

The Korean Institute of Electrical Engineers
Vol. 73, No. 8, August 2024

8

전기의 세계

기획 시리즈 나노 가스 센서

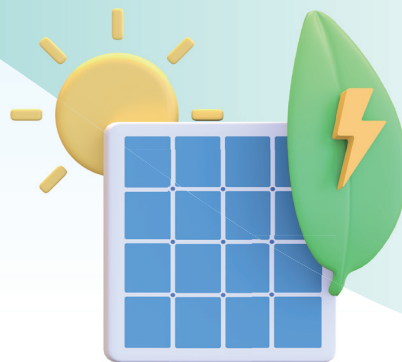
ICEE 2024 참관기

CIGRE Medal Award - 아시아인 최초로 수상



사단법인 대한전기학회
THE KOREAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

2024년도 제55회 하계학술대회 감사의 글



대한전기학회 회원 여러분! 안녕하십니까?

지난 2024년 7월 10일(수)부터 13일(토)까지 아름다운 제주특별자치도 ICC제주와 부영호텔 & 리조트에서 학회 창립 77주년을 맞아 제55회 하계학술대회가 개최되었습니다.

금번 대한전기학회 하계학술대회는 장마 기간 궂은 날씨였지만, 3,200여 명의 참석 인원과 1,443편의 학술논문발표, 25개의 전문워크샵, 2개의 경진대회, 25개의 신기술전시회, 전기산업을 대표하는 5대 대기업의 홍보부스, 17개의 특별세션, 지회 활성화와 젊은 연구자(Young Engineer)를 위하여 올해 처음 시행한 YE 드림커넥션 프로그램 등 다채로운 행사가 개최되었습니다.

개회식에서 김일환 제주대 총장님과 이준호 한전 부사장님, G. Ranganath 인도공학회 회장님의 축사에 감사드리며, 초청강연을 해주신 유임주 교수님(고려대)과 Shinya Fushimi 일본전기학회 회장님 두 분께도 감사드립니다.

이어서 개최된 만찬에서는 제주특별자치도 오영훈 지사님의 환영사와 학회 슬로건인 “혁신과 소통”을 실천하기 위해 새롭게 시작한 기술협의회, 소통위원회, 산학협동위원회의 그간 활동에 대한 발표가 있었습니다. 앞으로 학회와 회원들의 소통을 위하여 계속 노력하겠습니다.

교통수단이 제한 됨에도 불구하고 전국 각지에서 참가해 주신 회원 여러분의 열정 덕분에 본 학술대회가 성황리에 끝날 수 있었습니다. 이 자리를 빌어 다시 한번 감사의 말씀을 드리며, 이번 행사를 계기로 전기인의 단합을 통해 향후 전기산업과 전기공학 분야의 발전을 견인해 주시기를 기대합니다.

아울러 본 학술대회를 개최할 수 있도록 학술발표와 신기술 제품 전시회에 참여하신 회원 및 업체 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다. 특히 이번 행사의 원활한 진행을 위하여 수고해 주신 제주지회장을 비롯한 제주지회 회원 여러분께도 감사를 드립니다. 어려운 여건에서도 전기공학 분야의 학술 및 기술 발전에 기여할 수 있는 기반을 마련해 주신 후원 및 협찬 기관과 산업체 관계자 여러분께도 회원을 대표하여 깊은 감사를 드립니다.

앞으로도 대한전기학회가 더욱 새롭게 발전할 수 있도록 회원 여러분의 지속적인 성원 부탁드립니다.
감사합니다.

2024. 7월
2024년 하계학술대회 조직위원장 주성관
대한전기학회 회장 이병준

CONTENTS

The Korean Institute of Electrical Engineers

전기계뉴스



[2024 전기학회 하계학술대회] 젊은 엔지니어 드림 커넥션 · KIEE CEO클럽 등

전기공학 '미래'에 관심 갖다 | 2

"전력망 적기 확충 힘들어, 전력 신뢰도 완화 등 송전망 이용률 높여야" | 3

기획시리즈 - 나노 가스 센서 소개

유해가스 감지를 위한 색변화식 가스센서 기술 동향 | 6

웨어러블 가스 센서 기술 동향 | 14

바이오용 반도체 산업 동향 및 시사점 | 20

ICEE 2024 참관기 | 29

회원동정

구자윤 전임회장 CIGRE Medal Award | 32

학회 소식

7차이사회의 의록 | 36

학회 일지 | 37

회원가입 안내 | 38

전기의 세계

KIEE Magazine

Vol. 73, No. 8 August 2024

발행일 2024년 8월 1일
발행인 이병준
편집인 허 진
발행처 사단법인 대한전기학회
(06130) 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22
과학기술화관 1관 901호
Tel 02-553-0151 Fax 02-566-9957
<http://www.kiee.or.kr>

학회 본부 임원

회장 이병준
차기회장 이준호
부회장 박종배 이준호 문승일 김석주 김홍근 차준민
홍선기 김용상 김경호 최상열 손진근
협동부회장 김구환 김상권 김태욱 노대석 서장철 신윤용
심은보 오호진 육심균 이경숙 이인호 이찬주
정기석 최원호 최효진
감사 김세호 장용무
총무이사 송화창 전동훈 최홍석 곽은섭 이정호 신윤준
재무이사 허 돈 안길영
기획·정책이사 차한주 허 진 김슬기
편집이사 남순열 정호성 허 진
학술이사 주성환 배성우 최영준 오현진 우정욱
회원·교육이사 조현중 최승연 김지희
사업이사 김정주 장병훈 한경희
산학협동이사 손성용 정상용 박재성
국제이사 강승택 김래영
기술이사 장길수 신정훈
소통이사 김정수 박정욱 서정호 유희덕 이상복

부문회 회장

A부문 회장 차준민 B부문 회장 홍선기
C부문 회장 김용상 D부문 회장 김경호
E부문 회장 최상열 I부문 회장 손진근

전임 편집인

2016년 이병국 2017년~2018년 정인성
2019년~2021년 강승택 2022년~2024년 허 진

온라인

수협은행 1010-2175-5210(대한전기학회)
국민은행 349401-04-009338(대한전기학회)

편집·디자인 드림기획 031-705-3812
인쇄 드림기획 031-705-3812

학회 사무국 직원별 담당 연락처(☎ 02-553-0151~7)

사무국장
김정훈 : 업무총괄, 하계학술대회
electran@kiee.or.kr ☎ 0156
경영지원팀
팀장 이상필 : 총무, 미니드론경진대회, E부문회
elecproc@kiee.or.kr ☎ 0152
차장 서영은 : 교육원, 본부위원회, 여성과학기술위원회, C부문회
account@kiee.or.kr ☎ 0155
차장 최순례 : 회원관리, 회계관리, 지회, 홈페이지관리
member@kiee.or.kr ☎ 0154
편집팀
팀장 송호석 : 학회지, 본부위원회, A부문회
elecjour@kiee.or.kr ☎ 0153
부장 전필준 : 국문논문, 연구용역, 전문위원회, B부문회, D부문회
jun@kiee.or.kr ☎ 0157
과장 박소희 : 영문논문(JEET), 국제업무, KIEE-CEO클럽, I부문회
jeet@kiee.or.kr ☎ 0151

전기계 뉴스



[2024 전기학회 하계학술대회]

젊은 엔지니어 드림 커넥션·KIEE CEO클럽 등 전기공학 '미래'에 관심 갖다

‘인재양성·산업계 지원·체질개선’ 위한 학술대회 토대 마련 평가
참가자 3000여명 역대 최대·논문 1443편 발표 등 양적 성장세도



대한전기학회 제55회 하계학술대회가 성황리에 막을 내렸다. [사진=정세영 기자]

국내 최대 전기 분야 학술행사가 성료했다.

대한전기학회(회장 이병준)가 지난 10일부터 13일까지 제주국제컨벤션센터에서 개최한 ‘제55회 하계학술대회’가 회원들의 성원 속에 막을 내렸다.

이번 학술대회는 양적·질적으로 성장한 가운데 전기공학의 미래에 투자하는 데 역량을 집중한 행사가 됐다는 평가다.

이병준 전기학회 회장은 이번 행사에서 ▲젊은 학술인 ▲산업체 회원 ▲소통과 혁신이라는 세 가지 키워드에서 질적인 성장에 집중했다고 전했다. 하계학술대회가 코로나19가 종식된 지난 2022년 이후 3년여의 시간 동안 지속적으로 양적 성장을 지속하면서 매년 ‘역대급’이라는 타이틀이 붙을 정도의 실적을 내고 있지만 이제는 학술대회를 통해 학회의 미래 비전을 볼 수 있는 자리가 돼야 한다는 생각에서다.

이 같은 키워드들은 결국 전기공학의 미래 인재 육성, 산업계 회원 활동을 지원함으로써 미래 산업 발전을 위한 토대 마련, 전기학회의 지속가능한 미래를 위한 체질개선이라는 측면에서 ‘미래’에 맞닿아있는 투자라고 볼 수 있다.

먼저 젊은 학술인들이 준비된 프로그램들만 따라가도 다양한 네트워크를 쌓고 선배들의 경험을 전수받을 수 있을 뿐 아니라 취업 및 진로에도 도움이 되는 젊은 엔지니어(YE) 드림 커넥션은 이번 학술대회를 가장 잘 드러내는 프로그램 중 하나다.

흔히 학술활동이라고 하면 가장 먼저 떠올리는 게 학계다. 그러다보니 산업체 회원들은 학회 회원 가운데 절반 이상을 차지하면서도 학술활동에 적극 참가하지 못했다는 게 학회 측의 설명이다.

학회는 이번 학술대회를 통해 이 같은 장벽을 낮추고자 했다.

먼저 산업체가 가장 부담을 느끼는 논문 발표를 활성화하기 위해 ‘산업체 국문논문 세션’을 마련했다. 이 세션을 통해 학회는 하계학술대회 기간 중

현장에서 논문을 심사, 논문 게재까지 소요되는 시간을 줄였다. 이 뿐 아니라 심사로 면제 등 혜택을 줌으로써 산업체 회원이 겪는 시간과 비용의 부담을 모두 줄였다.

이와 함께 산업체 회원들의 학술활동을 활성화할 수 있는 KIEE CEO 클럽을 대회 기간 중 발족, 전기분야 산업계와 학술 교류를 넓히는 교두보를 마련했다. 기존에도 많은 소통이 있었지만, 보다 적극적인 산업체 회원의 참여를 유도하기 위한 방안이다.

학회는 이번 하계학술대회에서 이병준 회장이 올해 중점적으로 추진한 기술위원회 전환에 대한 성과도 보고했다. 그동안 연구회를 기초로 진행되던 학술활동을 기술위원회로 전환, 현재 6개 부문회 산하에 40여개의 기술위원회를 조직했다.

소통 확대를 위한 플랫폼 개발 성과도 설명했다. 그동안 학회의 소통이 단방향이었던 만큼 회원의 목소리를 들을 수 있는 채널이 부족했다는 게 학회 관계자의 설명이다.

양적으로도 성장세를 멈추지 않고 있다. 전기인들의 학술적 열정이 매년 학술대회를 통해 드러나는 모양새다.

이번 하계학술대회에 최종 접수된 논문은 1443편으로 지난해 1272편을 200편 가까이 상회하는 역대 최고 기록이다. 지난 2019년 처음 접수는 문 1000편을 넘긴 이래 6년 연속 1000편 이상의 논문이 하계학술대회를 통해 발표되고 있으며, 매년 새 기록을 쓰고 있다. 참가자 역시 3000여명이 방문하면서 회원들의 높은 관심을 확인했다.

이병준 전기학회 회장은 “매년 회원들의 참가와 논문발표가 지속적으로 성장하고 있다. 무척 감사한 일”이라며 “이와 함께 내실을 기하는 질적인 변화에 초점을 맞춰 이번 하계학술대회를 준비했으니, 학회가 달라지는 부분에 대해 회원분들께서 많은 관심을 가져주시길 바란다”고 말했다.

전기계 뉴스



"전력망적기확충힘들어, 전력신뢰도완화등송전망이용률높여야"

본지, '전력망 확대 위한 제도개선 및 과제' 포럼 공동 개최

"비상사태가정한 'N-2', 안정성 높지만 효율성은 낮춰"

"전력 운용 신뢰도 완화, 국민적 공감 어려울 것"

"전력망 확충 단기간 해결 어려워, 플랜B 필요"



본지는 26일 국회도서관 대강당에서 '전력망 확대를 위한 제도개선 및 과제' 포럼을 개최했다. 김창섭 가천대학교 교수를 좌장으로 ▲송화창 서울과기대학교 교수 ▲최명환 한국전력공사 실장 ▲최홍석 전력거래소 처장 ▲김종화 영인에너지솔루션 사장 ▲송용호 강릉에코파워 부사장 ▲박진표 태평양 변호사가 참여해 패널토론을 진행하고 있다. [사진=안상민 기자]

전력망 확충이 늦어지면서 발전사업자들의 피해가 누적되자 전력계통 운영 신뢰성 기준을 일시적으로 완화하고 송전망의 이용률을 높여야 한다는 목소리가 제기됐다.

본지는 26일 국회 허성무 의원(민주당, 산업통상자원중소벤처기업위원회), 전력포럼·전력계통 포럼, 전기연구원과 공동으로 국회도서관 대강당에서 '전력망 확대를 위한 제도개선 및 과제' 포럼을 개최했다.

이날 김창섭 가천대학교 교수를 좌장으로 진행된 패널토론에서는 ▲송화창 서울과기대학교 교수 ▲최명환 한국전력공사 실장 ▲최홍석 전력거래소 처장 ▲김종화 영인에너지솔루션 사장 ▲송용호 강릉에코파워 부사장 ▲박진표 태평양 변호사가 참여해 전력망 확대를 위한 계통 신뢰성 조율을 놓고 찬반 의견을 냈다.

현재 전력 운용의 신뢰도를 높이기 위해 전력운용 비상사태를 가정한 'N-2' 기준을 적용하는 것이 과연 적절한 지가 이날 토론의 논제였다. N-2 기준은 폭풍과 산불 등 자연재해 발생에도 원활한 송전망 이용이 가능한 수준으로 전력 신뢰도를 강제할 수 있는 상태다.

