 교수) - 멀티미디어 연구회		
	진 훈 (연세대학교 교수) - 유비쿼터스시스템 연구회		
	김도현 (제주대학교 교수) - M2M/IoT 연구회		

**신호처리소사이터티**

회 장	전 병 우 (성균관대학교 교수)	이 영 렬 (세종대학교 교수)	홍 민 철 (송실대학교 교수)
자 문 위 원	김 홍 국 (광주과학기술원 교수)	김 응 규 (한밭대학교 교수)	
감 사	강 상 원 (한양대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)	김 문 철 (KAIST 교수)
부 회 장	심 동 규 (광운대학교 교수)		
	박 종 일 (한양대학교 교수)	김 진 응 (한국전자통신연구원 그룹장)	백 준 기 (중앙대학교 교수)
협동부회장	강 동 욱 (정보통신기술진흥센터 CP)	신 원 호 (LG전자 상무)	양 인 환 (TI Korea 이사)
	변 해 란 (연세대학교 교수)	이 병 욱 (이화여자대학교 교수)	지 인 호 (충익대학교 교수)
	오 은 미 (삼성전자 마스터)		
	최 병 호 (전자부품연구원 센터장)	권 기 룡 (부경대학교 교수)	김 남 수 (서울대학교 교수)
이 사	강 현 수 (충북대학교 교수)	김 정 태 (이화여자대학교 교수)	김 해 광 (세종대학교 교수)
	김 원 하 (경희대학교 교수)	박 인 규 (인하대학교 교수)	서 정 일 (한국전자통신연구원 선임연구원)
	박 구 만 (서울과학기술대학교 교수)	엄 일 규 (부산대학교 교수)	유 양 모 (서강대학교 교수)
	신 지 태 (성균관대학교 교수)	이 상 윤 (연세대학교 교수)	임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)
	이 상 근 (중앙대학교 교수)	장 준 혁 (한양대학교 교수)	한 종 기 (세종대학교 교수)
	장길진 (울산과학기술대학교 교수)	권 구 락 (조선대학교 교수)	김 기 백 (송실대학교 교수)
협 동 이 사	이 창 우 (카톨릭대학교 교수)	김 용 환 (전자부품연구원 선임연구원)	박 현 진 (성균관대학교 교수)
	김 상 호 (성균관대학교 교수)	김 창 수 (고려대학교 교수)	박 호 중 (광운대학교 교수)
	김 재 곤 (한국항공대학교 교수)	송 병 철 (인하대학교 교수)	신 재 섭 (㈜픽스트리 대표이사)
	서영호 (광운대학교 교수)	예 중 철 (KAIST 교수)	이 기 승 (건국대학교 교수)
	신종원 (광주과학기술원 교수)	양 현 중 (UNIST 교수)	임 재 윤 (제주대학교 교수)
	이 종 설 (전자부품연구원 책임연구원)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)	최 승 호 (서울과학기술대학교 교수)
	장 세 진 (전자부품연구원 센터장)	홍 성 훈 (전남대학교 교수)	
	최 해 철 (한밭대학교 교수)		
연구회위원장	김 무 영 (세종대학교 교수) - 음향및신호처리연구회		
	심 동 규 (광운대학교 교수) - 영상신호처리연구회		
	김 창 익 (KAIST 교수) - 영상이해 연구회		
	예 중 철 (KAIST 교수) - 바이오영상신호처리연구회		
총 무 간 사	최 해 철 (한밭대학교 교수)		

**시스템 및 제어소사이터티**

회 장	오 상 록 (KIST 부원장)	김 희 식 (서울시립대학교 교수)	박 종 국 (경희대학교 교수)
자 문 위 원	김 덕 원 (연세대학교 교수)	오 창 현 (고려대학교 교수)	허 경 무 (단국대학교 교수)
	서 일 흥 (한양대학교 교수)	오 승 록 (단국대학교 교수)	정 길 도 (전북대학교 교수)
부 회 장	김 영 철 (군산대학교 교수)	남 기 창 (연세대학교 교수)	
감 사	김 영 진 (생산기술연구원 박사)		

총무이사	권종원 (한국산업기술시험원 선임연구원)	김용태 (한경대학교 교수)	
재무이사	김준식 (KIST 박사)	최영진 (한양대학교 교수)	
학술이사	김용권 (건양대학교 교수)	박재홍 (서울대학교 교수)	서성규 (고려대학교 교수)
편집이사	김시호 (연세대학교 교수)	남기창 (연세대학교 교수)	이수열 (경희대학교 교수)
기획이사	김수찬 (한경대학교 교수)	이덕진 (군산대학교 교수)	최현택 (한국해양과학기술원 책임연구원)
사업이사	고낙용 (조선대학교 교수)	이경중 (연세대학교 교수)	이석재 (대학교구보건대학교 교수)
	주영복 (한국기술교육대학교 교수)		
산학연이사	강대희 (유도주 교수)	조영조 (한국전자통신연구원 책임연구원)	
홍보이사	김호철 (울지대학교 교수)	박재병 (전북대학교 교수)	유정봉 (공주대학교 교수)
	여희주 (대전대학교 교수)		
회원이사	변영재 (UNIST 교수)	이학성 (세종대학교 교수)	
연구회위원장	한수희 (포항공과대학교 교수) - 제어계측 연구회		
	이성준 (한양대학교 교수) - 회로및시스템 연구회		
	남기창 (연세대학교 교수) - 의용전자 및 생체공학 연구회		
	김규식 (서울시립대학교 교수) - 전력전자 연구회		
	조영조 (한국전자통신연구원 책임연구원) - 지능로봇 연구회		
	전순용 (동양대학교 교수) - 국방정보및제어 연구회		
	위재경 (송실대학교 교수) - 자동차전자 연구회		
	오창현 (고려대학교 교수) - 의료영상시스템 연구회		

### 산업전자소사이어티

회장	원영진 (부천대학교 교수)		
명예회장	김장권 (대림대학교 교수)	윤기방 (인천대학교 교수)	강창수 (유한대학교 교수)
	이원석 (동양미래대학교 교수)	이상희 (동서울대학교 교수)	남상엽 (국제대학교 교수)
자문위원	이상준 (수원과학기술대학교 교수)	김병화 (동원대학교 교수)	김용민 (충청대학교 교수)
감사	김영선 (대림대학교 교수)	조도현 (인하공업전문대학 교수)	
부회장	김동식 (인하공업전문대학 교수)	김태원 (상지영서대학교 교수)	동성수 (용인삼당대학교 교수)
	서춘원 (김포대학교 교수)	이병선 (김포대학교 교수)	이용구 (한림성심대학교 교수)
	한완옥 (여주대학교 교수)		
지부장	김윤석 (상지영서대학교 교수) - 강원지부		
	송도선 (우송정보대학교 교수) - 충청지부		
	김태용 (구미대학교 교수) - 영남지부		
	송정태 (동서울대학교 교수) - 경기지부		
	이종하 (전주비전대학교 교수) - 호남지부		
협동부회장	강현웅 (해츠온테크놀로지 대표)	곽은식 (㈜경봉 부사장)	김연길 (DB정보통신 부장)
	김영주 (웹스터㈜ 이사)	김응연 (㈜인티그라텍 대표)	김정석 (㈜ODA테크놀로지 대표이사)
	김종부 (인덕대학교 교수)	김종인 (LG엔시스 본부장)	김진선 (청파이엠티 대표)
	김창일 (아이지 대표)	김태형 (하이비스 대표)	남승우 (상학당 대표)
	박용후 (이디 대표)	박현찬 (나인플러스(EDA) 대표)	서영석 (판도라시스템 대표)
	성재용 (오픈링크시스템 대표)	송광현 (㈜복두전자 대표)	윤광선 (㈜LG전자 서비스 부장)
	이영준 (㈜비츠로시스 본부장)	임일권 (㈜에이시스 상무)	장철 (엘지히다찌 전무)
	장대현 ((주)지에스비텍 상무)	진수준 (한백전자 대표)	최영일 (조선이공대학교 교수)
이사	강동진 (한국정보통신기능대학교 교수)	강민구 (경기과학기술대학교 교수)	강희훈 (여주대학교 교수)
	고정환 (인하공업전문대학 교수)	곽철성 (재능대학교 교수)	구자일 (인하공업전문대학 교수)
	권오복 (국제대학교 교수)	권오상 (경기과학기술대학교 교수)	김경복 (경북대학교 교수)
	김덕수 (동양미래대학교 교수)	김덕영 (부천대학교 교수)	김상범 (인천폴리텍대학 교수)
	김선태 (직업능력개발원 박사)	김영로 (명지전문대학 교수)	김영준 (인하공업전문대학 교수)
	김은원 (대림대학교 교수)	김현 (부천대학교 교수)	문현욱 (동원대학교 교수)
	박중우 (재능대학교 교수)	박진홍 (혜전대학교 교수)	방경호 (명지전문대학 교수)
	방극준 (인덕대학교 교수)	배효관 (동원대학교 교수)	백승철 (우송정보대학교 교수)
	변상준 (대덕대학교 교수)	سه해경 (한양여자대학교 교수)	성홍석 (부천대학교 교수)
	신진섭 (경민대학교 교수)	신용조 (상지영서대학교 교수)	신철기 (부천대학교 교수)
	심완보 (충청대학교 교수)	안성수 (명지전문대학 교수)	안태원 (동양미래대학교 교수)
	엄우용 (인하공업전문대학 교수)	오태명 (명지전문대학 교수)	윤승림 (인하공업전문대학 교수)
	우찬일 (서일대학교 교수)	이동영 (명지전문대학 교수)	이문구 (김포대학교 교수)
	이상철 (재능대학교 교수)	이승우 (동원대학교 교수)	이시현 (동서울대학교 교수)
	이정석 (인하공업전문대학 교수)	이중성 (부천대학교 교수)	이태동 (국제대학교 교수)
	이종근 (부천대학교 교수)	장기동 (동양미래대학교 교수)	장성석 (영진전문대학 교수)
	정석재 (영진전문대학 교수)	정환익 (경북대학교 교수)	조정환 (김포대학교 교수)
	주진화 (오산대학교 교수)	최선정 (국제대학교 교수)	최의선 (폴리텍아산캠퍼스 교수)
	최현식 (충북보건과학대학교 교수)	황수철 (인하공업전문대학 교수)	허윤석 (충청대학교 교수)
협동이사	강현석 (로보웰 코리아 대표)	김민준 (씨만텍 부장)	김세종 (SJ정보통신 이사)
	김순식 (㈜청파이엠티 부장)	김현성 (DB정보통신 부장)	박근수 (지에스비텍 부장)
	서봉상 (올포랜드 이사)	송치봉 (웨이비스 이사)	오승훈 (LGCNS 과장)
	오재권 (콤팩시스템 이사)	유성철 (LG히타치 차장)	이재준 (한백전자 부장)
	이현성 (㈜프로랩 팀장)	조한일 (투데이게이트 이사)	한상우 (㈜인티그라텍 과장)

제20대 평의원 명단

- |                            |                         |                         |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 강 동 옥 (국민대학교 교수)           | 강 문 식 (강릉원주대학교 교수)      | 강 민 제 (제주대학교 교수)        |
| 강 성 호 (연세대학교 교수)           | 강 의 성 (순천대학교 교수)        | 강 진 구 (인하대학교 교수)        |
| 강 창 수 (유한대학교 교수)           | 강 훈 (중앙대학교 교수)          | 고 성 제 (고려대학교 교수)        |
| 고 요 환 (SK하이닉스 고문)          | 공 배 선 (성균관대학교 교수)       | 공 준 진 (삼성전자 마스터)        |
| 공 진 흥 (광운대학교 교수)           | 곽 우 영 (현대자동차그룹 부사장)     | 구 경 현 (인천대학교 교수)        |
| 구 용 서 (단국대학교 교수)           | 구 원 모 (전자신문사 대표이사)      | 구 자 일 (인하공업전문대학 교수)     |
| 권 기 룡 (부경대학교 교수)           | 권 순 철 (KT ENS 대표이사)     | 권 오 경 (한양대학교 교수)        |
| 권 오 현 (삼성전자 부회장)           | 권 중 기 (한국전자통신연구원 책임연구원) | 권 중 원 (한국산업기술시험원 선임연구원) |
| 권 혁 인 (중앙대학교 교수)           | 권 호 열 (강원대학교 교수)        | 김 경 연 (제주대학교 교수)        |
| 김 경 원 (전자부품연구원 원장)         | 김 규 식 (서울시립대학교 교수)      | 김 기 호 (삼성전자 부사장)        |
| 김 달 수 (TI 대표이사)            | 김 대 환 (국민대학교 교수)        | 김 덕 규 (경북대학교 교수)        |
| 김 덕 진 (고려대학교 명예교수)         | 김 도 현 (국민대학교 명예교수)      | 김 도 현 (제주대학교 교수)        |
| 김 동 식 (인하공업전문대학 교수)        | 김 문 철 (한국과학기술원 교수)      | 김 보 은 (라운텍 사장)          |
| 김 봉 태 (한국전자통신연구원 책임연구원)    | 김 부 균 (숭실대학교 교수)        | 김 상 태 (한국산업기술평가관리원 단장)  |
| 김 선 용 (건국대학교 교수)           | 김 선 옥 (고려대학교 교수)        | 김 성 대 (한국과학기술원 교수)      |
| 김 성 진 (경남대학교 교수)           | 김 소 영 (성균관대학교 교수)       | 김 수 원 (고려대학교 교수)        |
| 김 수 중 (경북대학교 명예교수)         | 김 수 찬 (한경대학교 교수)        | 김 수 환 (서울대학교 교수)        |
| 김 승 천 (한성대학교 교수)           | 김 시 원 (삼성전자 부장)         | 김 시 호 (연세대학교 교수)        |
| 김 영 권 ((전)응글 후레정보통신대학교 총장) | 김 영 선 (대림대학교 교수)        | 김 영 철 (군산대학교 교수)        |
| 김 영 환 (포항공과대학교 교수)         | 김 용 민 (충청대학교 교수)        | 김 용 탁 (SK하이닉스 부사장)      |
| 김 원 중 (한국전자통신연구원 책임연구원)    | 김 원 하 (경희대학교 교수)        | 김 은 원 (대림대학교 교수)        |
| 김 장 권 (대림대학교 교수)           | 김 재 석 (연세대학교 교수)        | 김 재 하 (서울대학교 교수)        |
| 김 재 현 (아주대학교 교수)           | 김 재 희 (연세대학교 교수)        | 김 정 삼 (영남이공대학교 교수)      |
| 김 정 식 (대덕전자 회장)            | 김 정 태 (이화여자대학교 교수)      | 김 정 호 (이화여자대학교 교수)      |
| 김 중 대 (한국전자통신연구원 소장)       | 김 중 오 (동양미래대학교 교수)      | 김 종 옥 (고려대학교 교수)        |
| 김 주 신 (만도 사장)              | 김 주 완 (동양미래대학교 교수)      | 김 진 선 (SK컨티넨탈이모션 대표이사)  |
| 김 진 영 (광운대학교 교수)           | 김 창 수 (고려대학교 교수)        | 김 창 용 (삼성전자 부사장)        |
| 김 창 익 (한국과학기술원 교수)         | 김 창 현 (삼성전기 부사장)        | 김 철 동 (세원텔레텍 대표이사)      |
| 김 철 우 (고려대학교 교수)           | 김 태 욱 (연세대학교 교수)        | 김 태 원 (상지영서대학교 교수)      |
| 김 태 진 (더즈텍 사장)             | 김 태 찬 (고려대학교 박사)        | 김 현 (부천대학교 교수)          |
| 김 현 철 (울산대학교 교수)           | 김 흥 국 (광주과학기술원 교수)      | 김 훈 (인천대학교 교수)          |
| 김 희 석 (청주대학교 교수)           | 김 희 식 (서울시립대학교 교수)      | 나 정 응 (한국과학기술원 명예교수)    |
| 남 상 업 (국제대학교 교수)           | 남 상 욱 (서울대학교 교수)        | 노 용 만 (한국과학기술원 교수)      |
| 노 원 우 (연세대학교 교수)           | 노 정 진 (한양대학교 교수)        | 노 태 문 (한국전자통신연구원 실장)    |
| 동 성 수 (음원숭담대학교 교수)         | 류 수 정 (삼성종합기술원 마스터)     | 문 영 식 (한양대학교 교수)        |
| 민 경 식 (국민대학교 교수)           | 민 경 오 (LG전자 전무)         | 박 규 태 (연세대학교 명예교수)      |
| 박 길 흠 (경북대학교 교수)           | 박 래 흥 (서강대학교 교수)        | 박 병 국 (서울대학교 교수)        |
| 박 병 하 (삼성전자 전무)            | 박 성 욱 (SK하이닉스 대표이사)     | 박 성 한 (한양대학교 명예교수)      |
| 박 세 근 (인하대학교 교수)           | 박 인 규 (인하대학교 교수)        | 박 정 욱 (연세대학교 교수)        |
| 박 종 일 (한양대학교 교수)           | 박 진 욱 (육군사관학교 명예교수)     | 박 찬 구 (LS파워세미텍 대표이사)    |
| 박 춘 명 (한국교통대학교 교수)         | 박 향 구 (소암시스템 회장)        | 박 현 숙 (동아방송대학교 교수)      |
| 박 현 욱 (한국과학기술원 교수)         | 박 현 창 (동국대학교 교수)        | 박 형 무 (동국대학교 교수)        |
| 박 흥 준 (포항공과대학교 교수)         | 방 극 준 (인덕대학교 교수)        | 방 성 일 (단국대학교 교수)        |
| 백 광 현 (중앙대학교 교수)           | 백 만 기 (김&장법률사무소 변리사)    | 백 준 기 (중앙대학교 교수)        |
| 백 흥 기 (전북대학교 교수)           | 범 진 욱 (서강대학교 교수)        | 변 중 남 (한국과학기술원 명예교수)    |
| 서 경 학 (한국연구재단 단장)          | 서 승 우 (서울대학교 교수)        | 서 일 흥 (한양대학교 교수)        |
| 서 정 욱 ((전) 과학기술부 장관)       | 서 철 현 (숭실대학교 교수)        | 서 춘 원 (김포대학교 교수)        |
| 선우명훈 (아주대학교 교수)            | 성 광 모 (서울대학교 명예교수)      | 성 해 경 (한양여자대학교 교수)      |
| 송 기 환 (삼성전자 수석연구원)         | 송 문 섭 (엠세븐시스템 사장)       | 송 민 규 (동국대학교 교수)        |
| 송 병 철 (인하대학교 교수)           | 송 상 현 (중앙대학교 교수)        | 송 창 현 (네이버 이사)          |
| 송 흥 업 (연세대학교 교수)           | 신 오 순 (숭실대학교 교수)        | 신 요 안 (숭실대학교 교수)        |
| 신 종 균 (삼성전자 사장)            | 심 동 규 (광운대학교 교수)        | 심 정 연 (강남대학교 교수)        |
| 안 병 구 (홍익대학교 교수)           | 안 성 수 (명지전문대학 교수)       | 안 승 권 (LG전자 사장)         |
| 안 태 원 (동양미래대학교 교수)         | 안 현 식 (동명대학교 교수)        | 양 웅 철 (현대자동차그룹 부회장)     |
| 엄 낙 응 (한국전자통신연구원 부장)       | 엄 일 규 (부산대학교 교수)        | 여 상 덕 (LG디스플레이 부사장)     |
| 오 상 록 (한국과학기술연구원 책임연구원)    | 오 승 록 (단국대학교 교수)        | 오 승 준 (광운대학교 교수)        |
| 오 은 미 (삼성전자 마스터)           | 오 창 현 (고려대학교 교수)        | 원 영 진 (부천대학교 교수)        |
| 원 치 선 (동국대학교 교수)           | 위 재 경 (숭실대학교 교수)        | 유 경 동 (SK하이닉스 상무)       |
| 유 명 식 (숭실대학교 교수)           | 유 창 동 (한국과학기술원 교수)      | 유 창 식 (한양대학교 교수)        |

유 현 규 (한국전자통신연구원 책임연구원)	윤 광 섭 (인하대학교 교수)	윤 기 방 (인천대학교 교수)
윤 상 화 (에스넷시스템 대표이사)	윤 석 현 (단국대학교 교수)	윤 성 로 (서울대학교 교수)
윤 영 권 (삼성전자 마스터)	윤 일 구 (연세대학교 교수)	윤 종 용 (삼성전자 비상임고문)
이 강 윤 (성균관대학교 교수)	이 강 현 (조선대학교 교수)	이 광 업 (서경대학교 교수)
이 규 대 (공주대학교 교수)	이 기 섭 (한국산업기술평가관리원 원장)	이 기 영 (울지대학교 교수)
이 문 구 (김포대학교 교수)	이 문 기 ((전) 연세대학교 교수)	이 병 선 (김포대학교 교수)
이 상 준 (중앙대학교 교수)	이 상 설 (한양대학교 명예교수)	이 상 윤 (연세대학교 교수)
이 상 준 (수원과학대학교 교수)	이 상 흥 (정보통신기술진흥센터 센터장)	이 상 회 (동서대학교 교수)
이 승 규 (한국폴리텍6대학 교수)	이 승 준 (이화여자대학교 교수)	이 승 훈 (서강대학교 교수)
이 영 렬 (세종대학교 교수)	이 용 구 (한림성심대학교 교수)	이 용 규 (삼성전자 수석연구원)
이 용 식 (연세대학교 교수)	이 원 석 (동양미래대학교 교수)	이 윤 식 (전자부품연구원 수석연구원)
이 윤 우 (삼성전자 상임고문)	이 재 진 (숭실대학교 교수)	이 재 흥 (서울대학교 교수)
이 재 훈 (동국대학교 교수)	이 재 훈 (유정시스템 사장)	이 진 구 (동국대학교 석좌교수)
이 천 희 ((전)청주대학교 교수)	이 충 용 (연세대학교 교수)	이 충 웅 (서울대학교 명예교수)
이 태 원 (고려대학교 명예교수)	이 태 원 (퀵코리아 부사장)	이 필 중 (포항공과대학교 교수)
이 한 호 (인하대학교 교수)	이 혁 재 (서울대학교 교수)	이 혁 재 (한국과학기술원 명예교수)
이 형 호 (한국전자통신연구원 전문위원)	이 호 경 (홍익대학교 교수)	이 흥 노 (광주과학기술원 교수)
이 희 국 (LG기술협의회 사장)	이 희 덕 (충남대학교 교수)	인 치 호 (세명대학교 교수)
임 병 민 (Newmatrix(HongKong)co.,Ltd Board)	임 신 일 (서경대학교 교수)	임 익 현 (전력연구원 처장)
임 재 열 (한국기술교육대학교 교수)	임 제 탁 (한양대학교 명예교수)	임 차 식 (한국정보통신기술협회 회장)
임 해 진 (강원대학교 교수)	임 형 규 (SK텔레콤 부회장)	임 해 숙 (이화여자대학교 교수)
장 만 호 (이노피아테크 대표이사)	장은 영 (공주대학교 교수)	장 태 규 (중앙대학교 교수)
전 경 훈 (포항공과대학교 교수)	전 국 진 (서울대학교 교수)	전 병 우 (성균관대학교 교수)
전 영 현 (삼성전자 부사장)	전 훈 태 (중앙대학교 교수)	정 교 일 (한국전자통신연구원 책임연구원)
정 길 도 (전북대학교 교수)	정 승 원 (동국대학교 교수)	정 용 진 (광운대학교 교수)
정 원 영 (동부하이텍 상무)	정의 영 (연세대학교 교수)	정 재 훈 (단국대학교 교수)
정 정 화 (한양대학교 교수)	정 중 문 (연세대학교 교수)	정 준 (솔리드 대표이사)
정 진 균 (전북대학교 교수)	정 진 용 (인하대학교 교수)	정 한 옥 (ITS 대표이사)
정 향 근 (전북대학교 교수)	조 경 록 (충북대학교 교수)	조 경 순 (한국외국어대학교 교수)
조 경 주 (원광대학교 교수)	조 남 익 (서울대학교 교수)	조 도 현 (인하공업전문대학 교수)
조 민 호 (고려대학교 교수)	조 상 복 (울산대학교 교수)	조 성 현 (한양대학교 교수)
조 성 환 (한국과학기술원 교수)	조 영 민 (스카이크로스코리아 대표이사)	조 영 조 (한국전자통신연구원 책임연구원)
조 의 식 (가천대학교 교수)	조 재 문 (삼성전자 전무)	조 중 휘 (인천대학교 교수)
주 영 복 (한국기술교육대학교 교수)	진 성 아 (성결대학교 교수)	진 수 춘 (한백전자 대표이사)
진 훈 (성균관대학교 교수)	천 경 준 (씨젠 회장)	최 강 선 (한국기술교육대학교 교수)
최 기 영 (서울대학교 교수)	최 병 호 (전자부품연구원 센터장)	최 성 현 (서울대학교 교수)
최 승 원 (한양대학교 교수)	최 승 중 (LG전자 전무)	최 영 규 (한국교통대학교 교수)
최 용 수 (성결대학교 교수)	최 우 영 (연세대학교 교수)	최 정 아 (삼성전자 전무)
최 조 천 (목포해양대 교수)	최 중 찬 (전자부품연구원 본부장)	최 중 환 (대덕대학교 교수)
최 준 림 (경북대학교 교수)	최 중 호 (서울시립대학교 교수)	최 진 성 (SK텔레콤 전무)
최 진 식 (한양대학교 교수)	최 천 원 (단국대학교 교수)	최 해 철 (한밭대학교 교수)
표 현 명 (KT 렌탈 사장)	하 영 호 (경북대학교 교수)	한 대 근 (실리콘웍스 대표이사)
한 동 석 (경북대학교 교수)	함 철 희 (삼성전자 마스터)	허 경 무 (단국대학교 교수)
허 비 또 (LG유플러스 상무)	허 염 (실리콘마이터스 사장)	허 영 (한국전기연구원 본부장)
허 준 (고려대학교 교수)	호 요 성 (광주과학기술원 교수)	홍 국 태 (LG전자 상무)
홍 기 상 (포항공과대학교 교수)	홍 대 식 (연세대학교 교수)	홍 대 형 (서강대학교 교수)
홍 민 철 (숭실대학교 교수)	홍 성 철 (한국과학기술원 교수)	홍 승 흥 (인하대학교 명예교수)
홍 용택 (서울대학교 교수)	홍 유 식 (상지대학교 교수)	황 선 영 (서강대학교 교수)
황 승 구 (한국전자통신연구원 소장)	황 승 호 (현대자동차 부사장)	황 인 철 (강원대학교 교수)

## 사무국 직원 명단

송기원 국장 - 업무총괄, 기획, 자문, 산학연, 선거  
 이안순 부장 - 재무(분회/소사이어티/연구회), 회원, 포상, 임원관련  
 배지영 차장 - 국내학술대회, 총무, JSTS, 시스템 및 제어/신호처리(소)  
 배기동 차장 - 사업, 표준화, 반도체/컴퓨터/산업전자(소), 용역  
 변은정 과장 - 국문논문, 학회지  
 김천일 과장 - 정보화, 교육/홍보, 홈페이지, 통신(소)  
 이수진 사원 - 국제학술대회, SPC, 국제협력

# 학회소식

## 제 1차 전체이사회 회의

제1차 전체이사회가 1월 6일(화) 오후 5시 학회 회의실에서 개최되었다. 이번 회의 결과는 다음과 같다.

### 1. 성원 보고

- 17명이 참석하여 성원되었음

### 2. 위원회 보고

- SPC : 2014년 12월 5편 부족분을 채워 2015 SCOPUS 신청 가능하고 신청 예정
- 회지편집 : 영문 학회지를 일 년에 1-2회 발행 계획  
12개의 Special Issue를 계획하고 있음  
현재 소사이어티 별로 할당하여 요청한 상태임
- 기획 : 수석부회장 단독 출마인 경우 조치사항 논의 중
- 학술(하계) : 개최시기 (2015.6.21-23)에 대하여 재논의 필요  
산업전자소사이어티 회원의 경우 보강 주간이므로 참석에 어려움이 있음
- 학술(추계) : 추계 학술대회 1박 2일 일정으로 확대 운영안 논의 중
- 국제 협력 : 중국 CIE 와의 협력 복원 노력으로 워크숍을 추진  
할 계획이며 현재 칭화대 교수들을 초빙해 놓은 상태임
- 사업 : 고등학생, 학부생을 대상으로 한 워크샵 구상 중

### 3. 소사이어티 보고

### 4. 심의사항

- 신규회원 가입을 승인함
- 인사위원회, 재정위원회, 선거관리위원회 위원 선정을 원안대로 승인함



제1차 전체이사회

## 특별회원 및 유관기관 방문

학회 회장단은 특별회원 및 유관기관을 방문하여 2014년도 추진현황과 2015년도 사업계획을 보고하고 상호 협력방안을 모색하였다.



한국산업기술평가관리원(이기섭 원장) 방문 - 1월 19일



SK하이닉스(박성욱 사장) 방문 - 1월 19일



실리콘마이터스(허 염 사장) 방문 - 1월 23일



현대자동차(박동일 센터장) 방문 - 1월 21일



만도 중앙연구소(김경수 사장) 방문 - 1월 23일



LG기술협의회(이희국 사장) 방문 - 1월 23일



실리콘웍스(한대근 사장) 방문 - 1월 26일



전자부품연구원(김경원 원장) 방문 - 1월 23일



삼성전자(김창용 연구소장) 방문 - 1월 27일

## 제 4회 영상이해연구회 워크샵 개최

영상이해연구회(김창익 위원장, KAIST)는 1월 22일(목)~23일(금) 광주과학기술원 오룡관에서 “제 4회 영상이해연구회 워크샵”을 개최하였다. 이번 워크샵에서는 Sparse Representation 및 영상 복원 및 개선 등에 관한 심도있는 강의를 통해 참가자들에게 관련 기술을 이해하는 데 많은 도움이 될 수 있었다.



제 4회 영상이해연구회 워크샵 참가자 기념 촬영

## ICEIC 2015 개최

ICEIC는 우리 학회에서 격년마다 아시아 및 유라시아 지역에서 우리나라 전자/IT 학문과 산업을 전파할 목적으로 개최해 오다, 2012년부터 IEEE CE Society의 Co-sponsorship을 받아 국제 학술대회로 육성하고자 매년 개최하고 있다.

금년에는 1월 28일(수)~1월 31일(토) 싱가포르 하얏트 호텔에서 12개국 약 300여편의 논문이 발표된 가운데 개최되었다. 박병국 학회장이 General Chair, 서승우 부회장이 Organization Chair로 참여하였다.

첫째 날 1월 28일(수) Welcome Reception에는 약 50명이 참가하였으며, 둘째 날 1월 29일(목)에는 서울대학교 서종모 교수, 싱가포르 Institute for Infocomm Research 정진곤 박사의 튜토리얼이 있은 후, 개회식이 진행 되었다. 개회식에는 박병국 회장의 환영사에 이어 Nanyang Technological University 윤호섭 교수, Cisco의 Scott Brown 부사장의 Plenary Talk가 진행되었다. 오후에는 IEEE CE Society의 Sharon Peng 회장이 IEEE에 대한 홍보를 진행하며 네트워킹의 장을 제공하였다.

또한, 셋째 날 1월 30일(금)에는 Nanyang Technological University 윤용진 교수, 김태형 교수의 튜토리얼에 이어 구두 및 포스터 논문 발표가 진행 되었고, 오후에는 NUS 아카펠라 그룹 공연과 함께 Conference Banquet이 성황리에 개최되었다. 마지막 날 1월 31일(토)에는 ICEIC 2015 Group Discussion and Wrap-up이 진행되어 학문 및 기술교류의 의미 있는 장이 될 수 있었다.



Welcome Reception 전경



박병국 회장 인사말 (개회식)



Nanyang Technological University 윤호섭 교수 (Plenary Talk)



시스코 Scott Brown 부사장 (Plenary Talk)

## 신규회원 가입현황 (2015년 1월 20일 - 2015년 2월 9일)



주요 참가자(초청인사, 조직위원 및 명예회장) 기념촬영

### 정회원

구본화(고려대학교), 남의원(경북대학교), 이태환(경희대학교), 정웅경(경희대학교), 조선일(국방과학연구소), 김기은(세종사이버대학교), 윤석진(서울시립대학교), 신항식(전남대학교), 이재현(제이앤알랩(주)), 김경주(STX엔진), 이길호(STX엔진), 이일행(STX엔진), 황서영(STX엔진)

이상 13명

### 평생회원

김형원(충북대학교)

이상 1명

### 학생회원

이지현(경북대학교), 윤재석(경희대학교), 김대훈(고려대학교), 박재현(고려대학교), 최호석(광운대학교), 정현도(국민대학교), 윤설준(단국대학교), 박성호(대구대학교), 박 균(상명대학교), 박수영(이화여자대학교), 이고은(이화여자대학교), 김광현(전남대학교), 김미리(전남대학교), 손제원(전남대학교), 김용진(전북대학교), 박광옥(창원대학교)

이상 16명



IEEE CE Society 설명회 참가자 기념촬영



Conference Banquet 전경

# 학회일지

www.theieie.org

THE INSTITUTE OF  
ELECTRONICS AND INFORMATION  
ENGINEERS

2015년 1월 21일 ~ 2015년 2월 13일

## 1. 회의 개최

회의 명칭	일시	장소	주요 안건
제1차 컴퓨터(소) 이사회	1.22	학회 회의실	- 임원 상건례 및 ICGHIT 2015 국제학술대회 준비 논의 외
제2차 산업전자(소) 이사회	2.10	학회 회의실	- 춘계학술대회/산업전자세미나 (3월 개최) 준비 사항 논의
제 1차 사업위원회의	2.11	학회 회의실	- 위원 상건례 및 2015년도 사업계획 수립 논의

## 2. 행사 개최

행사 명칭	일시	장소	주관
제4회 영상이해연구회 워크샵	1.22-23	광주과학기술원	신호처리소사이어티
Machine Learning Tutorial 2015	1.27-30	KAIST	분회
ICEIC 2015	1.28-31	싱가폴 하얏트 호텔	국제협력위원회
개방형 M2M · IoT 표준 기술 세미나	2.11	양재동 엘타워	M2M/IoT연구회

## 바이오 신호 측정 및 처리



박철수 편집위원  
(광운대학교)

최근 IoT (Internet of Things) 분야에 대한 관심과 개발이 매우 활발히 진행되면서, 특히 우리 몸의 생체 신호를 이용한 IT장비들에 대한 기술 연구가 많이 이루어지고 있다. 바이오 관련 IoT 기술은 주로 생체 신호를 측정하는 부분에서부터 이를 적절히 처리하고 해석하여 IT 장비들과

상호 연동하게 할 수 있는 기술이 매우 중요하다. 본 특집호는 이러한 바이오 IoT 시스템 개발을 위한 센서 및 신호 처리 기술 개발에 대한 전문가들의 논문 5편으로 구성되었다.