전기를 공급받는 국민과 기업이 지속적이고 안정적인 전력을 전달받는다는 장점이 있지만 송전망 이용 용량 제한 등 규제로 발전사업자의 출력제한 피해가 발생하기도 한다. 특히 최근 송전망 확충 지연이 해결되지 않으면서 궁여지책으로 송전용량을 높여달라는 목소리가 발전업계에서 나오고 있다.

▶계통운영의 핵심은 '안정성'...리스크 관리 어려워



송화창 서울과기대 교수(왼쪽 두번째)를 비롯한 패널들이 발언하고 있다. [사진=안상민 기자]

송화창 서울과기대 교수는 "계통운영에서 경제성과 안정성은 상당히 상충하는 문제다. 산업부 고시인 '전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준'에 따르면 전력계통 운영 시 적정성과 안정성을 유지해야 한다. 안정성을 유지할 수 있는 범위 내에서 계통을 운영하는 것은 대규모 정전을 억제하고 계통에 포함된 참여자와 부하 설비의 피해를 막기 위함이다. 가장 중요한 것은 계통 계획과 운영 측면에서 통상적으로 고려하는 상정고장 상황에서도 안정적인 계통 운영이 돼야 한다는 점이다. 낙뢰가 잦을 때 한 개소에서 이회선 고장이 발생할 개연성이 충분히 많다고 전문가들은 보고 있다. 안정도 수준을 높게 유지하는 것은 전력 시장을 기본적으로 원활히 운영하기 위함이다."라고 말했다.

최명환 한전계통계획실장은 "신뢰도 기준을 완화하면 전력을 좀 더 보낼 수 있

게 되는 대신 감수해야 할 리스크가 생긴다. 문제는 이 리스크를 누가 지고 또 실제로 피해보는 사람이 리스크를 용인할 것인지 불확실하다는 점이다. 가장 높은 전력 신뢰도를 누리는 우리 국민들은 정전에 대해 비용을 지불하고자 하는 의사는 낮다. 신뢰도 기준을 완화하는 것에 국민들의 동의를 받는 것은 쉽지 않을 것이다. 대규모 부하차단을 하지 않고 순환정전을 했던 지난 '2011년 9·15 순환 정전'은 아직도 국민들에게 회자되고 있다. 리스크 감수에 대한 논의가 선행되지 않으면 기술적인 것을 떠나 전력당국과 국민들이 이를 받아들이기는 쉽지 않을 것이다."라고 말했다.

최홍석 전력거래소 처장은 "전력거래소는 국가의 법적 시스템 안에서 전력망을 안전하게 운영하는 책무를 가지고 있다. 전력계통 사고는 눈 깜짝할 새 일어난다. 거대한 시스템이 언제 어디서 고장날지 모르기 때문에 안정적으로 망을 운영하기 위해 글로벌 기준은 상정고장을 검토해 사전대책과 사후대책을 세우도록 돼 있다. 사전대책은 단일고장과 이중고장 기준인 N-1, N-2를 통해 사전에 출력을 줄이거나 고장급방지장치(SPS)를 미리 달아서 대책을 마련하는 것이고 N-3를 비롯한 다중고장은 사후 대책으로서 복구플랜으로 가져가도록 돼 있다. 몇 초만에 상황이 터지기 때문에 이 짧은 시간 동안 사람이 적절한 의사판단을 내려 대처하는 것은 불가능하다. 이에 분명한 안전 기준을 갖추고 이를 시행해야 한다."고 설명했다.

김종화 영인에너지솔루션 사장은 "전력망 부족의 원인을 따지려면 먼저 우리나라만의 문제가 아니라 글로벌 현상이라는 점을 짚고 넘어가야 한다. IEA에서 최근 발간한 보고서에 따르면 2050년까지 전세계에 송전망이 2배로 증가돼야 하고 교체수요도 크다고 한다. 송전망 부족은 더 이상 한전만의 일이 아니라 국가적 차원에서의 강력한 대책이 필요하다. 이를 위해 ▲국가적 차원의 송전망 확충 특별법 제정 ▲과감한 해저 그리드 건설 ▲그리드 분야 공급망 확대를 위한 국가적 재정지원 ▲전력계통의 전반에 필요한 인력 확충 ▲송전망 건설에 민간투자 허용 등 대책이 나와야 할 것이다."라고 전했다.

▶계통 부족 문제는 현실, 인정하고 과감한 대책 세워야

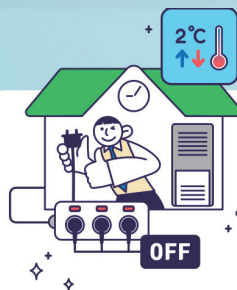
김종화 영인에너지솔루션 사장은 "전력망 부족의 원인을 따지려면 먼저 우리나라만의 문제가 아니라 글로벌 현상이라는 점을 짚고 넘어가야 한다. IEA에서 최근 발간한 보고서에 따르면 2050년까지 전세계에 송전망이



2배로 증가돼야 하고 교체수요도 크다고 한다. 송전망 부족은 더 이상 한전만의 일이 아니라 국가적 차원에서의 강력한 대책이 필요하다. 이를 위해 ▲국가적 차원의 송전망 확충 특별법 제정 ▲과감한 해저 그리드 건설 ▲그리드 분야 공급망 확대를 위한 국가적 재정지원 ▲전력계통의 전반에 필요한 인력 확충 ▲송전망 건설에 민간투자 허용 등 대책이 나와야 할 것이다."라고 전했다.

송용호 강릉에코파워 부사장은 "동해안에서 수도권으로 전기를 보내는 22GW의 송전망이 있지만 현재 N-2 신뢰도 기준이 적용돼 용량의 절반인 11GW만 운영되고 있다. 지난 4월부터 동해안에 위치한 민간과 공공 석탄발전소가 모두 멈춰 있는 상황이다. 개별 발전사로 보면 강릉에코파워는 올해 동안 연간 발전률 44%를 예상했으나 현재 15%에 그치며 3000억원의 적자가 발생했다. 값싼 발전소들이 돌아가지 못하면서 전체 SMP 단가 상승으로 이어져 전기 생산 비용을 낮출 기회가 사라져 한전의 적자가 지속되고 있고 국민적 손실이 발생하고 있다. 기후의 급격한 변화가 적은 계절에 N-2 기준을 소폭 완화해 송전망 이용률을 올려주면 발전사들과 한전에 큰 도움을 줄 것이다. 전력 시설을 새로 짓는 것은 시간도 많이 걸리고 비싸기에 기존 설비부터 잘 활용하는 것이 산업경쟁력을 쌓는 토대가 될 것이다."라고 언급했다.

박진표 태평양 변호사는 "송전망 부족 문제는 재생에너지 때문에 최근 부각되고 있지만 사실 10년 전부터 제기되던 문제다. 전력당국은 지금까지 송전선로가 부족하다는 사실을 은폐함으로써 그 비용을 미래세대에 전가하고 있다. 신뢰도 기준을 완화했을 때 리스크가 생긴다고 하는데 이에 대해 상황별로 정확히 따져봐야 한다. 산불과 태풍 등 자연환경은 어느 정도 예측이 가능하고 정밀 막을 수 없는 불의의 사고는 확률이 높지 않다. 국민들이 정전을 싫어하더라도 이제는 한전이 적자이고 계통 신뢰도를 완화하는 것밖에 방법이 없다는 것을 알고 실책해야 한다. 사실 그동안 우리나라의 전력 신뢰도가 높았던 것은 그만큼 투자가 있었다는 것이다. 그러나 반도체와 일부 품목을 제외하면 이정도 전력 신뢰성이 필요한 곳은 많지 않다. 그간 일부 수요처를 위한 비용을 모든 국민들이 나눈 것이다. 이런 점들을 고려해 앞으로 논의가 필요하다고 본다."고 말했다.



나노 가스 센서

1. 유해가스 감지를 위한 색변화식 가스센서 기술 동향
권석훈, 강현일(국립한밭대학교)
2. 웨어러블 가스 센서 기술 동향
최혁주(대구경북과학기술원 화학물리학과)
3. 바이오용 반도체 산업 동향 및 시사점
김형진(울산과학기술대학교, 반도체공학과)

담당편집위원 인사말 및 주제 소개



강현일 | 국립한밭대학교 전기공학과

대한전기학회 회원 및 전기의 세계 독자 여러분 인사 드립니다.

저는 국립한밭대학교 전기공학과에서 센서공학과 신호처리 관련 교육과 연구의 일을 하고 있는 강현일입니다.

이번 기획시리즈의 주제는 “나노 가스 센서”입니다. 최근 정부는 ‘K-반도체 전략’ 연구개발 사업의 후속조치로 대외 의존도가 높은 주요 센서 국산화 및 신시장 선점을 위해 ‘시장선도를 위한 K-Sensor 기술개발’ 사업을 2022년부터 2028년까지 7년간 국내 센서 경쟁력 강화를 적극 지원할 계획에 있습니다. 외부자극을 전기신호로 변환해주는 센서는 시각, 청각, 미각, 후각, 촉각 등 인간의 오감을 대체 하기 위하여 발전되어 왔습니다. 이렇듯 다양한 센서 중 가스센서는 기체 중에 포함된 특정의 가스 성분을 검지하여 가스의 농도(ppm, %, %LEL)에 따라 전기신호로 변환하는 소자입니다. 가스센서의 측정방식은 검출하는 원리에 따라 접촉식(전기화학, 반도체, 고체전해질), 복합식(광이온, 전반사) 그리고 광학식(비분산 적외선, 광음향)으로 분류됩니다. 그 중에서도 가장 많이 사용되는 반도체식 가스센서는 가스분자와 반응 물질간에 직접적인 접촉에 의해 가스농도에 따른 전기저항 변화를 이용합니다. 최근에는 미세 가스분자량 검출을 위해 우수한 표면적대 체적비, 높은 민감성, 그리고 저전력성 때문에 나노소재를 이용한 가스센서에 대한 연구가 점차 확대 있습니다.

본 기획 시리즈에서는 이러한 정부 지원 정책과 센서 기술 발전을 반영하여 세편의 연구동향 원고를 소개 하고자 합니다.

다. 초빙한 세 편의 나노 가스 센서 기술은 “유해가스 감지를 위한 색변화식 가스센서 기술 동향”, “웨어러블 가스센서 동향” 그리고 “바이오센서”의 원고 제목으로 기고 되어 있습니다.

전력설비 중 유입식 변압기의 경우 정상상태 및 고장 시 H_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO 및 CO_2 등의 가스가 발생합니다. 이러한 가스의 발생은 변압기의 과열, 아크방전 및 부분방전에 기인한 것으로 변압기의 고장을 야기 시킵니다. 따라서 유증가스의 분석을 통해 고장부위의 추정 및 내부이상 유무를 판단할 수 있습니다. 그렇기에 수배전반 내부화재 시 발생하는 CO 및 CO_2 를 감지해 내는 가스 감지 센서와 CH_4 , C_3H_8 및 C_4H_{10} 등과 같은 다양한 가연성가스 감지 센서가 사용되고 있습니다. 또한 전기화학적 바이오센서는 전기신호를 사용하여 관심 분자를 감지하고 정량화하는 분석 장치입니다. 이러한 센서는 매우 민감하며 단백질, 핵산 및 소분자를 포함한 광범위한 생물학적 요소를 측정할 수 있습니다. 최근에는 센서의 감도를 향상하기 위하여 나노튜브(nanotube), 나노월(nanowall) 및 그래핀(graphene) 등과 같은 나노소재가 사용되고 있습니다.



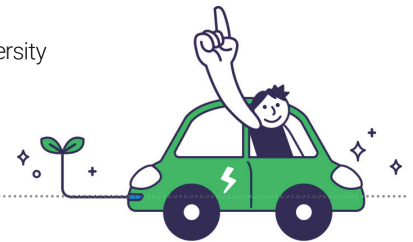


유해가스 감지를 위한 색변화식 가스센서 기술 동향

Recent technology trend in colorimetric gas sensors for detecting toxic gas

권석훈, 강현일 | 국립한밭대학교

Seokhun Kwon and Hyunil Kang | Hanbat National University



요약

전세계적으로 산업 안전에 대한 중요성과 경각심이 높아지고 있는 추세이다. 특히, 유해가스 누출 사고는 높은 비중을 차지하고 있고 2차 폭발사고로 이어질 수 있어 고성능 가스센서를 이용한 신속정밀한 감지가 필요하다. 색변화식 가스센서는 무전력으로 미량의 유해가스를 빠르게 감지할 수 있다. 본 고에서는 색변화식 가스센서의 구조 및 동작원리를 기반으로 그 동향을 소개한다.

Abstract

The importance and awareness of industrial safety is globally increasing. In particular, since toxic gases leak accidents account for a high proportion and can lead to secondary explosion accidents, so rapid and precise detection using high-performance gas sensor is necessary. The colorimetric gas sensor can quickly detect trace amounts of toxic gases without power consumption. In this paper, we introduce trends based on the structure and mechanism of colorimetric gas sensors.

1. 서론

산업 현장에는 다양한 유해가스들이 발생되고 있으며 일산화탄소 (Carbon monoxide, CO), 황화수소 (Hydrogen sulfide, H_2S), 암모니아 (Ammonia, NH_3), 이산화질소 (Nitrogen dioxide, NO_2) 등이 대표적이다 [1]. 위와 같은 유해가스에 접촉되거나 노출되면 피부병, 호흡기 질환 및 신경계 질환 등이 발병하고 심각할 경우 사망까지 이어질 수 있다 [2-4]. 유해가스 사고는 치사율이 높고, 인명피해와 함께 매년 꾸준히 발생되고 있다. 최근 가스사고연감을 따르면, 2018년부터 2022년까지 5년간 471건의 가스사고가 발생하였다. 사고의 원인으로는 사용자취급부주의 (26.5%), 시

설미비 (25.8%) 및 제품노후·고장 (18.6%)이 절반 이상을 차지하였다. 이를 통해 유해가스에 쉽게 노출될 수 있는 산업 현장 근로자의 안전을 위한 사고 예방 대책 마련이 시급하다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 예방 차원으로, 매년 가스 사고 예방 시설 구축, 시설 점검 및 안전 교육 등을 실시하고 있지만 높은 구매 비용, 성능 미흡 및 제품의 미오작동 등이 반복되어 사고로 끊임없이 발생되고 있다. 그렇기에, 신속·정밀하고 신뢰성 있는 유해가스 감지의 중요성이 대두되고 있다. 최근, 글로벌 리서치 기업 ‘마크앤티엘 어드바이저스 (MarkNtel Advisors)’이 발행한 ‘2024-2030 글로벌 산업안전 시장 예측 조사보고서 (Global Workplace Safety Market Research Report: Forecast (2024-2303))’에 따

르면, 지난해 전 세계 산업안전 시장의 규모는 149억 달러(한화 약 19조9600억 원)이었으며 2024년부터 2030까지 산업안전 시장의 복합연간성장률(Compound annual growth rate, CAGR)은 15.1%로 전망했다. 또한, 시장의 성장 추이에 대한 배경으로 산업재해 및 사고의 사전 예방성에 대한 인식변화와 사물인터넷·실시간 모니터링 기술의 발전 등을 주요 핵심 원인으로 꼽았다. 이에 대해 보고서는 최근 산업안전 트렌드가 사전 예방 중심으로 전환되고 있다고 봤다. 기존 산업안전 시스템은 현장 내 위험요인을 단순히 식별하여 제거하였다. 반면, 최근 트렌드는 사고를 선제적으로 예방할 수 있는 사물인터넷-센서 기반 안전시스템을 체계적으로 구축하는 방향으로 빠르게 전환되고 있다. 산업안전 시장의 성장과 확장에 이어, 그랜드뷰리서치(Grand View Research)는 글로벌 가스센서 시장이 2028년까지 8.7%의 CAGR을 보이면서 성장할 것으로 예측하였다. 이처럼 산업 현장에서 유해가스를 감지하고 산업 안전을 촉진하기 위한 가스센서의 수요는 급증하고 있다. 최근에는, 전기화학식, 광학식, 반도체식, 전기저항식, 색변화식 등 다양한 방식의 유해가스 감지용 가스센서가 개발되고 있다. 특히, 색변화식 가스센서는 전기·전자칩 없이 무전력으로 동작되므로 고장의 우려가 없고, 선택성이 우수하며, 반응 속도가 빠르다 [5,6]. 이외에도, 제작이 용이하고, 저비용으로 대량 생산이 가능하다. 하지만, 지시약이나 염료의 색이 정해져 있기 때문에 가스 색 변화 범위가 한정적이고, 특정 가스에 대한 낮은 변색성 및 회복성과 같은 한계가 있다. 이를 개선하기 위해 나노구조체와 반사 필름을 색변화식 가스센서에 적용한 여러 연구들이 진행되고 있다. 본 고에서는 색변화식 가스센서에 적용되고 있는 다양한 기술 동향을 소개하고 이에 대해 논하고자 한다.

2. 색변화식 가스센서의 동작 원리 및 색변화 분석법

2.1. 색변화식 가스센서의 동작 원리 및 구조

특정 시약을 사용하여 화학 물질의 존재 여부와 농도를 색변화로 확인할 수 있는 비색분석(colorimetric analysis)은 화학·바이오 분야에서 주로 사용하던 정량 분석법이다. 피분석물이 지시약과 반응할 때, 피분석물의 상태에 따라 지시약 분자 구조가 변하게 된다. 이는 분자의 전자 배치를 바꿔 빛의 흡수량을 변화시키며 최종적으로 지시약의 색이 변하게 된다. 주변에서 쉽게 확인할 수 있는 비색분석법으로 리트머스 종이를 생각해볼 수 있다. 리트머스 종이는 pH 7 미만(산성)에서 빨간색을 보이며, pH 7 초과(염기성)에서는 파란색을 띈다. 비색분석에 사용되는 지시약은 다양하고, 지시약마다 pH 지수에 따라 변화하는 색이 다를 뿐만 아니라 pH 감지 범위가 다르기 때문에 피분석물의 pH 값에 따라 적절한 지시약을 사용해야 한다. 이러한 원리를 응용하여 용액의 상태를 확인하기 위해 사용되던 비색분석이 최근에는 가스의 정량 분석에 사용되고 있다. 비색분석 기반의 색변화식 가스센서는 형판과 지시약(또는 염료)으로 구성되어 있어 반도체식, 전기화학식, 접촉연소식 및 광학식 기반의 가스센서보다 비교적 간단한 구조를 가진다. 형판은 센서의 기본 구조를 지지하는 역할과 동시에 지시약의 합성을 위한 유효 면적을 제공한다. 최근에는 피분석물 가스의 흡착량을 극대화시키기 위해 비표면적이 넓은 나노섬유를 형판으로 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 지시약의 경우에는 유·무기물 기반의 화합물 형태로 기능성 염료에 대한 연구가 수행되고 있다.

2.2. 색차 분석

색변화식 가스센서는 피분석물 gas와 반응 전의 기준 색과 반응 후의 변한 색 사이의 색차를 이용하여 가스를 감지하게 된다. 이때, 색차를 수치적으로 해석하기 위해 국제조명위원회에서 규정한 Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) $L^*a^*b^*$ 색 공간을 사용한다. CIE $L^*a^*b^*$ 색 공간에서 L^* 은 밝기(lightness) 차원을 나타낸다. L^* 값의 범위는 0에서 100 사이로 측정되며 L^* 값이 크면 백색에 가깝고 적으면 어두운 색에 가깝다. 예를 들어, 0은 검정색을 나

타내고 100은 흰색을 나타낸다. a^* 는 초록-빨강 차원을 정의한다. a^* 의 값이 양수로 나오면 빨간색 계열로 변색된 것이고 음수로 나오면 초록색 계열로 변색된 것이다. 0 근처의 값은 초록-빨강 계열의 변색이 없음을 의미한다. b^* 는 파랑-노랑 차원을 나타낸다. b^* 의 값이 양수일수록 노란색에 가까워지고 음수일수록 파란색에 가까운 색 변화를 보인다. 그림 1의 CIE $L^*a^*b^*$ 색 공간을 통해 결과값에 따른 색 변화를 이해할 수 있다. 이 세 가지의 요소를 종합하여 색차 변화 정도를 나타낼 수 있으며, ΔE 의 값에 따라 사람의 육안으로 색차 확인이 가능하다. 일반적으로, ΔE 값이 3.3 이상이면 희미한 변색의 구분이 가능하고, 5 이상이면 명확하게 색차 변화를 인지할 수 있다.

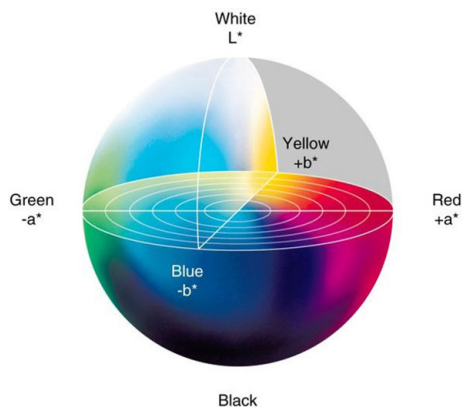


그림 1 CIE $L^*a^*b^*$ 색공간 [7]

2.3. 흡광도 스펙트럼 분석

CIE $L^*a^*b^*$ 외에도, 가스 반응 전후로 변색된 가스센서는 흡광도 스펙트럼을 통해 색차를 인지할 수 있다. 일반적인 흡광도 분석의 메커니즘은 다음과 같다. 약 400~800

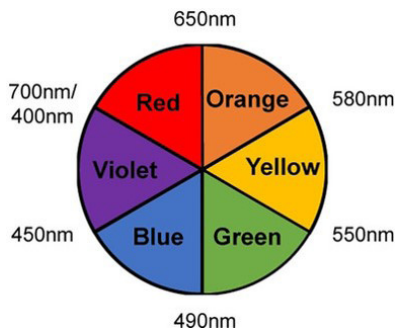


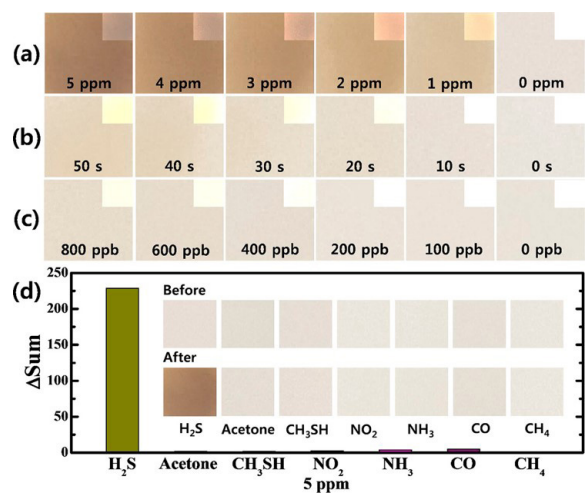
그림 2 보색 관계 및 색상별 파장 범위 [8]

nm의 가시광선 영역대의 파장이 물건 또는 물체에 흡수된 후, 흡수된 파장대에 해당되는 색상의 보색이 사람의 눈에 흡수되어 그 색상을 분별할 수 있다. 즉, 변색된 색상과 반대되는 보색의 파장을 확인함으로써 색차 변화 결과를 이해할 수 있다. 그림 2를 통해 보색 관계와 색상별 파장대를 확인할 수 있다.

3. 나노 구조체를 이용한 색변화식 가스센서

3.1. 황화수소 (H_2S) 가스센서

황화수소는 일정 농도 이상을 흡입 하면 신경독성작용이 일어나는 유해가스이다. 고농도의 황화수소에 노출될 경우, 폐수종, 뇌막염, 기관지염, 호흡 마비와 같은 증상이 나타나고, 장시간 노출되었을 시에는 의식을 잃고 사망할 수 있다. 저농도에서는 두통, 메스꺼움, 구토, 호흡 곤란 등 비교적 약한 증상이 나타나지만 치명적인 질병이나 후유증이 생길 수 있다. 이와 같이, 황화수소는 인간의 건강에 악영향을 미치기 때문에 미량의 가스를 신속하고 정확하게 감지해야 한다. 즉, 센서의 성능 요소 중 검출 한계와 민감도를 확보해야 한다. Jun-Hwe Cha 등은 아세트산 납 염료를 polyacry-



(a) 농도에 따른 색변화 특성 (b) 노출 시간에 따른 색변화 특성
(c) ppb 농도에 따른 색변화 특성 (d) 다양한 가스에 대한 선택성

그림 3 아세트산납이 포함된 PAN 나노섬유 기반 색변화식 가스센서의 황화수소 감지 특성 [9]

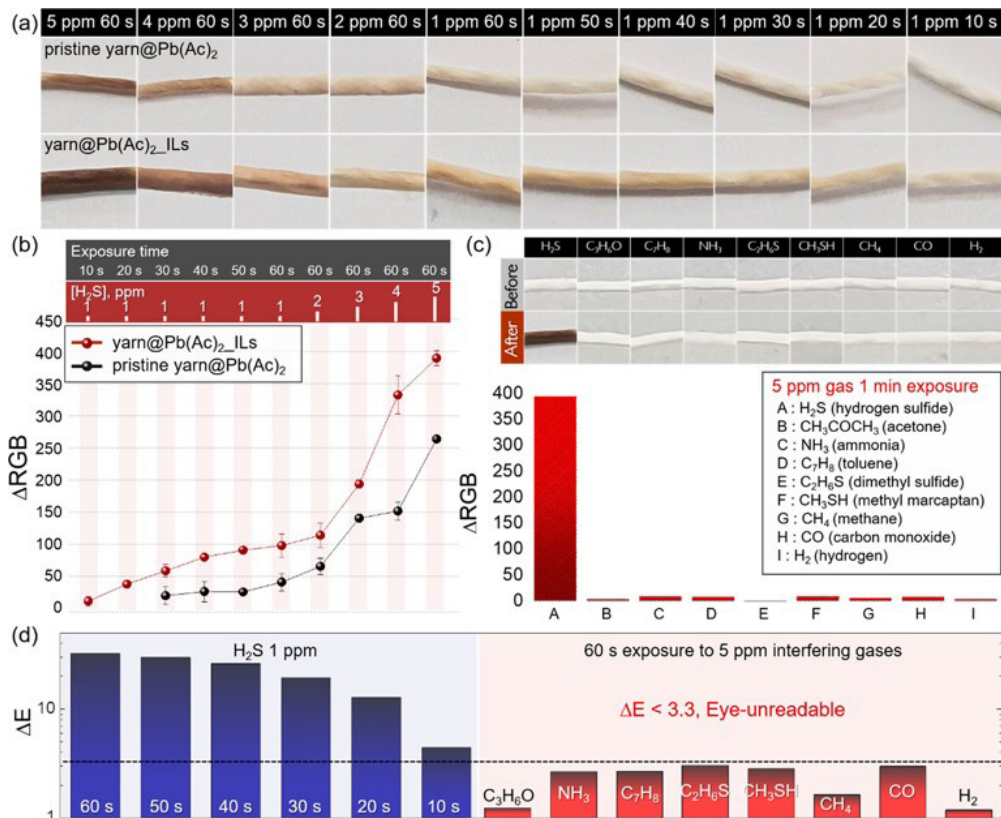
lonitrile (PAN) 나노섬유에 로딩하여 ppb 단위의 황화수소를 감지한 결과를 발표하였다 [9]. 그림 3은 최대 농도 5 ppm까지 반응시켰을 때 암모니아에 대해 선택적으로 변색된 나노섬유를 보여주고 있으며, ppb 단위에서도 희미하게 변색 되었다. 1 ppm의 황화수소에 노출된 시간 및 ppb 농도에 따라 변색된 나노섬유의 색차를 CIE $L^*a^*b^*$ 를 이용하여 수치화하면 표1과 같이 나타낼 수 있다. 이는 황화수소를 육안으로 충분히 인지할 수 있음을 의미한다.