첫째, “지속적인 뇌파 측정을 위한 센서 개발 (이승민 외)”에서는 생체 신호 중 뇌에서 나오는 전기적 신호인 뇌파를 일상생활 중 불편함 없이 지속적이고 효율적으로 측정하는 기술에 대해 소개하였다. 둘째, “뇌파 분석을 위한 Empirical Mode Decomposition Algorithm (박철수)”은 비선형성과 비정상성을 갖는 뇌파 및 생체신호의

주파수 성분을 효율적이고 정확히 추출해 내는 방법에 대해 소개하였다. 셋째, “생체 신호에서 나타나는 동기역학적 특성 연구 (김상경 외)”는 우리 몸의 상태 변화에 따른 다양한 생체 신호들 간의 동기화가 어떻게 발생하는지 그리고 이를 모니터링하기 위한 다양한 방법들을 제시하였다. 넷째, “대규모 데이터 기반의 뇌 신경망 (Brain Network) 연구 동향 (김창업)”에서는 최근 유럽 및 미국의 대규모 뇌신경망 프로젝트에 맞추어 관련 분야의 동향 및 뇌신경망 연구를 위한 측정 및 분석 방법에 대해 소개하였다. 끝으로, “Persistent Homology를 이용한 뇌 신경망 분석 및 바이오마커 연구 (유재준 외)”는 뇌신경망 연구의 일환으로 Persistent Homology라는 분석 방법에 대해서 소개하고 있다.

본 특집호에 대한 많은 관심으로 바쁘신 일정 중 소중한 시간과 체계적으로 정리된 귀한 연구 내용들을 제공해주신 집필진 여러분께 진심으로 감사드리고, 생체 신호에 입문하거나 관심이 많은 독자들에게 본 특집호가 유용한 정보를 제공하기를 바란다. 이를 통해 대한민국 IoT 산업의 발전과 바이오 산업의 경쟁력 강화에 기여가 되기를 바란다.

# 지속적인 뇌파 측정을 위한 센서 개발

## I. 서론

뇌파는 간질, 코마, 중양 등 다양한 신경학적 질환을 검출하여 뇌 활동에 대한 임상적 정보를 제공하는 것 외에 생각과 의도를 읽는 연구가 최근에 굉장히 활발하게 진행이 되어왔다. 예를 들어 사지가 마비된 환자의 뇌파를 읽어서 환자의 생각과 의사를 알 수 있다거나, 거동이 불편한 사람의 움직임에 뇌파를 통해 보정 혹은 제어해 주는 등 최대한 정상 생활을 가능하도록 해주고 있다.<sup>[1-5]</sup> 이 외에도 바이오/뉴로 피드백을 통하여 정신 건강 상태에 대한 정보를 얻어 내고, 삶의 질을 높일 수 있도록 적절한 환경 혹은 아이템 등을 추천하여 주는 등 보다 나은 삶의 질을 만들기 위한 수많은 노력이 이루어져 왔다.<sup>[6-9]</sup> 그러한 노력의 결과 최근에는 뇌와 뇌를 직접적으로 연결하여 텔레파시를 구현하였고, 인터넷과 같은 원거리 네트워크를 통하여 먼 거리에서도 두 사람의 뇌와 뇌를 통한 커뮤니케이션도 성공을 하였으며, 미래에도 그 발전 가능성과 유용성은 무궁무진하다.<sup>[10-11]</sup> 대부분의 이러한 연구는 바이오 신호처리 기법의 발달과 함께 발전을 해왔고, 지금도 많은 석학들이 개발을 하고 있다. 이러한 눈부신 바이오 신호처리 기법의 발달과 더불어 뇌파를 획득하는 센서 역시 새로운 전환과 도약이 필요로 해졌다. 현재 사용되고 있는 뇌파 측정용 센서는 두피 위에 아크릴산(acrylic acid) 등을 이용하여 붙이고, 전도성 물질과 혼합한다든지, 벨트 혹은 캡 등을 머리에 씌우고 측정 부위에 전도성 젤을 집어넣어 뇌파를 획득하는데, 이러한 방식의 뇌파 획득 센서의 가장 큰 문제는 지속적으로 뇌파를 측정할 수가 없다는 점이다. 우리의 피부는 체내와 외부 환경 사이에서 가스를 교환하기도 하고, 노폐물을 배출하기도 해야하는데, 두피에 밀착하는 방식은 이를 방해하여 피부를 상하게 한다. 또한 생체적합성 물질이 아닐 경우 피부에서 거부반응이 일어나서 피부 트러블이 일



이승민  
고려대학교 생체의공학과



이상훈  
고려대학교 생체의공학과

어나는 문제점을 야기해 왔다. 따라서 뇌파를 이용하는 많은 신호처리의 발달 외에도 이를 현실성 있게 해줄 수 있는 뇌파용 센서의 개발이 필요하다.

지속적으로 사용할 수 있는 뇌파 센서는 몇 가지의 요건을 만족시켜야 하는데, 우선 두피에서 거부반응이 일어나지 않도록 해야 한다. 측정하는 것이 바이오 신호이므로, 센서와 인체와 접촉이 되었을 때 피부의 건강상태를 고려하여야만 지속적으로 사용을 할 수가 있다. 만일 이 조건을 만족시키지 못한 경우 피부에서는 발진이 일어나기도 하고, 죽은 세포들이 뇌파 신호를 왜곡시킨다. 신호의 질 역시 매우 우수하여야 하는데, 뇌파는 다른 생체신호와는 다르게 마이크로 스케일로 그 세기는 굉장히 미약해서 측정하기가 굉장히 까다롭다. 또한 뇌의 부위에 따라서 측정하고자 하는 신호들이 서로 다르게 분포가 되어 있어서 뇌파 센서는 그 크기가 최대한 작아야만 공간 정보를 많이 얻을 수가 있다. 따라서 노이즈를 최소화 할 수 있으면서도 크기가 작은 센서를 필요로 한다. 생체와 전기적 장치를 연결을 하여 측정하는 의료 장비의 성격상 전기적 안전성 역시 보장하여야 하며, 센서를 두피에 붙였을 때 센서가 잘 보이지 않아야한다. 머리에 무엇인가를 붙인 상태로 일상생활을 하는 것은 무리인데, 미용상의 이유와 남의 시선에 부담을 느끼게 되기 때문이다. 마지막으로 뇌파는 두피에서 측정을 하게 되는데, 우리의 머리는 머리카락으로 덮여있어서 이를 극복하여야 한다.

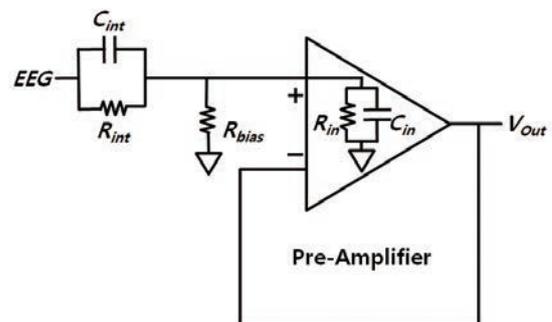
지속적으로 측정이 가능한 뇌파 센서는 이처럼 까다롭고, 극복해야할 사항들이 상당하다. 따라서 2장에서는 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 비접촉 뇌파 센서의 이론과 특징을 설명 하고 비접촉 방식으로부터 야기되는 문제점과 이를 극복할 수 있는 방법들에 대해 이야기한다. 그리고 3장에서는 이러한 해결책을 이용하여 지속적으로 측정이 가능한 비접촉식 뇌파 센서의 개발 예시를 보이고, 4장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시하도록 한다.

**지속적으로 뇌파 센서를 사용하기 위해서는 두피에서 거부반응이 일어나지 않아야 하고 신호의 질이 매우 우수해야 한다.**

## II. 비접촉식 센서

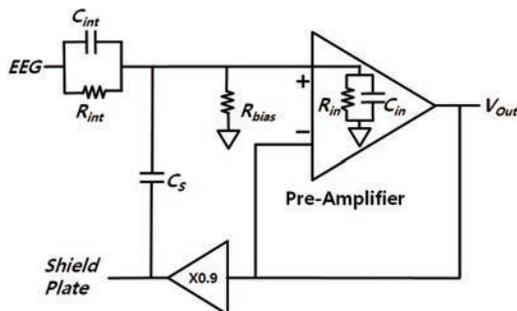
### 1. 비접촉식 센서의 원리

비접촉 센서는 기본적으로는 측정하고자 하는 곳의 전위와 센싱하는 부분을 전기적으로 개방한 상태에서 측정을 한다. 즉, 직접적인 전하의 흐름이 아니고, 유도되는 전류를 이용하여 측정을 하는 것이 일반적인데, 전류를 유도하기 위해서 커패시티브한 방식을 주로 사용한다. 커패시티브한 센서는 센싱부위와 센서 사이의 인터페이스를 커패시터로 형성시키는데, 전위의 변화가 전류를 유도시키는 원리를 이용하는 것이다. 따라서 센서의 넓이를 크게 하고 우리의 몸과 센서를 두 개의 전도성 판(plate)으로 생각을 하게 되면 두피의 전위를 커패시티브하게 측정할 수가 있다. <그림 1>에는 이러한 원리를 이용한 비접촉 센서의 블록 다이어그램을 표시하였다. 여기서  $C_{int}$ 와  $R_{int}$ 는 두피와 센서 사이의 커패시턴스와 저항 값을 의미한다. 대부분의 전기적 인터페이스는 이와 같이 병렬로 연결된 저항과 커패시턴스를 통하여 그 전기적 성질을 구할 수 있는데, 센서의 넓이가 충분히 크고, 전기적 차폐가 제대로 되어있다면 보통의 경우 저항으로부터 유발된 임피던스가 커패시턴스의 임피던스 보다 훨씬 큰 값을 가진다.  $C_{int}$ 와  $R_{int}$ 에 의해서 생기는 임피던스는 보통 그 값이 매우 크므로, EEG를 정확하게 측정하기 위해서는 인터페이스에 의해 유도되는 임피던스를 극복할 수 있는 방법이 필요로 하다. 대표적으로는 출력단과 -입력단을 short시키고 +입력단에 신호



<그림 1> 뇌파 측정을 위한 비접촉 센서의 블록 다이어그램

를 넣는 방식으로 voltage follower 혹은 buffer로 불리는 pre-amplifier를 사용하는데, 그 이유는 +입력단에 들어온 전위가 그대로 출력단으로 나오면서, 입력 임피던스가 매우 높은 장점을 살릴 수 있기 때문이다. <그림 1>에서는  $R_{in}$ 과  $C_{in}$ 이 pre-amplifier의 입력 임피던스를 의미하는데, 보통 OP amplifier의 입력 임피던스는 매우 크므로, +입력단에는 EEG와 거의 동일한 신호가 걸리게 되고, 결과적으로는 EEG가  $V_{out}$ 과 거의 일치하게 나오게 된다. 하지만, 이렇게 설계된 센서는 너무 민감하여 아주 작은 전하의 흐름에도 출력신호가 매우 크게 요동을 치게 되어서 baseline에 EEG가 분포되지 않아 측정이 어렵게 된다. 따라서 이를 보정하기 위해 바이어스 저항 ( $R_{bias}$ )을 +입력단과 그라운드 사이에 걸어주어서 신호를 baseline 근처에서 움직일 수 있도록 할 수 있다. 마지막으로 높은 입력 임피던스를 가지는 센서는 측정하고자 하는 신호 외에 다른 외부의 노이즈 역시 같이 센싱을 하게 되어서 외부와의 전기적 차폐(shielding)를 시켜주어야 한다. 보통의 경우 차폐를 위해서 전도성을 가지는 물질을 이용, 센서 주변부를 막고 접지와 연결을 시켜주지만 센서가 작아질 경우 입력단이 워낙 민감하고 pre-amplifier의 입력 임피던스가 매우 높으므로 기생 커패시턴스가 생기게 된다. 이는 접지와 입력 신호 사이에 생기게 되므로, 입력 임피던스를 낮추는 결과를 초래하게 되고, 일종의 저역통과 필터가 되므로 신호의 크기가 심하게 줄어들거나 왜곡이 된다. 따라서 boot-strapping방식의 차폐를 하게 되는데, 이는 기생 커패시턴스의 양단의 전위를 강제로 동일하게 만들어 줌으로써 그 효과를 최소화 시키는 방법이



<그림 2> Boot-strapping을 이용한 전기적 차폐를 가지는 비접촉 센서의 블록다이아그램

다. <그림 2>에서처럼 pre-amplifier의 출력단을 전도성 차폐판 (shielding plate)에 연결을 해주면 기생 커패시턴스 ( $C_s$ )에 의해 야기되는 효과가 없어지게 되는데, pre-amplifier에서 positive feedback이 형성이 되므로 안정성을 위하여 10% 정도 감소하여 기생 커패시턴스에 연결을 한다.

## 2. 비접촉식 센서의 특징

비접촉식 센서는 크게 두 가지 장점을 가지게 된다. 우선 인체와 센서 간에 전기적 연결이 전혀 없어진다는 점이다. 따라서 이 센서 혹은 센서와 연결된 시스템에서 야기될 수 있는 전지적 위험성을 원천적으로 방지할 수 있으며, 따라서 의료용 생체신호 측정 과정에서의 핵심 조건중의 하나인 안전성을 확보할 수 있다. 그리고 다른 하나는 센서가 반드시 피부에 붙어있을 필요가 없다는 것이다. 피부와 센서 사이에 공간이 확보가 된다면 피부는 외부와 가스교환을 하고 노폐물을 방출할 수 있으므로 피부 문제가 전혀 생기지 않게 된다. 하지만 피부와 센서 사이에 발생하는 높은 임피던스는 큰 단점을 야기하는데, 그중 가장 치명적인 것이 신호의 질이 높지 않다는 점이다. 외부에서의 노이즈는 센서 곳곳에 전류를 유도하는데, 차폐시키는 장치가 있어서 아무리 작은 전류가 유도된다고 하더라도 높은 임피던스를 만나면 전위 값이 매우 커지게 된다. 따라서 측정하고자 하는 신호와 합쳐져서 신호 대 잡음비를 낮추게 되고, 결국 원하는 신호를 측정하지 못할 수도 있다. 또한 움직임에 의한 동잡음 역시 상당하여서 작은 움직임에도 신호를 잃어버릴 수 있다. 특히 뇌파를 측정하기 위한 비접촉식 센서는 머리카락이라는 큰 장애를 가지고 있기 때문에 뇌파를 측정하는 것은 더욱 까다로워지게 된다.

## 3. 비접촉식 센서의 신호 대 잡음비 향상 조건

피부와 센서 사이의 임피던스를 최소화 하는 것이 신호의 질을 높이는 것이 유일하면서도 최선의 해결책이라 할 수 있다. <그림 1>과 <그림 2>에서 보인 바와 같이 센서와 피부 사이의 임피던스는 저항과 커패시터의 병렬 연결된 형태로 볼 수 있다. 일반적으로 비접촉 센서의 경우 저

항의 값이 매우 높으므로 커패시터의 임피던스를 줄이는 방향으로 접근하는 것이 좀 더 수월하다. 커패시터에 의해 유발되는 임피던스는 커패시턴스의 값에 반비례하고, 커패시턴스는 유전율과 면적이 클수록, 그리고 거리가 작을수록 커진다. 따라서 인체와 센서 사이의 임피던스를 줄이려면 센서의 면적을 크게 하거나 거리를 최대한 가깝게 위치를 시키거나 아니면 사이에 유전율이 높으면서도 전기적 차폐를 시킬 수 있는 물질을 채우면 된다.

하지만 뇌파는 두피의 부위에 따라서 각기 다른 정보를 제공한다. 따라서 리드(lead)의 개념을 이용하는 일반적인 생체신호와 다르게 공간과 분포라는 개념까지 포함을 하여야 보다 정확한 뇌파를 측정할 수 있다. 즉, 무조건적으로 전극의 넓이를 크게 하는 것은 두피와 센서 사이의 임피던스를 줄일 수는 있겠지만, 이를 통하여 측정하는 뇌파는 공간과 분포에 대한 정보를 잃게 되어서 선택적인 뇌파를 읽어낼 수 없다. 통상적으로 현재 임상을 위해 사용되는 전극은 반지름이 2~3 mm 정도인 작은 센서로 실제 두피에 부착이 되는 면적은 매우 작아 많은 정보를 제공하여 주고, 대부분의 뇌파 신호를 이용한 신호 처리 기법은 이를 통하여 개발되어 왔다. 따라서 넓은 면적의 비접촉식 센서로는 뇌파를 측정할 수는 있어도, 제공해 주는 정보량이 한정되어 있고 이미 개발된 혹은 개발되고 있는 신호처리 기법을 적용하는 것도 쉽지 않아 좋은 뇌파용 센서라고는 할 수 없다. 또한 우리의 신체는 굴곡져 있으므로, 평평한 센서만으로는 넓은 면적을 가진다 한들 실제 유효한 면적은 한계를 지니게 된다. 따라서 비접촉 센서를 통하여 뇌파를 측정할 때에는 두피와 센서 사이의 거리를 좁히는 것이 중요한 요소가 된다. 하지만 두피에 있는 머리카락이 상당한 제약이 되는데, 센서가 머리카락 위에 위치를 하게 되면 거리가 상당히 멀어지게 되고, 높은 민감도 때문에 작은 머리카락의 움직임마저도 노이즈를 발생하게 된다. 이는 전극의 크기와 상당히 관련이 있는데, 전극이 충분히 작아지게 되면 머리카락 사이로 두피까지 접근을 할 수가 있다. 하지만 작아진 면적 때문에 신호의 질이 떨어지는 것은

**비접촉 센서를 통하여 뇌파를 측정할 때에는 두피와 센서 사이의 거리를 좁혀야 하고 유전율이 높은 재료를 센서 제작에 이용해야 한다.**

감수하여야 한다. 마지막으로 유전율을 높이는 방법인데, 비접촉식 센서가 건식이고 딱딱한 타입이라면 두피와 센서 사이에는 공기가 존재하게 된다. 공기는 유전율이 매우 낮아서 임피던스가 매우 높아지게 되어 좋은 신호의 질을 기대하기 어렵다. 만일 재료공학적으로 유전율이 높지만 전도도가 낮은 물질을 개발하여 센서와 두피 사이를 채워넣을 수 있다면 좋은 신호를 획득하는 것이 가능하겠지만, 이는 저항값도 같이 떨어지게 만들어 전기적인 비접촉을 유지하는 것이 쉽지 않다. 또한 두피에 물질이 닿게 되므로 외부의 가스교환이 쉽지 않게 된다. 따라서 앞서 언급한 성질에 생체적합성까지 우수하여야만 양질의 신호 획득이 가능하게 된다.

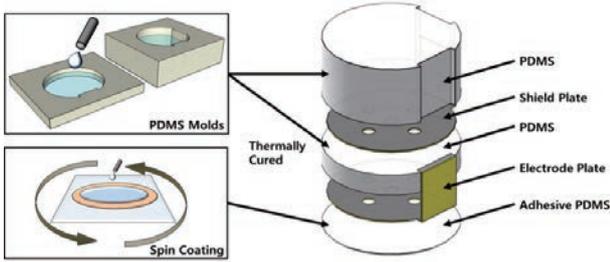
### III. 지속적인 비접촉식 뇌파 측정 센서의 개발 예시

#### 1. 전략

신호대 잡음비가 높은 뇌파 신호를 비접촉 방식으로 측정하고 다양하게 개발된 생체신호 처리 기법을 적용하여 유용한 결과를 얻기 위하여 (1) 센싱되는 면의 면적을 임상적으로 혹은 생체신호 처리를 위한 목적으로 사용되고 있는 뇌파 전극과 유사한 크기를 가지도록 하되, 신호의 질은 두피와 센서의 거리를 최대한 줄임으로써 해결한다. (2) 두피와 센서 사이에 폴리머 기반의 물질을 넣되, 생체적합성이 우수한 물질을 사용하여 피부에 문제가 없도록 한다. (3) 미세한 움직임이 많은 노이즈를 유발하므로, 폴리머를 선택할 때 영률이 작은 것을 선택하여 머리카락을 감싸면서 움직이지 않도록 고정시킬 수 있도록 한다. (4) 센서를 붙이기 위해 사용되는 추가적인 보조 장치 없이 스스로 붙을 수 있도록 하여 뇌파를 측정하고 있는 동안에도 센서가 보이지 않도록 한다.

#### 2. 비접촉 뇌파 센서 디자인

생체적합성을 가지는 다양한 물질들 중에서 Polydimethylsiloxane (PDMS)는 오랜 시간동안 우수



〈그림 3〉 지속적 비접촉식 뇌파 측정 센서

한 성능을 검증하였기 때문에 두피와 센서 사이에 삽입하는 것으로 좋은 후보가 된다. 하지만 움직이는 머리카락을 잡고 있기에는 영률이 조금 크므로, PDMS계열 중에서 특화되어 나온 접착성 PDMS를 선정한다. 접착성 PDMS는 아크릴산을 쓰지 않고, 폴리머 링크를 약하게 걸으면서 반응기가 많이 있어 접착력을 가진다. 머리카락을 감싸면서 잡고 있기에 충분히 작은 영률과 접착력은 센서의 전도성 판(plate)과 두피 사이에 들어가기에 매우 좋은 기계적 성질을 가지도록 해준다. 그리고 센싱 판 뒤에 노이즈를 차폐할 수 있도록 추가적인 전도성 판(plate)을 넣고 boot strapping을 걸어준다. 그리

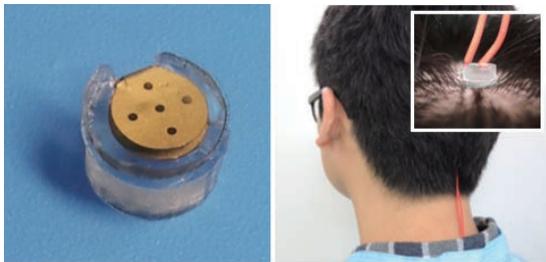
**접착성 PDMS는 접착력이 높아 머리카락을 충분히 감싸며, 머리카락의 두께와 비슷하게하여 두피와 센서 사이의 거리를 좁혔다.**

고 손으로 잡기 편하도록 PDMS로 전반적인 모양을 가지도록 한다. 이렇게 설계된 뇌파 센서는 〈그림 3〉에 표시하였다.

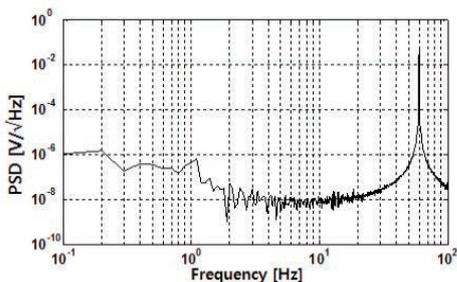
접착성 PDMS의 두께는 머리카락의 두께와 비슷하게 하여 두피와 센서의 거리를 좁혔고 이렇게 센서를 디자인함으로써, II. 3에서 언급한 대부분의 요건을 만족할 수 있다.

### 3. 비접촉식 뇌파 전극의 성능

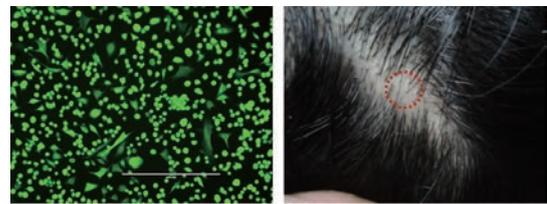
〈그림 4〉는 센서를 실제 두피에 붙였을 때의 모습을 나타내는데, 센서의 크기가 작으므로 머리카락 사이로 들어가 온전히 두피에 밀착하여 붙어있을 수 있고, 머리카락으로 충분히 가릴 수가 있어서 전선 이외에는 보이지 않는다. 〈그림 5〉에서 볼 수 있듯 노이즈 레벨 역시 매우 낮게 나와 수 마이크로 스케일의 뇌파도 측정할 수 있었으며, 피부 세포를 이용한 실험(〈그림 6〉)과 1주일간 두피에 붙여서 피부 반응을 본 결과 역시 매우 우수한 생체적합성을 지니는 것으로 나타났다. 따라서



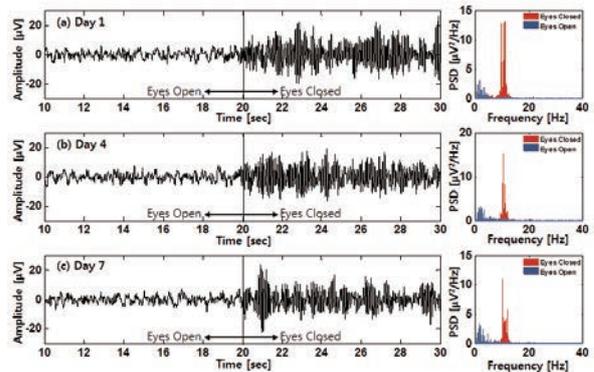
〈그림 4〉 비접촉식 뇌파 전극과 두피에 부착했을 때의 모습



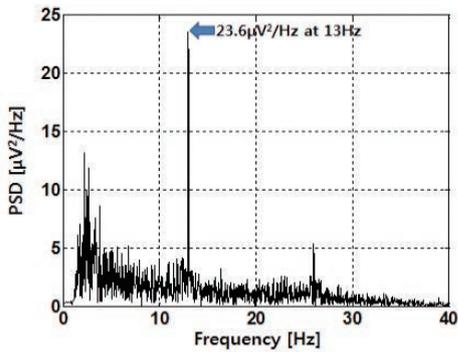
〈그림 5〉 노이즈 측정을 위한 power spectrum density



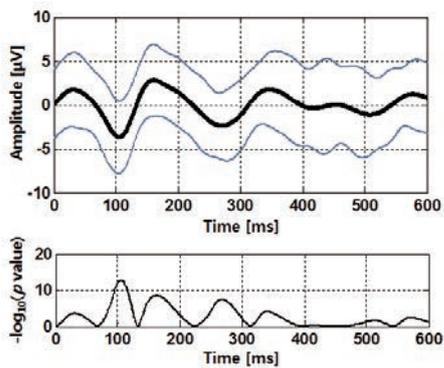
〈그림 6〉 생체적합성 테스트 결과



〈그림 7〉 1주일간의 Alpha 리듬 테스트



〈그림 8〉 SSVEP 테스트



〈그림 9〉 N100 AEP 테스트

〈그림 7〉에서처럼 Alpha 리듬을 측정하였을 때 처음과 1 주일이 지난 후에 뇌파가 동일하게 나타날 수 있었다. 그 외 대표적으로 뇌파 신호 처리 기술에서 사용되는 steady state visually evoked potential (SSVEP) (〈그림 8〉) 과 N100 auditory evoked potential (AEP) (〈그림 9〉) 역시 우수하게 측정이 되었다.

#### 4. 고찰

본 글에서 예시로 소개한 전극은 비접촉식 센서의 신호 대 잡음비를 향상하는 조건들을 접착성 PDMS를 이용하여 만족시킨 것이다. 유전율은 공기에 비해서 그렇게 크지는 않지만 작은 크기를 가지더라도 뇌파를 훌륭하게 측정해 낼 수 있었다. 물론 접착성 PDMS를 이용하지 않더라도 다양한 전략을 통하여 언급된 조건들을 최대한 많이 맞추어 간다면 아무리 뇌파를 비접촉식으로 측정하는 것이 까다롭다 하더라도 보다 더 우수하고 안정적인 뇌파 신호를 측정해 낼 수 있을 것이다.

## VI. 향후 연구 및 결론

지금까지 바이오 신호처리 기법을 적용하기 위한 지속적으로 측정이 가능한 뇌파 센서가 가져야할 성질과 원리 그리고 이를 만족하기 위한 조건들을 살펴보고, 이를 실제 적용하면서 세서를 개발하는 예시를 살펴보았다. 향후 예시 외에도 언급된 조건들을 만족시킬 수 있는 다양한 아이디어와 기술, 그리고 상상력을 통한다면 보다 더 나은 뇌파 센서를 개발 할 수 있을 것으로 예상이 되며, 이로써 급격하게 성장중인 바이오 신호처리 기법을 이용한 어플리케이션이 현실화 될 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

- [1] A. Kubler, F. Nijboer, J. Mellinger, T. M. Vaughan, H. Pawelzik, G. Schalk, et al., "Patients with ALS can use sensorimotor rhythms to operate a brain-computer interface," *Neurology*, vol. 64, pp. 1775-1777, May 24 2005.
- [2] B. Poletti, L. Carelli, F. Solca, P. Meriggi, P. Cipresso, E. Pedroli, et al., "Brain Computer Interface and Eye-Tracking Technology for Neuropsychological Assessment of ALS Patients," *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, vol. 33, pp. 186-187, 2012.
- [3] H. Lahrmann, C. Neuper, G. R. Muller, R. Scherer, and G. Pfurtscheller, "Usefulness of an EEG-based brain-computer interface to establish communication in ALS," *Journal of the Neurological Sciences*, vol. 238, pp. S458-S458, Nov 15 2005.
- [4] G. R. Muller-Putz, I. Daly, and V. Kaiser, "Motor imagery-induced EEG patterns in individuals with spinal cord injury and their impact on brain-computer interface accuracy," *Journal of Neural Engineering*, vol. 11, Jun 2014.
- [5] C. E. King, P. T. Wang, L. A. Chui, A. H. Do, and Z. Nenadic, "Operation of a brain-computer interface walking simulator for individuals with spinal cord injury," *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, vol. 10, Jul 17 2013.
- [6] A. Ponz, M. Montant, C. Liegeois-Chauvel, C. Silva, M. Braun, A. M. Jacobs, et al., "Emotion processing in words: a test of the neural re-use hypothesis using surface and intracranial



EEG,” *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, vol. 9, pp. 619–627, May 2014.

[7] X. Jie, C. Rui, and L. Li, “Emotion recognition based on the sample entropy of EEG,” *Bio-Medical Materials and Engineering*, vol. 24, pp. 1185–1192, 2014.

[8] P. C. Petrantonakis and L. J. Hadjileontiadis, “Emotion Recognition From EEG Using Higher Order Crossings,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, pp. 186–197, Mar 2010.

[9] Y. P. Lin, C. H. Wang, T. P. Jung, T. L. Wu, S. K. Jeng, J. R. Duann, et al., “EEG-Based Emotion Recognition in Music Listening,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 57, pp. 1798–1806, Jul 2010.

[10] Staff (3 September 2014). “Direct brain-to-brain communication demonstrated in human subjects”. *Science Daily*. Retrieved 9 September 2014.

[11] Grau, Carles; Ginhoux, Romuald; Riera, Alejandro; Nguyen, Thanh Lam; Chauvat, Hubert; Berg, Michel; Amengual, Julia L.; Pascual-Leone, Alvaro; Ruffini, Guilio “Conscious Brain-to-Brain Communication in Humans Using Non-Invasive Technologies”. *PLoS* vol. 9 (8): September 2014.



이승민

- 2007년~2012년 2월 서울대학교 바이오엔지니어링 박사
- 2012년 3월~현재 고려대학교 생체의공학과 연구교수

〈관심분야〉  
MEMS기반의 능동형 센서, 생체 신호 분석



이상훈

- 1987년~1992년 서울대학교 의공학 박사
- 2006년~현재 고려대학교 의과대학 교수

〈관심분야〉  
BioMEMS, Biomedical Engineering

# 뇌파 분석을 위한 Empirical Mode Decomposition Algorithm

## I. 서론

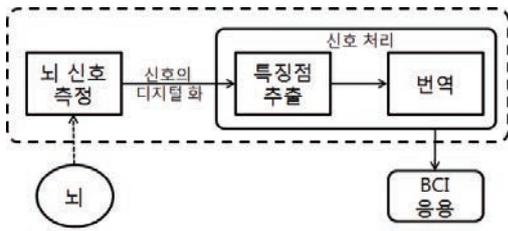
최근 생각에따라 변하는 뇌의 기전을 이용하여 컴퓨터를 컨트롤하고 통신을 하려는 brain-computer interface (BCI) 기술이 대두되고 있다. 특히 뇌의 활동을 측정하는 센서 기술과 신호처리 기술의 발달로 영화에서 보아왔던 텔레파시와 같이 생각만으로 휠체어를 움직이고 컴퓨터에 글자 및 숫자를 입력하는 것들이 조금씩 현실화 되어가고 있다. 이러한 기술들은 특히 척수 및 신경근의 손상으로 인해 사지가 마비된 환자들에게 도움을 주는 재활 목적으로 개발이 되어왔다. 이러한 환자들은 컴퓨터 및 기타 시스템 컨트롤을 위해 눈동자의 움직임이나 호흡의 컨트롤 등을 이용한 재활 장비들을 사용하여왔지만 사지 마비가 매우 심각한 환자들은 이러한 눈동자 및 호흡 컨트롤을 위한 근육 컨트롤 자체가 쉽지 않기 때문에, 특별한 근육의 움직임이 필요 없이 단지 뇌 활동의 변화만을 이용하는 BCI 시스템의 필요성이 더욱 커지고 있다.

뇌의 활동을 비침습적으로 측정하기 위해 다양한 센서 및 진단 장비를 사용하여 왔는데 그중 뇌파 (EEG), 양전자방출단층촬영술 (PET), 기능적 자기공명영상 (fMRI) 등을 예로 들 수 있다. 이들 중 흔히 뇌파라고 불리는 EEG는 작고 가볍게 구현이 가능하여 휴대성이 용이하고 다른 센서에 비해 가격이 저렴하며, 실시간 측정이 가능하여 BCI 시스템 구현에 가장 적합하다고 할 수 있다<sup>[1]</sup>.