[표 1] 1 ppm의 황화수소에 노출된 시간 및 ppb 농도에 따른 ΔE 변화 [9]

노출시간 (s)	50 초	40 초	30 초	20 초	10 초
ΔE	10.62	7.18	5.84	4.18	3.33
농도 (ppb)	800	600	400	200	100
ΔE	8.24	3.71	2.46	<1	<1

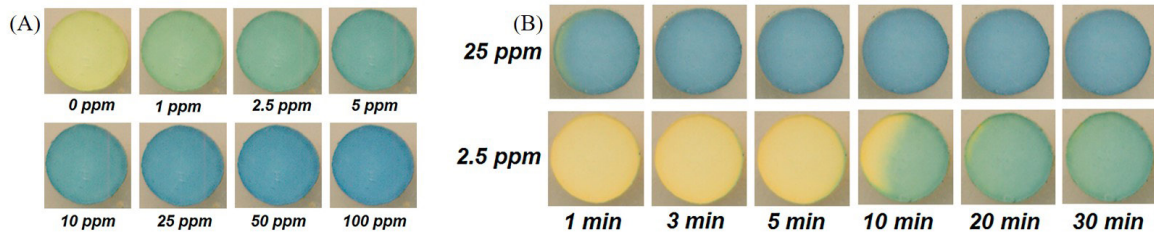
황화수소의 반응에 따른 색변화 정도를 개선시키기 위해 나노섬유 얇 구조를 이용한 결과도 보고되었다. Dong-

Ha Kim 등은 PAN 나노섬유를 얇 (yarn) 형태로 만들어 색변화식 황화수소 가스센서에 적용하였다 [10]. 나노섬유 얇은 비표면적이 넓어 더 많은 황화수소 가스 분자와 반응할 수 있는 이점이 있기 때문에 아세트산 납 염료의 기능을 강화할 수 있다. 더구나, 황화수소의 흡착 능력을 향상시킬 수 있는 흡착제로써 trihexyl(tetradecyl)phosphonium bromide ($C_{32}H_{68}PBr$) ionic liquid (IL)를 도입하였다. 그 결과로, 그림 4에서 보는 바와 같이, IL이 적용된 샘플이 뛰어난 색변화 특성을 보였으며, 이를 통하여 1 ppm에서 색변화를 크게 개선하였다. 또한, 다른 종류의 가스에는 반응하지 않고, 오직 황화수소에만 선택적으로 반응하였다. 이러한 연구결과는 나노섬유 기반의 형판 또는 기관에 황화수소에 대한 비색 반응을 유도할 수 있는 염료와 흡착제를 함께 합성한다면 황화수소에 대한 가스 감지 성능을 크게 개선할 수 있음을 보여준다.



(a) IL의 유무에 따른 변색 차이, (b) ΔRGB 기반 농도별 색변화 특성, (c) 선택성 분석, (d) 1 ppm의 황화수소에 노출된 시간 및 타 가스에 따른 ΔE 특성

그림 4 아세트산납과 IL이 포함된 PAN 나노섬유 얇을 이용한 색변화식 가스센서의 황화수소 감지 특성 [10]



(a) 0-100 ppm의 암모니아 노출에 따른 색상 변화, (b) 2.5-25 ppm의 암모니아 노출 시간에 따른 색상 변화

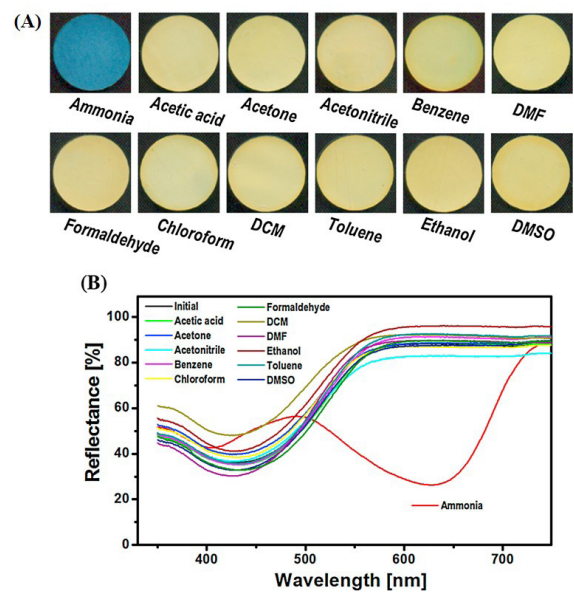
그림 5 BCG가 침윤된 PAN 나노섬유 매트 기반 색변화식 가스센서의 암모니아 감지 특성 [11]

3.2. 암모니아 (NH_3) 가스센서

암모니아는 다양한 산업이나 일상생활에 많이 사용되고 있으며, 합성 비료의 재료나 냉매가 가장 대표적이다. 그러나 암모니아는 강한 자극성을 가지고 있어 인체에 악영향을 미치는 유해물질로 알려져 있다. 암모니아를 흡입할 경우, 각막 손상, 인후통, 호흡 곤란, 천식 발작 등의 증상을 유발하며, 심한 경우 폐부종이나 호흡 부전을 일으킬 수 있다. 각종 산업과 일상에서 사용되고 있는 만큼 인간에게도 쉽게 노출될 수 있으므로 실시간으로 암모니아를 감지하는 것이 중요하다. 암모니아는 환원성을 가지고 있지만 염기성도 지니고 있다. 이러한 이유로, pH 농도 식별에 사용되는 지시약들이 색변화식 가스센서의 염료로 많이 사용되고 있다. Anh Tuan Hoang 등은 bromocresol green (BCG)과 PAN solution을 섞어 BCG가 침윤된 PAN 나노섬유 매트를 제작하였고, 이를 암모니아에 반응시킨 결과를 발표하였다 [11]. 그림 5는 2.5-25 ppm의 암모니아에 시간별로 노출된 센서가 노란색에서 초록색-파란색 계열로 변한 실물 사진과 RGB 특성을 보여준다. 또한, 그림 6에서 볼 수 있듯이, 암모니아에 노출되었을 때 흡광도-반사도 스펙트럼이 변하였으며, 이를 통해서 암모니아에 대해 선택성을 갖고 있음을 알 수 있다. 하지만, 낮은 농도에서 육안으로 구분할 수 있을 정도로 변색이 되기까지 오래된 시간이 걸리는 한계성이 확인되었다.

이를 개선하기 위해, 나노섬유에 첨가제를 코팅하여 가스의 흡착 성능을 향상 시킨 연구가 진행되고 있다. Sihuan Wang 등은 용해된 waste cotton에 chlorophenol red

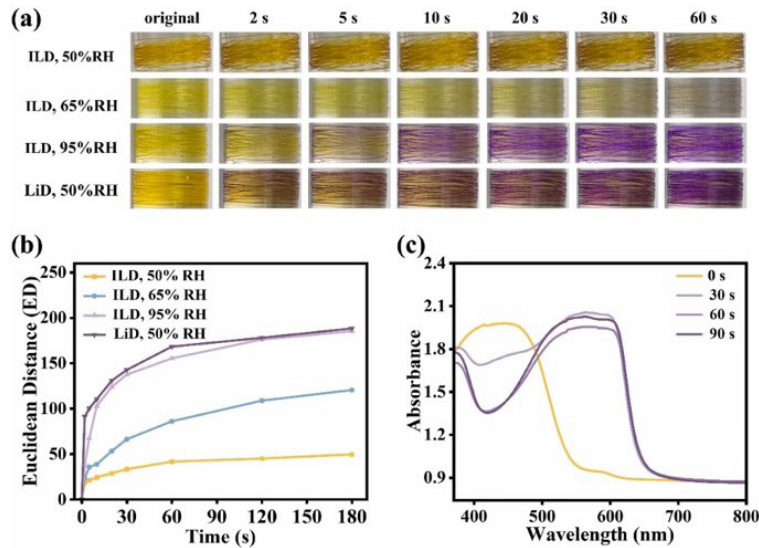
(CPR) 염료와 첨가제를 코팅하여 색변화 특성을 대폭 개선한 연구를 발표하였다 [12]. 용해된 waste cotton에 cellulose를 섞어 섬유화 하였으며, 1-Butyl-3-methylimidazolium chloride IL과 Lithium chloride (LiCl)를 첨가제로 사용하였다. IL/DMSO를 사용한 샘플과 LiCl/DMAc를 사용한 샘플을 각각 ILD 및 LiD로 하여 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7에서 볼 수 있듯이, LiD가 ILD보다 낮은 습도에서 뛰어난 변색 특성을 보였다. 일반적으로, 색변화식 가스센서에서 변색성은 습도에 비례한다. 또한, LiCl은 흡



(a) 다양한 가스에 노출된 센서의 색변화 특성

(b) 선택성에 따른 반사도 스펙트럼 결과

그림 6 BCG가 침윤된 PAN 나노섬유 매트 기반 색변화식 가스센서의 선택성 [11]



(a) 100ppm의 암모니아에 노출된 시간에 따른 색상 변화 특성, (b) 유클리디언 거리를 이용한 색상 변화 유사도 분석 결과, (c) 100ppm의 암모니아에 노출된 LiD 샘플의 실시간 흡수도 스펙트럼

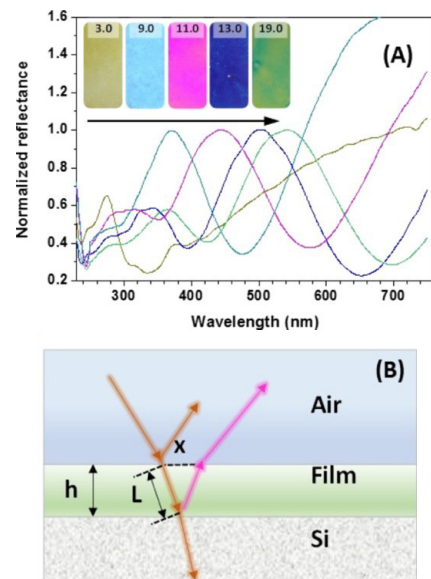
그림 7 ILD 및 LiD 샘플의 암모니아 감지 특성 [12]

습성이 뛰어난 물질이다. 95%RH에서 ILD와 50%RH에서 LiD의 결과가 거의 비슷하다는 것을 고려해보면, LiCl 첨가제의 도입이 습도가 있는 환경에서 암모니아의 감지를 크게 향상시킨다는 것을 알 수 있다.

4. 반사 필름을 이용한 색변화식 NO₂ 가스센서

특정 가스와 반응하여 분자 구조가 바뀌므로써 색이 변하는 지시약 또는 염료는 색변화식 가스센서에서 중요한 요소이다. 하지만, 유기물과 화학물질 기반의 지시약이나 염료는 시간이 지남에 따라 퇴색되거나 반응성이 저하될 수 있다. 또한, 지시약 또는 염료가 산화성 가스와 반응하기 전에 공기와 먼저 반응하여 색이 변하는 현상이 확인되었다. 이는 색변화식 가스센서의 산화성 가스 감지에 대한 한계로 지적되어 왔다. 최근에는, 이를 해결하기 위한 대안으로 반사 필름을 이용한 색변화식 가스센서가 연구되고 있다. 반사 필름은 층과 두께를 조정하면 반사도와 흡광도를 제어할 수 있어 원하는 색상을 만들 수 있다는 이점이 있다. Hong Chi 등은 GO/PSS 이중층 필름의 층수를 제어하여 육안상으로 확인이 가능한 필름의 색을 제어하였고, 이를 NO₂에

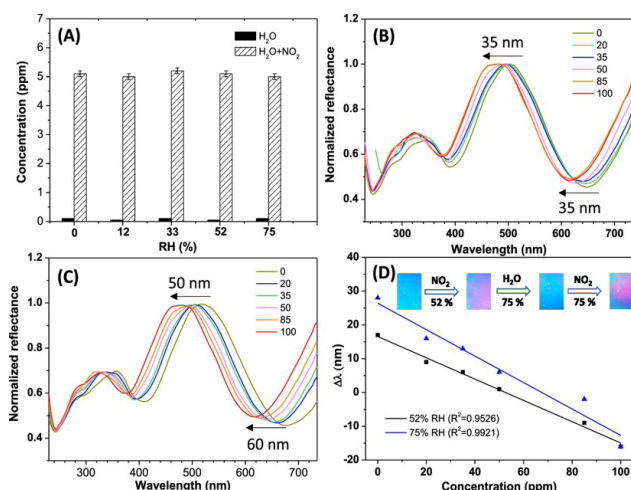
노출시켰을 때 색이 변하는 GO/PSS 기반의 반사 필름을 보고하였다 [13]. 그림 8을 통해 GO/PSS의 층수에 따라 반사 필름의 색이 제어된 것을 알 수 있다. NO₂ 감지 테스트에는 GO/PSS의 층수가 13인 샘플이 사용되었고, 52와 75% RH 습도 상태에서 NO₂에 노출시켰다. 그림 9에서 알 수 있



(a) GO/PSS 이중층의 층수에 따른 반사 필름의 색상 및 반사도
(b) 반사 필름의 반사도 파장 변화 메커니즘

그림 8 GO/PSS 기반 반사 필름 [13]

듯이, NO_2 의 농도에 따라 반사도 파장이 이동하였고, 이는 반사 필름의 색이 변하였다는 것을 의미한다. 또한, 본 고에는 삽입되어 있지 않지만 supplementary data로 첨부된 영상을 참고하면, NO_2 의 주입이 멈추었을 때 원래의 색으로 빠르게 회복되는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 반사 필름 기반의 색변화식 가스센서가 가스 반응에 대한 가역성을 가진다는 것을 알 수 있다.



(a) 가스센서의습도의존성 (b) 52% RH 습도에서 측정된 NO_2 감지 특성
(c) 75% RH 습도에서 측정된 NO_2 감지 특성
(d) NO_2 농도에 따른 파장 이동 특성을 이용한 선형성

그림 9 GO/PSS 반사 필름 기반 가스센서의 NO_2 감지 특성 [13]

5. 결론

색변화식 가스센서는 색변화 범위가 제한적이고, 특정 가스에 대한 낮은 변색성과 회복성이 존재하여 상용화에 어려움이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 고에서는 색변화식 가스센서의 동작 원리와 함께 다양한 개선 방법들을 소개하였다. 나노구조체와 반사 필름을 이용한 색변화식 가스센서는 비표면적과 가스 흡착성을 대폭 향상시킴으로써 부족한 색변화식 가스센서의 성능을 개선시켰을 뿐만 아니라 제한적이었던 색변화 범위를 넓혔다. 이러한 최신 기술과 함께 기능성 염료, 다공성 나노구조체, metal organic framework (MOF) 필름 등을 이용한 연구가 이어지고 있다. 그러므로 본 고에서 소개된 기술과 후속 연구의 지속적

인 연계를 통해 색변화식 가스센서의 문제점을 보완한다면 상용화의 시기는 빨라질 것으로 예상된다.

[참고문헌]

- [1] H. Zhang, Y. Ma, H. Xiong, G. Deng, L. Yang, Z. Nie, "Highly sensitive and selective sensing-performance of 2D Co-decorated phthalocyanine toward NH_3 , SO_2 , H_2S and CO molecules", *Surfaces and Interfaces*, 36, 102641, 2023
- [2] H. Naderi, S. Hajati, M. Ghaedi, K. Dashtian, M.M. Sabzehmeidani, "Sensitive, selective and rapid ammonia-sensing by gold nanoparticle-sensitized $\text{V}_2\text{O}_5/\text{CuWO}_4$ heterojunctions for exhaled breath analysis" *Applied Surface Science*, 501, 144270, 2020
- [3] K. Rathi, K. Pal, "abrication of MoSe_2 -Graphene Hybrid Nanoflakes for Toxic Gas Sensor with Tunable Sensitivity", *Advanced Materials Interfaces*, 7, 2000140, 2020
- [4] P. Goswami, G. Gupta, "Recent progress of flexible NO_2 and NH_3 gas sensors based on transition metal dichalcogenides for room temperature sensing", *Materials Today Chemistry*, 23, 100726, 2022
- [5] L. Yuan, M. Gao, H. Xiang, Z. Zhou, D. Yu, R. Yan, "A Biomass-Based Colorimetric Sulfur Dioxide Gas Sensor for Smart Packaging", *ACS nano*, 17, 6849-6856, 2023
- [6] S. Jung, Y.J. Jung, B.C. Park, H. Kong, B. Lim, J.M. Park, H. Lee, "Chromophore-Free photonic multilayer films for the ultra-sensitive colorimetric detection of nerve agent mimics in the vapor phase", *Sensors and Actuators B: Chemical*, 323, 128698, 2020
- [7] R. Cortez, D.A. Luna-Vital, D. Margulis, E.G. de Mejia, "Natural Pigments: Stabilization Methods of Anthocyanins for Food Application", *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16, 180-198, 2017
- [8] S. Kang, S.J. Yeom, H. Lee, "Side-View Operando Optical Microscopy Analysis of a Graphite Anode to Study Its Kinetic

- Hysteresis”, ChemSusChem, 13, 1480-1484, 2020
- [9] J. Cha, D. Kim, S. Choi, W. Koo, I. Kim, “Sub-Parts-per-Million Hydrogen Sulfide Colorimetric Sensor: Lead Acetate Anchored Nanofibers toward Halitosis Diagnosis”, Analytical chemistry, 90, 8769-8775, 2018
- [10] D. Kim, J. Cha, J.Y. Lim, J. Bae, W. Lee, K.R. Yoon, C. Kim, J. Jang, W. Hwang, I. Kim, “Colorimetric Dye-Loaded Nanofiber Yarn: Eye-Readable and Weavable Gas Sensing Platform”, ACS nano, 14, 16907-16918, 2020
- [11] A.T. Hoang, Y.B. Cho, J. Park, Y. Yang, Y.S. Kim, “Sensitive naked-eye detection of gaseous ammonia based on dye-impregnated nanoporous polyacrylonitrile mats”, Sensors and Actuators B: Chemical, 230, 250-259, 2016
- [12] S. Wang, C. Shi, B. Zeng, J. Zhang, Z. Wen, F. Shi, Y. Cui, J. Wang, “Fiber colorimetric sensors with ambient humidity tolerance for NH_3 sensing”, Sensors and Actuators B: Chemical, 405, 135341, 2024
- [13] H. Chi, Z. Xu, X. Duan, J. Yang, F. Wang, Z. Li, “High-Performance Colorimetric Room-Temperature NO_2 Sensing Using Spin-Coated Graphene/Polyelectrolyte Reflecting Film”, ACS applied materials interfaces, 11, 32390-32397, 2019

저자소개

권석훈(Seokhun Kwon)

2015년 국립한밭대학교 전기공학과 학사
 2017년 국립한밭대학교 전기공학과 석사
 2017~2018년 구미전자정보기술원
 전자의료기술연구본부 선임연구원
 2019년~2021년 국립한밭대학교 석사후 연구원
 2022~2023년 국립한밭대학교 전기공학과
 박사과정 수료
 2024년~현재 국립한밭대학교 수료후 연구생
 주 연구분야: 나노소재 및 가스 센서



강현일(Hyunil Kang)

2001년 성균관대 전기공학과 졸업 (학사)
 2003년 동대학원 졸업 (공학석사)
 2007년 동대학원 졸업 (공학박사)
 2011년~현재 국립한밭대학교 전기공학과 교수
 주 연구분야: 나노소재 및 가스 센서



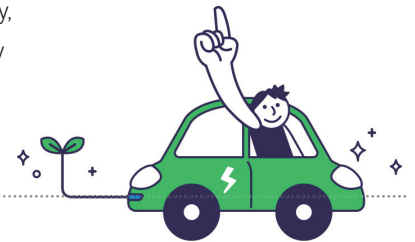


웨어러블 가스 센서 기술 동향

Wearable gas sensors trend

최혁주 | 대구경북과학기술원 화학물리학과

Hyeokjoo Choi | Department of Physics and Chemistry,
Daegu Gyeongbuk Institute of Science and Technology



요약

웨어러블 기기는 4차 산업 혁명 시대와 맞물려 더욱 관심이 높아지고 있다. 전 세계 웨어러블 기기 시장 규모가 '21년 기준 1,158억 달러 규모로 형성되어 있으며, '28년 3,805억 달러 이상 성장할 것으로 전망된다. 그중 웨어러블 가스 센서는 산업현장에서의 가스누출, 대기오염, 개인 질병 감시, 그리고 식품의 위생/안정성에 대한 관심으로 많은 연구가 이뤄지고 있다. 본 고에서는 이러한 웨어러블 가스 센서의 기술 동향에 대해 소개하고자 한다.

Abstract

Interest in wearable devices is growing in line with the era of the 4th Industrial Revolution. The global wearable device market size is valued at \$115.8 billion in 2021 and is expected to grow to more than \$380.5 billion in 2028. Among them, wearable gas sensors are receiving a lot of research due to interest in gas leaks, air pollution, disease monitoring, and food hygiene/stability. In this paper, it introduces the technology trends of wearable gas sensors.

1. 서론

웨어러블(wearable) 기기란 몸에 착용할 수 있는 장치를 말하며 지난 반세기 동안 재료, 구조, 형태 등의 여러 기술의 발전이 이뤄지고 있으며 활발히 연구되는 분야 중 하나이다. 웨어러블 기기는 휴대가 가능한 컴퓨터 장치(1세대), 액세서리 및 직물/의류 기기(2세대), 신체 부착이 가능한 기기(3세대), 그리고 체내 삽입이 가능한 기기(4세대)로 총 4개의 세대로 구분된다. 액세서리 및 직물/의류 기기(2세대)는 스마트 밴드, 워치, 의류, 반지, 슈즈 등이 대표적인 제품으로 산업계에서 가장 많은 관심을 보이고 있으며 학계에서는 차세대 웨어러블 기기인 신체 부착이 가능한 기기 e-skin 및

체내 삽입이 가능한 기기에 큰 관심을 끌고 있다. 웨어러블 기기는 간단하게 신체의 체온, 피부의 기계적 특성, 호흡, 맥박, 전기 생리학적 신호, 체취 등 물리, 화학적 생체 신호를 측정하여 실시간으로 건강 상태를 확인할 수 있다[1-4]. 이를 바탕으로 웨어러블 의료기기는 COVID-19 이후 비접촉 원격 진단 및 치료 플랫폼으로 주목받으며 주요 경로(피부 접촉, 비말, 공기, 타액 등)를 통한 감염질환 문제를 효과적으로 해결할 수 있다.

급격한 산업화와 도시화로 다양한 산업 배출원에 의한 휘발성 물질, 유독가스, 폭발물 인해 때문에 악화하는 환경 문제와 개인 건강관리에 대한 우려는 시간이 지날수록 우려가 커지고 있다. 세계보건기구(World Health Organiza-

tion: WHO)에 따르면 대기오염으로 인해 매년 700만 명이 상 사망한다고 발표하였다[5]. 산업 공정 및 응용 분야에서 배출되는 다양한 독성 및 가연성 가스 노출은 호흡기 관련 질환을 유발할 수 있으며, 장기간 노출 시 심장 관련 문제, 암, 그리고 뇌졸중까지 발생시킬 수 있다. 또한 사람의 호흡에는 수분 이외에도 3,000종 이상의 휘발성 물질이 포함되어 있으며 인체의 대사 또는 기능 장애에 대한 정보를 파악할 수 있다. 이를 통해 호기 속 휘발성 유기화합물(Volatile Organic Compounds; VOCs) 농도 측정으로 개인의 건강 상태 모니터링 및 질병 진단이 가능하다. 이외에도 식품으로부터 나오는 가스를 측정하여 신선도 및 농약 검출을 통해 식품의 위생과 안전성에 중요하게 작용한다. 사람의 호기 및 주변 유해가스를 실시간으로 모니터링이 가능한 웨어러블 가스 센서는 개인의 보안, 건강 상태, 식품 및 안전의 위험을 파악하여 신속한 대처가 가능할 수 있도록 돕는다.

기존 가스 분석으로는 크로마토그래피, 광학, 연소법 등 다양한 검출 기술들이 존재하지만, 큰 부피와 특정 장비의 필요 때문에 실시간 개인의 건강 및 환경오염 관리에 적절하지 않다. 다양한 산업 및 의료분야의 활용을 위해 가스 센서의 고감도, 초소형, 고집적화를 통해 많은 발전을 이뤄 왔으나, 단단한 기판 위에 제작되어 비교적 유연한 의류 및 신체에 집적화하기 어렵다. 따라서 목표 가스를 효과적으로 실시간 모니터링하기 위해서는 낮은 동작 온도, 높은 민감도, 선택성 및 유연성을 지닌 센서의 개발이 절실히 요구되고 있다.

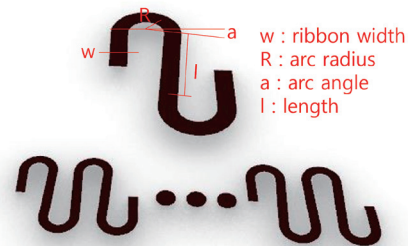
2. 웨어러블 가스 센서의 기본 구성요소

기본적으로 웨어러블 가스 센서는 다양한 신체 움직임에

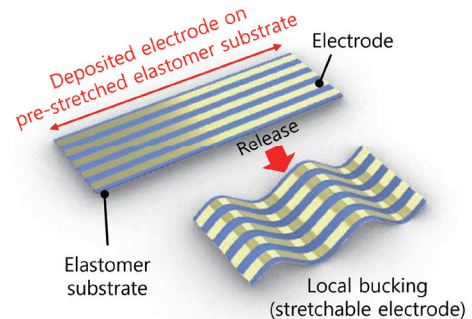
도 정확한 신호를 검출하기 위해서 유연성 및 신축성이 요구된다. 이를 구성하는 기판, 전극, 그리고 센서 층에 관한 많은 연구들이 존재한다.

고분자 기반의 기판은 저렴한 비용, 높은 유연성 및 신축성으로 인해 가장 많이 활용된다. polyimide(PI), polyethylene terephthalate(PET), parylene, polydimethylsiloxane(PDMS) 대표적으로 활용되며 그 외에도 silk, Ecoflex 등이 존재한다. 열경화성 고분자인 PDMS와 Ecoflex의 경우 신축성이 있어 다양한 움직임이 필요한 관절 부위에도 부착이 가능하다. Wu 연구팀은 Ecoflex를 활용하여 PAM.CARR hydrogel 기반으로 높은 감도(0.355%/ppm)와 높은 습도 및

a. Serpentine design



b. wave/wrinkle/buckle



방법. a. serpentine, b. wrinkle/crumpled 구조

그림 1 기하학적 변화를 통한 신축성 전극 제조

[표 1] 웨어러블 기기의 유형

	1세대(~2010)	2세대(2010~2020)	3세대(2015~2025)	4세대(2020~)
내용	단독형(휴대용) 컴퓨터 장치	액세서리 및 의류/의류 (e-textile)	신체 부착형 (e-skin)	체내 삽입형 (implantable device)
제품	휴대폰, 휴대용 게임기 등	스마트 밴드, 안경, 워치, 의류, 반지, 슈즈, 직물센서 등	패치형 심전도 센서, 체온기 등	인공심박동기, 체내 삽입형 센서 등

기계적 변형에도 안정적으로 작동하는 산소 검출 센서를 개발하였다[6]. DGIST 김희준 교수팀은 본질적으로 신축성을 갖는 고분자는 아니지만, 구조적 변형(kirigami)을 통해 PI 기판을 활용하여 80% 인장에서 20 ppm의 이산화질소를 안정적으로 검출해 냈다[7]. 이 밖에도 직물을 기반으로 활용하여 의류에 직접 활용하는 방법과 종이를 기반으로 한 다양한 웨어러블 가스 센서들이 존재한다.

기기를 구성하는 기본적인 구성 요소 중 하나인 전극은 전통적으로 높은 전도성을 갖는 금, 은, 백금, 알루미늄 등 다양한 무기물을 활용해 왔다. 하지만 이러한 물질들은 부서지기 쉽고 단단한 특성으로 인해 기하학적 변화 또는 나노 구조의 활용을 통해 웨어러블 기기에 활용되고 있다. 또한, 본질적으로 신축성을 갖는 전도체는 웨어러블 가스 센서의 전극으로 훌륭한 후보군 중 하나이다. Chun Li 연구팀은 pre-stretching 기법을 활용하여 graphene 전극을 wavy 구조로 제작하였고, 40% 인장에서 안정적으로 습도를 측정해 냈다[8]. Huanyu Cheng 연구팀은 laser-induced graphene을 serpentine 구조로 제작하여 30% 인장에도 안정적으로 반응하고, 일산화 및 이산화질소 가스에 대해 높은 검출한계(8.3 및 4.0 ppb)를 갖는 웨어러블 가스 센서를 개발하였다[9]. 이처럼 wavy/serpentine 구조, wrinkled/crumpled 구조, island-bridge 등 다양한 기하학적 접근을 통해 신축성을 갖는 전극을 웨어러블 가스 센서에 활용되고 있다. 나노 구조를 활용한 전극으로는 금속 나노와이어, 나노입자, 탄소나노튜브 등이 존재한다. 연세대 박장웅 교수 연구팀은 AgNW-graphene 네트워크를 통한 기계적 변형(20% 인장)에도 안정적으로 5 ppm의 dimethyl methylphosphonate(DMMP) 가스를 검출해 내는 데 성공

했다[10]. 본질적으로 신축성을 갖는 전극으로는 액체금속, 전도성 고분자 등 다양한 재료가 있다. 고려대 하정숙 교수 연구팀은 galinstan(68.5% Ga, 21.5% In, and 10% Sn) 물질을 활용하여 50%의 5,000회 반복 인장 변형에도 6% 이내의 출력전압 변형률을 보여주었다[11].