〈그림 1〉은 네 가지 기본 성분으로 이루어진 BCI 시스템의 구조를 나타내고 있다. 먼저 뇌파 신호를 측정하는 뇌 신호 측정 부, 사용자의 지각 및 인지작용 변화에 따라 달라지는 뇌파 신호의 특징을 추출하는 부분, 이러한 특징점을 이용하여 사용자의 지각 및 인지 상태를 판단하는 번역 부분 그리고 BCI 응용 부분으로 나눌 수 있다. 이 중 뇌파 신호를 분석하는 신호처리 부분, 즉 특징점 추출 및 번역 부분이 BCI 시스



박철수  
광운대학교 컴퓨터공학과



〈그림 1〉 기본적인 BCI 시스템의 구조

템의 성능을 결정짓는 중요한 역할을 하게 된다. 그런데 현재까지 사용되어지고 있는 신호처리 방법들 중 주파수 성분의 특징점을 추출하기 위해 가장 많이 사용하는 푸리에 분석 방법은 뇌파 신호의 비선형성 (nonlinearity), 비정상성 (nonstationarity) 때문에 지각 및 인지 상태 변화에 따른 뇌파의 주파수 정보를 얻어내는데 문제가 있다<sup>[2]</sup>. 푸리에 분석 방법은 선형적인 직교 기저함수 (orthogonal basis function)를 기반으로 하기 때문에 비선형적인 뇌파 신호를 모델링하기 부족하고, 시간에 따라 지속적으로 변하는 뇌파의 주파수 특성 (비정상성)을 효율적으로 모니터링하기에 부족하다. 또한 기존의 신호처리 알고리즘들은 대부분 단 채널 신호를 위한 알고리즘으로 뇌파와 같이 다 채널로 얻어지는 신호의 정보를 모두 함께 고려하여 특징적인 정보를 얻어내지 못한다. 본 글에서는 입력 데이터에 기반하여 기저함수를 만들어 주파수 분석을 하는 empirical mode decomposition (EMD)<sup>[2]</sup> 알고리즘을 소개하고 이를 통해 비선형적이고 비정상적인 뇌파 신호로부터 기존의 방법들과 비교하여 더 효율적으로 주파수 성분을 추출해내는 연구에 대해 조사하였다. 더 나아가 다채널 주파수 분석에 맞게 디자인 된 multivariate empirical mode decomposition (MEMD) 알고리즘<sup>[3]</sup>에 대해 알아보고 단 채널 알고리즘과 비교하여 향상된 주파수 분석 성능을 확인하였다.

**empirical mode decomposition (EMD)은 비선형적이고 비정상적인 뇌파 신호의 분석에 적합한 알고리즘이다.**

## II. Empirical Mode Decomposition

Empirical mode decomposition은 입력 데이터를 기반으로 특징 성분을 추출하는 방법으로 신호가 지니

고 있는 고유의 정보를 amplitude modulation (AM)/ frequency modulation (FM) 성분으로 분리해 낸다<sup>[2]</sup>. 특히 알고리즘은 신호의 선형성 또는 정상성에 대한 어떠한 가정에 기반하고 있지 않기 때문에 더욱 정확한 신호의 특징점을 찾아낼 수 있다.

### 1. Background

자연과학이나 공학에서 일반적으로 다루어지는 많은 데이터들을 분석할 때 겪는 가장 큰 어려움들은 다음과 같다<sup>[4]</sup>.

- 짧은 길이의 데이터
- 데이터의 비정상성
- 데이터의 비선형성

일반적으로 신호 분석에서 가장 많이 쓰이는 방법 중 하나인 주파수 스펙트럼 분석은 주로 데이터의 주파수 성분을 추출 및 조사하는 방법으로 대개 푸리에 분석 방법을 이용하여 이루어지고있다. 그러나 푸리에 분석 방법의 기본 가정은 분석하려는 데이터의 길이가 충분히 길어야 하지만 우리가 다루는 데이터들은 종종 이를 만족하기 어려울때가 많고, 짧은 길이 데이터의 시작과 끝에서 발생하는 에러 또한 무시할 수 없다.

또한 신호의 주파수 성분은 시간에 따라 지속적으로 변하는 비정상성을 지니고 있는데, 충분한 길이의 데이터가 필요한 푸리에 분석은 빠르게 변하는 주파수 성분을 정확히 모니터링하기 쉽지 않다. 이를 극복하기 위하여 short-time Fourier transform (STFT) 라는 방법을 이용하는데, 이는 입력 데이터를 짧은 길이의 데이터로 나누고 푸리에 분석을 나누어진 각 데이터에 적용하여 시간에 따라 변하는 주파수 성분을 지속적으로 모니터링 한다. 그러나 이 방법 또한 가장 낮은 주파수 성분을 얻기 위해서는 특정 길이의 데이터가 필요하며 이는 고주파 성분에서의 주파수 변화를 놓칠 수 있다. 또한 여전히 정현파 기반의 기저함수를 사용하여 신호를 모델링하지만 실



제 뇌파 신호는 정현파 신호와 같이 정형화된 패턴을 갖고 있지 않아 분석 오차를 가질 수밖에 없다. 푸리에 분석 이외에 또 다른 주파수 분석 방법으로는 wavelet 분석 방법이 있는데 이는 STFT와 다르게 주파수 영역 별로 입력 데이터의 길이를 조정하여 짧은 길이의 데이터로 분해하고 이를 wavelet 모함수를 이용하여 모델링한다. 따라서 STFT보다는 조금 더 정확한 time-frequency 분석이 가능하다. 그러나 이 분석 방법 역시 wavelet 모함수를 기저함수로 이용하여 입력 데이터와 패턴이 일치할 수 없는 함수로 모델링을 함으로 나타나는 오차를 피할 수는 없다.

## 2. Intrinsic Mode Function 을 이용한 순시 주파수 예측

순시 주파수 (instantaneous frequency)는 비정상성 뇌파 데이터의 주파수 정보를 보다 현실적이고 정확히 제공해 줄 수 있는 주파수 분석 방법이다. 순시 주파수는 아래 식에서 정의된 Hilbert 변환을 이용하여 구해진다.

$$Y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{X(t')}{t-t'} dt' \quad (1)$$

$X(t)$ 는 입력 데이터이고,  $P$ 는 Cauchy principal value 를 나타낸다. 이렇게 구해진  $Y(t)$ 를 이용하여 입력 신호  $X(t)$ 의 해석 신호 (analytic signal)를 아래와 같이 나타낼 수 있다.

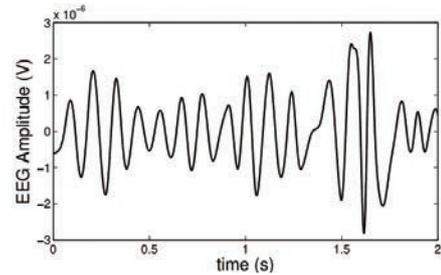
$$Z(t) = X(t) + jY(t) = a(t)e^{j\theta(t)} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a(t) &= [X^2(t) + Y^2(t)]^{1/2}, \\ \theta(t) &= \arctan\left(\frac{Y(t)}{X(t)}\right) \end{aligned} \quad (3)$$

Hilbert 변환을 이용하여 구한  $Z(t)$ 는 순시 진폭 (instantaneous amplitude),  $a(t)$ , 와 순시 위상 (instantaneous phase),  $\theta(t)$ , 로 나타낼 수 있고  $\theta(t)$ 를 미분하면 우리가 원하는 순시 주파수 (instantaneous frequency)를 얻을 수 있다.<sup>[5]</sup>

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4)$$

이러한 순시 주파수가 보다 정확한 주파수 정보를 갖기



〈그림 2〉 전형적인 intrinsic mode function 의 예<sup>[4]</sup>

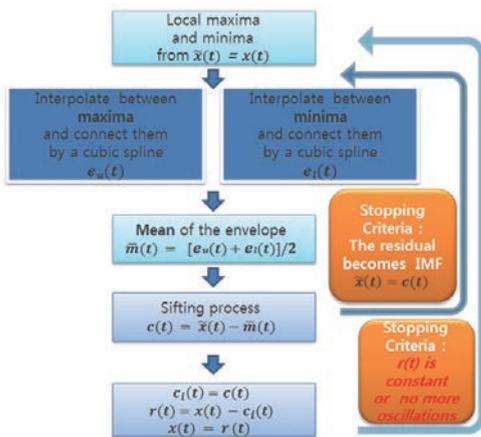
위해서는  $X(t)$ 가 monocomponent 신호이어야 한다는 전제조건이 있다<sup>[6]</sup>. 신호가 매 순간마다 하나의 주파수 성분만을 가질 때 우리는 그 신호를 monocomponent 신호라고 정의한다. monocomponent는 또한 narrowband 로 정의할 수 있는데 이는 한 신호의 극점의 개수가 영을 지나는 횟수와 같을 때 narrowband 신호라고 정의를 내린다<sup>[7]</sup>. 더 나아가 Norden Huang은 정확한 순시 주파수를 얻기 위한 조건을 하나 더 제시하였는데, 이는 신호가 영을 중심으로 위 아래가 서로 대칭이 되어야 한다는 것이다<sup>[2]</sup>. Norden Huang은 (1) 극점과 영을 지나는 횟수가 같고 (2) 영을 중심으로 한 신호의 대칭성 조건이 만족하는 신호를 intrinsic mode function (IMF) 이라고 정의를 내리고 이를 통해 구해진 주파수 정보가 더욱 실제 값에 가까운 결과라고 말하고 있다. 〈그림 2〉는 이러한 조건을 만족하는 전형적인 IMF 신호의 예를 보여주고 있다.

## 3. Empirical Mode Decomposition

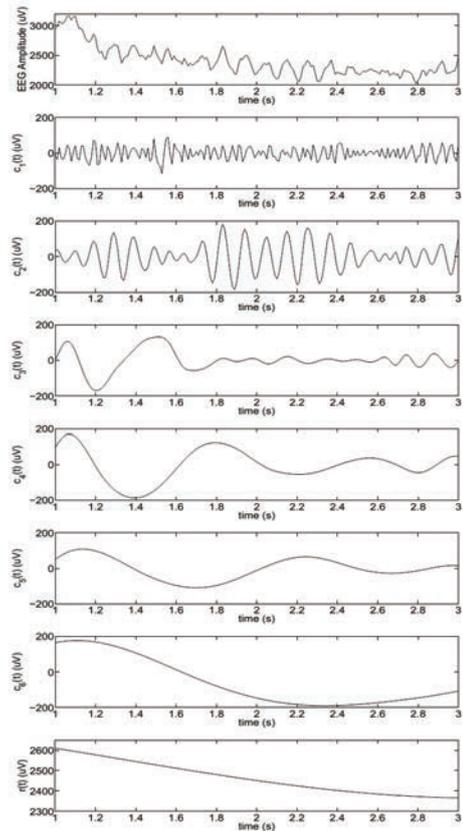
앞서 설명한 monocomponent/narrowband 신호는 하나의 주파수 성분 또는 mode가 매 시간 마다 존재해야 한다고 하였는데 실제 우리가 다루는 신호는 두 개 이상의 성분이 존재할 수 있다. 따라서 이러한 여러 개의 성분을 분해하기 위하여 Norden Huang은 empirical mode decomposition 알고리즘을 제안하였다. 서론에서 언급하였듯 EMD 알고리즘은 어떠한 기저함수에 의존하지 않고 데이터 자체에서 고유의 진동 또는 주파수 성분을 찾아내는 방법이며, 기존의 주파수 분석 방법보다 더 정확한 순시 주파수 정보를 얻어내 비정상성 및 비선형성을 갖는 뇌파 신호 분석에 매우 용이하다. 구체적인 알고리즘의 방법은 〈표 1〉에 기술되어 있으며 〈그림 3〉에 도식

〈표 1〉 EMD 알고리즘<sup>[4]</sup>

- The standard EMD algorithm
1. Let  $\tilde{x}(t) = x(t)$  ( $x(t)$  is an input signal)
  2. Find all local maxima and minima of  $\tilde{x}(t)$
  3. Identify an upper and lower envelope,  $e_u(t)$  and  $e_l(t)$ , interpolating all local maxima and minima
  4. Estimate the local mean,  $\bar{m} = (e_l(t) + e_u(t))/2$
  5. Subtract  $\bar{m}(t)$  from  $\tilde{x}(t)$ ,  $c_i(t) = \tilde{x}(t) - \bar{m}(t)$  ( $i$  is an order of IMF)
  6. Let  $\tilde{x}(t) = c_i(t)$  and go to step 2) and repeat the same process until  $c_i(t)$  becomes an IMF



〈그림 3〉 EMD 알고리즘의 순서도



〈그림 4〉 EMD를 이용하여 하나의 뇌파신호를 여러 주파수 성분인 IMF 들로 분해한 결과<sup>[4]</sup>

화하였다. 반복적으로 지역 평균 (local mean) 값을 입력 데이터에서 빼주고 그 나머지가 앞서 언급한 IMF의 두 가지 조건을 만족한다면 첫 번째 IMF로 선정을 한다. 이후 초기 입력 데이터에 첫 번째 IMF를 뺀 나머지 값을 이용하여 다시 같은 방법으로 나머지 IMF를 구하게 된다. 최종적으로 입력  $x(t)$ 는 IMF,  $c_i(t)$  들로 아래와 같이 표현이 된다.

$$x(t) = \sum_{i=1}^M c_i(t) + r(t) \quad (5)$$

〈그림 4〉는 하나의 뇌파 신호를 EMD를 이용하여 각 주파수 성분인 IMF로 분해한 예를 보여준다. 이렇게 구한 IMF들은 앞서 말한 monocomponent/narrowband 신호의 조건을 만족하여 Hilbert 변환을 통해 정확한 순시 주파수를 만들어 내게 된다.

### III. Multivariate Extensions of Empirical Mode Decomposition

**EMD 알고리즘은 정형화된 기저함수에 의존하지 않고 입력 신호를 바탕으로 고유의 주파수 성분을 추출해낸다.**

2차원 또는 다차원으로 확장된 EMD 알고리즘을 이용하여 다채널 데이터의 공통 주파수 성분을 효율적으로 추출해 낼 수 있다. 이와 같은 성질은 특히 대부분 다채널로 측

정이 되는 뇌파 신호의 효율적이고 정확한 분석에 큰 도움을 준다.

#### 1. Background

앞서 설명한 EMD 알고리즘은 주파수 성분을 특정 기저함수에 근거하지 않고 실험적으로 입력 데이터 자체만을 갖고 추출하는데, 이는 멀티채널 데이터 분석에 있어서 몇 가지 문제점을 지니고 있다. 그중 첫 번째는, 각



채널 데이터마다 IMF 개수가 다르고 서로 다른 채널에서 같은 순서로 추출된 IMF들이 같은 주파수 성분을 갖고 있다고 보장할 수 없다는 것이다. 두 번째는 모드 변환(mode-mixing) 문제로 간혹 지역 평균값을 구하는 과정에 있어 오차가 발생하여 특정 시 구간에서 잘못된 모드가 나타날 수 있다는 것이다. 이러한 경우 다채널 데이터 분석에 있어서 채널 간 주파수 비교 분석에 오류를 야기할 수밖에 없게 된다. 다채널 데이터의 EMD 분석에 있어 발생하는 이러한 문제를 해결하기 위하여 복소수 또는 multivariate EMD 알고리즘이 개발되었다.

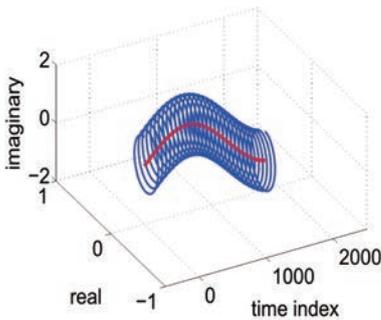
**Multivariate EMD 알고리즘은 다채널 데이터의 시-주파수 분석에 매우 효과적이다.**

**2. 복소수 EMD**

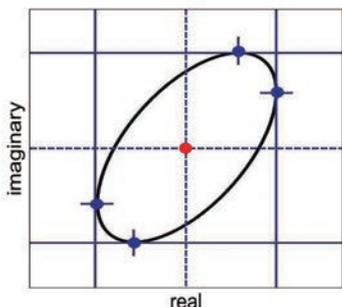
두 채널 데이터를 EMD 알고리즘을 이용하여 동시에 처리하기 위하여 각 데이터를 실수부와 허수부에 놓고 복소수 화 하여 EMD 알고리즘을 이 복소수 데이터에 바로

적용하여 복소수 형태의 IMF를 얻을 수 있도록 하였다<sup>[8]</sup>. <그림 5 (a)>는 복소수로 표현된 두 채널 데이터를 실수부, 허수부 그리고 시간 축 위에 3차원 튜브 형태로 도식화 한 것이다. 이러한 3차원 튜브 신호를 기본적인 EMD 알고리즘과 같이 복소수 값의 지역 평균값을 반복적으로 빼주어 복소수 형태의 IMF를 구하게 된다. 그림에서 튜브 내에 표현된 붉은 색 선이 복소수의 지역 평균값을 나타내는데 이 값은 <그림 5 (b)>와 같이 3차원 튜브의 네 방향 포락선을 찾아 이들의 평균값으로 구하게 된다. 지역 평균값이 빼어진 나머지 값의 실수부 그리고 허수부 신호가 IMF 성립조건 두 가지를 만족시키는지를 확인하여 일반 EMD와 같은 방식으로 복소수 형태의 IMF를 얻어낼 수 있다. 이와 같이 두 채널의 IMF를 복소수 형태로 동시에 얻기 때문에 두 채널간의 IMF 개수는 항상 일치하게 되고, 모드 변환 문제가 발생한다 하더라도 두 채널 데이터 모두 동시에 발생하기 때문에 주파수의 비교 분석에 있어서는 크게 문제되지 않는다.

일반 EMD와 복소수 EMD 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 두 개 주파수의 정현파 신호를 이용하여 아래 식 (6), (7)과 같은 신호를 임의로 만들고 EMD와 복소수 EMD를 이용하여 IMF로 분해해 보았다.

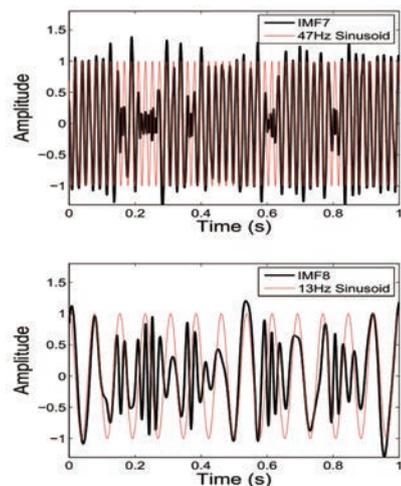


(a) 3차원 평면에서의 복소수 데이터

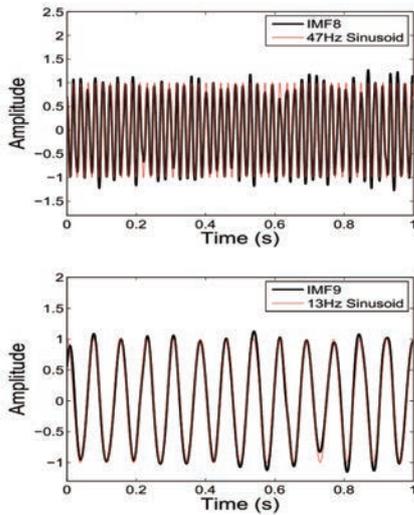


(b) 복소수 데이터의 절단면

<그림 5> 복소수 신호를 3차원 공간에 표현 (a). 붉은색 선은 지역 평균값을 의미. 3차원 공간에 표현된 튜브형태 신호의 특정 시간 절단면 (b)<sup>[4]</sup>. 붉은색 점이 한 순간의 지역 평균값이 되며 이는 튜브의 포락선들 (파랑색 점들)의 평균으로 구해짐



<그림 6> EMD를 이용하여 식 (6)과 (7) 신호로부터 47 Hz와 13 Hz 성분 추출<sup>[4]</sup>



〈그림 7〉 복소수 EMD를 이용하여 식 (6)과 (7) 신호로부터 47 Hz와 13 Hz 성분 추출<sup>[4]</sup>

$$f_1 = 13 \text{ Hz} \quad \text{and} \quad f_2 = 47 \text{ Hz}$$

$$t = 1/f_s, \dots, 2s \quad \text{and} \quad f_s = 10 \text{ kHz}$$

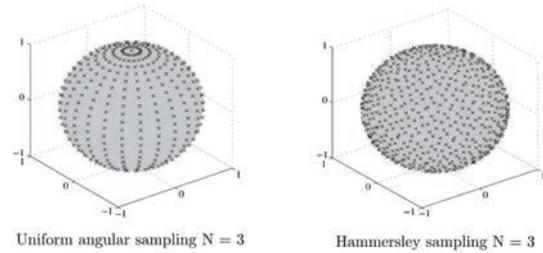
$$x_1(t) = \cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t + \frac{\pi}{6}) + v_1(t) \quad (6)$$

$$x_2(t) = 1.7 \cos(2\pi f_1 t + \frac{\pi}{4}) + 1.3 \cos(2\pi f_2 t + \frac{2\pi}{3}) + v_2(t) \quad (7)$$

$v_1(t)$ 와  $v_2(t)$ 는 0 dB 의 서로 다른 백색 가우시안 노이즈다. 이 신호를 일반 EMD와 복소수 EMD를 이용하여 13 Hz의 주파수 성분과 47 Hz 의 주파수 성분을 추출해 내고자 한다. 〈그림 6〉과 〈그림 7〉은 위 두 신호를 일반 EMD와 복소수 EMD를 이용하여 주파수 성분으로 분해하여 13 Hz와 47 Hz 성분을 포함하는 IMF들로 나타낸 결과이다. 두 그림에서 보는 것과 같이 복소수 EMD를 이용하여 두 채널 신호를 동시에 분석할 때 더욱 정확한 정현파 신호를 얻어 내는 것을 확인할 수 있다.

### 3. Multivariate Empirical Mode Decomposition

앞서 설명한 복소수 EMD 알고리즘은 두 채널 데이터만 처리할 수 있는 한계가 있다. 이를 극복하고 다채널 데이터에 EMD 알고리즘을 적용하기 위해 multivariate EMD 알고리즘이 개발되었다<sup>[3]</sup>. MEMD 알고리즘 또한 전반적인 알고리즘 구현은 일반 EMD 알고리즘과 같고



〈그림 8〉 MEMD의 지역 평균값을 구하기 위한 3차원 평면 방향 벡터<sup>[3]</sup>

복소수 EMD와 마찬가지로 지역 평균값을 구하는 방법에서만 차이를 갖는다. n 차원 신호의 지역 평균값을 구하는 방법은 n 개의 채널에서 얻어지는 n 차원의 데이터를 여러 방향으로 투영하여 n 차원의 포락선 신호를 얻어 이들의 평균으로 지역 평균값을 얻어내게 된다. 〈그림 8〉에서 세 채널 데이터로 구성된 3차원 데이터의 포락선 값을 구하는 예를 보여주고 있다. 3차원 데이터이기 때문에 입체 구를 이용하여 이에 투영되는 점들로 표현할 수 있는데, uniform angular sampling과 Hammersley sampling을 이용하여 3차원 공간으로 데이터를 투영할 수 있다. 그림에서 보는 것과 같이 Hammersley sampling 투영 방법이 보다 골고루 투영 점들을 선택하여 좀 더 정확한 지역 평균값을 예측하게 된다. 이렇게 구한 3차원 (n 채널 데이터의 경우 n 차원) 지역 평균값을 반복적으로 입력 신호에서 빼주어 n 차원 IMF를 만들어 주고 이를 복원하여 각 채널의 IMF를 구하게 된다. 이 방법 또한 n 채널 데이터를 동시에 이용하여 IMF 성분들을 구하게 되어 동시에 추출된 IMF들 간 주파수 성분은 거의 동일한 정보를 갖으며 IMF의 개수 또한 채널 간 항상 동일하다.

MEMD 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 세 개의 주파수를 이용하여 세 채널의 정현파 신호를 아래와 같이 구현하여 MEMD를 이용한 IMF들을 구해보았다.

$$f_s = 2048, f_1 = 5/f_s, f_2 = 11/f_s, f_3 = 23/f_s$$

$$a(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) + v_1(t), & t = 1, \dots, 2048 \\ \sin(2\pi f_2 t) + v_2(t), & t = 2049, \dots, 4096 \end{cases} \quad (8)$$

$$b(t) = \sin(2\pi f_1 t) + \sin(2\pi f_2 t) + v_3(t), t = 1, \dots, 4096 \quad (9)$$

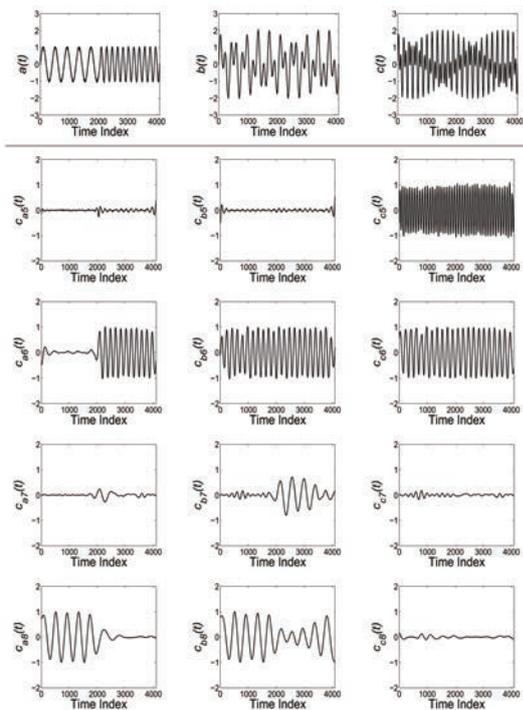


$$c(t) = \sin(2\pi f_2 t) + \sin(2\pi f_3 t) + v_4(t), t = 1, \dots, 4096 \quad (10)$$

$v_1(t)$ 와  $v_2(t)$ ,  $v_3(t)$ ,  $v_4(t)$ 는 서로 다른 30 dB 백색 가우시안 노이즈이다. <그림 9>는 MEMD를 이용하여 이 세 채널 데이터를 동시에 분석하여 얻은 IMF들을 보여주고 있다. 첫 번째부터 네 번째 IMF들은 노이즈에 해당하는 IMF들이기 때문에 나타내지 않았고 중요한 세 개의 주파수 성분들이 잘 나타나는 IMF들만 그렸다. 같은 단계의 IMF들끼리는 서로 거의 같은 주파수 성분을 갖는 것을 확인할 수 있었고, 일곱 번째와 여덟 번째 IMF들 ( $c_{a7}(t)$ ,  $c_{b7}(t)$ ,  $c_{c7}(t)$ ,  $c_{a8}(t)$ ,  $c_{b8}(t)$ ,  $c_{c8}(t)$ )은 모드 변환 현상을 보이는데 세 채널 모두 동시에 나타나기 때문에 채널 간 주파수 성분 비교 분석에는 문제가 되지 않는다.

#### IV. MEMD를 이용한 뇌파 분석

우리가 팔을 움직이려는 상상을 할 때 움직임을 관장하

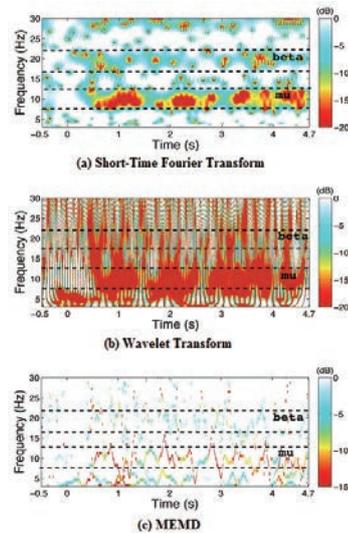


<그림 9> MEMD를 이용하여 식 (8), (9), (10)의 3채널 신호를 동시에 분석하여 얻은 IMF. 같은 단계의 IMF들은 항상 같은 주파수 성분을 가짐<sup>[4]</sup>

는 뇌의 중앙 부분에서 강한 뇌파변화가 나타난다. 이러한 뇌 기전은 BCI 시스템을 구현할 때 빈번히 사용되는 패러다임이다. 특히 이러한 뇌파변화는 특정 주파수 영역 (mu 리듬: 8~12 Hz, beta 리듬: 18~23 Hz)에서 눈에 띄게 나타나는데 이러한 주파수 성분을 MEMD를 이용하여 기존의 푸리에 분석이나 wavelet 분석보다 더 효과적으로 추출해내려는 연구가 있었다<sup>[1]</sup>. <그림 10>은 동작 상상을 하는 동안 뇌의 중앙 부분에서 발생하는 뇌파를 푸리에 분석 (STFT), wavelet 그리고 MEMD를 이용하여 시 주파수 성분을 분석한 결과이다. 그림에서 보는 것과 같이 0 초에서부터 동작 상상이 시작되면 mu 리듬과 beta 리듬이 활성화되는 것을 확인할 수 있다. 특히 세 가지 주파수 분석 방법 중 MEMD 방법이 mu 리듬과 beta 리듬을 매우 정확히 추출해 내는 것을 확인할 수 있다.

#### V. 향후 연구 및 결론

지금까지 empirical mode decomposition에 대해 알아보았고 다채널 분석에서 EMD 알고리즘이 어떻게 확장되고 분석이 되는지 확인하였다. 기저함수를 사용하지 않는 EMD 알고리즘의 특징 때문에 기존 주파수 분석



<그림 10> 동작 상상 동안 나타나는 뇌파의 시 주파수 성분 변화. 0 초에서부터 동작 상상이 시작되면 mu 리듬, beta 리듬이 활성화되는 것을 확인할 수 있음<sup>[1]</sup>



알고리즘보다 좀 더 정답에 가까운 결과를 만들어준다. EMD 알고리즘은 입력 데이터 자체만을 기반으로 분석하고, 다채널 데이터 정보를 효율적으로 활용하여 실제 값에 보다 가까운 주파수 성분을 추출하여 향후 BCI 시스템 성능 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

[1] C. Park, D. Looney, N. Rehman, A. Ahrabian, and D. P. Mandic, "Classification of motor imagery BCI using multivariate empirical mode decomposition," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 10–22, 2013.

[2] N. E. Huang, Z. Shen, S. R. Long, M. L. Wu, H. H. Shih, Z. Quanan, N. C. Yen, C. C. Tung, and H. H. Liu, "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis," in *Proceedings of the Royal Society A*, vol. 454, pp. 903–995, 1998.[52] L. Cohen, *Time-frequency analysis*. Prentice Hall signal processing series, Prentice Hall PTR, 1995.

[3] N. Rehman and D. P. Mandic, "Multivariate empirical mode decomposition," *Proceedings of the Royal Society A*, vol. 466, no. 2117, pp. 1291–1302, 2010.

[4] C. Park, "Data-Driven Multivariate and Multiscale Methods for Brain Computer Interface," Ph. D. thesis, Department of Electrical & Electronic Engineering at Imperial College London, 2012.

[5] L. Cohen, "Instantaneous anything," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process.*, 1993, vol. 5, pp. 105–108.

[6] L. Cohen, *Time-frequency analysis*. Prentice Hall signal processing series, Prentice Hall PTR, 1995.

[7] M. Schwartz, W. R. Bennett, and S. Stein, *Communication systems and techniques*. John Wiley and Sons, 1995.

[8] G. Rilling, P. Flandrin, P. Gongalves, and J. M. Lilly, "Bivariate empirical mode decomposition.," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 14, no. 12, pp. 936–939, 2007.



박철수

- 1997년 서강대학교 전자공학과
- 2004년 서울대학교 협동과정 의용생체공학과 (석사)
- 2007년 영국 임페리얼 칼리지 런던 (박사)
- 2014년~현재 Assisntant Professor, Kwangwoon University
- 2012년~2013년 Postdoctoral Researcher, University of California, San Diego
- 2008년~2011년 Research Assistant, Imperial College London
- 2007년~2007년 Researcher, LS Cable

〈관심분야〉

Biomedical Signal Processing, Computational Neuroscience, Machine Learning

# 생체 신호에서 나타나는 동기 역학적 특성 연구

## I. 서론

‘Holistic System’의 관점으로 살펴보았을 때 인체의 모든 시스템들은 서로 연결되어 상호작용하고 있다. 인체의 각 기관은 전체를 구성하는 부분으로서 고유의 생체 신호를 가지며 서로 간의 동기화 및 외부 환경과의 동기화를 통해 정보를 교환하고 원활한 동작이 가능하게 한다. 대표적인 예로 심박 리듬은 독립적으로 결정되는 것이 아니라 호흡의 리듬과 밀접한 연관성이 있으며 일정한 정수비로 동기화되는 특성이 나타난다<sup>[1]</sup>. 호흡 변화에 따라 심박은 일반적으로 호흡성 동성 부정맥 (RSA: Respiratory Sinus Arrhythmia)으로 인해 들숨 시에는 심박 속도가 증가하고 날숨 시에는 감소하는 특성을 나타낸다. 이 때 호흡의 주기를 인위적으로 변화시키면 심박과 호흡 리듬 사이에 동기 역학적 특성에도 변화가 나타나며 이는 혈압에도 영향을 미치게 된다<sup>[2]</sup>. 또한 노 젓는 움직임이나 자전거 페달을 움직이는 등의 규칙적인 움직임에 대해서도 심박리듬이 영향을 받아 상호 동기화되는 현상이 나타난다<sup>[3-4]</sup>. 그리고 수면 중에는 깊은 수면, 얇은 수면, 렘수면, 깎 등 수면 단계가 변화함에 따라 생체 신호들 사이의 관계성에 변화가 나타나며 이는 동기 역학적 특성 분석을 통해 정량적으로 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>. 태아와 산모 사이의 심박리듬 또한 상호 동기화된다고 보고되었으며 환자의 경우에는 정상인과 다른 동기 역학적 특성을 나타내는데 예를 들어 수면 무호흡증 등의 수면질환을 가진 환자의 경우 심박, 호흡, 혈압 간의 관계가 정상인과 차이가 나고 정신분열증이나 간질 등 정신질환 환자의 경우 다른 채널의 뇌파 신호들 사이의 동기 역학적 특성이 정상인과 다르게 나타난다고 보고되었다<sup>[6-7]</sup>. 이와 같은 동기 역학적인 특성은 인체 내의 시스템들에 대해서만 나타나는 것이 아니라 외부에서의 일정 리듬의 자극과의 관계에서도 나타난다. 일정 주기의 시청각 자극이 심박 리



김 상 경  
서울대학교 의과대학  
의공학교실



박 광 석  
서울대학교 의과대학  
의공학교실

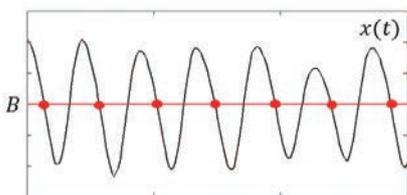
듬과 동기화된다는 연구결과도 보고되었으며 0.1Hz 근방의 리듬으로 음의 세기가 규칙적으로 되풀이되는 특징을 가진 음악을 듣고 있으면 심박리듬과 혈압조절반응 사이의 Mayer wave 라는 0.1Hz 정도의 리듬에 영향을 미치게 되어 혈압과 심박 리듬 간 관계성에 변화를 일으킨다는 보고도 있다<sup>[8-9]</sup>.