센서 층 또한 다른 물질들과의 호환을 위해 유연성 및 신축성이 요구된다. 탄소나노재료, 전도성 고분자, 2차원 나노구조체, 금속산화물 반도체(Semiconductor metal oxide; SMO), 금속 유기 골격체(Metal-Organic Frameworks; MOFs) 등이 웨어러블 가스 센서의 센서 층으로 활용되고 있다. 표 2는 웨어러블 가스 센서의 센서 층 종류 및 검출 가스를 정리한 내용이다.

[표 2] 웨어러블 가스 센서의 센서 층 종류 및 검출 가스

재료	가스 종류	[Ref]
탄소나노 재료	rGO	Ammonia
	MWCNT	Ammonia, ethanol, formaldehyde
	SWCNT	DMMP
전도성 고분자	PPy	Ammonia, acetic acid
	PANI	Ammonia
	PEDOT:PSS	Ammonia
2차원 나노 구조체	MoS ₂	Ammonia, nitrogen dioxide
	MoSe ₂	Ammonia, nitrogen dioxide
금속산화물 반도체	ZnO	Ammonia, carbon monoxide
	Pd-ZnO NRs	hydrogen
MOFs	copper-based CuBTC	Ammonia

3. 웨어러블 가스 센서의 응용

일반적인 가스 센서는 다양한 산업에서 활용이 가능하다. 웨어러블 가스 센서의 경우 실시간 모니터링이 가능하

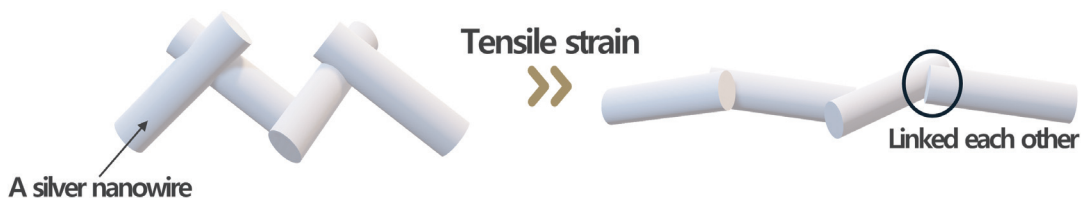


그림 2 나노 구조체를 활용한 신축성을 갖는 전극 원리

여 기존 산업 분야와 더불어 독성가스 노출이 많은 산업 현장, 대기오염으로부터의 보호, 개인 질병 진단 및 관리 그리고 식품 품질/안전 모니터링 등 잠재적인 응용 분야가 존재한다.



그림 3 웨어러블 가스센서의응용분야

지속적인 발전으로 인해 대기오염 수준은 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 대기오염의 노출은 인간의 호흡기, 심혈관, 신경계 및 기타 시스템의 건강에 악영향을 줄 수 있다. 대표적인 가스로는 암모니아, 황화수소, 일산화 및 이산화 질소 등이 있다. Shiqi Guo 연구팀은 MoSe_2 기반으로 30%의 인장에도 빠른 응답(<200초), 낮은 검출한계(1 ppm) 웨어러블 천식 유발 가스(이산화질소 및 암모니아) 센서를 개발하였다[23]. Dan Xie 연구팀은 높은 안정성(84일), 낮은 검출한계(43.5 ppb), 뛰어난 기계적 변형 내성(굽힘: 3,000회, 비틀림: 1,000회)을 갖는 이산화질소 감지용 e-textile을 개발하였다[24].

사람의 호기 속에 휘발성 유기 화합물이 세포 대사 과정이나 여러 스트레스의 부산물로 배출된다. 부산물 농도(ppm 이하)를 통해 환자의 상태를 확인할 수 있으며 이를 검출하는 다양한 가스 센서가 존재한다. 아세톤은 이의 대표적인 바이오마커(biomarker)로 당뇨병 진단에 활용되어 왔다. 당뇨병의 경우 인슐린의 부족 현상으로 포도당의 흡수 및 분해가 불가능하여 지방을 분해해 에너지원으로 활용된다. 이때 지방을 분해할 경우 케톤생성(ketogenic)에 의해 체내에서 아세톤을 포함한 케톤체가 생성되고 건강한 사람(900 ppb 미만)에 비해 호기 속 아세톤 농도가 2배 이

상 검출된다. 난양공대 조남준 교수팀은 다공성 3D 아키텍처를 사용하여 빠른 응답시간(1초 이하) 및 낮은 검출한계(20 ppb)를 갖는 손목밴드 아세톤 가스 센서를 개발에 성공했다[25] 밖에도 에탄올, 포름알데히드, 과산화수소 등 다양한 가스를 검출하는 웨어러블 기기 관련 연구들이 진행 중이다.

이외에도 공공 안전 및 보안을 위한 chemical warfare agents(CWAs) 가스 검출에 관한 연구[14, 26], 암모니아 측정을 통한 식품의 부패 지표 확인에 관한 연구 등 전반적인 산업에 걸쳐 웨어러블 가스 센서 관한 연구가 진행되어 왔다[27].

4. 결 론

본 고에서는 웨어러블 가스 센서의 구성요소 및 이의 응용 분야에 관한 기술 동향을 다뤘다. 유연 및 신축성을 가지며 높은 성능을 갖는 웨어러블 가스 센서 연구는 계속 진행되고 있다. 하지만 웨어러블 가스 센서는 현재 2세대 웨어러블 기기(액세서리 및 e-textile)까지의 연구가 대부분이다. 가스 측정 특성상 피부 부착형으로 가지고 갈 이득이 아직 없기 때문이다. 예를 들어 피부에 호기 센서를 부착할 경우 매번 호흡 측정을 위해 센서 부착 부위를 입 쪽으로 움직여야 한다. 하지만 마스크 타입의 웨어러블 호기 센서는 번거로운 움직임이 필요하지 않고 단순히 착용만 하면 된다. 또한, 웨어러블 신호처리 시스템에 대한 연구가 현저히 부족하다. 웨어러블 가스 센서 모듈 혹은 시스템을 구성하기 위해서는 신호처리 시스템 및 회로의 웨어러블화의 관련 연구가 필요하다.

[참고문헌]

- [1] Trung, Tran Quang, et al. "Freestanding, fiber-based, wearable temperature sensor with tunable thermal index for healthcare monitoring." *Advanced healthcare materials* 7.12 (2018): 1800074.

- [2] Dagdeviren, Canan, et al. "Conformal piezoelectric systems for clinical and experimental characterization of soft tissue biomechanics." *Nature materials* 14.7 (2015): 728-736.
- [3] Kang, Daeshik, et al. "Ultrasensitive mechanical crack-based sensor inspired by the spider sensory system." *Nature* 516.7530 (2014): 222-226.
- [4] Roh, Eun, et al. "A solution-processable, omnidirectionally stretchable, and high-pressure-sensitive piezoresistive device." *Advanced Materials* 29.42 (2017): 1703004.
- [5] Air pollution, 세계보건기구(WHO), 2020.7
- [6] Wu, Zixuan, et al. "A humidity-resistant, sensitive, and stretchable hydrogel-based oxygen sensor for wireless health and environmental monitoring." *Advanced Functional Materials* 34.6 (2024): 2308280.
- [7] Park, Jeonhyeong, et al. "Kirigami-inspired gas sensors for strain-insensitive operation." *Results in Engineering* 21 (2024): 101805.
- [8] Guo, Huayang, et al. "Transparent, flexible, and stretchable WS₂ based humidity sensors for electronic skin." *Nanoscale* 9.19 (2017): 6246-6253.
- [9] Yang, Li, et al. "Moisture-resistant, stretchable NO_x gas sensors based on laser-induced graphene for environmental monitoring and breath analysis." *Microsystems & nanoengineering* 8.1 (2022): 78.
- [10] HyungáCheong, Woon, Joo HyebáSong, and Jae JoonáKim. "Wearable, wireless gas sensors using highly stretchable and transparent structures of nanowires and graphene." *Nanoscale* 8.20 (2016): 10591-10597.
- [11] Hong, S. Y., et al. "Polyurethane foam coated with a multi-walled carbon nanotube/polyaniline nanocomposite for a skin-like stretchable array of multi-functional sensors, NPG Asia Mater. 9 (2017) 1–10." (2017).
- [12] Duy, Le Thai, et al. "Flexible transparent reduced graphene oxide sensor coupled with organic dye molecules for rapid dual-mode ammonia gas detection." *Advanced Functional Materials* 26.24 (2016): 4329-4338.
- [13] Gao, Zhiyi, et al. "Fiber gas sensor-integrated smart face mask for room-temperature distinguishing of target gases." *Nano Research* 11 (2018): 511-519.
- [14] Wang, Yanyan, et al. "Flexible gas sensors with assembled carbon nanotube thin films for DMMP vapor detection." *Sensors and Actuators B: Chemical* 150.2 (2010): 708-714.
- [15] Jun, Jaemoon, et al. "Wireless, room temperature volatile organic compound sensor based on polypyrrole nanoparticle immobilized ultrahigh frequency radio frequency identification tag." *ACS applied materials & interfaces* 8.48 (2016): 33139-33147.
- [16] Wu, Shaohua, et al. "Flexible and conductive nanofiber-structured single yarn sensor for smart wearable devices." *Sensors and Actuators B: Chemical* 252 (2017): 697-705.
- [17] Tang, Ning, et al. "A fully integrated wireless flexible ammonia sensor fabricated by soft nano-lithography." *ACS sensors* 4.3 (2019): 726-732.
- [18] Zhao, Yuxi, et al. "Low-temperature synthesis of 2D MoS₂ on a plastic substrate for a flexible gas sensor." *Nanoscale* 10.19 (2018): 9338-9345.
- [19] Guo, Shiqi, et al. "Development of a cloud-based epidermal MoSe₂ device for hazardous gas sensing." *Advanced Functional Materials* 29.18 (2019): 1900138.
- [20] Kim, Jong-Woo, et al. "Micropatternable double-faced ZnO nanoflowers for flexible gas sensor." *ACS applied materials & interfaces* 9.38 (2017): 32876-32886.
- [21] Rashid, Tonny-Roksana, Duy-Thach Phan, and Gwi-Y Sang Chung. "A flexible hydrogen sensor based on Pd nanoparticles decorated ZnO nanorods grown on polyimide tape." *Sensors and Actuators B: Chemical* 185 (2013): 777-784.
- [22] Spieser, Hugo, et al. "Metal organic framework sensors on flexible substrate for ammonia sensing application at room

- temperature.” Journal of Materials Chemistry C 9.19 (2021): 6332-6343.
- [23] Guo, Shiqi, et al. “Development of a cloud-based epidermal MoSe2 device for hazardous gas sensing.” Advanced Functional Materials 29.18 (2019): 1900138.
- [24] Weiwei Li, Ruosong Chen, Wenzhi Qi, Li Cai, Yilin Sun, Mengxing Sun, Chuang Li, Li, Weiwei, et al. “Reduced graphene oxide/mesoporous ZnO NSs hybrid fibers for flexible, stretchable, twisted, and wearable NO2 E-textile gas sensor.” ACS sensors 4.10 (2019): 2809-2818.
- [25] Wang, Lili, et al. “A flexible, ultra-sensitive chemical sensor with 3D biomimetic templating for diabetes-related acetone detection.” Journal of Materials Chemistry B 5.22 (2017): 4019-4024.
- [26] Zhu, Rong, Joseph M. Azzarelli, and Timothy M. Swager. “Wireless hazard badges to detect nerve-agent simulants.” Angewandte Chemie International Edition 55.33 (2016): 9662-9666.
- [27] Matindoust, Samaneh, et al. “Food quality and safety monitoring using gas sensor array in intelligent packaging.” Sensor Review 36.2 (2016): 169-183.

저자소개

최혁주(Hyeokjoo Choi)

2021년 국립한밭대학교 전기공학과
학석사통합과정 졸업

2021년-현재 대구경북과학기술원 화학물리학과
박사수료

주 연구분야 : 웨어러블 전자기기 및 센서 등

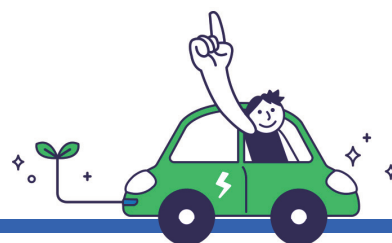


바이오용 반도체 산업 동향 및 시사점

Trends and Implications for the bio semiconductor industry

김형진 교수 | 울산과학기술대학교, 반도체공학과

Hyung Jin Kim | Department of Semiconductor Engineering, Ulsan College



요약

바이오용 반도체(Bio-MEMS)는 생명공학(Bio Technology)과 초소형전자기계시스템(MEMS)의 합성어로서, 고성능화, 지능화, 저전력화, 소형화를 통한 생체 상태 식별, 선제적 예방 맞춤 관리, 질병의 진단과 치료에 활용하는 차세대 디지털 바이오 기술이다.

본고는 편리한 삶, 건강한 삶과 영원한 삶을 기반으로 바이오가 반도체와 융합되어 기존의 한계를 벗어나 바이오 자체의 발전뿐 아니라 전 산업분야로서 확장되어 혁신을 촉진할 수 있는 전략들을 제언하고자 한다.