이처럼 생체 신호들 사이의 관계성은 여러 상황에 따라 각각 다른 특성을 보이게 되므로 생체 내 시스템들의 이해를 위해서는 상호 작용 및 외부 영향에 대한 총체적 관점에서의 분석이 필요하다. 이 때 생체 신호마다 가진 특성이 다르기 때문에 상황에 맞는 분석 방법을 파악하여 적용할 필요가 있다. 따라서 2장에서는 여러 가지 종류의 동기 역학적 특성 분석 방법을 소개하고 3장에서는 소개한 방법을 생체 신호에 적용하는 과정을 설명하고 4장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한 후 끝을 맺는다.

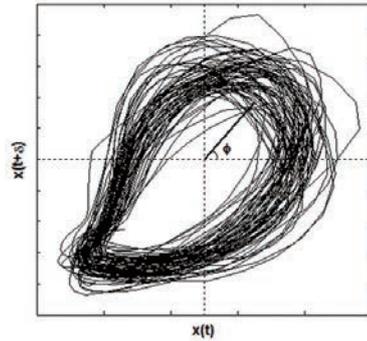
## II. 동기 역학적 특성 분석 방법

### 1. 동기화 지표

동기화란 두 가지 또는 그 이상의 시스템으로부터 획득한 실험적 데이터 사이의 상호 관계를 규명하는 것이다. 동기화 연구에서 주로 다루는 것은 위상 동기화 (Phase synchronization)이며 위상 동기화는 위상 결속 (Phase locking)을 중요하게 다루며 진폭 정보에 대한 제한 사항은 없다. 따라서 위상 동기화는 두 가지 또는 그 이상의 시스템에서 획득한 데이터의 진폭 정보와 관계없이 위상 사이의 유의미한 관계로 정의할 수 있다. 이러한 위상 사이의 유의미한 관계를 보여주기 위한 지표를 동기화 지표



〈그림 1〉 신호  $x(t)$ 와 그 역치값 B



〈그림 2〉 신호와 지연된 신호의 2차원 맵핑

(Synchronization index)라고 하며 여러 가지 지표가 사용되고 있지만 대표적으로 사용되는 지표인  $\gamma$ ,  $\lambda$ ,  $\rho$ 를 소개한다.

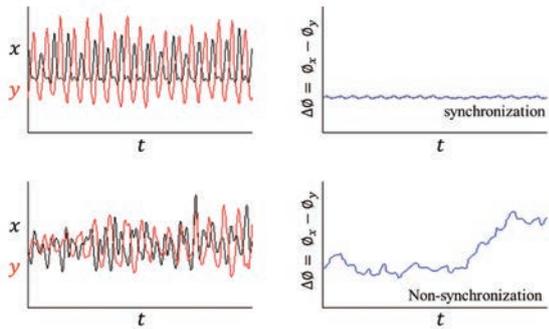
동기화지표를 구하기 위해서는 각각의 신호에서 위상 정보를 얻어야 한다. 위상정보를 얻는 방법으로는 크게 세 가지가 있다. 먼저 〈그림 1〉에서처럼 위상 누적 방법이 있는데 신호가 정해진 역치값 (B)을 기준으로 반복될 때 위상값을 선형적으로 더해가며 교차되는 점을 기준으로  $2\pi$ 씩 더해나가는 방법이며 수식적으로 다음과 같이 표현된다.

$$\phi(t) = 2\pi \frac{t - t_k}{t_{k+1} - t_k} + 2\pi k, \quad t_k \leq t \leq t_{k+1}$$

두 번째 방법은 〈그림 2〉와 같이 획득된 신호와 이것의 일정 시간만큼 지연된 신호를 이용해서 2차원 신호를 만들고 각 좌표를 이용해서 위상을 구하는 것이고 세 번째 방법은 힐버트 변환을 이용해서 신호를 복소함수로 표현하여 위상을 구하는 방법이며 순시 진폭  $A(t)$ 와 순시 위상  $\phi(t)$ 를 구할 수 있다.

$$\zeta(t) = x(t) + i\tilde{x}(t) = A(t)e^{i\phi(t)}$$

이와 같은 방법으로 구한 위상 정보를 통해 서로 다른 신호간의 위상 차이를 구하여 상호 관계를 규명한다. 이 때 두 신호가 n:m 으로 위상 동기화가 나타났다고 하면 각각의 신호의 위상에 정수배를 곱하여 차를 구했을 때 그 값이 일정 범위 이하가 된다.



〈그림 3〉 두 신호의 위상차가 일정 범위 이하인 경우 위상 동기화 (위), 일정 범위를 벗어난 경우 (아래)

$$\phi_{n,m} = n\phi_1 - m\phi_2$$

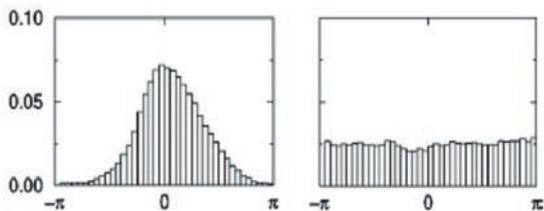
$$|\phi_{n,m} - C| \leq const$$

위상 동기화의 용이한 해석을 위해서 위상차를  $2\pi$  주기로 나타내어 순환 상대적 위상차(cyclic relative phase difference)를 사용한다. 신호들 사이에 동기화가 일어난 경우에는 두 위상의 차이가 상수가 되고  $2\pi$  주기의 특정 위치에서 피크값을 가지게 되기 때문에 동기화 여부를 판단할 수 있다.

$$\Psi_{n,m} = \phi_{n,m} \bmod 2\pi$$

대부분의 동기화지표는  $\Psi_{n,m}$ (순환 상대적 위상차)를 0에서 1의 범위로 정량화시켜 나타내며 0은 두 신호 사이에 관계성이 없다는 것을 의미하고 1은 위상동기화를 의미한다. 동기화 지표 중  $r_{n,m}$ 는  $\Psi_{n,m}$ 를 푸리에급수 형태로 표현했을 때 나타난 위상 정보를 이용하며 다음과 같이 정의한다.

$\lambda_{n,m}$ 은 조건부 확률에 근거한 동기화 지표로서 첫 번째



〈그림 4〉 위상 동기화가 일어난 경우 순환 상대적 위상차를 누적시켜 히스토그램으로 나타내면 특정 위치에서 피크가 검출 (좌) 위상동기화가 일어나지 않으면 전체적으로 고른 분포 (우)

신호의 특정 위상 값이 한 점에 고정되어있을 때 두 번째 신호의 위상 위치를 측정하는 것이다. 만약 위상 동기화가 일어나게 되면 첫 번째 신호의 특정 위상값에 대해서 두 번째 신호의 위상이 일정 범위 내에서 측정되게 된다.

$$\gamma_{n,m}^2 = \langle \cos \Psi_{n,m}(t) \rangle^2 + \langle \sin \Psi_{n,m}(t) \rangle^2$$

$\rho_{n,m}$ 은 샤논 엔트로피(Shannon entropy)에 기반을 둔 동기화 지표이며  $\Psi_{n,m}$ 이 균등한 분포에 대해서 최대값을 나타내며 다음과 같이 정의한다.

$$\rho_{n,m} = \frac{S_{\max} - S}{S_{\max}}$$

$$S_{\max} = \ln N \quad (N: \text{bin의 개수})$$

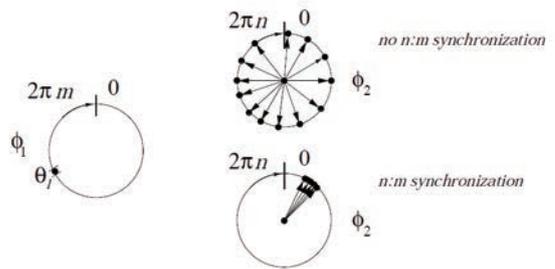
$$S = - \sum_{k=1}^N p_k \ln p_k$$

( $p_k$ :  $\Psi_{n,m}$ 의 확률질량함수)

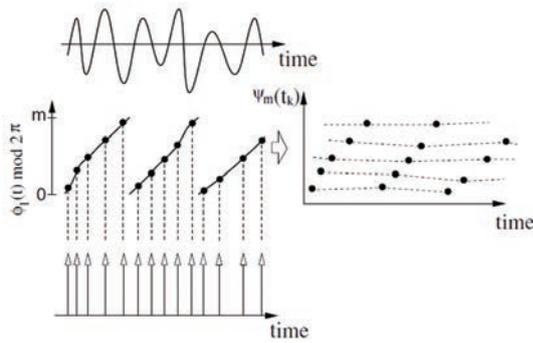
지금까지 소개한 대표적인 세 가지 지표를 통해 두 신호 사이의 위상차의 동기화 특성을 정량화시켜 관계성을 판단해볼 수 있다.

## 2. 싱크로그램

두 생체 신호 사이의 위상 동기화를 보다 효과적으로 나타내기 위한 방법으로 스트로보스코픽 기술을 활용한 싱크로그램 분석 방법이 있다. 싱크로그램은 기준이 되는 신호의 위상이 특정값이 되는 순간 다른 신호의 순간 위상값을 나타내는 방법으로서 특히 심전도와 호흡 신호를 분석할 때 많이 사용된다. 심전도 분석의 경우 심장이 수



〈그림 5〉 첫 번째 신호의 특정 위상값에 대한 두 번째 신호의 위상 값의 분포. 위상동기화가 나타난 경우에는 특정 범위 내에 위상값이 분포<sup>[10]</sup>



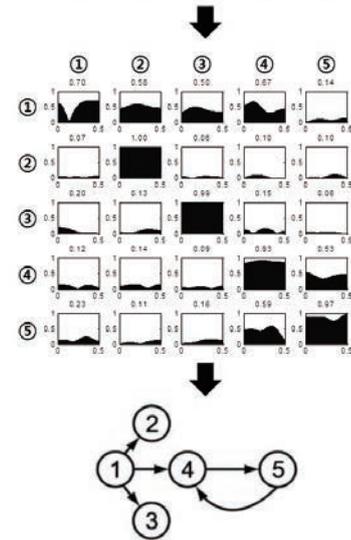
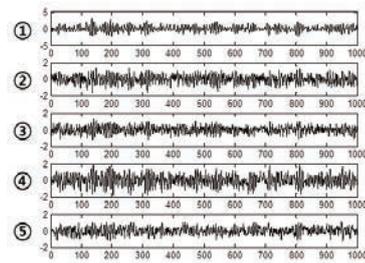
〈그림 6〉 두 주기의 호흡신호의 위상에 대해서 심전도의 R피크에 해당하는 순간을 표시<sup>[10]</sup>

측될 때 나타나는 R피크의 순간을 정확히 검출할 수 있으므로 이것을 이용하여 호흡의 위상  $\phi_i$ 에 R피크의 순간의 시간  $t_k$ 에 해당하는 점으로 표시하게 되며 〈그림 6〉처럼 나타난다.

잡음이 없는 상태에서 두 신호가  $n:1$ 의 비율로 위상동기화가 되면 싱크로그래머에서는  $n$ 개의 평행한 라인을 형성하게 된다. 이것을 이용해서 평행한 라인의 개수와 기준으로 삼은 호흡 주기의 수 ( $m$ )를 통해  $n:m$ 의 동기화 비율을 알 수 있다. 하지만 생체 신호를 분석할 때에는 항상 잡음에 대한 고려가 필요하며 잡음이 섞여있을 때에는 어느 정도를 평행하다고 판단할지에 대한 기준이 불분명하다. 따라서 싱크로그래머를 정량화시킬 때에는 주로 통계적인 방법을 통해 불균일성을 파악하여 동기화 정도를 정량화하고 히스토그램에서 나타난 밴드의 개수를 통해 동기화된 비율도 파악한다. 싱크로그래머 이용하여 위상동기화를 자동검출하기 위한 알고리즘도 계속 개발되어 분석에 적용되고 있으며 대표적인 방법으로 싱크로그래머 검출기, Recurrence plot 분석방법 등이 있다<sup>[11]</sup>.

### 3. 방향성 지표

두 생체 신호 사이에 나타나는 관계는 방향성이라는 특성을 통해서도 분석할 수 있다. 방향성이란 '하나의 신호가  $x$ 자기 자신의 과거 값만을 가지고 예측할 때보다 다른 신호  $y$ 의 값을 같이 이용하여 예측할 때에 예측 가능성이 증가한다면 두 신호 사이에는  $y$ 에서  $x$ 로의 방향성



〈그림 7〉 Partial directed coherence를 이용하여 서로 다른 신호들 사이의 방향성을 구하여 전체적인 네트워크 구조를 파악하는 과정<sup>[12]</sup>

혹은 인과성이 존재한다고 할 수 있다' 라는 이론을 바탕으로 한다. 이 때 예측 가능성을 정량화하는 방법에 따라 cross-conditional entropy, causality, partial directed coherence, directionality index 등 다양한 종류의 지표들이 있다. 이 분석방법을 통해 많은 신호들의 상호 의존성 및 네트워크 구조를 파악할 수 있기 때문에 전체적인 기전을 파악하기 위한 정보를 얻을 수 있다. 〈그림 7〉은 partial directed coherence 방법을 통해 서로 다른 신호들 사이의 방향성을 구하여 네트워크 구조를 파악하는 과정을 나타낸다<sup>[12]</sup>.

### 4. 대리자료의 활용

위상동기화 분석의 타당성을 입증하기 위한 방법으로 대리자료를 활용한다. 이는 생체신호 간의 동기 역

**생체 내 시스템들의 상호 작용을 분석하기 위하여 위상 동기화 분석 및 방향성 지표 분석 등이 사용된다.**



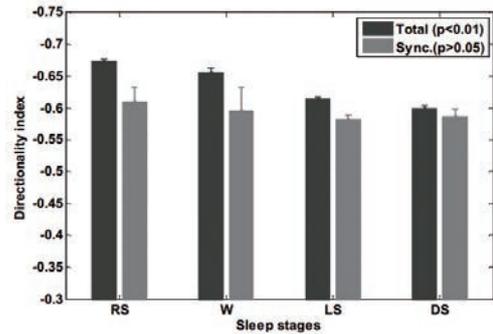
학적 관계를 분석함에 있어 결과로 나타난 두 신호 사이의 관계가 우연에 의한 것인지를 판단하는 방법이다. 어느 한 가지 또는 두 가지 이상의 생체 신호를 대리자료로 교체하였을 때 대리 자료 적용 전후의 생체신호 사이의 동기 역학적 관계 결과에 유의미한 차이가 발생한다면 두 신호 사이의 동기 역학적 관계는 우연에 의한 것이 아님을 증명할 수 있다. 대리 자료는 종류와 목적에 따라 unwindowed Fourier transform(FT) surrogate, windowed Fourier transform(WFT) surrogate, amplitude adjusted Fourier transform(AAFT) surrogate 등 다양한 방법으로 생성할 수 있다.

푸리에 변환을 기반으로 하는 위의 3가지 대리 자료 방법에서는 원래 신호를 푸리에 변환시킨다음 생성된 복소수 결과값의 크기에 0에서  $2\pi$  범위에서 무작위적으로 할당된 위상값을 곱하고 다시 역푸리에변환을 함으로써 평균, 편차 그리고 파워스펙트럼 분포는 원래 신호와 똑같이 유지되지만 위상이 무작위로 할당된 대리자료를 생성하게 된다. FT와 WFT는 푸리에변환 과정에서의 윈도우 사용 여부에 따라 구분되며 AAFT 방법은 대리자료의 크기 분포까지 원래 신호와 같게 유지되도록 하기 위한 과정이 추가되는 방법이다.

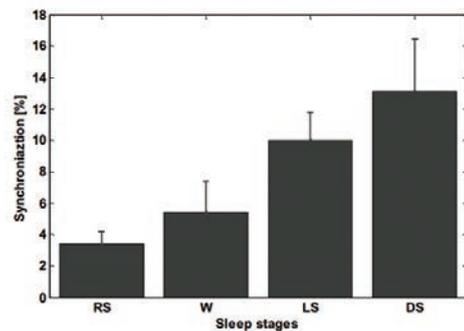
### III. 생체 신호에 적용

#### 1. 수면 중 나타나는 심박-호흡의 동기 역학적 특성 분석

수면단계 변화에 대한 심박-호흡 간의 동기 역학적 특성을 파악하기 위해 수면 관련 질환이 없는 17명의 인원에 대해 수면다원검사를 실시하고 측정된 심박과 호흡 신호를 각각의 수면 단계별로 나누어 분석하였다. 호흡신호는 힐버트 변환을 통해 위상을 추출하였으며 심박은 심전도의 R 피크를 검출하여 위상을 나타내고 두 신호의 위상을 이용하여 싱크로그램을 나타내었다. 또한 recurrence plot 분석 방법을 이용해서 싱크로그램을 정량화하여 위상동기화 특성을 분석하였다. 분석 결과의 유의미성을 검증하기 위해 대리자료 분석을 수행하였다. 분석은 피실험자의 고유심박과 대리자료를 적용한 호흡신호와의 동기화



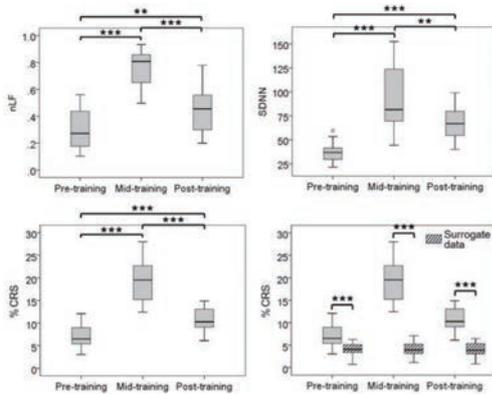
(그림 8) 수면단계에 대한 심박-호흡의 방향성 (RS:렘수면, W:갬, LS:얕은수면, DS:깊은수면)



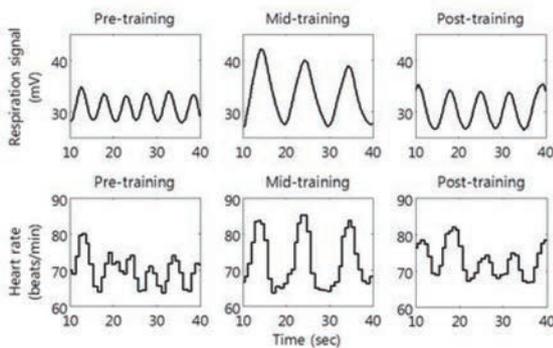
(그림 9) 수면단계에 대한 심박-호흡 위상동기화 (RS:렘수면, W:갬, LS:얕은수면, DS:깊은수면)

분석 결과와 비교를 통해 이루어졌으며 AAFT 방법을 통해 대리자료를 생성하였다. 또한 방향성 지표를 통해 수면 단계마다 심박-호흡 간의 방향성 변화를 분석하였다.

분석 결과 수면 단계가 변함에 따라 위상동기화 발생 비율 사이에 유의미한 차이가 나타났다. 위상동기화 발생 비율은 수면이 깊어짐에 따라 증가하였으며 렘 수면과 비교했을 때 깊은 수면에서 4배 이상 증가하였다. 또한 방향성 지표는 수면이 깊어짐에 따라 감소하게 되는데 이것은 호흡이 심박에 미치는 영향이 감소한다는 것을 뜻한다. 일반적으로 호흡은 자율신경계에 영향을 미치고 자율신경계의 특성이 변하면 심박이 변화한다고 알려져 있다. 따라서 수면이 깊어지는 과정에서 호흡은 안정화되어 자율신경계에 미치는 영향이 감소되면서 심박에 미치는 영향도 감소한다고 해석할 수 있다<sup>[13]</sup>.



〈그림 10〉 훈련 전/중/후에 대한 nLF, SDNN, %CRS 변화양상 (\*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ )



〈그림 11〉 훈련 전/중/후에 해당하는 호흡신호(위)와 심박신호(아래)

## 2. 호흡 조절에 따른 심박-호흡의 동기 역학적 특성 변화

호흡을 특정 리듬으로 조절했을 때 나타나는 심박-호흡 사이의 동기 역학적 특성 변화를 분석하였다. 총 20명의 성인을 대상으로 하였으며 세 개의 세션을 연속으로 수행하였다. 먼저 5분 동안 휴식을 취하면서 생체 신호의 기본 수준을 측정하고 다음 5분간은 0.1Hz로 호흡을 한 뒤 마지막 5분간은 다시 휴식을 취하면서 생체 신호를 측정하였다. 마찬가지로 호흡 신호는 힐버트변환으로 위상을 구하고 심박 신호의 R 피크와의 조합을 통해 싱크로그램을 구한 후 recurrent plot 분석을 적용하였고 AAFT 방법을 통해서 구한 대리자료와의 비교를 통해 유의미성을 확인하였다. 동시에 심박변이율 주파수 영역 파라미터 중 0.04~0.15Hz 영역에 해당하는 nLF값을 조사하였고 시

**동기화의 지표는 대리자료를 이용하여 통계적으로 유의미한 값을 확인할 수 있다.**

간영역 심박변이율 파라미터인 SDNN (연속한 심박 비트 사이 시간 간격의 표준편차)의 변화도 분석하였다.

호흡의 조절에 따른 심박신호의 변화는 〈그림 10〉과 같이 나타난다. 휴식하고 있을 때와 비교했을 때 낮은 주파수로 깊은 호흡을 하는 동안 호흡성동성부정맥 현상이 보다 크게 나타나 흡기 중 심박속도 증가량과 호기 중 심박속도의 감소량의 변화가 크게 증가하였다.

분석 결과 심박변이율의 파라미터 nLF와 위상동기화율 모두 호흡조절훈련 중에 유의미하게 증가하였다. 또한 위상동기화율은 대리자료와의 분석 결과와 비교했을 때 모두 유의미한 차이를 나타내어 심박-호흡 간의 위상동기화가 우연에 의해 발생된 것이 아님을 알 수 있었다. 일반적으로 심박변이율은 자율신경계의 균형 및 활동성을 반영하고 감정 및 스트레스와도 밀접한 연관이 있다고 알려져 있다. 따라서 호흡조절은 자율신경계를 조절하는 방법이 될 수 있으며 감정이나 스트레스 조절에도 도움을 줄 수 있는 방법으로 여겨진다. 이 때 심박변이율 뿐만 아니라 심박-호흡 간의 위상동기화 분석을 통해서도 현재 상태를 추정하는데 유용한 정보를 제공해줄 것으로 보인다<sup>[14]</sup>.

## VI. 향후 연구 및 결론

지금까지 생체 신호 사이에 나타나는 관계성을 평가하기 위한 방법으로 여러 종류의 동기 역학적 특성 분석 방법에 대하여 소개하였고 일부 방법을 실제 생체 신호에 적용하여 분석한 결과를 보여주었다. 각각의 생체 시스템은 상태에 따라 관계성이 달라지게 되며 이는 동기 역학적 특성에 반영된다. 향후 다양한 생체 신호와의 복합적인 관계성 분석을 통해 여러가지 유용한 정보를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

### 참고 문헌

[1] Maja Bracic Lotric, et al. "Synchronization and modulation in the human cardiorespiratory system", Physica A, pp.451-461, vol. 283, 2000.



[2] Nikhil Pachauri, et al., "Phase synchronization and coherence analysis between ECG & arterial blood pressure", International Journal of computer Applications, vol. 44, no. 18, 2012.

[3] Andreas Daffertshofer, et al., "Dynamical coupling between locomotion and respiration", Biological Cybernetics, pp.157-167, vol. 90, 2004.

[4] Gregory Blain, et al., "Time-frequency analysis of heart rate variability reveals cardiocomotor coupling during dynamic cycling exercise in humans", pp.H1651-H1659, vol. 196, no. 5, 2009.

[5] Ronny Bartsch, et al., "Experimental evidence for phase synchronization transitions in the human cardiorespiratory system", Physical Review Letters, vol. 98, 054102, 2007.

[6] P.Van Leeuwen, et al., "Influence of paced maternal breathing on fetal-maternal heart rate coordination", PNAS, pp.13661-13666, vol. 106, no. 33, 2009.

[7] Jeannine Peupelmann, et al., "Cardio-respiratory coupling indicates suppression of vagal activity in acute schizophrenia", Schizophrenia Research, pp.153-157, vol. 112, 2009.

[8] V. S. Anishchenko, et al., "Synchronization of Cardiorhythm by Weak External Forcing," Discrete Dynamics in Nature and Society, vol. 4, pp. 201-206, 2000.

[9] Luciano Bernardi, et al., "Dynamic Interactions Between Musical, Cardiovascular, and Cerebral Rhythms in Humans", pp.3171-3180, vol. 119, 2009.

[10] M. Rosenblum, et al., "Phase synchronization: From theory to data analysis", Handbook of Biological Physics, pp.279-321, vol. 4, 2001.

[11] C. D. Nguyen, et al., "Automated quantification of the synchrogram by recurrence plot analysis", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, pp. 946-955, vol. 59, 2012.

[12] Luiz A.Baccala, et al., "Partial directed coherence: a new concept in neural structure determination", Biological cybernetics, pp.463-474, vol. 84, 2001.

[13] 윤희남 외, "수면 심박-호흡의 위상 동기 특성과 방향성 관계 분석", 대한의용생체공학회, Nov. 2013.

[14] 정다운 외, "수면 무호흡증이 심혈관계 신호의 방향성에 미치는 영향 평가를 위한 인과성 지표의 사용 가능성에 관한 연구", 대한의용생체공학회, Nov. 2013.



김상경

- 2008년 8월 서울대학교 바이오시스템공학 학사
- 2008년 9월~현재 서울대학교 바이오엔지니어링 석박사통합과정

〈관심분야〉

비선형 생체신호 분석, 생체신호 동기화 분석, 파킨슨병 진단 알고리즘



박광석

- 1982년~1985년 서울대학교 의공학 박사
- 1985년~현재 서울대학교 의과대학 교수
- 2001년~2012년 서울대학교 생체계측 신기술 연구센터 소장
- 2014년 대한의용생체공학회 회장

〈관심분야〉

생체신호처리, 무구속생체신호 모니터링, Brain-Computer Interface

# 대규모 데이터 기반의 뇌 신경망 (Brain Network) 연구 동향

## I. 서론

최근 신경과학 분야의 연구 풍경이 빠른 속도로 변화하고 있다. 관찰 기술의 제약으로 오랜 시간 소규모 신경세포 수준의 연구에 집중해왔던 신경과학계가 뇌 신경망(brain network) 수준의 데이터를 생산, 분석할 수 있게 되면서 본격적인 ‘빅데이터’ 시대로의 진입을 준비하는 모양새다. 미국의 국가과학프로젝트로 2014년 시작된 BRAIN Initiative는 대규모 신경활성 기록 기술을 비롯하여 신경세포집단 전체를 낱알이 밝힐 수 있는 기술들을 개발하고, 이를 통해 뇌 신경망의 동역학을 이해해보자고 독려 중이다<sup>[1]</sup>. 이미 ‘빅데이터’ 시대로 진입한 유전체학, 천체물리학 등의 다른 분야와 마찬가지로 새로운 흐름은 연구자들의 관점과 접근 방식에 근본적인 변화를 유도하고 있으며, 이에 따라 데이터 표준화, 공개 협력연구, 대용량 데이터의 처리와 분석 등, 다양한 주제로 매우 흥미로운 논의들이 진행되고 있다. 본 글에서는 그 중에서 고차원 시계열 데이터(high-dimensional time series data)의 특성을 갖는 신경망의 데이터 분석방법에 초점을 맞추어 최근의 동향을 소개하고자 한다.

뇌 신경망 데이터는 크게 거시수준(large-scale level) 데이터와 중간(meso), 혹은 미시수준(micro-scale level)의 데이터로 구분될 수 있다. 전자는 주로 인간을 대상으로 한 뇌영상 연구(fMRI, PET, MEG, EEG 등)를 통해 얻어지며 뇌의 넓은 범위를 포함하지만 개별 세포 수준의 정보가 아닌 영역(region) 수준에서의 데이터를 제공한다. 후자는 개별 신경세포 수준의 정밀도로 여러 신경세포의 활성을 기록하지만 동시에 기록할 수 있는 신경세포의 숫자는 일반적으로 수백 개를 넘지 못한다. 또한 침습적인 기술 특성상 사람이 아닌 동물을 대상으로만 실험이 이루어지고 있다. 양 분야 모두 뇌의 작동원리를 이해하는 것



**김창엽**  
서울대학교 의과대학  
신경면역 정보저장  
네트워크 연구센터



**김상정**  
서울대학교 의과대학  
신경면역 정보저장  
네트워크 연구센터



을 목표로 하지만, 산의 정 반대방향에서 각자 터널을 파며 들어가고 있는 형국이어서 아직 두 연구 진영간의 겹은 상당히 큰 상황이라 할 수 있다. 때문에 신경망 분석이라는 공통된 주제에 대해서도 각자의 영역에서 다소 상이한 방법들이 발전해나가고 있는 상황이다. 향후 가속화될 대규모 신경활성 기록 기술 및 관련 테크놀로지의 발전으로 이러한 겹이 메꾸어 질 것으로 기대된다. 본 글에서는 기능적 자기공명영상(fMRI), 양전자방출단층촬영술(PET) 등을 중심으로 이뤄지고 있는 인간 뇌영상 기반의 뇌신경망 연구와 multi-electrode array recording, two-photon calcium imaging등을 주요 수단으로 이뤄지고 있는 동물의 신경망 연구를 차례로 살펴본다.

**뇌 신경망 데이터는 거시수준 데이터와 중간, 혹은 미시수준의 데이터로 구분될 수 있다.**

analysis라고 한다. 반면 MVPA는 조건에 관여하는 voxel들의 '패턴'을 찾고자 한다. 구체적인 방법으로서 기계학습의 감독 학습(supervised learning) 기술을 이

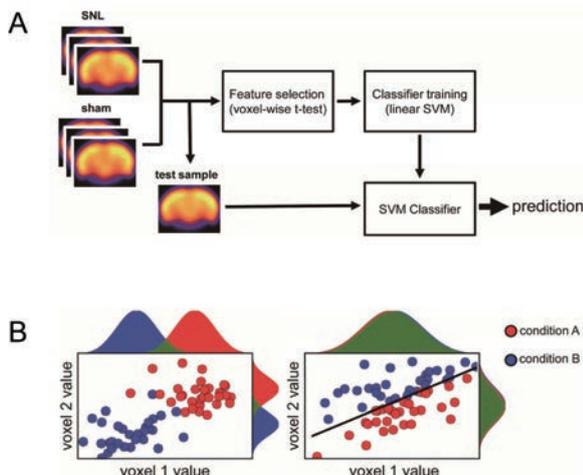
들은 특정 행동, 질병 등의 조건에서 활성화되는 뇌 영역을 찾기 위해 수만 개에 이르는 voxel(volumetric pixel)의 활성도를 행동, 혹은 질병상태간에 통계적으로 비교하였다. 그러나 이러한 분석은 기본적으로 voxel간의 독립성을 가정하고 이루어지므로, 실제 긴밀하게 연결되어 작동하고 있을 뇌 신경망에 대한 이해는 제한될 수 밖에 없었다. 이러한 접근법을 MVPA와 대비하여 univariate analysis라고 한다. 반면 MVPA는 조건에 관여하는 voxel들의 '패턴'을 찾고자 한다. 구체적인 방법으로서 기계학습의 감독 학습(supervised learning) 기술을 이용하여, 데이터를 훈련군(training set)과 테스트군(test set)으로 나누어 교차검증을 시행, voxel들의 패턴 정보로부터 해당 조건을 성공적으로 예측할 수 있는지 평가한다(〈그림 1A〉). 성공적인 예측은 이용된 voxel들의 패턴, 즉 뇌 영역들의 활성패턴이 해당 조건에 관여하고 있음을 시사하게 된다. 이때 이용된 voxel들에 대해 독립적으로 univariate 분석을 수행할 경우 해당 조건과 통계적으로 유의한 관련을 보이지 못할 수도 있다(〈그림 1B〉). 즉 뇌의 각 영역들은 독립적으로 기능하지 않으며 뇌의 기능은 뇌활성의 분산된 패턴(distributed pattern)으로 나타남을 시사한다. 하지만 MVPA를 이용한 분석은 관련된 뇌영역들의 활성 패턴을 조사할 뿐, 상호 연결된 뇌 신경망이 어떻게 작동하고 있는지에 대한 정보를 주지는 않는다. 또한 가장 높은 예측력을 보인 뇌영역들의 집합이 반드시 생리학적으로 그 기능에 관여하는 활성패턴이라고 할 수 있는 지에 대해서도 비판의 여지가 있다.

## II. 관련연구

### 1. 인간 대상의 뇌 영상(human brain imaging) 연구

#### A. MVPA(multi-variate pattern analysis)

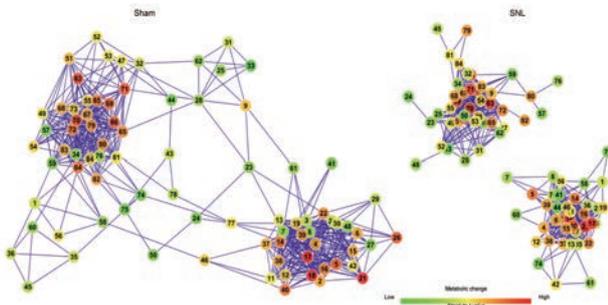
90년대 이후 fMRI, PET 등, 인간 대상의 뇌영상 연구가 폭발적으로 증가하면서 거시수준의 뇌 이해에 많은 진전이 있었다. 2000년대 중반까지 수행된 일반적인 연구



〈그림 1〉 A. MVPA 를 이용한 뇌영상 분석 과정. B. Univariate analysis만으로도 두 조건이 구분되는 경우(왼쪽)와 MVPA 를 적용하지 않으면 구분할 수 없는 경우(오른쪽)

#### B. 정적 기능적 연결성(static functional connectivity) 분석

뇌 영역간의 기능적 연결성은 뇌 활성 데이터의 변이량으로부터 계산될 수 있다. 시간, 혹은 개체에 따른 활성의 변화가 두 영역간에 유사하다면(covary), 두 영역 사이에 기능적인 연결관계가 존재한다고 보는 것이다. 그간의 많은 연구를 통해 기능적 연결성이 구조적 연결성(structural connectivity)을 반영하고 있으며<sup>[2]</sup>, 특정 행



〈그림 2〉 뇌 영상 데이터로부터 구성된 graph

위나 질병 등의 상태를 반영하고 있음이 확인 되었다<sup>[1]</sup>. 기능적 연결성은 상관 계수(correlation coefficient)나 Granger causality 등으로 측정되는데, 전자가 두 영역간의 단순 상관성을 의미한다면, 후자는 인과관계(causality)를 추론한다<sup>[3]</sup>.