Abstract

Bio-semiconductor (Bio-MEMS) is a compound word of biotechnology and microelectromechanical system (MEMS). This is a next-generation digital bio technology that is used for identification of biological conditions, preemptive prevention and customized management, and diagnosis and treatment of diseases through high performance, intelligence, low power consumption, and miniaturization. Based on convenient life, healthy life, and eternal life, this study proposes strategies that can promote innovation by combining bio with semiconductors to overcome existing limitations and expand not only the development of bio itself but also all industrial fields.

1. 서론

Bio-MEMS는 생명공학(Bio Technology)과 초소형전자기계시스템(MEMS)의 합성어로 체내 혹은 체외에서 일어나는 생체물질 내의 생리화학적 현상에 수반되는 미세한 생체 신호를 매우 정밀하게 분석 및 대량 고속 진단이 가능한 바이오용 반도체로서 환자 맞춤형 진단 및 치료뿐만 아니라 제약, 의료, 의료장비, 보험, 의료 서비스의 광범위한 영역에서 개인의 생활습관, 질병의 진단과 치료, 예후 등에 대

한 신호 획득, 처리, 분석 및 서비스를 제공하는 반도체를 의미한다. 특히, 코로나19 이후 이슈가 되고 있는 디지털 바이오 산업으로의 대전환을 가속화하는 핵심 기술로서 고성능화, 지능화, 저전력화, 소형화를 통한 생체상태 식별, 선제적 예방 맞춤 관리 및 질병의 진단, 치료에 활용하는 차세대 디지털 바이오 기술이다.

Bio-MEMS 기술 기반 바이오용 반도체는 Bio-MEMS 기반 진단기기, Bio-MEMS 기반 바이오기기 및 Bio-MEMS 기반 헬스케어기기로 구분할 수 있다.

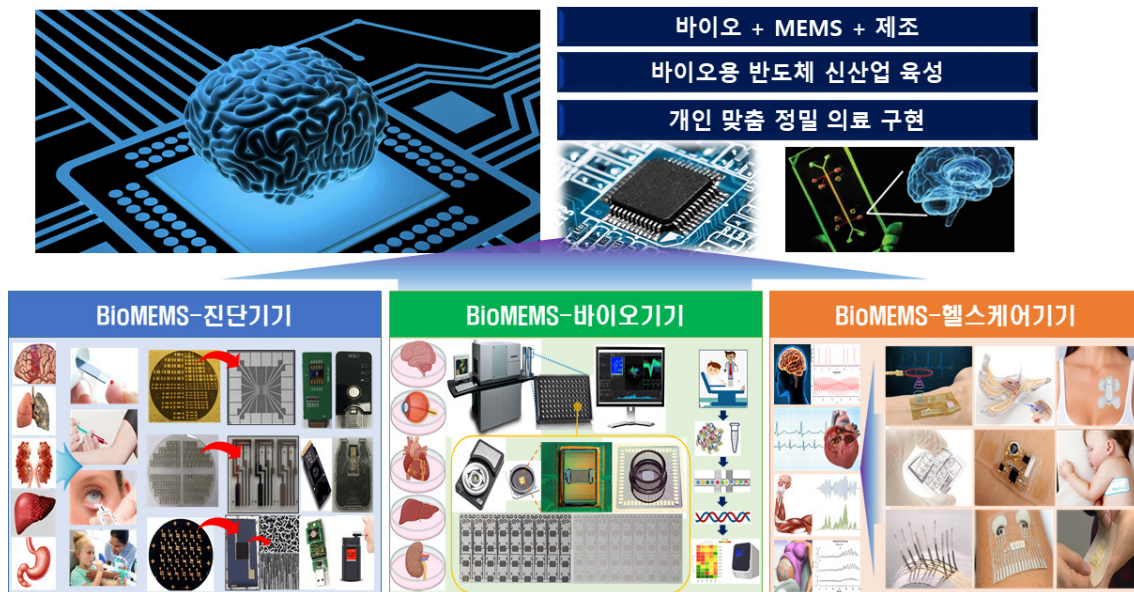


그림 1 Bio-MEMS기술 기반 바이오용 반도체 개념도

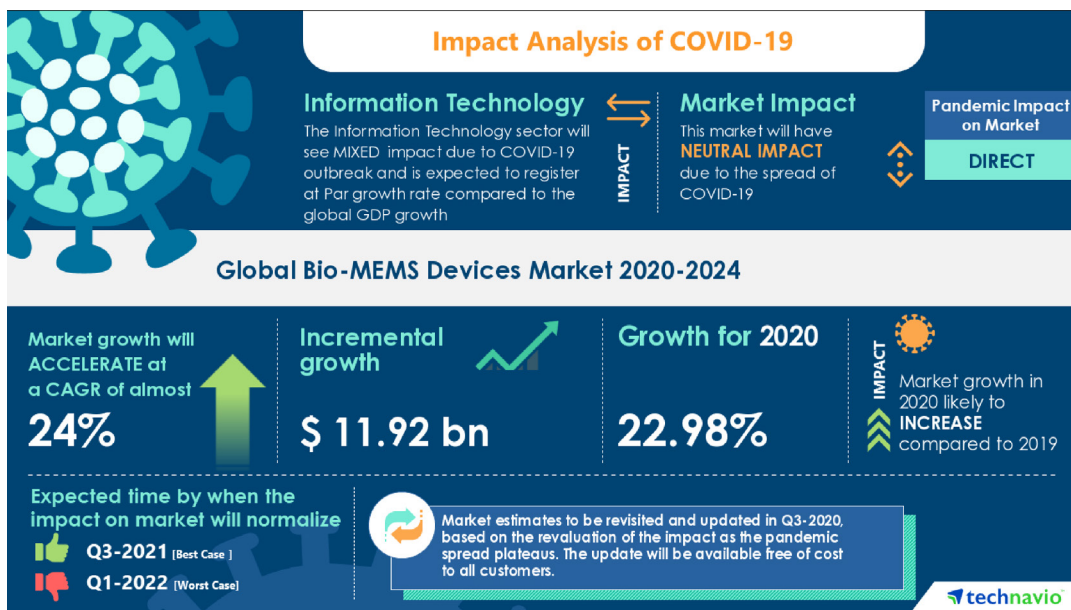


그림 2 글로벌 Bio-MEMS장치 시장(2020-2024)[1]

먼저 Bio-MEMS 기반 진단기기는 생물이 가지고 있는 기능을 이용하여 물질의 상태를 측정하기 위한 것으로, 생물학적 반응을 감지하고 이를 전기 신호로 바꾸기 위하여 반도체 칩을 사용하여 질병 유무를 판단하는 기기이다. 바이오용 반도체로 구성된 진단기기는 고성능화, 지능화, 저전력화, 소형화를 통해 분석대상 물질을 보다 간편하고 신속

정밀한 측정이 가능해 의료, 환경, 국방, 식품, 우주항공, 조선 등 다양한 분야에서 크게 주목 받고 있는 추세이다.

두 번째로 Bio-MEMS 기반 바이오기기는 반도체 칩을 이용하여 신약후보군에 대한 세포(2D 및 3D) 및 오가노이드의 생리적/형태적인 변화와 세포독성 및 유전독성 등을 실시간 비파괴적으로 모니터링 및 정량화함으로써 신약후

보균 선별을 넘어 동물 임상의 대체가 가능한 기기이다. 신약 개발 초기 단계인 기초탐색연구단계에서 대규모 저분자 화합물의 타깃 검증 과정에 소모되는 시간과 비용을 약 100분의 1 수준 이상으로 줄일 수 있는 플랫폼이다.

마지막으로 Bio-MEMS 기반 헬스케어기기는 제약, 의료, 의료장비, 보험, 의료 서비스의 광범위한 영역에서 생명시스템의 다양한 생체상태에 관해 생체정보, 의료기기, ICT 융합 기반으로 동작원리를 이해하고 이를 제어하여 생체상태 식별, 선제적 예방 맞춤 관리 및 질병의 진단, 치료에 활용하는 차세대 스마트 의료기술이다. 사람의 혈당, 혈압, 심장박동률, 혈액 함량, 체온, 호흡 빈도수 등 건강지표를 수시로 체크할 수 있는 진단용 웨어러블 의료기기와 각종 질병 진료에 도움을 주는 치료용 웨어러블 의료기기로 구분할 수 있다.

Bio-MEMS 기술이 필수적이라고 할 수 있는 진단/바이오/헬스케어기기 시장은 코로나-19로 인한 새로운 검사법과 치료 모니터링 및 스크리닝 방법이 개발됨에 따라 안전성 및 신뢰성을 갖춘 Bio-MEMS의 시장이 고성장하고 있다. 세부적으로는 2020년 09월 Technavio에서 출간한 Global Bio-MEMS Devices Market (2020-2024)에 따르면 Bio-MEMS 시장은 매년 24%(CAGR) 성장하여 2024년 USD 119억 2천만 달러의 시장을 형성할 것으로 예측하고 있다[1].

2019년 4월 정부에서 발표한 「시스템반도체 비전과 전략」중 팹리스업계의 글로벌 경쟁력 확보를 위해 5대 핵심분야 중 바이오분야를 포함, 집중지원을 추진 중이다. 자동차, 바이오, 에너지, IoT가전, 기계·로봇 등으로 시스템반도체 수요가 많거나 우리기업이 빠른 시간 내 경쟁력 확보가 가능한 분야이다. 특히, 산업통상자원부 국가기술표준원은 『시스템반도체 표준기술연구회』를 통해 BioMEMS 표준화를 위한 1차 로드맵을 수립하였다.(2020년 11월).[2] 주요 분야는 Micro Fluidics, MEMS 바이오센서, Patch Device, Tele-healthcare device, Organoid를 중점 후보분야로 선정하였고, 이와 병행하여 기존 IEC 국제표준화 추진을 위

하여 SC47F 표준전문가위원회가 확대되고 있다.

현재, BioMEMS 표준화 2차 로드맵을 수립 중에 있으며, 현재 도출되어 있는 중점분야(micro fluidics device, MEMS 바이오센서, Patch device, Organoid device) 중심의 표준기술 도출되었다.

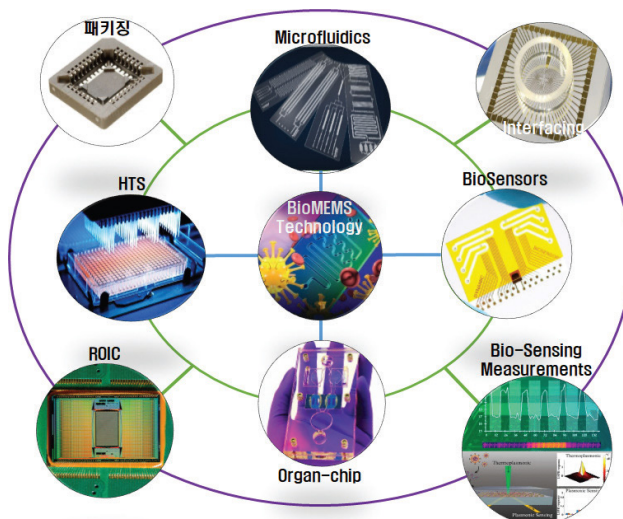


그림 3 바이오 MEMS 산업 정의 개념도[2,3]

2. 바이오용 반도체 산업의 현황 및 주요 현안

먼저 바이오용 반도체 산업의 현황을 살펴보면 글로벌 기술력을 보유한 반도체 기술과 기간산업 및 신성장동력산업과 융합을 통한 시너지 효과가 발생한다. 국내 반도체 산업은 메모리 반도체를 중심으로 성장하여 반도체 수출이 우리 전체 수출의 약 20%를 차지하고 있으며 세계 메모리반도체 시장 점유율이 60%에 육박하고, 전체 반도체 시장에서 2위를 유지하고 있다[3]. 의료산업과 반도체 산업의 융합은 2030년 기준 USD 5,000억 달러의 시장을 형성할 것으로 예측된다.

디지털 바이오는 바이오가 디지털과 융합되면서 기존의 한계를 벗어나 바이오 자체의 발전뿐 아니라 전 산업분야에 전방위적으로 파급되어 혁신을 촉진하고 있다. 유럽은 EMBL (Europe Molecular Biology Laboratory, 유럽 분

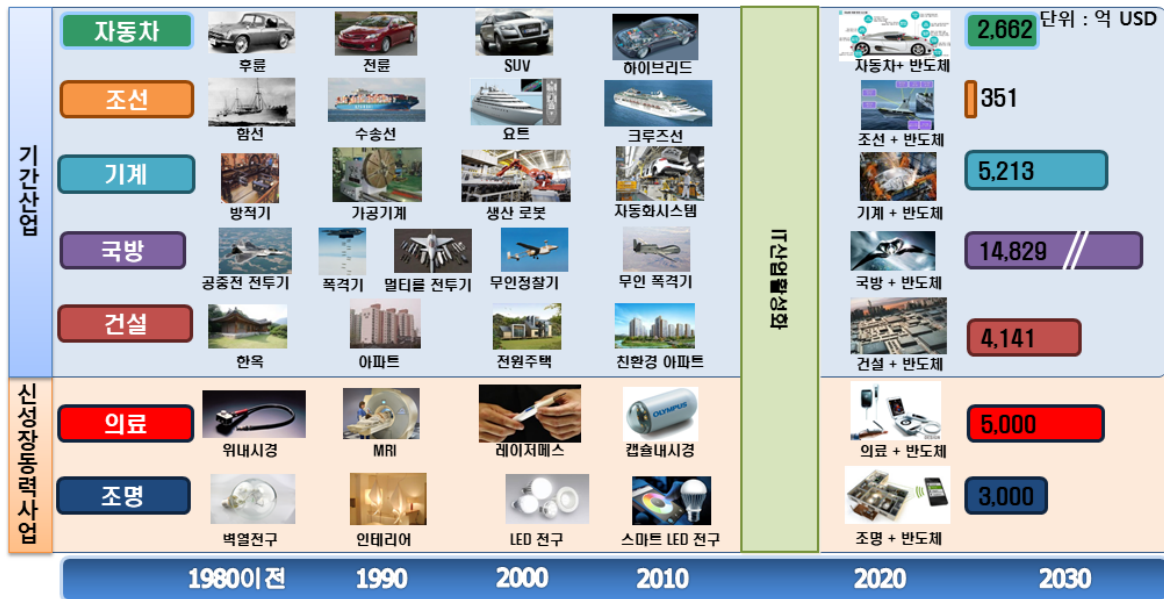


그림 4 반도체융합산업

자생물학연구소)은 디지털바이오 사업 추진('17~'21)을 통해 유럽 27개국이 공동 설립한 바이오 분야 대표 연구소, 유럽 6개소에서 110개 연구팀 운영 중이며, 영국 맨체스터大, 독일 뮌헨공과大는 디지털바이오 대학원 과정 및 연구 클러스터 구축하여 운영하고 있다.