기능적 연결성 연구는 초기 관심 영역간의 연결성을 조사하는 연구에서 시작하여 seed-based analysis와 brain network analysis로 발전하였다. Seed-based analysis는 관심 영역(주로 특정 행위, 혹은 질병 상태에서 높은 활성을 보인 영역)의 voxel을 seed로 설정하고, seed voxel과 나머지 전체 voxel들간의 연결성을 조사한다. 관심 영역과 뇌 전체 영역간의 연결관계를 파악할 수 있으나, 관심영역 설정 단계에서 연구자의 편견이 들어갈 수 있는 단점이 있으며, 뇌의 신경망을 전체적으로 조망할 수는 없다는 한계가 있다. Brain network analysis는 뇌 영역들을 node로, 정의한 연결성을 edge로 표현하여 그래프(graph)를 구성하고, 복잡계 네트워크(complex network) 이론을 적용하여 신경망의 topology를 분석한다(〈그림 2〉). 허브(hub), 모듈 구조, small-worldness, network efficiency와 등을 조사함으로써 뇌 신경망이 갖는 특성 뿐 아니라, 특정 행동이나 질병상태에서 뇌신경망의 topology가 어떻게 변화하는지 알 수 있다. 그러나 graph를 구성하기 위해 node를 어떻게 정의해야 하는지, 연결성 계산시 역치값의 설정은 어떻게 이루어져야 하는지 등, 명확한 기준이 없는 분석과정들이 결과에 큰 영향을 미칠 수 있음이 지적되고 있으며, 이 부분은 아직 극복해야 할 과제로 남아있다<sup>[4]</sup>.

### C. 동적 기능적 연결성(dynamic functional connectivity) 분석

MVPA와 기능적 연결성에 기반한 연구들이 뇌의 거시적 작동원리에 대해 많은 새로운 사실을 밝혀낸 것은 사실이지만, 데이터 수집기간 동안 뇌의 평균적인 활동양상을 조사함으로써 정적인 신경망(static network)을 연구할 수 밖에 없다는 한계점이 있다. 그러나 뇌는 복잡한 동역학적 특성을 갖고 있음이 이미 알려져 있으므로 신경망의 연결패턴 역시 동적으로 변화하고 있다고 가정하는 것이 합당하다. 최근 동적 기능적 연결성(dynamic functional connectivity)의 탐구가 시작되면서 인간 뇌 신경망의 보다 완전한 시공간적 이해에 접근하고 있다. 주로 안정시(resting state) fMRI의 시계열 데이터에 일정한 time window를 설정, window 내 데이터로부터 네트워크를 구성하고, 이 window를 overlapping 하는 방식으로 이동시키며 연속적인 네트워크를 구성하는 sliding window analysis가 시도된다<sup>[5]</sup>. 지금까지의 연구에서 뇌 신경망의 연결성 변화는 연속적인 변화가 아니라, 동역학계의 fixed point와 같이 구분되는 특정 패턴이 반복적으로 나타나고 유지되는 multistable state의 양상을 띠는 것으로 드러나고 있다. 또한 이러한 동적 연결패턴의 변화가 질환상태와 관련되며, 연결패턴의 변화와 함께 네트워크 속성도 동적으로 변화한다는 사실도 확인되었다<sup>[6]</sup>. 그러나 측정된 연결성의 변화는 심장, 호흡의 변화, 하드웨어의 불안정성 등, 다양한 노이즈에 기인할 수 있으므로 결과의 분석과 해석에 많은 주의가 필요하다. 동적 기능적 연결성 연구는 아직 탐색적인 연구 단계에 있으며 신뢰할 수 있는 분석방법을 확립하기 위해선 다소간의 시간이 필요할 것으로 보인다.

## 2. 동물 대상의 대규모 신경활성 기록(large-scale neural activity recording) 연구

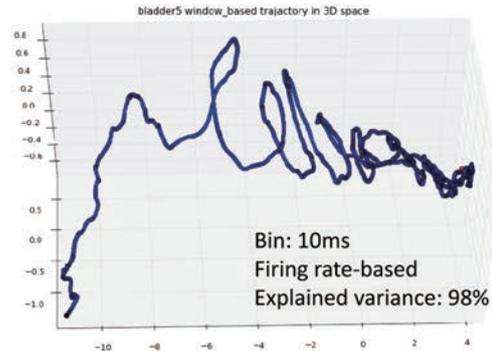
### A. 기초적인 tuning curve를 이용한 분석

동물 대상의 신경망 연구는 인간 대상의 뇌 영상 연구와 반대로, 세포수준의 정밀성을 확보한 상태에서 스케일을 넓혀나가고 있다. 전통적으로 여러 신경세포의 활



성을 기록하기 위하여 multi-electrode array (MEA) recording이 이용되어왔으며 이를 이용하여 local field potential(LFP)을 기록하거나 개별 세포들의 spike를 기록, 분리해낼 수 있다. LFP 기록은 기록자극 근처의 통합된 전기적 활성을 나타낼 뿐, 개별 세포수준의 정보를 주지는 않는다. Spike 기록은 개별세포 수준의 활동전위를 기록할 수 있으나 기록된 세포들의 공간정보가 매우 제한적이라는 한계가 있다. Tuning curve는 일련의 자극(빛 자극의 방향 혹은 팔을 움직이는 각도 등)에 대한 신경세포의 관련 활성(firing rate)을 Gaussian curve, cosine curve 등으로 모델링함으로써 얻어진다. 즉, 개별 세포가 특정 자극에 얼마나 반응하는지에 대한 신호도로 이해될 수 있으며, tuning curve를 구한 후에 역으로 신경세포들의 활성 데이터로부터 주어진 자극을 추론할 수 있다. 이때 신경세포들이 서로 독립적으로 기능한다고 가정하고 개별 세포들의 tuning curve 정보와 활성도를 단순 선형결합하여 자극을 추론하는 방식이 가장 기초적인 분석방식이다.

**최근 GLM이나 MAP 추정과 같은 통계 신호처리를 이용한 신경세포간 기능적 연결성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.**



(그림 3) MEA로 기록된 신경세포집단의 궤도(trajecory)

(신경세포의 수가 늘어나면 연결이 늘어나고 필연적으로 parameter가 증가한다), 모델 적합에 사용된 데이터는 잘 설명하지만 새로운 데이터는 설명하지 못하는 과적합(overfitting) 문제가 발생하게 된다. 이를 막기 위해 basis function을 이용하여 parameter space를 제한하거나, 연결관계에 대한 기존 지식을 포함, Bayes' rule을 적용하여 MAP(maximum a posteriori) 추정을 할 수도 있다.

**B. 신경세포간 기능적 연결성 (functional connectivity between neurons) 분석**

고전적으로 신경세포의 spike train data로부터 연결성을 추론하기 위하여 cross-correlogram이나 joint PSTH(peri-stimulus time histogram) 분석이 이루어져왔으나 이런 방식으로 추론된 연결성은 기록되지 않은 숨겨진 변수나(신경세포 혹은 외부자극) 관찰된 변수들간의 복잡한 연결관계에서 오는 간접적 상관성에 의하여 교란되는 한계가 있다. 최근엔 GLM(generalized linear model)과 같은 모델을 기반으로 한 신경망 분석이 활발하게 연구, 적용되고 있다<sup>7)</sup>. GLM은 신경세포들의 tuning curve와 상호 연결관계, 불응기(refractory period)등을 parameter를 갖는 모델로서, 신경세포들의 활성기록을 변수로 받아 확률모형에 따라 예측을 수행한다. 모델 적합을 위해 maximum likelihood methods가 주로 이용되나 데이터에 비해 parameter가 많은 경우

**C. 차원축소(dimensionality reduction)와 동역학(dynamics) 분석**

동시에 측정된 여러 신경세포들의 활성기록은 다차원 시계열의 데이터(high dimensional time series data)로서, 차원축소기법을 적용하여 2차원, 혹은 3차원 공간 상에 시간에 따라 evolve하는 궤도(trajecory)를 표현할 수 있다<sup>8)</sup>(<그림 3>). 이 경우 모델 구성을 위한 parameter 적합이 필요 없으므로 과적합 문제를 피할 수 있을 뿐 아니라, 동시기록 신경세포의 숫자가 증가하는 경우 모델 기반 분석에 비하여 효율적으로 신경망의 동역학을 탐색할 수 있는 수단이 된다. 차원축소를 위하여 PCA(principal component analysis)와 같은 선형적 축소기법이 주로 이용되며, 궤도로 표현된 신경망의 시간에 따른 변화양상은 동역학적 관점에서 분석될 수 있다.



### III. 향후 연구 및 결론

신경망의 복잡하고 역동적인 패턴이 어떻게 인지, 기억, 정서를 만들어내는지 이해하기 위해서는 실제 신경세포로 구성된 신경망의 데이터를 획득하고 분석하는 것이 필수적이다. 최근의 신경과학 연구자들은 과거 어느 때보다 실제 신경망을 잘 관찰할 수 있는 기술과 분석, 처리 능력을 갖추고 있으며 관련 기술혁신의 속도는 매우 가파르다<sup>[9]</sup>. 향후 신경망 연구는 과거와 달리 대규모의 실제 데이터를 중심으로 전개되리라 예상되며 이에 따라 실험가와 분석가, 이론가, 공학자간의 긴밀한 협력 연구가 보다 중요해지리라 전망된다.

#### 참고 문헌

[1] <http://www.braininitiative.nih.gov/2025/index.htm>.

[2] Greicius, M.D., et al., Resting-state functional connectivity reflects structural connectivity in the default mode network. *Cereb Cortex*, 2009, 19(1): p. 72–8.

[3] Roebroeck, A., E. Formisano, and R. Goebel, Mapping directed influence over the brain using Granger causality and fMRI. *Neuroimage*, 2005, 25(1): p. 230–42.

[4] Smith, S.M., The future of fMRI connectivity. *Neuroimage*, 2012, 62(2): p. 1257–66.

[5] Hutchison, R.M., et al., Dynamic functional connectivity: promise, issues, and interpretations. *Neuroimage*, 2013, 80: p. 360–78.

[6] Zalesky, A., et al., Time-resolved resting-state brain networks. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2014, 111(28): p. 10341–6.

[7] Stevenson, I.H., et al., Inferring functional connections between neurons. *Curr Opin Neurobiol*, 2008, 18(6): p. 582–8.

[8] Cunningham, J.P. and B.M. Yu, Dimensionality reduction for large-scale neural recordings. *Nat Neurosci*, 2014, 17(11): p. 1500–9.

[9] Stevenson, I.H. and K.P. Kording, How advances in neural recording affect data analysis. *Nat Neurosci*, 2011, 14(2): p. 139–42.



김창업

- 2007년 2월 동국대학교 한의학과 학사
- 2014년 2월 서울대학교 의과대학 의학박사 (생리학)
- 2014년 3월~현재 서울의대 신경면역 정보저장 네트워크 연구센터 Post Doc. 정보의학인증의(CPBMI)

〈관심분야〉

Neural coding, High-dimensional time series data, Systems medicine



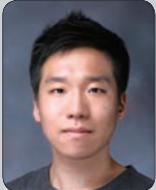
김상정

- 1990년 서울대학교 의과대학 학사
- 1996년 서울대학교 의과대학 의학박사 (생리학)
- 2010년~현재 서울대학교 의과대학 생리학 교실 교수
- 2011년~현재 신경면역 정보저장 네트워크 연구센터 센터장
- 2014년~현재 서울대학교 신경과학 연구소 소장
- 2014년~현재 서울대학교 의과대학 생리학교실 주임교수
- 2015년~현재 서울대학교 대학원 의과학과 학과장

〈관심분야〉

Learning and memory, Chronic pain, In vivo brain imaging

# Persistent Homology를 이용한 뇌 신경망 분석 및 바이오마커 연구



유재준  
한국과학기술원  
바이오및뇌공학과



예종철  
한국과학기술원  
바이오및뇌공학과



장재승  
분당 서울대 병원



하규섭  
분당 서울대 병원

## I. 서론

휴먼 커넥톰 (human connectome)이라고도 불리는 인간의 뇌 신경망 연결성 (brain network connectivity)은 흔히 점 (node)과 선 (edge)으로 그려진 그래프로 표현이 되곤 한다. 이 때, 점은 해부학적인 뇌 영역들의 위치 혹은 신호측정 기기들의 위치로 정해지며 뇌 영역 간의 관계를 대표하는 선을 정할 때는 다양한 방법이 사용된다<sup>[1]</sup>.

대표적으로 사용되는 방식이 각 뇌 영역의 신호들의 상관관계 (correlation)를 측정하여 이를 바탕으로 영역 간 실제 거리 (Euclidean distance)가 아닌 기능적 거리 (functional distance e.g. 1-correlation)를 계산하는 것이다. 즉, 신호간의 상관관계가 크면 영역간의 기능적 거리가 짧다고 해석하는 것이다.

이러한 방식은 실제 신호와 잡음을 구별하기 위하여 필연적으로 기준 값이 필요하다. 일반적으로 점들 사이의 거리를 표현한 연결성 행렬 (connectivity matrix)에서 임의의 임계값 (threshold value)을 기준으로 행렬 값을 버림하여 뇌 신경망 그래프를 구성하는 방식이 사용된다<sup>[1]</sup>.

따라서 최적의 임계값을 정하는 문제는 기존의 신경망 분석에서 아주 중요한 주제 중 하나인데, 이는 임계값을 어떻게 정하냐에 따라 그로 인해 구성되는 신경망 그



김은영  
서울대 병원



안용민  
서울대 병원



래프의 생김새가 바뀌기 때문이다.

이를 해결하기 위해 최적 임계값을 설정하고자 많은 연구들이 이루어졌지만 학계에서 널리 인정되는 방식은 아직까지 존재하지 않는다. 이러한 한계점은 같은 데이터를 바탕으로 분석한 결과가 임계값의 설정에 따라 서로 다르게 해석될 수 있는 여지를 남긴다. 뿐만 아니라 계산된 연결 행렬 값에서 임계값 이하의 값들을 모두 버림으로써 원 신호의 정보를 잃게 되는 근본적인 문제가 발생하게 된다.

이를 극복하기 위해, 우리는 최근 개발된 위상수학 이론을 바탕으로 접근한 신경망 분석 방식을 사용하고자 한다. Persistent 호몰로지는 계산위상수학 (computational topology) 분야에서 함수나 도형의 위상적인 잡음을 신호와 구별하고자 개발된 이론이다<sup>[2]</sup>.

Persistent 호몰로지를 이용한 분석 방법은 뇌 신경망을 표현할 때 임의의 한 임계값이 아닌 모든 임계값을 사용하기 때문에 첫째로 기존의 분석에서 문제가 되는 임계값 설정에 구애받지 않는 장점이 있다. 둘째로 기존의 방식과는 달리 신경망의 위상적인 특성을 계산하여 그 변화를 추적하기 때문에 좀 더 직접적이고 정확한 분석이 가능하다<sup>[1-3]</sup>.

본 글에서는 persistent 호몰로지 이론을 이용한 분석을 소개하기 위하여 2장에서 기본 위상수학 이론과 배경을 설명하고, 3장에서 persistent 호몰로지 분석 방식을 다양한 임상 데이터에 적용한 결과와 기타 응용 이론들을 소개한다. 마지막으로 4장에서 결론 및 연구방향으로 글을 맺는다.

## II. 배경 이론<sup>1)</sup>

### 1. 위상수학의 배경소개

위상수학에서는 임의의 두 가지 공간이 있을 때, 이 공

1) 배경이론은 주로 Edelsbrunner, Herbert, and John Harer. Computational topology: an introduction. American Mathematical Soc., 2010.를 바탕으로 작성되었다.



〈그림 1〉 도넛과 커피컵의 위상동형관계

간들이 서로 위상동형 (homeomorphic)인지를 판단하는 것이 아주 근본적인 문제이다. 널리 알려진 예로 도넛과 커피 잔이 위상동형인 이유는 두 모양이 진흙으로 만들어져 있을 때, 자르거나 붙이지 않고 늘이는 등의 변형을 가하면 서로 같은 모양이 되기 때문이다.

두 공간들이 서로 위상동형이거나 아닌 것을 보여주기 위해서는 둘 사이에 위와 같은 조건을 만족하는 변형에 해당하는 전단 사상 (bijective mapping)의 존재 유무를 증명해야한다. 두 공간들이 위상동형이 아님을 증명하기 위해 전단 사상이 없음을 확인하는 것은 상당히 어려운 문제인데, 따라서 보통 위상동형사상

**Persistent 호몰로지를 이용한 분석 방법을 통하여 뇌 신경망을 보다 효율적으로 이해할 수 있다.**

(homeomorphism)을 거칠 때, 특성이 바뀌지 않으면서 (invariant), 한 공간에서는 만족하지만 다른 공간에서는 만족하지 않는 위상적 특징을 찾는 전략을 택하게 된다.

예를 들어 실선  $R$ 은  $R^2$ 와 위상동형이 아닌데, 그 이유는 실선에서 하나의 점을 지우면 두 개의 끊어진 공간이 나오지만,  $R^2$ 의 경우는 그렇지 않기 때문이다. 이러한 기본적인 성질을 이용하여 위상동형을 증명하는 것은 아주 단순하고 특별한 경우로써 일반적인 방법이 되지 못한다.

따라서 좀 더 유용한 위상적 불변자 (topological invariant)를 찾기 위한 푸앙카레나 베티와 같은 수학자들의 시도로부터 대수적 위상수학 (algebraic topology)이 시작되었다. 이 중 베티는 호몰로지군 (homology groups)을 이용하여 공간들 사이의 관계를 정의하였다. 여기서 호몰로지는 위상공간 속에 존재하는 ‘구멍’들을 의미하며, 서로 위상동형인 공간들은 마찬가지로 각각의 공간에 존재하는 ‘구멍’들 역시 위상동형임이 증명되었으며, 이런 ‘구멍’들 혹은 호몰로지군들을 이용하여 두 공간의 위상 동형 여부를 확인하는 것이 훨씬 다루기 쉽고 계산이 편리하기 때문에 우리는 이를 사용하여 두 공간 사이의 관계를 확인한다.

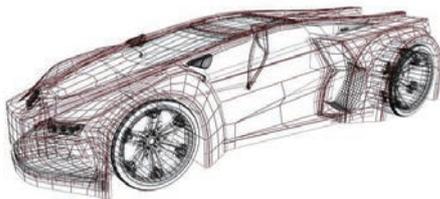
호몰로지군을 정의하는 방법에는 여러 가지가 있으나 그 중 우리는 단체 호몰로지군 (simplicial homology)을 사용한다. 먼저, 단체 호몰로지를 구성하는 단체 복합체를 소개하겠다.

## 2. 단체 복합체 (Simplicial Complexes)

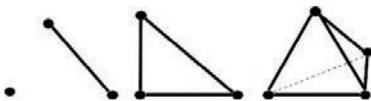
임의의 신경망을 분석하기 위해서는 신경망을 구성하는 요소들을 정의하고 나타낼 수 있어야 하겠다. 일반적으로 뇌 신경망을 분석할 때는 뇌의 각 영역을 점으로 표현하고 영역간의 상호관계를 선으로 단순화하여 나타낸다. 이렇게 위상적인 공간 (topological space)을 단순화하여 수학적으로 표현한 것이 복합체 (complex)이다.

이런 복합체에도 여러 가지가 있으나, 우리가 컴퓨터를 이용하여 분석하기 때문에, 컴퓨터가 계산하기 쉽고 다루기 좋은 점과 선 그리고 삼각형 등의 '조각'을 이용하여 신경망을 단순하게 나타내는 방법을 자주 사용한다. 예를 들어 자동차의 몸체를 디자인할 때, 3D로 컴퓨터에 표현된 것이 여러 삼각형이나 다면체로 구성된 것을 본 적이 있을 것이다.

조각들이 위상적으로 단순하고, 그들 사이의 교집합 혹은 맞닿은 면 (face)이 같은 종류의 낮은 차원 조각들로 나타내어질 때, 이러한 조건을 만족하는 '조각' 다른 말로 '단체 (simplex)'들의 집합을 단체 복합체 (simplicial complex)라고 한다. <그림 3>은 단체 (simplex)의 예시이다. 1차원의 단체 (1-simplex)인 선은 두 개의 0



<그림 2> 3D Max를 이용한 자동차 디자인<sup>2)</sup>



<그림 3> 꼭짓점, 선, 삼각형, 사면체

차원 단체 (0-simplex)인 꼭짓점을, 2차원의 단체 (2-simplex)인 삼각형은 세 개의 1차원 단체인 선을, 그리고 3차원의 단체 (3-simplex)인 사면체는 네 개의 2차원 단체인 삼각형을 교집합 즉, 면 (face)로 갖는 것을 볼 수 있다.

그러나 만일 자동차 몸체를 여러 삼각형들의 집합으로 나타낸 결과가 원래의 모양과 크게 달라질 수가 있다면 이는 우리가 원하는 바가 아니다. 다행히도, 단체 (simplex)들로 구성된 위상공간은 단순 복합체와 위상동형사상 (homeomorphism)이 존재하며, 이러한 위상동형사상을 공간의 삼각화 (triangulation)라고 한다. 따라서 우리는 안심하고 뇌 신경망을 단체 복합체로 구성할 수 있다. 그리고 이렇게 다수의 뇌 신경망으로부터 구성된 복합체들이 서로 차이가 있는지 여부를 확인할 때, 앞서 소개한 호몰로지군을 이용할 수 있다.

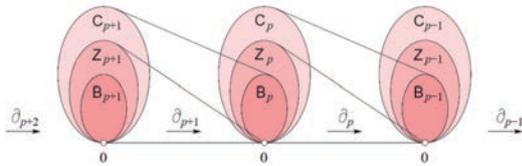
## 3. 호몰로지군 (Homology Groups)

호몰로지군은 위상공간에서 다차원 '구멍'에 대해 다룬다. 이를 다르게 표현하자면, 한 공간에서 공간을 구성하는 원소들끼리 어떤 형태로 이어져 있는지를 보여주는 것이라 생각할 수 있다. 이렇게 원소들의 '이어진 형태'를 통해 위상 공간에서의 '구멍'을 찾는 것이 호몰로지군에서의 접근 방식이 되겠다. 원소들의 '이어진 형태'를 사슬 (chain)이라고 하며 사슬 간에는 경계사상 (boundary mapping)이라는 관계를 갖는다. 이를 사슬 복합체라고 표현하고 다음과 같이 정의한다.

$K$ 가 단체 복합체라 할 때,  $p$ 차원 사슬 ( $p$ -chain)은  $K$ 에 속하는  $p$ 차원 단체들의 합이다. 이를 수식으로 나타내면  $c = \sum a_p \sigma_p$ 와 같으며, 여기서  $\sigma_p$ 는  $p$ 차원 단체들이고,  $a_p$ 는 각각의 계수들이다.  $K$ 의  $p$ 차원 사슬들의 집합은  $C_p(K)$ 와 같이 나타낸다. 한편  $p$ 차원 단체의 경계 (boundary)는 그것의  $p-1$ 차원 면들의 합으로 정의된다.  $p$ 개의 꼭짓점으로 이루어진  $p$ 차원 단체  $\sigma = [u_0, u_1, \dots, u_{p-1}]$ 의 경계는 다음

과 같이 나타내며,  $\partial_p \sigma = \sum_{j=0}^{p-1} [v_0, \dots, \hat{v}_j, \dots, v_{p-1}]$  꼭쇠모자는  $u_j$ 를 제외하였음을 의미한다. 쉬운 예로, 1차원 단체인 선의 경계는 양단의 0차원 단체인 꼭짓점 두 개의 합으로 이

2) <http://imgarcade.com/1/3d-max-car-design/>



〈그림 4〉 사슬 복합체의 관계도

루어진다. 경계가 없는  $p$ 차원 사슬을 특별히  $p$ 차원 순환 ( $p$ -cycle)이라 하며, 그 집합을  $Z_p$ 라 나타내고  $p$ 차원 사슬로 이루어진 경계들의 집합을  $B_p$ 로 나타낸다. 이 때, 사슬들의 집합을 사슬 복합체 (chain complex)라 하고, 그 관계는 〈그림 4〉와 같이 표현된다.

이 때,  $p$ 차원 ‘구멍’을 나타내는  $p$ 차원 호몰로지군은  $H_p = Z_p/B_p$ 와 같이  $p$ 차원 순환 중  $p+1$ 차원의 경계인 순환을 뺀 몫으로 나타내진다.

예를 들어 생각하면 훨씬 이해가 쉽다. 안이 꽉 채워진 삼각형과 속이 빈 삼각형으로 이루어진 사각형을 생각해 보자. 즉 대각선이 하나 그려져 있는 사각형이 있고 그 중 반이 면으로 채워져 있는 것이다. 1차원 순환들 중, 속이 꽉 채워진 삼각형의 테두리는 2차원 삼각면의 경계이다. 이 경우 해당 순환은 구멍이 아니고, 속이 빈 삼각형의 테두리인 1차원 순환은 구멍을 나타내게 된다. 즉,  $H_1 = Z_1/B_1$ 으로 전체 1차원 순환 중에서 2차원 단체인 삼각형

의 경계였던 1차원 순환을 뺀 몫이 호몰로지군이 되는 것이다.

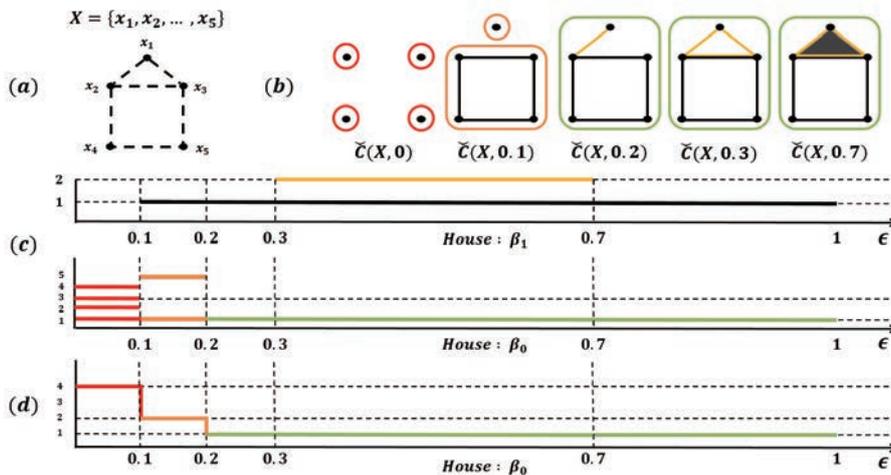
여기서  $p$ 차원 호몰로지군  $H_p$ 의 계수 (rank)를 구하면 이를  $p$ 차원 혹은  $p$ 번째 베티 숫자 ( $p$ th Betti number)라 하고 이것이 곧 위상공간에서의  $p$ 차원 ‘구멍’의 개수와 같다. 예를 들어 0차원 베티 숫자는 위상공간에서 원소들의 덩이 개수 (number of connected components)와 같으며, 1차원 베티 숫자는 우리가 흔히 생각하는 ‘구멍’ 혹은 경계 없는 순환의 개수 (number of holes or cycles without boundary)와 같다.

이와 같은 방식으로 두 개의 다른 뇌 신경망으로부터 호몰로지군을 계산한 후 비교하여 신경망 간의 차이를 위상적인 특성을 가진 상수로 도출해낼 수 있으며 따라서 보다 직접적인 분석이 가능하다.

#### 4. Persistent 호몰로지군 (Persistent Homology Groups)

영상을 다듬거나 데이터를 후처리하는 과정에서 작은 크기의 특징들은 흔히 잡음으로 분류되곤 한다. 그러나 어떤 신호가 잡음인지를 결정하는 것은 보는 사람의 관점에 따라 달라지기 마련이고, 우리가 그 결정에 동의한다하더라도 의도치 않은 부작용을 가져올 수 있다. 실제로 우리

두 개의 다른 뇌 신경망으로부터 호몰로지군을 계산한 후 비교하여 신경망 간의 차이를 분석할 수 있다.



〈그림 5〉 Persistent Homology의 간단한 예시

가 원하는 신호들은 모든 범위의 크기마다 존재하고 기준 (threshold)이 변화함에 따라 서로 포함하는 관계 혹은 더 복잡한 관계를 갖는다.

예를 들어 많은 연구들이 뇌 신경망을 만들기 위해 각 뇌 영역을 꼭짓점으로 표현하고 영역 간의 연결 관계를 선으로 나타낸다. 이 때 연결 관계의 강도는 영역별 신호의 상관관계 (correlation)가 자주 사용된다. 수많은 연결을 모두 해석하기가 어려우므로 신호의 해석과 시각화의 용이성을 위하여 일정 임계값 (threshold value)을 기준으로 의미 있어 보이는 연결을 남기고 그보다 작은 연결 관계는 잡음으로 처리하여 생략하는 것이 일반적인 분석 방법이다. 이 때 문제는 기준이 될 임계값을 정하는 일반적인 방법이 존재하지 않는다는 것이다. 게다가 임의의 값을 정하더라도 정해진 값에 따라 얻게 될 신경망 그래프의 구성이나 생김새가 바뀌므로 어느 것이 우리가 원하는 뇌 신경망을 제대로 보여주는지 알 수 있는 방법이 없다.

Persistent 호몰로지는 이와 같은 실용적인 문제를 해결하기 위해 연구되었다. 대수적 방법으로 함수나 도형의 위상적인 특징을 측정하여 데이터의 위상적 잡음 (noise) 제거하고자 하는 것이 persistent 호몰로지의 주된 전략이다.

이름에서 유추할 수 있듯이 persistent 호몰로지는 임의의 한 지점이 아닌 전체 임계값의 변화에 따라 호몰로지군의 다차원 구조들이 지속되는 정도 (persistence)를 측정하여 이를 바탕으로 문제에 접근한다. 신경망에 존재하는 임의의 한 구조에 대하여 임계값을 점진적으로 늘리거나 줄였을 때, 그 구조가 상당히 많은 변화 동안 꾸준히 존재한다면 (long persistence), 즉 쉽게 없어지지 않는다면 이는 중요한 구조이고, 약간의 변화만으로 구조가 없어진다면 (short persistence) 이는 위상적 잡음이라고 해석할 수 있겠다.

<그림 5>의 간단한 예시를 살펴보자. (a)와 같은 집 모양의 신경망이 있을 때, 점과 점사이의 거리가 정해지면 (b)와 같이 임계값 ( $\epsilon$ )의 변화에 따라 보이는 신경망의 구성이 바뀌는 것을 볼 수 있으며, 이를 (c)와 같이 지속정도 (persistence)를 바코드 (barcode)로 0차원과 1차원

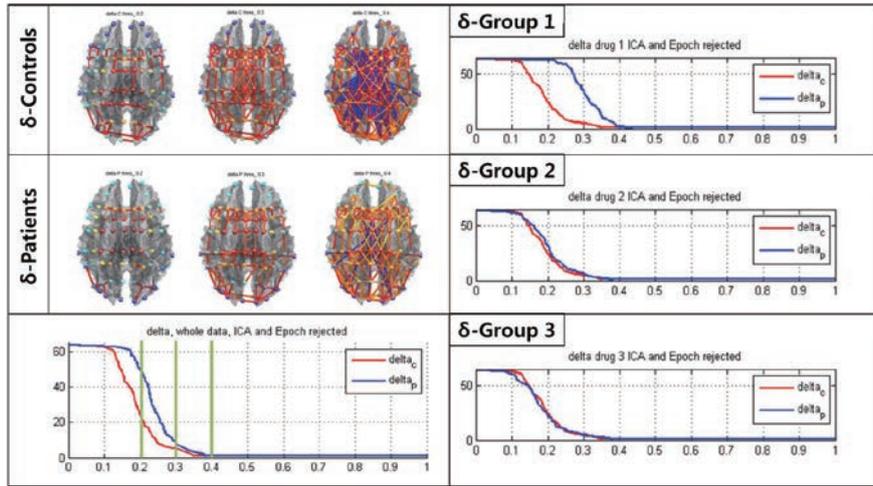
구조의 시작 (Birth)과 끝 (Death)을 표현할 수 있다.  $\beta_0$ 는 0차원 호몰로지군의 바코드를 의미하는 것으로  $\epsilon$ 의 변화에 따라 처음에는 네 개의 군집이 있는 것으로 보이던 신경망이 0.1이 되는 순간 한 개의 큰 군집으로 합쳐지고 새로이 작은 군집 ( $x_1$ ) 하나가 생기는 것을 볼 수 있다. 이 때, 새로 생긴 점은  $\epsilon$ 값이 0.2가 되는 순간 큰 군집에 포함되며 사라진다. 이런 군집의 수를 0차원 베티 숫자의 변화로 계산할 수 있으며, 이를 그래프로 그리면 (d)와 같다. 1차원 바코드는  $\epsilon$ 의 변화에 따라 구멍 (hole)의 변화를 보여주는데, 한 예로  $\epsilon$ 값이 0.3이 되는 순간 빨간색 구멍이 생성되어, 0.7일 때 메꾸어지며 사라지는 것을 확인할 수 있다.

뇌 신경망에 이를 적용하면, 먼저 0차원 호몰로지군의 베티 숫자를 바탕으로 군집의 개수를 계산한다. 그리고 군집 각각이 임계값의 점진적 변화에 따라 얼마나 유지되며 언제 서로 합쳐지는지 (persistence)를 계산하여 신경망의 상호 연결강도를 유추할 수 있겠다. 마찬가지로 1차원 호몰로지군의 지속정도를 바탕으로 각각의 1차원 구멍이 얼마나 유지되는지를 파악하여 다양한 해석을 할 수 있다. 예를 들어 알츠하이머병과 같은 경우 물리적으로 뇌 연결에 공백이 생기기 때문에, 측정된 뇌신호로부터 실제 공백과 잡음으로 생긴 공백을 구별하고, 그 진행 정도를 유추하는 등 persistent 호몰로지를 이용한 분석을 다양한 뇌 연구에 적용할 수 있겠다<sup>[1][3-4]</sup>.

### III. 임상 데이터 적용 결과

#### 1. 재발성 주요 우울증 (recurrent Major Depressive Disorder, recurrent MDD)

재발성 주요 우울증 환자들에게 낮은 자존감과 쾌감상실이 만연하는 것을 흔히 확인할 수 있다<sup>[5]</sup>. 우울증의 경우 정신적 인지적 증상들 외에도 피로감과 두통 등의 육체적인 증상을 동반하기도 한다. 이러한 증상들이 단순히 뇌의 한 영역의 조절장애로 인하여 생긴다기보다는 뇌의 내재상태연결망 (default mode network, DMN)과 같이 전체적인 신경망의 문제로 인하여 생긴다는 연구들이 최근 발표되었다<sup>[6]</sup>.



〈그림 6〉 우울증 환자 및 정상인의 delta 주파수 영역 EEG 데이터에 Persistent Homology 적용한 결과

휴지기 상태 (resting state) DMN은 뇌의 다양한 영역들의 집합으로써, 자기참조적 (self-referential) 정보처리와 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨지고 있다. 최근 몇 년간 휴지기 상태 기능성 자기공명영상 (resting state functional Magnetic Resonance Imaging, RS-fMRI)을 이용한 연구들이 목표 지향적인 과제 (goal-directed task)를 수행 시 우울증 환자의 DMN이 정상인에 비해 더 활발히 활동하는 현상을 지속적으로 보고해왔다<sup>7)</sup>. 이는 우울증 환자들이 과제를 수행할 때, 자기 자신에게 침착하여 환자의 뇌가 자기참조적인 활동에서 벗어나 과제에 집중하는 것에 문제가 있는 것을 보여준다고 해석할 수 있다. 하지만 fMRI는 혈류의 산소 농도 의존신호 (blood oxygen level dependent signal, BOLD signal)의 반응을 측정하기 때문에 빠르게 바뀌는 뇌의 인지적 수행속도를 따라가기에는 시간 해상도가 너무 낮다. 따라서 우울증과 같은 뇌와 관련된 정신질환을 연구하는 데에는 좀 더 높은 시간 해상도를 가진 측정 방법이 필요하다.

한편, 뇌전도 (electroencephalography, EEG) 신호는 뉴런의 전기적인 활동을 높은 시간 해상도로 잡아낼 수 있어 뇌 기능 연구에 많이 사용되고 있다. 2010년에는 EEG 신호를 바탕으로 신경망을 분석하여 RS-fMRI

의 결과와 일치하는 결과를 확인하였다는 연구가 발표되었다<sup>8)</sup>. 이런 연구 결과는 우리가 적절한 신경망 분석 기법을 적용한다면 EEG 신호를 통해 빠르게 변하는 뇌 기능 신경망 정보를 높은 시간해상도로 얻을 수 있음을 말해준다.

우리는 서울대 분당병원으로부터 우울증 환자 45명과 정상인 53명의 1000Hz로 샘플링 된 휴지기 상태 64채널 EEG 데이터를 얻어<sup>3)</sup>, 기준값에 좌우되는 기존의 신경망 분석 방법이 아닌, persistent

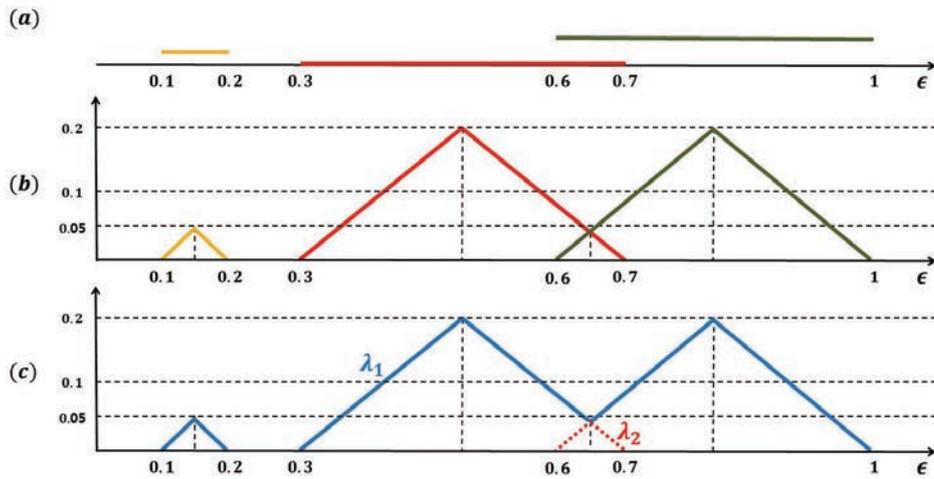
호몰로지를 이용한 신경망 분석을 수행하였다. 〈그림 6〉을 보면, EEG 데이터의 delta 주파수 영역 (0.3~4Hz)에 대한 환자군과 정상군의 평균적인 신경망 변화의 차이를 〈그림 6(d)〉와 같이 0번째 베티 숫자, 즉 군집 개수의 변화로 표현하고 있다.

좌하단의 그래프를 보면 같은 임계값에서 환자군 (파란색)의 그래프가 정상인 (빨간색) 그래프보다 더 위에 있는 것을 볼 수 있다. 좌상단은 좌하단의 녹색 바 위치에서 뇌 신경망을 그린 것으로 여기서도 역시 같은 임계값일 때, 환자의 뇌 신경망 연결 정도가 훨씬 성긴 것(기능적으로

따로 떨어진 군집의 개수가 많음)을 확인할 수 있다. 이는

**적절한 신경망 분석 기법을  
적용한다면 EEG 신호를 통해 빠르게  
변하는 뇌 기능 신경망 정보를 높은  
해상도를 얻을 수 있다**

3) 기기 정보 : Neuroscan device with SynAmp2 64 Quik-Cap



〈그림 7〉 Persistent Landscape의 간단한 예시

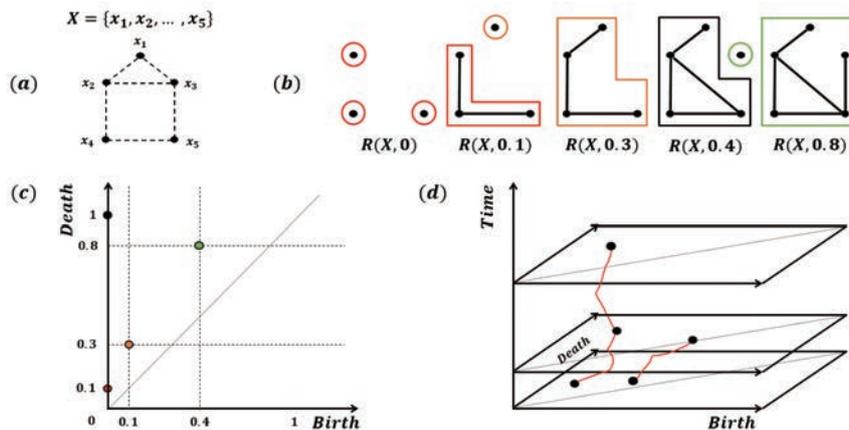
우울증 환자의 뇌 신경망이 정상인에 비해 영역 간 활동이 전반적으로 떨어진다고 해석할 수 있겠다.

뿐만 아니라, 우울증 환자들의 약물 복용 상태에 따라 집단을 나누어 신경망을 확인하였을 때에도 큰 차이를 볼 수 있었다. 이러한 경향들은 EEG의 다섯 가지 다른 주파수 영역 (delta: 0.3 ~ 4Hz, theta: 4 ~ 8Hz, alpha: 8 ~ 13Hz, beta: 13 ~ 30Hz, gamma: 30 ~ 100Hz; 60Hz notched)에서 모두 비슷하게 나타났다. 〈그림 6〉의 우측에서 Group 1은 약물을 처방하지 않고 치료를 진행하는 Drug-free군 그리고 Group 2와 Group 3는 각각 venlafaxine, escitalopram을 처방받은 Drug-treat군이다. Drug-free 군의 환자들은 정상인과 뇌 신경망의

연결성에서 전반적으로 큰 차이를 보이는 반면 약물을 처방한 Drug-treat군은 그래프로 정상인과 차이를 보기가 어려운 것을 확인할 수 있다.

이 결과는 persistent 호몰로지를 적용한 신경망 분석이 단순한 정상인-환자의 비교뿐만 아니라 약물의 효과 여부도 판단할 수 있는 바이오마커로서의 가능성을 보여준다고 할 수 있다.

그래프 혹은 신경망을 이용한 분석에서 기존의 방법들의 어려운 점은 두 가지 그래프가 있을 때, 그 다음을 객관적 혹은 통계적으로 비교가 가능한 수치로 환산하기가 곤란하다는 것이다. persistent 호몰로지를 이용한 분석에서는 이를 해결할 수 있는 도구가 최근 개발되었으며



〈그림 8〉 Persistent Vineyard의 간단한 예시



이를 persistence landscape이라 한다<sup>9)</sup>.

〈그림 7〉에서 볼 수 있듯이 (a)와 같은 바코드로 어떤 그래프나 신경망이 표현되었을 때, 이를 (b)와 같이 높이가 바코드 길이의 절반인 이등변 삼각형을 만든 후, (c)처럼 가장 바깥부분 전경 (landscape)부터 차례로 넓이를 구한다( $\lambda_1, \lambda_2$ ). Persistence landscape이 강력한 이유는 이 landscape의 넓이 값들이 통계에서의 큰 수의 법칙을 따르고 중심극한 (central limit theorem)정리를 만족한다는 것이다. 따라서 우리는 두 가지 신경망에 대하여 landscape의 넓이 값을 구하고 신뢰구간을 계산하거나 t-검정 (t-test)을 시행하여 가설에 대한 p값 (p-value)을 통해 서로를 통계적으로 비교할 수 있게 된다.

이런 성질을 이용하여 우울증 환자와 정상인 집단의 landscape 넓이를 계산하고 t-검정을 수행한 결과 delta ( $p = 0.0295$ ), beta ( $p = 0.0231$ ), 그리고 gamma ( $p = 0.0377$ ) 주파수 영역의  $\beta_0$  landscape 값들에 대하여 통계적으로 유의미한 차이를 확인할 수 있었다. 특히  $\beta_1$  landscape 값의 gamma ( $p = 0.0048$ ) 주파수 영역에서 가장 작은 p값을 가지는 것을 볼 수 있는데, 우울증 환자와 정상인에서의 gamma 영역 EEG 신호의 움직임 차이는 기존의 다른 연구 결과들에서도 일관된 결과가 보고되었다.

이와 같이 기존의 분석 방법으로는 확인이 어려웠던 점을 persistent 호몰로지를 이용한 신경망 분석으로 유의미한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 persistent 호몰로지 이론이 뇌 신경망 연구에 있어 강력한 도구가 될 수 있다는 가능성을 제시한다.

## 2. 시간에 따른 뇌 신경망 연결성 변화 (Dynamic Brain Network Connectivity)

최근 인간의 의식이나 인지능력이 뉴런들이 천분의 일 초 단위로 동시에 같이 신경 활동을 하고 떨어지는 과정으로부터 비롯한다는 연구 결과들이 보고되고 있다. 이러한 사실은 꼭 최신 연구 결과가 아니더라도 우리의 뇌가 지금도 끊임없이 계속 내부와 외부 자극에 반응하고 역할

을 수행하고 있는 것을 통해 쉽게 알 수 있다. 뇌 안에서 일어나는 일련의 활동이 시간에 따라 변화하며 환경에 대응하고 있는 것이다.

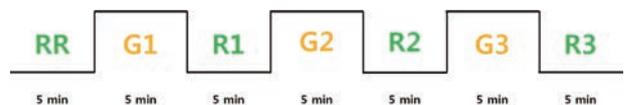
그러나 기존 대다수의 연구들은 여러 가지 이유로 인해 실험 측정값에 대하여 시공간적으로 평균적인 신경망 연결을 밝히는 것에 집중해왔다. 많은 fMRI 연구들이 서로 관계가 없는 다른 뇌 영역들의 신호들은 측정 시간동안 변함이 없을 것이라는 가정을 바탕으로 연구를 진행하였고, 이를 통해 우리는 뇌의 굼직굼직한 기능적 특성들에 대하여 알 수 있었다<sup>13)</sup>. 다만 한 가지 주목해야할 점은 이들이 모두 복잡한 뇌 신호를 시공간적으로 평균한 특성이란 점이다. 따라서 최근 연구들에서는 뇌 신경망이 기능을 할 때 시간에 따라 그 연결성이 바뀌는 것에 관심을 가지고 뇌 기능의 좀 더 근본적인 특성을 알아내고자 하고 있다<sup>13)</sup>.

**최근 뇌 신경망이 시간에 따라 그 연결성이 바뀌는 것에 관심을 갖고 뇌 기능의 근본적인 특성을 알아내고자 하고 있다.**

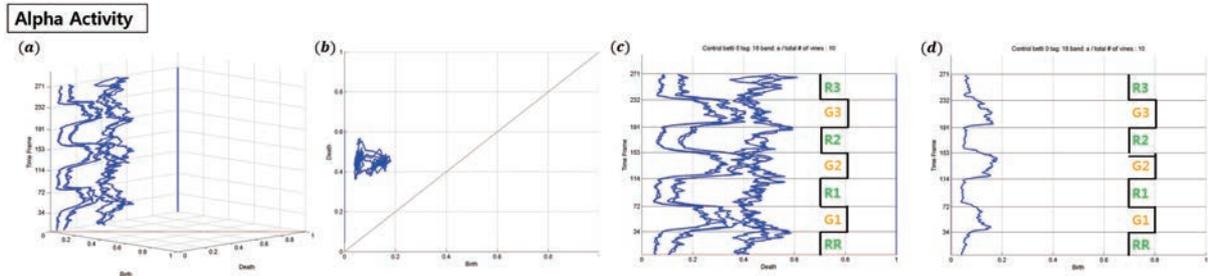
그리고 이러한 경향에 발맞추듯이 최근 시간적 위상변화를 측정하는 새로운 persistent 호몰로지 분석 방법이 연구되었다. persistent vineyard는 계산위상수학 (computational topology)에서

최근 발표된 수학적 방법론으로써 우리는 이 방법을 뇌 신경망의 시간적 기능변화를 측정할 데이터에 적용하여 persistent 호몰로지를 이용한 방법이 뇌 신경망 기능을 연구하는 데 강력한 도구가 될 수 있음을 확인하였다.

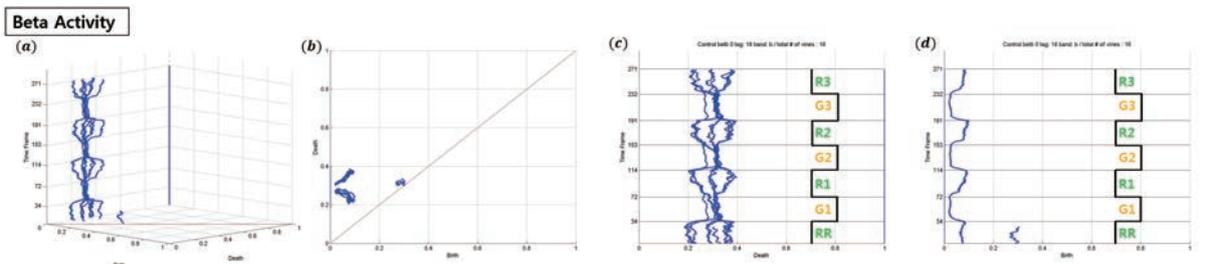
〈그림 8〉에서 볼 수 있듯이 (a)의 복합체가 (b)와 같이 임계값의 증가에 따라 변화한다고 했을 때, 간단히 0차원 호몰로지군인 군집의 변화를 XY 평면으로 나타낼 수 있다. 〈그림 5〉에서는 군집의 변화를 바코드로 표현했으나 여기서는 단순히 바코드의 시작점 (birth)과 끝점 (death)을 좌표평면에 (시작점, 끝점)과 같은 좌표로 표시했을 따름이다. 이런 좌표평면을 persistent 다이어



〈그림 9〉 '휴식-게임'을 반복 수행하는 과제



〈그림 10〉 여러 관점에서 바라본 alpha 주파수 영역에서의 vineyard. (c), (d)의 y축은 시간으로 옆에 수행 과제의 시간대와 맞추어 수평선을 그어 구분이 되도록 표시하였다. (d)에서 Vine이 과제 수행에 따라 비슷하게 변화하는 것을 볼 수 있다



〈그림 11〉 여러 관점에서 바라본 beta 주파수 영역에서의 vineyard. (c), (d)의 y축은 시간으로 옆에 수행 과제의 시간대와 맞추어 수평선을 그어 구분이 되도록 표시하였다. (d)에서 Vine이 과제 수행에 따라 반대로 변화하는 것을 볼 수 있다

그램이라 부른다.

시간에 따라 신경망의 연결성이 바뀌면, 즉, 〈그림 8〉에서 시간이 지나 (a)의 복합체에서 점 사이의 거리가 바뀌고 (b)의 변화 순서가 바뀌면 차례로 (c)의 좌표평면 점의 위치도 달라진다.

Persistent vineyard는 persistent 다이어그램을 시간에 따라 시간 축으로 차곡차곡 쌓아서 좌표평면상의 점들의 시간적 위치 변화를 추적하는 3차원 XYZ 그래프로 변환한 것을 말한다. 여기서 각각의 선들을 포도 줄기(vine)라고 부르며 마치 생긴 모습이 포도 줄기가 올라가는 것처럼 보이기 때문에 저자가 그렇게 명명한 것으로 보인다.

시간이 지나면서 신경망에 속하는 임의의 구조에 위상적인 변화가 생기거나 혹은 그 구조가 신경망 내에서 없어지면, 좌표평면의 점의 위치가 바뀌거나 사라지므로 vine 역시 심하게 꺾이거나 끊어지게 된다. 이런 성질 때문에 persistent vineyard가 시간에 따른 신경망의 위상적인 변화에 민감한 것이다.

우리는 실제 임상 데이터에 적용하여 이를 확인하기 위

해 서울대병원으로부터 정상인 26명의 512Hz로 샘플링된 휴지기 상태 8채널 EEG 데이터를 얻었다<sup>4)</sup>. 건강한 일반인 26명에게 〈그림 9〉와 같이 5분간 휴식 5분간 게임을 하는 블록 패러다임의 과제를 수행하게 하였으며 동시에 EEG를 측정하였다.

뇌 신경망의 시간적 기능변화를 분석하기 위해서 EEG 신호에 30초의 윈도우를 씌워 2초씩 움직여가며 신경망 그래프를 구성하였다 (sliding window approach). Persistent vineyard는 원저자 중 한명이 개발한 Dionysus C++ 라이브러리를 사용하여 계산하였다<sup>3)</sup>.

그 중 한 명에 대한 결과를 〈그림 10〉, 〈그림 11〉에서 볼 수 있다. 이 그림들은 각각 alpha와 beta 주파수 영역의 EEG 신호에 대하여 계산된 신경망들에서 0차원 구조들의 변화를 추적한 0차원 vineyard를 나타낸다.

〈그림 10〉과 〈그림 11〉에서 볼 수 있듯이, 신경망 내의 구조들에 해당하는 점들이 실험이 진행됨에 따라 앞으로 움직인다. 이러한 경향은 26명 중 18명의 데이터에서

4) 기기 정보 : PolyG-I (Laxtha, Korea)



일관되게 관찰되었으며, 특히 alpha와 beta 주파수 영역의 신호에서 확연히 차이가 드러났다.

Beta 영역의 vine들은 휴지기 동안 구조들이 뭉쳐지는 군집의 생성점 혹은 시작점 (birth point)이 늦춰졌으며 게임을 실행할 때는 반대로 시작점이 앞당겨지는 모습을 보였다. Alpha 영역 vine들은 beta 영역의 vine들과는 반대의 경향을 보여주었는데, 휴지기 동안 신경망 내의 구조들의 생성점과 사멸점 (death point)이 모두 앞당겨지는 모습을 보였으며 게임을 수행할 때는 생성점과 사멸점이 모두 늦춰졌다.

0차원 vineyard는 0차원 구조의 변화 즉, 각각의 구조들이 군집으로 뭉쳐지는 변화를 시간에 따라 추적한다. 따라서 vine이 앞당겨진다는 것은 신경망의 구조들이 합쳐지는 시기가 더 빨라졌다는 것을 의미한다. 신경망의 점들 간의 거리가 짧아져서 이러한 현상이 일어나며 이는 신호들의 상관관계가 강해졌다는 것을 뜻하고 결국 신경망의 전반적인 연결 강도가 높아졌다고 해석할 수 있겠다. 그러므로 반대로 이러한 생성점의 시기가 늦춰진다는 것은 신경망의 전반적인 연결 강도가 떨어졌다고 해석할 수 있다.

기존의 EEG 연구에서는 보편적으로 alpha 영역 활동이 눈을 감거나 휴식을 취하는 상태에서 늘어나며 눈을 뜨거나 집중을 한 상태에서 억제된다고 밝히고 있다. 이와 반대로 beta 영역의 활동은 눈을 뜨거나 과제를 수행할 때 늘어나고 휴식을 취할 때 줄어든다.

따라서 alpha 영역의 vine이 피험자가 게임을 수행할 때 생성점이 늦춰지고, 휴식을 취할 때 생성점이 앞당겨지는 것과, beta 영역의 vine이 alpha와는 정반대로 행동하는 것을 볼 때, persistent vineyard가 신경망의 변화를 잘 잡아낸다고 할 수 있겠다. 이렇듯 우수한 일관성은 persistent vineyard가 시간에 따라 변화하는 위상적인 구조들을 직접적으로 추적하여 뇌의 기능적 신경망 연결성 변화를 측정하는데 강력한 방법이 될 수 있음을 시사한다.

## VI. 향후 연구 및 결론

지금까지 persistent 호몰로지를 이용하여 뇌 신경망의 다양한 특성 및 변화를 분석하는 방법에 대해 살펴보았다. 그리고 persistent 호몰로지 이론을 적용하여, 기존의 신경망 연결성을 분석하는 이론들에서 지적되어왔던 최적 임계값 (optimal threshold) 설정에 대한 문제를 해결하였다. 또한 최근 연구들에서 관심이 되고 있는 신경망의 시간적 변화를 측정하는 문제 역시 위상적 변화를 직접 추적하는 persistent vineyard를 이용하여 접근하였다. 앞으로는 좀 더 다양한 임상 데이터와 실험 패러다임을 이용하여, 과제 수행 시 뇌 신경망에서의 변화에 대해 연구를 진행할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행되었습니다.  
과제 번호 : NRF-2013M3A9B2076548

### 참고 문헌

- [1] Lee H. (2012), Persistent brain network homology from the perspective of dendrogram, IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 31, pp.2267-2277.
- [2] Edelsbrunner, H., & Harer, J. (2010), Computational topology: an introduction, American Mathematical Soc.
- [3] Cohen-Steiner, D. (2006), Vines and vineyards by updating persistence in linear time, In Proceedings of the twenty-second annual symposium on Computational geometry, pp. 119-126, ACM.
- [4] Lee, H. (2014), Hole Detection in Metabolic Connectivity of Alzheimer's Disease Using k-Laplacian, Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention
- [5] American Psychiatric Association. (2013) The Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: DSM 5. bookpointUS.
- [6] Veer, I. M. (2010), Whole brain resting-state analysis reveals decreased functional connectivity in major depression. Frontiers in Systems Neuroscience, 4.
- [7] Sheline, Y. I. (2009), The default mode network and self-



referential processes in depression. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(6), 1942–1947.

[8] Van de Ville (2010), EEG microstate sequences in healthy humans at rest reveal scale-free dynamics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 107(42), 18179–18184.

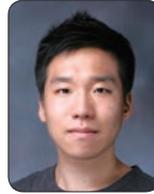
[9] Bubenik, P. (2013). Statistical topological data analysis using persistence landscapes, arXiv

[10] Herrmann C. (2005), Human EEG gamma oscillations in neuropsychiatric disorders, Clinical Neurophysiology, vol. 116, no. 12, pp.2719–2733.

[11] Martini N. (2012), The dynamics of EEG gamma responses to unpleasant visual stimuli: From local activity to functional connectivity, NeuroImage, vol. 60, pp.922–932.

[12] Siegle G.J. (2010), Sustained gamma-band EEG following negative words in depression and schizophrenia, International Journal of Psychophysiology, vol. 75, pp.107–118.

[13] Hutchison, R. M. (2013). Dynamic functional connectivity: promise, issues, and interpretations, Neuroimage, 80, 360–378.

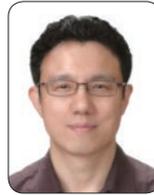


유재준

- 2011년 2월 한국과학기술원(KAIST) 공학사 (바이오및뇌공학)
- 2013년 2월 한국과학기술원(KAIST) 공학석사 (바이오및뇌공학)
- 2013년 2월~현재 한국과학기술원(KAIST) 박사과정 (바이오및뇌공학)

〈관심분야〉

뇌 연결성 네트워크(Brain Connectivity Network), Persistent Homology, 뇌자도(MEG), 뇌전도(EEG), 기능성 근적외분광신호(fNIRS)



예종철

- 1993년 2월 서울대학교 공학사 (제어공학)
- 1995년 2월 서울대학교 공학석사 (제어공학)
- 1999년 5월 Purdue University 공학박사 (전자공학)
- 2001년 1월~2003년 8월 Philips Research Center 선임연구원
- 2003년 9월~2004년 7월 GE Global Research(뉴욕) X-ray CT Technology Group 선임연구원
- 2004년 9월~2008년 2월 한국과학기술원 조교수(바이오및뇌공학)
- 2008년 3월~2013년 8월 한국과학기술원 부교수(바이오및뇌공학)
- 2013년 9월~현재 한국과학기술원 정교수(바이오및뇌공학)
- 2007년 3월~현재 한국과학기술원 겸임정교수 (전자공학)

〈관심분야〉

의료영상복원 및 신호처리, 압축센싱 알고리즘, 뇌 영상 복원 알고리즘



장재승

- 1997년 2월 서울대학교 의학과 학사
- 2002년 2월 서울대학교 의학석사 (정신과학)
- 2007년 8월 서울대학교 의학박사 (정신과학)
- 2008년 3월~2014년 2월  
분당서울대학교병원 정신건강의학과  
진료교수
- 2014년 5월~ 현재 ACORN 의학연구자문이사
- 2014년 8월~ 현재 동국대학교 의학과 연구교수

〈관심분야〉  
정신약물학, 전기생리학, 응용통계학



김은영

- 2006년 2월 서울대학교 의과대학 학사
- 2011년 2월 서울대학교 의과대학 석사 (정신의학)
- 2011년 3월~현재 서울대학교 의과대학 박사과정 (정신의학)
- 2008년 3월~2012년 2월 서울대학교병원  
정신건강의학과 전공의
- 2012년 3월~현재 서울대학교 정신건강의학과  
임상강사

〈관심분야〉  
우울증, 조울증, 자살, electrophysiology, molecular  
psychiatry, psychoneuroendocrinology



하규섭

- 1986년 2월 서울의대 졸업
- 1995년 2월 서울대학교대학원 정신건강의학과 박사
- 1994년 3월~현재 서울대학교 의과대학  
정신과학교실 교수
- 2003년 3월~현재 분당서울대학교병원 우울증,  
조울증 클리닉 담당교수
- 2010년~2013년 한국자살예방협회장
- 2010년~2014년 국제조울병학회 부회장
- 2010년~2014년 보건복지부 양극성장애  
중개연구센터장
- 2012년~2014년 보건복지부 우울증, 자살  
중개연구센터장
- 2013년 1월~현재 국립서울병원장

〈관심분야〉  
우울증, 조울증의 임상연구, 약물치료, 인지기능 및  
뇌영상학 연구



안용민

- 1989년 2월 서울대학교 의과대학 학사
- 1993년 2월 서울대학교 의과대학 석사 (정신의학)
- 1999년 2월 서울대학교 의과대학 박사 (정신의학)
- 1997년 5월~1999년 2월  
서울대학교병원 정신건강의학과 임상강사
- 1999년 9월~2002년 11월 을지외과대학 조교수
- 2000년 4월~2001년 2월 경찰병원 객원교수
- 2002년 12월~2005년 9월  
서울대학교 의과대학 조교수
- 2005년 12월~2010년 9월  
서울대학교 의과대학 부교수
- 2010년 10월~현재 서울대학교 의과대학 교수
- 2013년 3월~현재 한국자살예방협회 회장
- 2014년 3월~현재 중앙자살예방센터 센터장

〈관심분야〉  
우울증, 조울증, 자살, electrophysiology,  
molecular psychiatry, animal model,  
psychoneuroendocrinology

## 통신 분야

### [통신]

- 건물 내 메시지 전달특성 측정시스템 설계 및 측정결과 분석  
김정호
- 단일 안테나를 사용하는 단일대역 전이중 통신을 위한 자기간섭신호제거와 터보 등화기 설계  
최진규, 안창영, 유흥균
- 저역 통과 필터 불일치를 포함한 직접 변환 RF 중계기의 I/Q 불균형 파라미터 추정  
윤선희, 이규용, 안재민
- 항공 교통 상황 방송 서비스를 위한 중앙 집중형 TIS-B 서버 설계 및 구현  
송인성, 장은미, 최상방
- 피코넷 상호 간섭이 PicoCast 데이터 전송량에 미치는 영향 분석  
정재경, 전상엽, 김명진

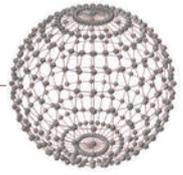
### [마이크로파 및 전파전파]

- 낮은 변환 손실 및 높은 격리 특성의 W-band MMIC 믹서 모듈  
안 단, 이진구
- 임피던스 정합기를 이용한 근접 결합 급전 패치 안테나의 대역폭 확장  
곽은혁, 김부균
- 90° 입력위상의 변화를 통한 2차원 무선전력전송 구현  
김상환, 서철현
- HF-UHF RFID 이중대역 태그 안테나 설계  
윤나내, 하반기남, 서철현

## 반도체 분야

### [반도체 재료 및 부품]

- 2mm×2mm 압저항형 가속도센서 설계 및 제작  
전연화, 김현철



### [SoC 설계]

- 펄스폭 변조를 이용한 고효율 삼중 모드 부스트 변환기  
이승형, 한상우, 김종선
- SIMD 구조를 갖는 프로세서에서 FFT 연산 가속화  
이주영, 홍용근, 이현석
- 저전압 기준전압 발생기를 위한 시동회로  
임새민, 박상규
- 저전력 고속 NCL 비동기 게이트 설계  
김경기

### [광파 및 양자전자공학]

- 광원 라인폭이 Spectral Amplitude Coding Optical CDMA시스템의 성능에 미치는 영향  
지윤규

#### 컴퓨터 분야

### [융합 컴퓨팅]

- ICT 융합서비스 환경에서의 종단간 인터넷 서비스 품질 평가에 관한 연구  
박 균, 강상욱

#### 신호처리 분야

### [화상처리 및 텔레비전]

- CIECAM02에서의 밝기 분포 기반 모바일 디스플레이의 인지적 대비  
남의원, 경왕준, 하호진, 하영호
- 다중 ROI에서 영상 화질 표준화 및 선택적 허프 변환 알고리즘을 통한 고성능의 차선 인식 알고리즘  
조재현, 장영민, 조상복

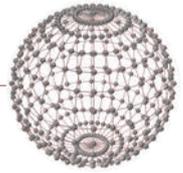
### [음향 및 신호처리]

- 대용량 컴퓨터 타임 임베딩을 위한 연산 속도 개선 방식 제안  
한희일

#### 시스템 및 제어 분야

### [의용전자 및 생체공학]

- 진단용 무선 감마선 프로브 개발 및 유용성 평가  
박혜민, 주관식



- MRI sequence에 따른 GBCA 몰농도별 반응에 대한 정량적 분석  
정현근, 정현도, 김호철

산업전자 분야

**[반도체재료 및 VLSI 설계]**

- 시간-디지털 변환기를 이용한 ADPLL의 잡음 개선에 대한 연구  
안태원, 이종석, 이원석, 문 용



# 신간안내

**제 목 :** 전지시스템기술 - 전기자동차 · 철도로의 에너지저장응용  
**저 자 :** 전기학회 · 이동체용 에너지저장시스템기술 조사전문위원회  
**펴낸곳 :** 음 사  
**출판일 :** 2012년 5월 25일 초판 발간  
**크기, 페이지 수 :** 21cm, 280p.



## 서 평

화석연료를 태워서 동력을 얻는 내연기관에 비해서 전동기를 동력으로 하는 전동차량은 양방향 에너지 변환이 가능하고 배출가스가 없고 정밀한 토오크 제어가 가능하다는 장점이 있다. 최근 리튬이온 전지 등 고성능 2차 전지의 등장과 발달에 따라 전동차량에 대한 기대가 커지고 있다. 그러나 아직도 내연기관과 비교해서 에너지 밀도, 파워 밀도, 가격 면에서 많이 뒤떨어져 있다. 이런 상황에서 전동차량의 보급에는 그냥 내연기관 차량의 기능을 그대로 바꾸는 것이 아니라 전지 등 차량 탑재 가능한 축전장치의 현황과 가까운 장래의 모습을 상상하면서 현명한 사용법과 차량탑재 축전장치로의 에너지 공급 기술에 이르기까지 종합적으로 생각할 필요가 있다.

이 책은 수송기기의 에너지 공급, 축전 및 그 이용에 관한 전반적인 기술을 다루고 있다. 이 책은 이 분야의 연구자 및 기술자가 최신 기술을 업데이트하는 것을 목적으로 하고 있고 전문가가 아닌 학생이나 일반인에게도 “전문적인 입문서”로도 활용할 수 있다. 이 책은 일본 전기학회 이동체용 에너지저장기술시스템기술 조사전문위원회의 활동을 정리한 책이고, 대학과 산업체의 26명이 집필하였다.

이 책은 4개의 장으로 되어 있고, 제1장에서는 플러그인하이브리드 자동차, 하이브리드 자동차, 전기자동차 등 자동차에 있어서의 에너지 저장응용기술을 기술하고 있다. 제 2장에서는 전기철도차량에서의 에너지 저장기술과 추세, 철도차량에서의 리튬이온 전지의 응용 등 전기철도차량에서의 에너지저장 기술을 설명하고 있다. 제3장에서는 자동차용 전지, 리튬이온 전지, 자동차용 이차 전지, 최신 전지 기술동향 등 에너지 축적요소 기술을 설명하고 있다. 제4장에서는 이동체 에너지 저장의 전력망과의 연계에 대해서 기술하였다.

서평 작성자 : 김용권, 서울대학교 전기정보공학부 교수, 해동일본정보기술센터 센터장, 기초전력연구원 원장

# 정 보 교 차 로

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

## >> 2015년 3월

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03. 02.-03. 05.	2015 10th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)	Portland Marriott Downtown Waterfront, Portland, USA	adamsj@ieee.org
03. 02.-03. 04.	2015 16th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)	Santa Clara Convention Center, CA, USA	www.ISQED.org
03. 03.-03. 05.	2015 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)	Hyatt Regency Dubai, United Arab Emirates	www.iiom.org
03. 03.-03. 05.	2015 International Conference on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles (ESARS)	E.ON Energy Research Center at RWTH Aachen University, Aachen, Germany	www.esars2015.org
03. 04.-03. 06.	2015 International Workshop on Antenna Technology (IWAT)	Hotel President, Seoul, Korea	hschoo@hongik.ac.kr
03. 05.-03. 07.	2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)	SVS College of Engineering, Coimbatore, India	www.icecct.com
03. 07.-03. 14.	2015 IEEE Aerospace Conference	Yellowstone Conference Center, MT, USA	www.aeroconf.org
03. 09.-03. 13.	2015 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE)*	ALPEXPO-ALPES Congres, Grenoble cedex 2, France	www.date-conference.com/
03. 09.-03. 13.	2015 International Conference on Networked Systems (NetSys)	Campus BTU Cottbus-Senftenberg, Cottbus, Germany	www.netsys2015.com/
03. 09.-03. 12.	2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)	Hilton New Orleans Riverside, New Orleans, LA, USA	www.ieee-wcnc.org/2015
03. 11.-03. 13.	2015 2nd International Conference on "Computing for Sustainable Global Development" (INDIACom)	BVICAM, New Delhi, India	www.bvicam.ac.in/indiacom/
03. 11.-03. 14.	2015 10th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP)	Available soon, Germany	www.visigrapp.org/
03. 12.-03. 13.	2015 International Conference on Recent Developments in Control, Automation and Power Engineering (RDCAPE)	Amity University Uttar Pradesh, Noida, India	rdcape.com/
03. 15.-03. 19.	2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)	Charlotte Convention Center, Charlotte, NC, USA	www.apec-conf.org/
03. 15.-03. 16.	2015 China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC)	SHICC Shanghai International Convention Center, Shanghai, China	semiconchina.semi.org/cstic
03. 16.-03. 18.	2015 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)	Jaypee Institute of Information Technology, Noida, India	www.jiit.ac.in/jiit/icsc/index.php
03. 16.-03. 20.	2015 IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility and Signal Integrity	Santa Clara Convention & Visitors Bureau, Santa Clara, CA, USA	caroline.charn@lmco.com
03. 16.-03. 18.	2015 German Microwave Conference (GeMIC)	University of Erlangen-Nürnberg, Nuremberg, Germany	www.gemic2015.de/
03. 16.-03. 20.	2015 Regional IEEE Symposium on Electromagnetic Compatibility	Santa Clara Convention Center, Santa Clara, CA, USA	www.emc2015usa.emcss.org/
03. 17.-03. 19.	2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)	Hotel Tryp Sevilla Macarena, Seville, Spain	www.icit2015.org

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
03. 19.-03. 20.	2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)	Karpagam College of Engineering, Coimbatore, India	www.iciecs.in
03. 19.-03. 20.	2015 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT)	Noorul Islam Centre for Higher Education, Nagercoil, India	www.niueee.in
03. 20.-03. 20.	2015 IEEE Workshop on Microelectronics and Electron Devices (WMED)	Student Union Building Boise State University, Boise, ID, USA	www.ewh.ieee.org/
03. 22.-03. 26.	2015 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC)	Los Angeles Convention Center, Los Angeles, CA, USA	www.ofcconference.org
03. 24.-03. 26.	2015 Sixth International Renewable Energy Congress (IREC)	El Mouradi Palace, Sousse, Tunisia	www.irec-conference.com
03. 25.-03. 27.	2015 International Conference on Electrical and Information Technologies (ICEIT)	Marrakech, Morocco	www.enset-space.org/ICEIT15/
03. 27.-03. 29.	2015 Seventh International Conference on Advanced Computational Intelligence (ICACI)	Wuyi, China	nzhang@udc.edu
03. 29.-03. 31.	2015 IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software (ISPASS)	TBD, Philadelphia, PA, USA	www.ispass.org
03. 30.-04. 01.	2015 IEEE International Wireless Symposium (IWS)	Sheraton Futian Shenzhen, China	www.iws-ieee.org

## >> 2015년 4월

04. 02.-04. 04.	2015 International Conference on Communications and Signal Processing (ICCSP)	Achiparasakthi Engineering College, Melmaruvathur, India	www.iccsp-apec.com/
04. 04.-04. 06.	2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)	Gwalior, India	www.csnt.in
04. 07.-04. 09.	2015 6th International Conference on Information and Communication Systems (ICICS)	Jordan University of Science and Technology, Amman, Jordan	www.icics.info/icics2015/
04. 07.-04. 09.	2015 IEEE Tenth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)	Singapore	issnip2015.org/
04. 09.-04. 11.	2015 IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC)	Howard Civil Service International House, Taipei, Taiwan	www.icnsc.org
04. 10.-04. 13.	SoutheastCon 2015	HILTON FORT LAUDERDALE MARINA, USA	eric.s.ackerman@gmail.com
04. 10.-04. 18.	2015 IEEE PES Insulated Conductors Committee Meeting (PES-ICC Spring)	Hilton Clearwater Beach, Clearwater Beach, FL, USA	www.pesiccc.org/iccwebsite/meetings/2015Spring/Spring_2015.htm
04. 12.-04. 13.	2015 12th Learning and Technology Conference	Effat University, Jeddah, Saudi Arabia	www.effatuniversity.edu.sa
04. 12.-04. 16.	2015 Joint Conference of the IEEE International Frequency Control Symposium & the European Frequency and Time Forum (FCS)	Colorado Convention Center, Denver, CO, USA	dcoler@ieee.org
04. 12.-04. 17.	2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)	Lisbon Congress Centre, Lisbon, Portugal	www.eucap2015.org/
04. 13.-04. 17.	2015 IEEE 31st International Conference on Data Engineering (ICDE)	COEX, Seoul, Korea (South)	www.icde2015.kr
04. 13.-04. 15.	2015 IEEE 16th Annual Wireless and Microwave Technology Conference (WAMICON)	Hilton Cocoa Beach Oceanfront, Cocoa Beach, FL, USA	www.wamicon.org
04. 13.-04. 17.	2015 IEEE 8th International Conference on Software Testing, Verification and Validation (ICST)	Congress Graz, Austria	ppichler@st.tugraz.at
04. 14.-04. 16.	2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)	Westin Hotel, Waltham, MA, USA	www.ieee-hst.org
04. 15.-04. 17.	2015 IEEE International Conference on RFID (RFID)	San Diego Convention Center, San Diego, CA, USA	2015.ieee-rfid.org
04. 16.-04. 19.	2015 IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2015)	New York Marriott at the Brooklyn Bridge, NY, USA	ea179@columbia.edu
04. 17.-04. 19.	2015 41st Annual Northeast Biomedical Engineering Conference (NEBEC)	Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA	www.nebec.org
04. 18.-04. 19.	2015 IEEE Region 5 Annual Meeting	InterContinental New Orleans, LA, USA	www.r5conferences.org
04. 19.-04. 21.	2015 IEEE Rural Electric Power Conference (REPC)	Grove Park Inn Resort & Spa, NC, USA	www.ieeerepc.org

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
04. 19.-04. 24.	ICASSP 2015 - 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)	Brisbane Convention & Exhibition Centre, Queensland, Australia	http://icassp2015.org
04. 19.-04. 24.	2015 Integrated Communication, Navigation, and Surveillance Conference (ICNS)	Westin Washington Dulles, VA, USA	http://i-cns.org/
04. 19.-04. 23.	2015 IEEE International Reliability Physics Symposium (IRPS)	Hyatt Regency Monterey Hotel & Spa, CA, USA	www.irps.org
04. 20.-04. 24.	2015 4th International Conference on Advancements in Nuclear Instrumentation Measurement Methods and their Applications (ANIMMA)	Lisbon Congress Center, Lisboa, Portugal	www.ipfn.ist.utl.pt/ANIMMA2015/welcome.html
04. 22.-04. 24.	2015 7th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER)	TBD, Paris, France	http://neuro.embs.org/2015/
04. 22.-04. 23.	2015 International Conference on Computation of Power, Energy Information and Commuication (ICPEIC)	Chennai, India	www.icpeic.weebly.com
04. 24.-04. 26.	2015 5th International Conference on Information Science and Technology (ICIST)	Changsha City, Hubei Province, China	www.conference123.org/icist2015/
04. 24.-04. 01.	2015 IEEE-IAS/PCA Cement Industry Conference	Sheraton Centre Toronto, ON, Canada	inedli@cement.org
04. 26.-04. 29.	2015 International Conference on Cloud Computing (ICCC)	Princess Nourah Bint Abdulrahman University, Riyadh, Saudi Arabia	aaljuaid@pnu.edu.sa
04. 26.-04. 30.	IEEE INFOCOM 2015 - IEEE Conference on Computer Communications	SHERATON HONG KONG HOTEL & TOWERS, Kowloon, Hong Kong	infocom2015.ieee-infocom.org/
04. 27.-04. 29.	2015 IEEE 33rd VLSI Test Symposium (VTS)	Silverado Resort and Spa, CA, USA	www.tttc-vts.org
04. 27.-04. 29.	2015 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM)	TBD, Germany	www.icmim-ieee.org
04. 27.-04. 29.	2015 International Symposium on VLSI Technology, Systems and Application (VLSI-TSA)	The Ambassador Hotel, Hsinchu, Taiwan	vsitsa.itri.org.tw/2015/General/
04. 27.-04. 29.	2015 IEEE International Vacuum Electronics Conference (IVEC)	Beijing International Convention Center, Beijing, China	cie-china.org/ivec2015
04. 27.-04. 29.	2015 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test (VLSI-DAT)	The Ambassador Hotel, Hsinchu, Taiwan	vsidat.itri.org.tw/
04. 27.-04. 29.	2015 22nd International Conference on Telecommunications (ICT)	Shangri-La Hotel, Sydney, Australia	ict-2015.org/
04. 28.-04. 30.	2015 12th International Symposium on Programming and Systems (ISPS)	University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria	www.isps.usthb.dz
04. 30.-05. 02.	2015 IEEE Women in Engineering International Leadership Conference	CA, USA	http://ieee-wie-ilc.org/

## >> 2015년 5월

05. 03.-05. 05.	2015 First International Forum on Disaster Strategic Planning and Management (IDSPM Forum)	Hilton Hotel, Jeddah, Saudi Arabia	goo.gl/qJITHR
05. 03.-05. 06.	2015 IEEE 28th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)	World Trade and Convention Centre, Canada	www.ieee.ca/ccece15
05. 03.-05. 08.	2015 IEEE International Particle Accelerator Conference (IPAC)	TBD, Richmond, VA, USA	turk@jlab.org
05. 03.-05. 06.	2015 26th Annual SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC)	Hilton, Saratoga Springs, NY, USA	www.semi.org/asmc2015
05. 04.-05. 08.	2015 IEEE 11th International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2015)	Cankarjev dom - Congress Centre Ljubljana, Slovenia	www.fg2015.org/
05. 04.-05. 08.	2015 12th IEEE Conference on Software Architecture (WICSA)	Ecole de Technologie Supérieure de Montréal, QC, Canada	wicsa2015.org
05. 04.-05. 07.	2015 15th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)	TBD, Shenzhen, China	cloud.siat.ac.cn/ccgrid2015/
05. 07.-05. 09.	2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)	University POLITEHNICA of Bucharest, Romania	www.atee.upb.ro/atee2015
05. 10.-05. 13.	2015 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)	Coeur d'Alene Resort, ID, USA	hhess@uidaho.edu

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05. 10.-05. 14.	2015 IEEE 27th International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's (ISPSD)	Kowloon Shangri-La, Hong Kong	www.ispsd2015.com
05. 10.-05. 15.	2015 IEEE Radar Conference (RadarCon)	Crystal Gateway Marriott, Arlington, VA, USA	patty@stbeventplanning.com
05. 11.-05. 13.	2015 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC)	TBD, Chicago, IL, USA	www.psessymposium.org
05. 11.-05. 15.	2015 IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM)	Ottawa Convention Centre (OCC), Ottawa, ON, Canada	im2015.ieee-im.org
05. 11.-05. 15.	INTERMAG 2015 - IEEE International Magnetics Conference	China National Convention Center, Beijing, China	www.intermagconference.com/
05. 11.-05. 14.	2015 IEEE 81st Vehicular Technology Conference (VTC Spring)	Glasgow, United Kingdom	ieeetvc.org/vtc2015spring/
05. 11.-05. 14.	2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)	Palazzo dei Congressi, Pisa, Italy	imtc.ieee-ims.org
05. 13.-05. 15.	2015 IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)	Courtyard Marriott, Ahmedabad, India	www.tensymp2015.org
05. 14.-05. 16.	2015 5th International Conference on Electronics Information and Emergency Communication (ICEIEC)	Liang Jian, Beijing, China	www.iceiec.org/index.html
05. 14.-05. 17.	2015 IEEE-USA Annual Meeting	Milwaukee Hilton City Center, Milwaukee, WI, USA	meier@msoe.edu
05. 16.-05. 22.	2015 IEEE/MTT-S International Microwave Symposium - MTT 2015	Phoenix Convention Center, Phoenix, AZ, USA	v.nair@ieee.org
05. 16.-05. 24.	2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering (ICSE)	Firenze Fiera Congress Center, Florence, Italy	f.digiandomenico@isti.cnr.it
05. 17.-05. 20.	2015 IEEE International Memory Workshop (IMW)	Hyatt Regency Hotel, Monterey, CA, USA	sungyong.chung@sk.com
05. 17.-05. 21.	2015 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)	Fairmont San Jose, CA, USA	http://www.ieee-security.org/TC/SP-Index.html
05. 17.-05. 20.	2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)	Hilton Palacio del Rio, San Antonio, TX, USA	www.sose2015.org
05. 17.-05. 20.	2015 International Conference on Emerging Trends in Networks and Computer Communications (ETNCC)	Poytechnic of Namibia, Windhoek, Namibia	www.etncc2015.org/
05. 17.-05. 19.	2015 IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium (RFIC)	Phoenix Convention Center, AZ, USA	www.rfic-ieee.org
05. 17.-05. 19.	2015 4th Conference on PET/MR and SPECT/MR (PSMR)	Hotel Hermitage, Italy	agenda.infn.it/conferenceDisplay.py?confId=7830
05. 18.-05. 25.	2015 1st URSI Atlantic Radio Science Conference (URSI AT-RASC)	ExpoMeloneras Convention Center, Gran Canaria, Spain	r.stone@ieee.org
05. 18.-05. 21.	2015 IEEE International Interconnect Technology Conference and 2015 IEEE Materials for Advanced Metallization Conference (IITC/MAM)	Minatec Campus, Grenoble, France	www.iitc-conference.org/
05. 19.-05. 21.	OCEANS 2015 - Genova	Cotone Congressi Genova, Italy	www.oceans15mtsieeegenova.org
05. 20.-05. 22.	2015 International Conference on Biometrics (ICB)	TBD, Phuket, Thailand	icb2015.org/
05. 20.-05. 22.	2015 5th Asia Pacific Optical Sensors Conference (APOS)	Jeju Grand Hotel, Jeju, Korea (South)	www.apos2015.org/
05. 22.-05. 22.	2015 85th ARFTG Microwave Measurement Conference (ARFTG)	TBD, Phoenix, AZ, USA	www.arftg.org
05. 23.-05. 25.	2015 27th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)	TBD, Qingdao, China	www.ccdc.neu.edu.cn/
05. 24.-05. 28.	2015 IEEE International Conference on Plasma Sciences (ICOPS)	Cornelia Diamond Resort, Antalya, Turkey	edl@ece.unm.edu
05. 24.-05. 27.	2015 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)	Centro Cultural de Bele'm Prac,a do Impe'rio, Lisbon, Portugal	www.iscas2015.org
05. 24.-05. 27.	2015 Joint IEEE International Symposium on the Applications of Ferroelectric (ISAF), International Symposium on Integrated Functionalities (ISIF), and Piezoelectric Force Microscopy Workshop (PFM)	Matrix Building, Singapore	TBD

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
05. 25.-05. 30.	2015 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)	Washington State Convention Center, Seattle, WA, USA	icra2015.org
05. 25.-05. 29.	2015 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS)	Hyderabad International Convention Center, India	www.ipdps.org
05. 25.-05. 27.	2015 22nd Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems	Concern CSRI Elektropribor, JSC, Saint Petersburg, Russia	www.elektroPribor.spb.ru
05. 25.-05. 27.	2015 3rd International Conference on Control, Engineering & Information Technology (CEIT)	Auditorium, Univ. of Tlemcen, Algeria	lat.univ-tlemcen.dz/ceit2015/index.php
05. 25.-05. 28.	2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)	Sendai International Center, Japan	www.cec2015.org
05. 25.-05. 29.	2015 38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)	Grand Hotel Adriatic Convention Centre, Opatija, Croatia	www.mipro.hr
05. 26.-05. 29.	2015 IEEE 65th Electronic Components and Technology Conference (ECTC)	Sheraton San Diego Hotel & Marina, San Diego, CA, USA	www.ectc.net
05. 26.-05. 29.	2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC)	The Grand Hotel, Taipei, Taiwan	www.apemc2015.org
05. 26.-05. 28.	2015 1st International Conference on Telematics and Future Generation Networks (TAFGEN)	Universiti Teknologi Malaysia Kuala Lumpur, Malaysia	www.utm.my/tafgen2015/
05. 27.-05. 29.	2015 3rd International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)	Sheraton Bali Kuta Resort, Indonesia	www.icoict.org/
05. 27.-05. 30.	2015 16th International Carpathian Control Conference (ICCC)	University of Miskolc, Hungary	www.iccc.uni-miskolc.hu
05. 27.-05. 29.	2015 6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization (ICMSAO)	Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey	www.icmsao.org
05. 29.-05. 31.	2015 International Conference on Advanced Robotics and Intelligent Systems (ARIS)	National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan	aris2015.ntut.edu.tw
05. 31.-06. 04.	2015 IEEE 26th Symposium on Fusion Engineering (SOFE)	Hilton Austin, TX, USA	allain@illinois.edu
05. 31.-06. 04.	2015 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC)	Ottawa, ON, Canada	sites.ieee.org/ihct2015
05. 31.-06. 03.	2015 10th Asian Control Conference (ASCC)	Sutera Harbour Resort, Sabah, Malaysia	www.ascc2015.com/
05. 31.-06. 04.	2015 IEEE Pulsed Power Conference (PPC)	Hilton Austin, TX, USA	mtc@lanl.gov
05. 31.-06. 04.	2015 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC)	Ottawa, ON, Canada	sites.ieee.org/ihct2015

## >> 2015년 6월

06. 01.-06. 03.	2015 16th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)	TBD, Japan	http://www.acisinternational.org/newconferences
06. 01.- 06. 05.	2015 IEEE 9th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE-ECCE Asia)	Sheraton Grande Walkerhill, Seoul, Korea (South)	www.icpe2015.org
06. 03.-06. 05.	2015 10th International Forum on Strategic Technology (IFOST)	Grand Inna Kuta, Bali, Indonesia	ifost.ulsan.ac.kr/
06. 03.-06. 05.	2015 International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)	TBD, Budapest, Hungary	mt-its2015.bme.hu
06. 06.-06. 08.	2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Taiwan (ICCE-TW)	National Taiwan University of Science and Technology, Taipei City, Taiwan	www.icce-tw.org/
06. 07.-06. 11.	2015 IEEE Electrical Insulation Conference	Renaissance Seattle Hotel, WA, USA	sites.ieee.org/eic/
06. 07.-06. 12.	2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)	Hynes Convention Center, Boston, MA, USA	mjones@merl.com
06. 08.-06. 12.	2015 ICC - 2015 IEEE International Conference on Communication Workshop (ICC)	ExCel London, United Kingdom	j.z.wang@kent.ac.uk

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06. 08.-06. 12.	2015 International Conference on Inorganic Scintillators and their Applications (SCINT)	TBD, Berkeley, CA, USA	wwmoses@lbl.gov
06. 08.-06. 12.	2015 52nd ACM/EDAC/IEEE Design Automation Conference (DAC)	Moscone Center, San Francisco, CA, USA	www.dac.com
06. 09.-06. 12.	2015 International Conference on Virtual Rehabilitation (ICVR)	Valencia Conference Centre, Valencia, Spain	www.virtual-rehab.org/
06. 09.-06. 12.	2015 IEEE 11th International Conference on Power Electronics and Drive Systems	TBD, Sydney, Australia	www.ieee-peds.org
06. 09.-06. 12.	2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)	Denver Marriott Tech Center, Denver, CO, USA	www.uasconferences.com
06. 10.-06. 12.	2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)	Faculty of Engineering, La Sapienza University, Rome, Italy	eeeic.eu
06. 12.-06. 13.	2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC)	BMS College of Engineering, Banglore, India	iacc2015.com
06. 13.-06. 17.	2015 ACM/IEEE 42nd Annual International Symposium on Computer Architecture (ISCA)	Oregon Convention Center, Portland, OR, USA	www.isca2015.org
06. 14.-06. 19.	2015 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT)	Hong Kong Convention and Exhibition Centre, Hong Kong	dtse@eecs.berkeley.edu
06. 14.-06. 19.	2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)	Hyatt Regency New Orleans, LA, USA	http://www.ieee-pvsc.org/PVSC42
06. 14.-06. 17.	2015 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)	Adoba Hotel Dearborn, MI, USA	www.itec-conf.com
06. 14.-06. 18.	2015 4th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)	Hotel Slovenska Plaza, Budva, Montenegro	http://embeddedcomputing.me/en/meco
06. 14.-06. 15.	2015 Silicon Nanoelectronics Workshop (SNW)	Rega Royal Hotel Kyoto, Japan	annex.jsap.or.jp/snw
06. 15.-06. 18.	2015 Symposium on VLSI Technology	Rhiga Royal Hotel, Kyoto, Japan	www.vlssymposium.org
06. 15.-06. 19.	NAECON 2015 - IEEE National Aerospace and Electronics Conference	River Campus- University of Dayton, OH, USA	www.naecon.org
06. 15.-06. 17.	2015 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)	Kitakyushu Convention Center, Kitakyushu, Japan	cennser.org/ICIEV/
06. 15.-06. 17.	2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)	Crowne Plaza Auckland, New Zealand	www.ieeeiciea.org/2015/
06. 16.- 06. 19.	2015 7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)	Harbiye Military Museum and Cultural Center, Istanbul, Turkey	www.rast@org.tr
06. 16.-06. 19.	2015 23th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)	Hotel Melia Costa del Sol, Spain	www.med2015.uma.es/
06. 16.-06. 19.	2015 Symposium on VLSI Circuits	Rihga Royal Hotel, Kyoto, Japan	www.vlssymposium.org
06. 17.-06. 20.	2015 10th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)	Universidade de Aveiro, Portugal	www.aisti.eu/cisti2015
06. 21.-06. 25.	TRANSDUCERS 2015 - 2015 18th International Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Conference	Dena'ina Convention Center, Anchorage, AK, USA	www.transducers2015.org
06. 21.-06. 24.	2015 IEEE World Haptics Conference (WHC)	TBD, Chicago or Evanston, IL, USA	haptics2015.org
06. 22.-06. 24.	2015 12th International Conference on Service Systems and Service Management (ICSSSM)	Guangzhou, China	iec.cnsba.com/index.html
06. 22.-06. 25.	2015 IEEE 6th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)	Hotel Pullmann Aachen Quellenhof, Aachen, Germany	www.pedg2015.org
06. 22.-06. 26.	2015 45th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN)	TBD, Rio de Janeiro, Brazil	www.ft.unicamp.br/dsn2015/
06. 22.-06. 24.	2015 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation/ International Technology Management Conference (ICE/ITMC)	University of Ulster, Belfast, Ireland	www.ice-conference.org
06. 22.-06. 24.	2015 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)	TBD, USA	johnson@cec.sc.edu

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
06. 24.-06. 26.	2015 International Conference on Technological Advancements in Power and Energy (TAP Energy)	Amrita University, Kollam, India	tapenergy.amrita.ac.in
06. 24.-06. 27.	2015 12th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)	Thailand	www.ecticon2015.org/
06. 24.-06. 26.	2015 16th International Radar Symposium (IRS)	The Westin Bellevue Hotel, Dresden, Germany	www.dgon-irs.org
06. 26.-06. 29.	2015 19th International Symposium on VLSI Design and Test (VDATE)	Institute of Technology, Nirma University, Ahmedabad, India	www.nirmauni.ac.in/vdat15
06. 28.-07. 01.	2015 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)	COEX, Seoul, Korea (South)	www.iv2015.org
06. 28.-07. 02.	2015 Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)	Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, China	www.oecc2015.sjtu.edu.cn
06. 29.-07. 03.	2015 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)	TorinoIncontra conference center, Torino, Italy	www.icme2015.ieee-icme.org
06. 29.-07. 02.	2015 IEEE 35th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)	Hilton Columbus Downtown, Columbus, OH, USA	web.cse.ohio-state.edu/~yuanyu/icdcs/
06. 29.-07. 02.	2015 IEEE Eindhoven PowerTech	Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands	powertech2015-eindhoven.tue.nl

## >> 2015년 7월

07. 01.-07. 03.	2015 American Control Conference (ACC)	Hilton Palmer House, Chicago, IL, USA	acc2015.a2c2.org
07. 01.-07. 03.	2015 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP)	TBD, China	www.nusri.cn/imws-amp2015
07. 01.-07. 05.	2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)	TBD, Taichung, Taiwan	sceballos@computer.org
07. 01.-07. 03.	2015 22nd International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD)	Ryukoku University Avanti Kyoto Hall, Kyoto, Japan	www.amfpd.jp/
07. 01.-07. 04.	2015 IEEE 16th International Conference on High Performance Switching and Routing (HPSR)	Hotel Gellért, Budapest, Hungary	www.ieee-hpsr.org/
07. 01.-07. 05.	2015 IEEE 39th Annual Computer Software and Applications Conference Workshop (COMPSACW)	TBD, Taichung, Taiwan	sceballos@computer.org
07. 02.-07. 03.	2015 Conference on Power, Control, Communication and Computational Technologies for Sustainable Growth (PCCCTSG)	G. Pulla Reddy Engineering College (Autonomous), Kurnool, India	www.pccctsg-conf.org/
07. 06.-07. 10.	2015 30th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS)	Grand Prince Hotel Kyoto, Kyoto, Japan	lics.rwth-aachen.de/lics15/
07. 06.-07. 08.	2015 10th International Workshop on Robot Motion and Control (RoMoCo)	Poznan University of Technology, Poznan, Poland	www.romoco.put.poznan.pl
07. 06.-07. 09.	2015 IEEE 15th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)	Parkview Hotel, Hualien county, Taiwan	http://www.ask4research.info/icalt/2015/
07. 06.-07. 09.	2015 18th International Conference on Information Fusion (Fusion)	Grand Hyatt Washington, DC, USA	www.fusion2015.org
07. 07.-07. 11.	2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)	Bexco, Busan, Korea (South)	aim2015.net
07. 09.-07. 11.	2015 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP)	Clarion Congress Hotel, Prague, Czech Republic	tsp.vutbr.cz/
07. 10.-07. 12.	2015 IEEE Technological Innovation in ICT for Agriculture and Rural Development (TIAR)	Easwari Engineering College, Chennai, India	www.srmeaswari.ac.in
07. 12.-07. 17.	2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)	Killarney Convention Centre, Killarney, Ireland	www.ijcnn.org/
07. 12.-07. 15.	2015 IEEE China Summit and International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP)	JINJIANG HOTEL, Chengdu, China	www.chinasip2015.org
07. 13.-07. 17.	2015 IEEE Nuclear & Space Radiation Effects Conference (NSREC 2015)	Marriott Copley Place, Boston, MA, USA	www.nsrec.com

일 자	학술대회명	개최장소	홈페이지/연락처
07. 13.-07. 15.	2015 6th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)	Omni Mandalay Hotel, Irving , TX, USA	www.6icccnt.com
07. 13.-07. 17.	2015 28th International Vacuum Nanoelectronics Conference (IVNC)	Kaifeng Hotel, Guangzhou, China	ivnc2015.sysu.edu.cn/
07. 14.-07. 16.	2015 Asia-Pacific Conference on Computer Aided System Engineering (APCASE)	Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito, Ecuador	conference.apcase.org/
07. 15.-07. 17.	2015 European Control Conference (ECC)	Johannes Kepler University Linz, Linz, Austria	http://www.ecc15.at/
07. 16.-07. 20.	2015 19th International Conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC)	MABELY Grand Hotel, Zakynthos, Ionion, Greece	www.cscce.co
07. 16.-07. 19.	2015 12th IEEE International Conference on Electronic Measurement & Instruments (ICEMI)	Qingdao Conference Center, Qingdao, China	www.icemi.cn
07. 17.-07. 25.	2015 USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium)	TBD, Vancouver, BC, Canada	davem@ece.ubc.ca
07. 19.-07. 22.	2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM)	UNSW Australia, Sydney, Australia	www.icpdm2015.org
07. 21.-07. 24.	2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP)	Nanyang Executive Centre, Singapore	www.dsp2015.org/
07. 22.-07. 24.	2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)	Robinson College, Cambridge, United Kingdom	marcian@ieee.org
07. 23.-08. 02.	2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting	Sheraton Denver Downtown Hotel, Denver, CO, USA	http://www.pes-gm.org/2015/
07. 26.-07. 31.	IGARSS 2015 - 2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	Fiera Milano Congressi - Milan Convention Center, Milan, Italy	nancy@cmsworldwide.com
07. 27.-07. 30.	2015 IEEE 15th International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO)	Angelicum Congress Centre, Rome, Italy	www.ieeenano15.org
07. 27.-07. 29.	2015 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS)	Universitat Politècnica de Catalunya. BarcelonaTech, Barcelona, Spain	huagw@amss.ac.cn
07. 28.-07. 30.	2015 54th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE)	Intercontinental Hangzhou Hotel, Hangzhou, China	www.sice.jp/ccc-sice2015/
07. 28.-07. 30.	2015 Science and Information Conference (SAI)	America Square Conference Centre, London , United Kingdom	thesai.org/SAIConference2015
07. 28.-07. 30.	2015 34th Chinese Control Conference (CCC)	TBD, Hangzhou, China	ccc@amss.ac.cn
07. 29.-07. 31.	2015 IEEE/OES Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics)	CPRM, Rio de Janeiro- RJ, Brazil	www.riocoustics.org
07. 30.-08. 01.	2015 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)	Weber State University, Ogden, UT, USA	sites.ieee.org/sustech/

# The Magazine of the IEIE

## 특별회원사 및 후원사 명단

회원명	대표자	주소	전화	홈페이지
국제종합촉기	박재욱	서울시 강남구 역삼동 831	02-553-0901	<a href="http://www.msinter.co.kr">http://www.msinter.co.kr</a>
나노종합기술원	이재영	대전시 유성구 어은동 53-3	042-366-1500	<a href="http://www.nnfc.re.kr">http://www.nnfc.re.kr</a>
네이버(주)	김상헌	경기도 성남시 분당구 불정로 6 (정자동 그린팩토리)	031-784-2560	<a href="http://www.nhncorp.com">http://www.nhncorp.com</a>
넥스칩스	김덕명	서울시 송파구 가락본동 IT벤처타워 서관 12층	02-2142-1310	<a href="http://www.nexuschips.com">http://www.nexuschips.com</a>
넥스트칩	김경수	서울시 강남구 도곡동 949-3	02-3460-4700	<a href="http://www.nextchip.com">http://www.nextchip.com</a>
(주)넥스파시스템	이상준	서울시 성동구 자동차시장 1길 18 105호	02-2243-4011	<a href="http://www.nexpa.co.kr">http://www.nexpa.co.kr</a>
누리미디어	최순일	서울시 마포구 대흥동 446	02-702-1771	<a href="http://www.nurimedia.co.kr">http://www.nurimedia.co.kr</a>
다우인큐브	이예구	경기도 용인시 수지구 죽전동 23-7 다우디지털스퀘어	070-8707-2500	<a href="http://www.daouincube.com">http://www.daouincube.com</a>
대구테크노파크	송인섭	대구시 달서구 대천동 891-5	053-602-1803	<a href="http://www.mtc.or.kr">http://www.mtc.or.kr</a>
대덕G.D.S	유영훈	경기도 안산시 목래동 475	031-481-8006	<a href="http://www.daeduckgds.co.kr">http://www.daeduckgds.co.kr</a>
대덕전자	김영재	경기도 안산시 목래동 390-1	031-481-8005	<a href="http://www.dacduck.com">http://www.dacduck.com</a>
대성전기	이철우	경기도 안산시 단원구 원시동 743-5	031-494-1141	<a href="http://www.dsec.co.kr">http://www.dsec.co.kr</a>
대전테크노파크	염홍철	대전시 유성구 탑립동 694	042-930-4300	<a href="http://www.djtp.or.kr">http://www.djtp.or.kr</a>
(주)더즈텍	김태진	경기도 안양시 동안구 학의로 292 금강펜테리움IT타워 A동 1061호	031-450-6300	<a href="http://www.doestek.co.kr">http://www.doestek.co.kr</a>
덴소풍성전자	김경섭	경남 창원시 성산구 외동 853-11	055-600-9227	<a href="http://www.dnpe.co.kr">http://www.dnpe.co.kr</a>
동부하이텍	박용인	서울시 강남구 대치동 891-10	02-3484-2888	<a href="http://www.dongbuhitek.co.kr">http://www.dongbuhitek.co.kr</a>
동아일렉콤	손성호	서울시 중구 남대문로5가 526	02-757-2050	<a href="http://www.dongahelcomm.co.kr">http://www.dongahelcomm.co.kr</a>
동운아나텍	김동철	서울시 서초구 서초동 1467-80 아리랑타워 9층	02-3465-8765	<a href="http://www.dwanatech.com">http://www.dwanatech.com</a>
라온텍	김보은	경기도 성남시 분당구 정자동 9	070-7545-1779	<a href="http://www.raon-tech.com">http://www.raon-tech.com</a>
만도	정몽원	경기도 용인시 기흥구 고매동 413-5	031-300-5126	<a href="http://www.mando.com">http://www.mando.com</a>
문화방송	안광한	서울시 영등포구 여의도동 31	02-784-2000	<a href="http://www.imbc.com">http://www.imbc.com</a>
삼성전자	권오현	서울시 서초구 서초2동 1320-10 삼성전자빌딩	1588-3366	<a href="http://samsungelectronics.com/kr">http://samsungelectronics.com/kr</a>
삼성탈레스	변승완	경기도 성남시 분당구 구미동 188	031-601-5100	<a href="http://www.samsungthales.com">http://www.samsungthales.com</a>
삼화콘덴서공업	황호진	경기도 용인시 처인구 남사면 복리 124	031-332-6441	<a href="http://www.samwha.co.kr">http://www.samwha.co.kr</a>
세미솔루션	이정원	경기도 용인시 기흥구 영덕동 1029 흥덕U타워 지식산업센터	031-627-5300	<a href="http://www.semisolution.com">http://www.semisolution.com</a>
세원텔레텍	김철동	경기도 안양시 동안구 관양동 1023	031-422-0031	<a href="http://www.sewon-teletex.co.kr">http://www.sewon-teletex.co.kr</a>
(주)스카이크로스코리아	조영민	경기 수원시 영통구 영통동 980-3 디지털엠피아비빌딩 C동 801호	031-267-1662	<a href="http://www.skycross.cco.kr">http://www.skycross.cco.kr</a>
썬대동	조명수	경기도 안산시 단원구 원시동 743-2	031-493-3000	<a href="http://www.dae-dong.biz">http://www.dae-dong.biz</a>
실리콘마이터스	허엽	서울시 성동구 행당1동 한양대학교 HIT 418호	02-2297-7077	<a href="http://www.siliconmitus.com">http://www.siliconmitus.com</a>
실리콘웍스	한대근	대전시 유성구 탑립동 707	042-712-7700	<a href="http://www.siliconworks.co.kr/">http://www.siliconworks.co.kr/</a>
(주)솔리드	정준	경기도 성남시 분당구 삼평동 솔리드스페이스	031-627-6000	<a href="http://www.st.co.kr">http://www.st.co.kr</a>
아나패스	이경호	서울시 구로구 구로동 197-12 신세계아이앤씨 디지털센터 6층	02-6922-7400	<a href="http://www.anapass.com">http://www.anapass.com</a>
아바고테크놀로지스	전성민	서울시 서초구 양재동 215	02-2155-4710	<a href="http://www.avagotech.kr">http://www.avagotech.kr</a>
아이닉스	황정현	경기도 수원시 영통구 영통동 980-3	031-204-7333	<a href="http://www.eyenix.com/">http://www.eyenix.com/</a>
㈜아이에이	김동진	서울 송파구 송파대로 22길 5-23	02-3015-1300	<a href="http://www.ja-inc.kr">http://www.ja-inc.kr</a>
안리스크퍼레이션	오사무나가타	서울시 강남구 역삼동 832-41 현죽빌딩 8층	02-553-6603	<a href="http://www.anritsu.com">http://www.anritsu.com</a>
에디텍	정영교	서울시 구로구 구로동 811	02-2025-0088	<a href="http://www.aditec.co.kr">http://www.aditec.co.kr</a>
에스넷시스템(주)	윤상화	서울 강남구 삼성동 141(성원빌딩 10층)	02-3469-2994	<a href="http://www.snetsystems.co.kr">http://www.snetsystems.co.kr</a>
에스엘	이충곤	경북 경산시 진량읍 신상리 1208-6	053-850-8775	<a href="http://www.sl.co.kr">http://www.sl.co.kr</a>

회원명	대표자	주소	전화	홈페이지
유라코퍼레이션	엄병윤	경기도 성남시 분당구 삼평동 686-1	070-7878-1000	http://www.yuracorp.co.kr
유텔	김호동	경기도 군포시 당정동 381-4	031-427-1020	http://www.u-tel.co.kr
이노피아테크	장만호	경기도 성남시 중원구 상대원동 333-7 금강펜테리움 IT타워	031-730-0575	http://www.innopiotech.com
이디	박용후	경기도 성남시 중원구 상대원동 보통길 10	031-730-7320	http://www.ed.co.kr
이지테크	강현웅	서울시 양천구 신정4동 1008-12	02-2608-2633	http://www.ezlab.com
전자부품연구원	김경원	경기도 성남시 분당구 아탑동 68	031-789-7000	http://www.keti.re.kr
지에스인스트루먼트	육희수	인천시 남구 주안동 1385-14	032-870-5641	http://www.gsinstrument.com
지엠테스트	고상현	충남 천안시 서북구 직산읍 군서리 134	041-410-2600	http://www.gmtest.com
충북테크노파크	남창현	충북 청원군 오창읍 연구단지로 40	043-270-2000	http://www.cbtp.or.kr
현대오토론	박상규	경기도 성남시 분당구 판교로 344 엠텍IT타워	031-627-0990	http://www.hyundai-autron.com
케이던스코리아	신용석	경기도 성남시 분당구 금곡동 196	031-728-3114	http://www.cadence.com
현대케피코	박상규	경기도 군포시 당정동 410	031-450-9015	http://www.hyundai-kefeco.com
코아리버	배중홍	서울시 송파구 가락본동 78번지 IT벤처타워 서관 11층	02-2142-3400	http://www.coreriver.com
콘티넨탈 오토모티브 시스템	선우 현	경기도 성남시 분당구 판교역로 220 솔리드스페이스빌딩	031-697-3800	http://www.conti-automotive.co.kr
텔레칩스	이장규	서울시 송파구 신천동 7-20 루터회관	02-3443-6792	http://www.telechips.com
티에이치엔	채 석	대구시 달서구 갈산동 973-3	053-583-3001	http://www.th-net.co.kr
티엘아이	김달수	경기도 성남시 분당구 아탑동 345-1 파인벤처빌딩	031-784-6800	http://www.tli.co.kr
페어차일드코리아반도체	김귀남	경기도 부천시 원미구 도당동 82-3	032-671-3842	http://www.fairchildsemi.com
SK 하이닉스	박성욱	경기도 이천시 부발읍 아미리 산 136-1	031-630-4114	http://www.skhynix.com
한국멘토그래픽스(유)	양영인	서울시 강남구 삼성동 무역센타빌딩 21층	02-551-3434	http://www.mentokr.com
한국애질런트테크놀로지스	김승렬	서울시 영등포구 여의도동 25-12	080-769-0800	http://www.agilent.co.kr
한국인터넷진흥원	이기주	서울시 송파구 중대로 109	02-405-4118	http://www.kisa.or.kr/
한국전기연구원	김호용	경남 창원시 성주동 28-1	055-280-1114	http://www.keri.re.kr
한국전자통신연구원	김흥남	대전시 유성구 가정동 161	042-860-6114	http://www.etri.re.kr
한국정보통신기술협회	임차식	경기도 성남시 분당구 서현동 267-2	031-724-0114	http://www.tta.or.kr
한라비스테온공조	박용환	대전시 대덕구 신일동 1689-1	042-930-6114	http://www.hvccglobal.com
한백전자	진수춘	대전시 유성구 궁동 487-1	042-610-6111	http://www.hanback.co.kr
현대로템	한규환	경기도 의왕시 삼동 462-18	031-596-9045	http://www.hyundai-rotem.co.kr
현대모비스	정명철	서울시 강남구 역삼1동 679-4 서울인터내셔널타워	02-2018-5114	http://www.mobis.co.kr
현대엠앤소프트	유영수	서울시 용산구 원효로4가 114-38	02-3483-8500	http://www.hyundai-mnsoft.com
현대자동차그룹	양웅철	경기도 화성시 장덕동 772-1	02-3464-1114	http://www.hyundai-motor.com
휴먼칩스	손민희	서울시 송파구 가락본동 10 신도빌딩	070-8671-4700	http://www.humanchips.co.kr
휴인스	송태훈	경기도 성남시 분당구 수내동 16-3 코포모빌딩	031-719-8200	http://www.huins.com
히로세 코리아(주)	이상엽	경기 시흥시 정왕동 희망공원로 250	031-496-7000	http://www.hirose.co.kr
FCI	한상우	경기도 성남시 분당구 판교로 255번길 35(삼평동) 실리온파크 B동 7층	031-782-3700	http://www.fci.co.kr
I&CT테크놀로지	박창일	서울시 송파구 가락동 78 IT벤처타워 동관 18층	02-2142-3300	http://www.inctech.co.kr
KT	황창규	경기도 성남시 분당구 정자동 206	031-727-0114	http://www.kt.co.kr
LDT	김철호	충남 천안시 서북구 두정동 538 M프라자 3층	041-520-7300	http://www.ldt.co.kr
LG전자	구본준	서울시 영등포구 여의도동 30	02-3777-1114	http://www.lge.co.kr
LIG 넥스원	이효구	서울시 강남구 역삼동 838 푸르덴셜타워 10층	1644-2005	http://www.lignex1.com
RadioPulse	왕성호	서울시 강동구 성내동 111-6	02-478-2963	http://www.radiopulse.co.kr
SK Telecom	하성민	서울시 중구 을지로2가 11 SK-T-Tower	02-2121-2114	http://www.sktelecom.com

# The Magazine of the IEIE

## 단체회원 명단

회원명	주소	전화	홈페이지
가톨릭대중앙도서관	경기부천시원미구역곡2동산43-1	032-340-3607	
가톨릭상지대학도서관	경북안동시울세동393	032-340-3607	<a href="http://www.csangji.ac.kr/~library/">http://www.csangji.ac.kr/~library/</a>
강릉대도서관	강원강릉시지변동산1		<a href="http://211.114.218.253/">http://211.114.218.253/</a>
강원관광대도서관	강원태백시황지동439	033-552-9005	<a href="http://www.kt.ac.kr">http://www.kt.ac.kr</a>
강원대도서관	강원춘천시효자2동192-1	033-250-9000	<a href="http://library.kangwon.ac.kr">http://library.kangwon.ac.kr</a>
경동대도서관	강원고성군토성면봉포리산91-1	033-639-0371	<a href="http://www.kyungdong.ac.kr">http://www.kyungdong.ac.kr</a>
경주대도서관	경북경주시효현동산42-1	054-770-5051	<a href="http://www.kyongju.ac.kr">http://www.kyongju.ac.kr</a>
건국대도서관	서울성동구모진동93-1	02-450-3852	<a href="http://www.konkuk.ac.kr">http://www.konkuk.ac.kr</a>
건양대중앙도서관	충남논산시내동산30	041-730-5154	<a href="http://lib.konyang.ac.kr">http://lib.konyang.ac.kr</a>
경기대중앙도서관	경기수원시팔달구이의동산94-6	031-240-7135	<a href="http://203.249.26.247/">http://203.249.26.247/</a>
경기공업대도서관	경기시흥시정왕동시화공단3가102	031-496-4571	<a href="http://210.181.136.6/">http://210.181.136.6/</a>
경남대중앙도서관	경남마산시월영동449	055-249-2906	<a href="http://library.kyungnam.ac.kr">http://library.kyungnam.ac.kr</a>
경도대도서관	경북예천군예천읍청북리947-1	054-650-0143	<a href="http://libweb.kyongdo.ac.kr">http://libweb.kyongdo.ac.kr</a>
경북대도서관	대구북구산격동1370	053-955-500 1	<a href="http://kudos.knu.ac.kr">http://kudos.knu.ac.kr</a>
경북대전자공학과	대구북구산격동1370	053-950-5506	<a href="http://palgong.knu.ac.kr">http://palgong.knu.ac.kr</a>
경운대벽강중앙도서관	경북구미시산동면인덕리55	054-479-1083	<a href="http://www.kyungwoon.ac.kr">http://www.kyungwoon.ac.kr</a>
경일대도서관	경북경산군하양읍부호리33	053-950-7790	<a href="http://cham.kyungil.ac.kr">http://cham.kyungil.ac.kr</a>
경산대도서관	경북경산시점촌동산75		<a href="http://library.ksucc.ac.kr">http://library.ksucc.ac.kr</a>
경상대도서관	경남진주시가좌동900	055-751-5098	<a href="http://library.gsnu.ac.kr">http://library.gsnu.ac.kr</a>
경성대도서관	부산남구대연동110-1	051-620-4394	<a href="http://kulis1.kyungsung.ac.kr">http://kulis1.kyungsung.ac.kr</a>
경희대학교	중앙도서관 경기용인시기흥구서천동1번지	031-201-3219	<a href="http://library.khu.ac.kr">http://library.khu.ac.kr</a>
고려대과학도서관	서울성북구안암동5가1번지	02-920-1709	<a href="http://kulib.korea.ac.kr">http://kulib.korea.ac.kr</a>
고려대서창캠퍼스도서관	충남연기군조치원읍서창동208		<a href="http://kuslib.korea.ac.kr">http://kuslib.korea.ac.kr</a>
고속도로정보통신공단	경기용인기흥읍공세리260-1	031-280-4230	
공군서관학교도서관	충북청원군남일면쌍수리사서함335-1	043-229-6085	<a href="http://www.afa.ac.kr">http://www.afa.ac.kr</a>
공군전투발전단무기체계실	충남논산군두마면부남리사서함501-317호	041-506-5260, 5281	
공주대도서관	충남공주시신관동182	041-850-8691	<a href="http://knulib.kongju.ac.kr">http://knulib.kongju.ac.kr</a>
광명하안도서관	경기광명시하안2동683	031-680-6376	<a href="http://www.kmlib.or.kr">http://www.kmlib.or.kr</a>
광운대도서관	서울노원구월계동447-1	02-918-1021~2	<a href="http://kupis.kwangwoon.ac.kr">http://kupis.kwangwoon.ac.kr</a>
국민대성곡도서관	서울성북구정릉동861-1	02-910-4200	<a href="http://kmulmf.kookmin.ac.kr">http://kmulmf.kookmin.ac.kr</a>
김포대학교도서관	경기김포시월곶면포내리산14-1	031-999-4126	<a href="http://lbr.kimpo.ac.kr">http://lbr.kimpo.ac.kr</a>
국방대학교도서관	서울은평구수색동205	02-300-2415	
국방제9125부대	서울중앙우체국사서함932호		
국방품질관리연구소정보관리실	서울청량리우체국사서함 276호		<a href="http://dqaa.go.kr">http://dqaa.go.kr</a>
국방과학연구소서울자료실	서울송파구송파우체국사서함132호	02-3400-2541	<a href="http://www.add.re.kr">http://www.add.re.kr</a>
방위사업청	서울용산구용산2가동7번지	02-2079-5213	
극동대학교도서관	충북음성군감곡면왕장리산5-14	043-879-3568	<a href="http://lib.kdu.ac.kr">http://lib.kdu.ac.kr</a>
금강대학교도서관	충남논산시 상월면 대명리 14-9	041-731-3322	<a href="http://lib.ggu.ac.kr">http://lib.ggu.ac.kr</a>
LG정밀(주)제2공장자료실	경기오산시가수동379	031-772-1171(318)	<a href="http://www.lginnotek.com">http://www.lginnotek.com</a>

회원명	주소	전화	홈페이지
LG정보통신(주)자료실	경북구미시공단동299	054-460-5311	http://www.lge.co.kr
금오공대도서관	경북구미시신평동188-1	054-461-0131~4	http://ran.kumoh.ac.kr
남서울대도서관	충남천안시성환읍매주리21	041-580-2076	http://ness.nsu.ac.kr
단국대도서관	울음산구한남동산8	02-709-2135	http://www.dankook.ac.kr
단국대음악기념도서관	충남천안시안서동산29-1	041-741-6040(1613)	http://dulis.anseo.dankook.ac.kr
대구대도서관	대구남구대명동2288	053-850-2081~6	http://love.taegu.ac.kr
대원공과대학교도서관	충북제천시신월동산22-8	043-649-3202	http://lib.daewon.ac.kr
동서울대학교도서관	경기성남시수정구복정동423	031-720-2191	http://dlibrary.dsc.ac.kr
대전대도서관	대전동구용운동96-3	042-280-2673	http://libweb.taejon.ac.kr
대전한밭대도서관	대전동구삼성2동305-3	042-630-0616	http://tjdigital.tnut.ac.kr
대전한밭도서관	대전중구문화동145-3	042-580-4255	http://hanbat.metro.taejon.kr
대전대중앙도서관	경기포천군포천읍선리산11-1	031-535-8201~5	http://library.daejin.ac.kr
대천대도서관	충남보령시주포면관산리산6-7	041-939-3026	http://www.dcc.ac.kr
동강대도서관	광주시 북구 두암동771	062-520-2114	http://dongkang.ac.kr
동국대도서관	서울중구필동3가26	02-260-3452	http://lib.dgu.ac.kr
동서대도서관	부산사상구주례동산69-1	051-320-1640	http://libcenter.dongseo.ac.kr
동아대도서관	부산서구동대신동3가1	051-204-0171	http://av3600.donga.ac.kr
동양대도서관	경북영주시풍기읍교촌동1번지	054-630-1053	http://dyucl.dyu.ac.kr
동양공업전문대학교도서관	서울구로구고척동62-160	02-610-1731	http://www.dongyang.ac.kr
동원대학술정보센터	경기광주군실천면신촌리산1-1	031-763-8541(140)	http://www.tongwon.ac.kr
두원공과대학교도서관	경기안성군죽산면장원리678		http://www.doowon.ac.kr
만도기계중앙연구소	경기남양주군외부읍덕소리95	031-768-6211	http://www.mando.com
목원대도서관	대전중구목동24	042-252-9941~50	http://lib.mokwon.ac.kr
목포대도서관	전남무안군청계면도림리61		http://203.234.22.46/
목포해양대도서관	전남목포시죽교동572	061-240-7114	http://lib.miryang.ac.kr
배재대도서관	대전서구도마2동439-6	042-520-5252	http://lib.mmu.ac.kr
부경대도서관	부산남구대연3동599-1	051-622-3960	http://libweb.pknu.ac.kr
부산대도서관	부산금정구장전동산30	051-510-1814	http://pulip.pusan.ac.kr
부산외국어대도서관	부산남구우암동산55-1		http://www.pufs.ac.kr
부천대도서관	경기부천시원미구심곡동454-3	032-610-3272	http://www.bucheon.ac.kr
한국과학기술정보연구원정보자료실	서울동대문구청랑리동206-9		http://www.kiniti.re.kr
삼지전자(주)	서울금천구가산동459-21	02-850-8167	
삼척산업대도서관	강원삼척시교동산253	033-570-6278	http://lib.samchok.ac.kr
상명대학교컴퓨터시스템공학전공	충남천안시안서동산98-20	041-550-5356	
상주대도서관	경북상주시가장동386	054-530-5641	http://san.sangju.ac.kr
상지대중앙도서관	강원원주시우산동산41	033-730-0366	http://lib.sangji.ac.kr
생산기술연구원정보자료실	서울금천구가산동371-36	02-850-9142~3	http://www.kitech.re.kr
산업기술시험평가연구소자료실	서울구로구구로동222-13	02-860-1292	http://www.ktl.re.kr
삼성SDI	경기용인시기흥구공세동	031-288-4121	http://www.samsungSDI.co.kr
서강대도서관	서울마포구신수동1-1	02-751-0141	http://loyola1.sogang.ac.kr
서경대도서관	서울성북구정릉동16	02-940-7036	http://lib.seokyeong.ac.kr
서울대도서관	서울관악구신림동산56-1	02-880-5114	http://solarsnet.snu.ac.kr
서울대전기공학부해동학술정보실	서울관악구신림동산56-1	02-880-7278	
서울산업대도서관	서울도봉구공릉동172	02-972-1432	http://cdserver.snut.ac.kr

회원명	주소	전화	홈페이지
서울시립대도서관	서울동대문구전농동8-3	02-2245-8111	http://plus.uos.ac.kr
서울여자대도서관	서울노원구공릉2동126	02-970-5305	http://lib.swu.ac.kr
서울통신기술(주)통신연구소	서울강동구성내3동448-11	02-2225-6613	http://www.scommtech.co.kr
선문대도서관	충남아산시탕정면갈산리100	041-530-2525	http://delta.sunmoon.ac.kr
성결대도서관	경기안양시안양8동147-2		http://211.221.247.5
성균관대학교도서관	경기수원시장안구천천동287-1	031-290-5114	http://skksl.skku.ac.kr
성남산업진흥재단(재)	경기성남시수정구수진1동587	031-758-9901	http://www.ked.or.kr
성신여대도서관	서울성북구동선동3가249-1	02-920-7275	http://lib.sungshin.ac.kr
세종대도서관	서울광진구군자동98	02-3408-3098	http://sjulib.sejong.ac.kr
수원대중앙도서관	경기화성군봉담면와우리산2-2	031-232-2101(378)	http://lib.suwon.ac.kr
수원과학대도서관	경기화성군정남면보통리산9-10	031-252-8980	http://www.suwon-sc.ac.kr
순천대도서관	전남순천시매곡동315	061-752-8131	http://203.246.106.33/
송실대도서관	서울동작구상도1동1-1	02-820-0114	http://oasis.soongsil.ac.kr
안동대도서관	경북안동시송천동388	054-850-5238	http://library.ajou.ac.kr
안산1대학	경기도 안산시 상록구 일동 752	031-400-6900	http://www.ansan.ac.kr
안양대도서관	경기안양시만안구안양5동708-113	031-670-7557	http://www.anyang.ac.kr
안양과학대학교도서관	경기안양시만안구안양3동산39-1	031-441-1058~9	http://www.anyang-c.ac.kr
에스씨지코리아(주)	서울강남구대치3동942해성B/D17층	02-528-2700	http://www.onsemi.com
에이치텔레콤(주)	경기도성남시중원구상대원동513-15	031-777-1331	http://www.htel.co.kr
여수대도서관	전남여수시둔덕동산96-1	061-659-2602	http://www.yosu.ac.kr
연세대도서관	서울서대문구신촌동134	02-361-2114	http://library.yonsei.ac.kr
영남대중앙도서관	경북경산시대동214-1	053-882-4134	http://libs.yeungnam.ac.kr
영동공과대학교도서관	충북영동군영동읍설계리산12-1	043-740-1071~2	http://210.125.191.101/
오산전문대학교도서관	경기오산시청학동17	031-372-1181	http://osanlib.osan-c.ac.kr
(주)오피콤	서울강남구수서동724(로스데일B/D5층)	02-3413-2500	http://www.opicom.co.kr
충북과학대학교도서관	충북옥천군옥천읍금구리40	043-730-6251	http://www.ctech.ac.kr
용인대도서관	경기용인시삼가동470	031-30-5444	http://www.yongin.ac.kr
우리기술투자(주)	서울강남구대치동946-14(동원B/D14층)	02-508-7744	http://www.wooricapital.co.kr
우송대중앙도서관	대전동구자양동산7-6	042-630-9668~9	http://pinetree.woosongtech.ac.kr
울산대중앙도서관	울산광역시남구무거동산29	052-278-2472	http://library.ulsan.ac.kr
원광대중앙도서관	전북이리시신룡동344-2	063-850-5444	http://library.wonkwang.ac.kr
(주)원이앤씨	성남구 중원구 상대원동 190-1	031-776-0377	
위덕대학교도서관	경북경주시강동면유금리산50	054-760-1051	http://lib.uiduk.ac.kr
유한대학교도서관	경기부천시소사구괴안동185-34		http://ic.yuhan.ac.kr
육군제1266부대연구개발처자료실	부산남구대연동우체국사서함1-19		
육군사관학교도서관	서울노원구공릉동사서함77호	02-975-0064	http://www.kma.ac.kr
육군종합군수학교도서관	대전유성구추목동사서함78-401	042-870-5230	
익산대학교도서관	전북익산시마동194-5	063-840-6518	http://library.iksan.ac.kr
이화여대중앙도서관	서울서대문구대현동11-1	02-3277-3137	http://ewhabk.ewha.ac.kr
인제대도서관	경남김해시어방동607번지	055-320-3413	http://ilis1.inje.ac.kr
인천대도서관	인천남구도화동177	032-774-5021~5	http://wlib.incheon.ac.kr
인천전문대도서관	인천남구도화동235		http://www.icc.ac.kr
(주)인텍웨이브	서울구로구구로3동197-17(에이스테크노타워501)	02-3282-1185	http://www.intechwave.com
인하대도서관	인천남구용현동253	032-862-0077	http://library.inha.ac.kr

회원명	주소	전화	홈페이지
인하공전도서관	인천남구용현동253	032-870-2091-3	http://library.inhatc.ac.kr
전남과학대학도서관	전남곡성군옥곡면옥과리산85	061-360-5050	http://www.chunnam-c.ac.kr
전남대도서관	광주북구용봉동300	062-550-8315	http://168.131.53.95/
호원대도서관	전북군산시임피면월하리727	063-450-7106	http://indang.howon.ac.kr
전주대중앙도서관	전북전주시완산구효자동3가1200	063-220-2160	http://lib.jeonju.ac.kr
우석대도서관	전북완주군삼례읍후정리490	063-273-8001(206)	http://library.woosuk.ac.kr
제주대도서관	제주제주시아라1동1	064-755-6141	http://chulic.cheju.ac.kr
중부대도서관	충남금산군추부면마전리산2-25	041-750-6571	http://www.joongbu.ac.kr
중앙대도서관	서울동작구흑석동221	02-815-9231	http://www.lib.cau.ac.kr
중앙대안성도서관	경기안성군대석면내리		http://www.alib.cau.ac.kr
창원대학교도서관	경남창원시퇴촌동234	055-283-2151	http://lib.changwon.ac.kr
창원시립도서관	창원시반송동산51-5	055-281-6921~2	http://city.changwon.kyongnam.kr
청양대도서관	충남청양군청양읍벽천리90		http://www.cheongyang.ac.kr
청주대도서관	충북청주시상당구내덕동36	043-229-8648	http://wuam.chongju.ac.kr
천안대도서관	충남천안시안서동산85-1		http://moon.chonan.ac.kr
천안공업대자료실	충남천안시부래동275		http://www.cntc.ac.kr
한국철도대학도서관	경기의왕시월암동산1-4	031-454-4019	http://library.krc.ac.kr
초당대도서관	전남무안군무안읍성남리419	061-450-1901~3	http://library.chodang.ac.kr
충북대도서관	충북청주시개신동산48	043-261-3114~9	http://cbnul.chungbuk.ac.kr
충주대도서관	충북충원군이류면검단리123	043-842-7331~5	http://chains.chungju.ac.kr
탐라대도서관	제주서귀포시하원동산70	064-735-2000	http://www.tamna.ac.kr
특허청심사4국전자심사담당관실	대전서구둔산동920 042-481-5673		
포항공과대학도서관	경북포항시포항우체국사서함125호	054-275-0900	http://www.postech.ac.kr
한경대도서관	경기안성시석정동67	031-670-5041	http://www.hankyong.ac.kr
하남시립도서관	경기하남시신장동520-2	031-790-6597	http://hanamlib.go.kr
한국정보통신기능대학원	경기광주시 역동 181-3	031-764-3301	http://www.icpc.ac.kr
한국과학기술원과학도서관	대전유성구구성동373-1	042-861-1234	http://darwin.kaist.ac.kr
한국과학기술연구원도서관	서울성북구하월곡동39-1	02-962-8801(2418)	http://161.122.13.12/
한국기술교육대학도서관	충남천안군병천면가전리산37	041-560-1253~4	http://dasan.kut.ac.kr
한국방송통신대학도서관	서울종로구동숭동169	02-7404-381	http://knoulib.knou.ac.kr
한국산업기술대도서관	경기시흥시정왕동사화공단3가101	031-496-8002	http://www.kpu.ac.kr
한국산업기술평가원	서울강남역삼동701-7(한국기술센터11층)	02-6009-8034	http://www.itep.re.kr
한국외국어대용인캠퍼스도서관	경기용인군왕산리산89	031-309-4130	http://weblib.hufs.ac.kr
한국전력기술(주)	경기도용인시구성읍마북리 360-9	031-289-4015	http://www.kopec.co.kr
한전전력연구원기술정보센터	대전유성구문지동103-16	042-865-5875	http://www.kepri.re.kr
한국전자통신연구원도서관	대전유성구가정동161	042-860-5807	http://www.etri.re.kr
한국조폐공사기술연구소기술정보실	대전유성구가정동90	042-823-5201(592)	http://www.komsep.com
한국철도기술연구원자료실	경기의왕시월암동374-1	031-461-8531	http://www.krri.re.kr
한국항공대도서관	경기고양시화전동200-1	031-309-1862	http://210.119.25.2/
한국항공우주연구소기술정보실	대전유성구어은동52	042-868-7811	http://www.kari.re.kr
한국해양대도서관	부산영도구동삼동1	051-414-0031	http://kmulib.kmaritime.ac.kr
한동대도서관	경북포항시북구홍해읍남송리3		http://salt.handong.edu
한세대도서관	경기군포시당정동604-5	031-450-5165	http://lib.hansei.ac.kr
한양대도서관	서울성동구행당동17	02-209-2114	http://library.hanyang.ac.kr

회원명	주소	전화	홈페이지
한양대안산도서관	경기안산시대학동396	031-869-2111	<a href="http://information.hanyang.ac.kr">http://information.hanyang.ac.kr</a>
해군제9135부대군수발전부표준규격과	경남진해시현동사서함2호		
해군사관학교도서관	경남진해시앵곡동사서함1-1		<a href="http://www.navy.ac.kr">http://www.navy.ac.kr</a>
해군정비창기술연구소	경남진해시현동사서함602-3호	055-549-3602	
현대자동차기술관리부	정보자료실 경남울산시중구양정동700		<a href="http://www.hyundai-motor.com">http://www.hyundai-motor.com</a>
SK 하이닉스 메모리연구소정보자료실	경기이천군부발읍아미리산136-1	031-630-4514	
협성대학술정보관	경기화성군봉담읍상리8-1	031-299-0658	<a href="http://hulins.hyupsung.ac.kr">http://hulins.hyupsung.ac.kr</a>
혜전대도서관	충남홍성군홍성읍남장리산16	041-630-5167	<a href="http://www.hyejeon.ac.kr">http://www.hyejeon.ac.kr</a>
한라대학	강원원주시흥업면흥업리산66	031-760-1184	<a href="http://lib.halla.ac.kr">http://lib.halla.ac.kr</a>
한서대도서관	충남서산군해미면대곡리360	041-660-1114	<a href="http://library.hanseo.ac.kr">http://library.hanseo.ac.kr</a>
호남대도서관	광주광산구서봉동59-1	062-940-5183	<a href="http://library.honam.ac.kr">http://library.honam.ac.kr</a>
호서대도서관	충남아산군배방면세출리산29-1	041-540-5080~7	<a href="http://library.hoseo.ac.kr">http://library.hoseo.ac.kr</a>
홍익대도서관	서울마포구상수동72-1	02-334-0151(409)	<a href="http://honors.hongik.ac.kr">http://honors.hongik.ac.kr</a>
홍익대문정도서관	충남연기군조치원읍신안동	041-860-2241	<a href="http://shinan.hongik.ac.kr">http://shinan.hongik.ac.kr</a>
대구효성가톨릭대도서관	경북경산시하양읍금리1리330	053-850-3264	<a href="http://lib.cataegu.ac.kr">http://lib.cataegu.ac.kr</a>

## 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	생년월일	년 월 일
	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 \_ 135-703  
 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 신관 907호)  
 사무국 회지담당자앞  
 E-mail : edit@theieie.org  
 TEL : (02)553-0255(내선 1) FAX : (02)552-6093



이 학술지는 정부재원으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 출판되었음.

전자공학회지 <월간>

제42권 제2호(통권 제369호)

The Magazine of the IEIE

2015년 2월 20일 인쇄  
 2015년 2월 25일 발행

발행및  
 편집인

(사) 대한전자공학회

회장 박 병 국

인쇄인

(주) 한림원

대표 김 흥 중

발행인 사 단 법 인 대 한 전 자 공 학 회

(우)135-703 서울 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동, 과학기술회관 신관 907호)

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

E-mail : ieie@theieie.org

Homepage : http://www.theieie.org

씨티은행 102-53125-258

지로번호 7510904



# 2015년도 회비납부 안내

## 1. 회비의 납부 및 유효기간

2015년도 회원 연회비는 2014년과 동일함을 알려드리며, 아직 2015년도 회비를 납부하지 않으신 회원님께서서는 속히 납부하여 주시기 바라며, 연회비의 유효기간은 회비를 납부한 당해년도에 한합니다.

평생회원님 및 이미 회비를 납부해주신 회원님께서서는 학회에서 정리관계로 시차가 있을 수 있으므로 양지하시고 이 항목은 무시하여 주십시오.

- ◆ 2015년도 회원 연회비는 다음과 같습니다.
- 정 회 원 : 70,000원(입회비 : 10,000원)
- 학생회원 : 30,000원(입회비 면제)
- 평생회원 : 700,000원(학회 홈페이지 평생회비 할인 제도 안내 참조)

## 2. 논문지(eBook) 제공

학회지와 논문지(국,영문)가 eBook으로 발간되어 학회 홈페이지(<http://www.theieie.org>)를 통해 제공되고 있습니다. 다만 간행물을 우편으로 받기 원하시는 회원께서는 학회로 신청하여 주시기 바랍니다.

## 3. 회비의 납부방법

신용카드(홈페이지 전자결제) 및 계좌이체(한국씨티은행, 102-53125-258)를 이용하여 학회 연회비, 심사비 및 논문게재료 등을 납부하여 주시기 바랍니다.

## 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 : 2015년 석·박사 신입생 및 재학생
- 할인 내용 : 2년 60,000원(1년 / 30,000원) → 2년 50,000원(16.7% 할인)

## 5. 문의처

- ◆ 대한전자공학회 사무국 이안순 부장(회원담당)  
(02-553-0255(내선 2번)) /E-mail: [ieie@theieie.org](mailto:ieie@theieie.org)



## 国内唯一의 日本 工学·産業 技術情報図書館

日本 工学 全分野의 技術書籍, 産業界 定期刊行物,  
日本 企業 技術報告書, 日本 政府 白書, 日本 産業·工業 新聞 등을  
소장하고 있는 일본 공학·산업기술 전문 도서관

본 도서관은 서울대학교 공과대학 35동에 위치하고 있으니 많은 이용바랍니다.

문의처. 02-880-8279(담당:진수민) E-mail. [smin@snu.ac.kr](mailto:smin@snu.ac.kr) <http://hjtlic.snu.ac.kr>

한국과학기술회관 본관 610호(대한전자공학회 해동자료실)에서도 소장도서를  
이용할 수 있습니다.

문의처. 02-553-0255 E-mail. [ieie@theieie.org](mailto:ieie@theieie.org) <http://www.theieie.org>