일본은 데이터 중심의 바이오-디지털 융합을 강조한 '바이오전략2020'을 발표하고 바이오 데이터 기반 기술개발 지원('20.6월~)하고, 연구데이터 수집·공유 및 연구시설장비·스마트화를 위한 '연구디지털전환 전략'도 추진('21~) 중이다[4].

국내에서도 바이오 대전환에 대응하여 기존 바이오 R&D 한계(고비용·고위험·장기간)를 극복하고 선택과 집중으로 바이오 선도국 진입을 촉진할 혁신전략을 추진 중이다. 중기부는 중소기업 전략기술로드맵 2021-2023을 통해 헬스케어기기, 바이오기기 및 의료기기 분야별 반도체 기반 전략제품 기술로드맵 수립하였다. 과기부는 바이오 대전환 시대 맞춤형 디지털바이오 혁신전략 발표를 통한 위기와 기회가 병존하는 바이오 대전환기에 민첩하게 대응함으로써 미래 국가 바이오 기술·산업 경쟁력의 도약 계기 마련을 추진하였다. 하지만, 그동안 적극적인 정부 R&D투자로 국내

기술수준은 지속 향상되었으나, 여전히 미국 등 바이오 선도국을 추격하는 입장이다.

다음으로 바이오용 반도체 산업의 주요 현안을 살펴보고 하겠다.

첫 번째로 편리한 삶이다. 반도체 기술이 발전하면서 스마트폰, 스마트카, 스마트 홈 등 다양한 산업이 발전하면서 우리의 삶에 편리함을 제공한다. 스마트폰은 단순한 통화를 위한 전화기 영역을 넘어 카메라, 음악 플레이어, 메신저, 수첩, 전등, 라디오, TV, 게임 콘솔, 차량 및 홈 제어, 개인 건강관리 등 마술 같은 디지털 도구로서 편리한 삶을 제공한다. 또한, 스마트 카는 단순한 이동을 위한 자동차 영역을 넘어 자율주행과 운전자 생체신호 모니터링, 졸음·음주 등 사고유발 요소 차단, 센서 탑재한 운전대시트 눈길, 뇌파 감지한 주의력 알람 기능, 스마트홈 연계한 통합 서비스·휴식공간'으로 역할을 한다. 현대모비스가 공개한 자율주행 통합 각핏 시스템인 엠빅스(M.Vics)에는 심전도 센서, 운전자 모니터링 카메라, 멀미 저감 신기술, 공기정화시스템 등 다양한 헬스케어 기술이 탑재될 예정이다. 또한, 탑승객의 자세를 입체적으로 촬영할 수 있는 3D 카메라, 운전대에 장착한 심전도 센서, 귀 주변에 흐르는 뇌파를 측정하는 이어셋



스마트폰



스마트카



스마트홈

그림 5 반도체기술발전이편리한삶제공

센서, 그리고 차량 내부의 온습도와 이산화탄소를 측정하는 공조 센서로 구성된 스마트캐빈 제어를 통해 실시간으로 수집한 다양한 생체신호를 분석해 안전운전을 지원할 예정이다.

스마트 홈은 인간이 거주하고 생활하는 공간 및 기기에 ICT를 접목해 편리, 안전, 경제, 즐거움 등의 가치를 제공하는 기술 및 서비스 환경을 제공한다. LH는 인공지능과 IoT 등 4차산업혁명 기술을 융합하여 가족의 건강관리·예방진단을 위한 LH 스마트홈 플랫폼기반 헬스케어 서비스를 제공할 예정이다.

두 번째는 건강한 삶이다. 100세 시대를 위하여 기존의 의료 서비스와의 융합을 통해 우리의 건강한 삶을 위한 Bio-MEMS 기술이 끊임없이 발전 및 진화하고 있다.

속 상태를 진단하고, 전반적인 건강상태를 모니터링하여 질병의 치료와 예방을 목적으로, 체외진단은 조직, 혈액, 침, 소변, 세포세척액 등 인체에서 유해한 물질을 이용해 몸 밖에서 신속하게 질병을 진단, 예측, 모니터링하는 기술이다. 그림 7은 Bio-MEMS 기반 디지털 진단기기 기술동향에 관한 것으로, 왼쪽은 CMOS(complementary metal oxide semiconductor) chips 구조를 기반으로 위암의 microRNA biomarker를 검출 가능한 capacitive biosensor[6], 중앙은 실시간으로 covid-19를 진단할 수 있는 FET 구조의 graphene biosensor[7], 오른쪽은 다공성 구조를 갖는 팔라듐 촉매 기반 산화주석 구조체를 이용한 생체지표 가스 exhale sensor[8] 기술 개발을 보여준다.

Bio-MEMS 기반 디지털 바이오기기 바이오용 반도체 기술을 적용하여 신경계 세포 배양-정보 확보-분석-신약 개발 서비스가 가능한 생체 미세환경 모사 및 실시간 모니터링용 신경계 온어칩 통합 플랫폼을 제고한다. 그림8과 같이 바이오용 반도체 기술을 적용한 CNS(Central Nervous System; CNS) 바이오칩은 미국 및 유럽의 일부 연구소에서 개발 중 이지만 아직 제품화된 사례가 없으며, PNS(Peripheral Nervous System, 말초신경계) 바이오칩은 일부 대학 및 연구소에 일부 연구 개발 단계이다. 미국, 유럽과 일본 등 여러 회사에서 신약 개발 및 세포 독성 평가를 위해 세포 칩을 판매 중이며 또한 측정 및 분석을 자동화할 수 있는 HTS(High-Throughput Screening, 고속대량 스크리닝)를 구축 중[9-12]이다.

Examples of bioMEMS-enabled systems

(Source: BioMEMS Market and Technology report, Yole Développement, 2020)

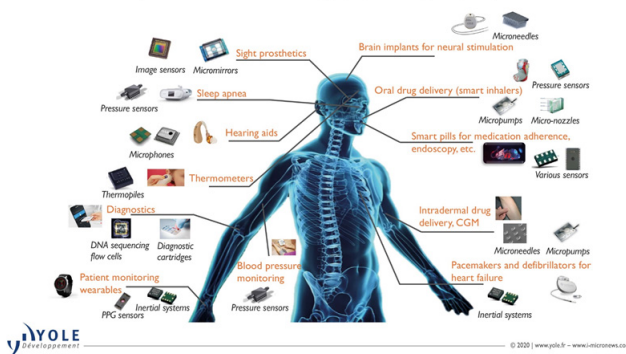


그림 6 반도체기술발전이편리한삶제공[6]

Bio-MEMS 기반 디지털 진단기기는 질병이나 기타 몸

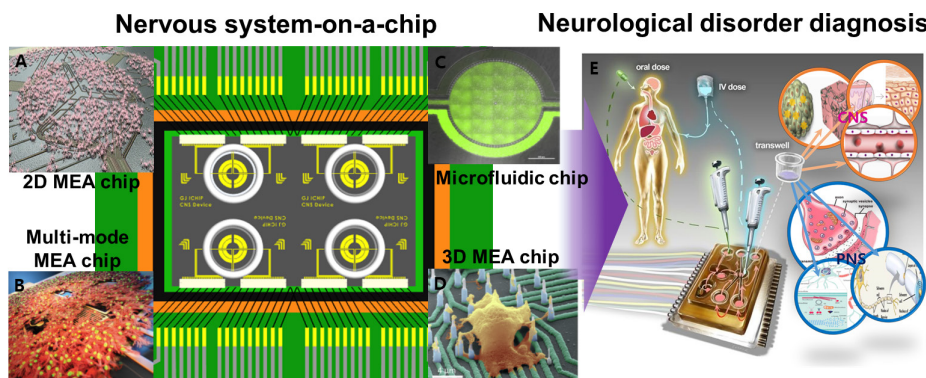


그림 7 Bio-MEMS 기반 디지털 바이오기기 기술동향[10-13]

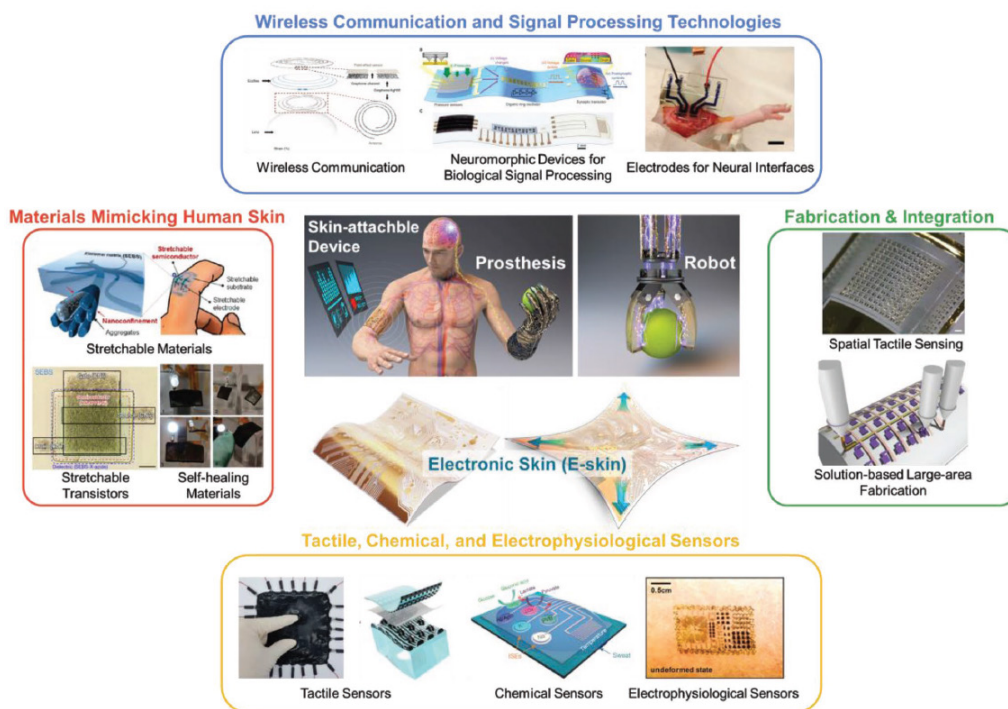


그림 8 Bio-MEMS 기반 전자피부 기술동향[14]

Bio-MEMS 기반 전자피부는 사람의 피부를 모방하여 수직 압력, 인장력, 진동, 유체의 흐름 등 다양한 감각을 인식하고 상처를 자연적으로 치유할 수 있는 능력을 가진 전자 피부 개발에 대한 연구가 관심 받고 있다. 그림 8은 Bio-MEMS 기반 E-Skin센서 제작 및 생체신호 획득을 위한 기술을 정리한 것으로, (좌) 사람의 피부를 모사(자가 치유, 신축성)한 재료, (우) 3D MEMS 기술을 활용한 E-Skin의 제작(3D 프린팅 기술 기반, 반도체공정 기반 촉각 센서), (상)

3D MEMS 기술을 활용한 무선통신 기능 및 생체신호 분석 기술, (하) 기능에 따른 E-Skin센서의 분류(촉각 센서, 화학 센서, 전기생리학 센서)를 도식화[13] 하였다.

Bio-MEMS 기반 단일세포 분리/포획 기술은 각각의 세포로 분리하여 분석함으로써 세포의 이질적인 특성을 이해하고 개별 세포 수준에서의 유전자 발현 변동을 파악하여 보다 정밀한 분석이 가능하다. 액적 미세유체는 미세 유체를 이용하여 단일 세포를 조작하는 방법으로 유체의 압력,

흐름 및 방향 등을 조절하여 세포를 분리할 수 있으며 캡슐화하여 세포가 미세 채널 내에서 고립되도록 한다. 관성 미세유체는 관성력을 이용해서 특정 높은 유속에서 분리할 수 있는 방법으로 세포 손상이 적다는 장점이 있지만 주로 혈액 세포 등 특정 세포 농도에 적용 가능하다. 마이크로 밸브는 온-오프 밸브와 스위칭 밸브를 이용하여 단일 세포를 분리하는 방법으로 외부 제어 장치가 복잡하고 번거롭지만 실제 분리하는 디바이스는 크기가 작고 빠르게 작동할 수 있다. 미세구조 분리는 미세 트랩과 미세 웰과 같은 미세 구조를 기반으로 하여 단일 세포의 크기와 유사한 크기의 미세 구조를 설계하여 층류의 유선을 따라 흐르며 미세 구조에 의해 발생하는 전단력에 의해 포획하는 방법이다.

마지막으로, 영원한 삶이다.

『영원한 삶』은 종교를 넘어 고대부터 내려온 인류의 오랜 꿈이며, 꿈을 실현시키기 위한 연구들이 추진 중에 있음이다. 『메디컬 머신』은 2013년에 개봉한 영화 ‘엘리시움’에 등장하는 홈 케어 의료기기로서 유전자 분석을 통한 질병을 자동 진단/치료 캡슐이다[그림 9].

『원격의료 캐빈』은 프랑스 원격의료 업계의 선두기업인 H4D社의 원격의료시스템으로서 왼쪽에 혈압계, 체온계, 심전도 검사기, 혈당 측정기, 청진기, 안저(眼底) 측정기, 오

토스코프(귀 내부 검사기), 더마토스코프(피부 검사기) 등 14가지 의료 기구가 집적화된 원격진료실이다.[그림 9]

단일세포 통합 분석 시스템은 단일세포 맞춤형 정밀 진단과 고품질, 저비용, 안정적인 방식의 멀티오믹스 정밀 구현과 개인 맞춤 치료법 제시 및 유전자 치료제 제공한다. 그림 10와 같이 특정된 단일세포 분석의 효율적인 포획, 유전자 정제, 증폭, 라이브러리화 등 각 단위 공정의 연계·통합화를 위한 워크플로우 필수요소기술을 개발하고, 인공지능 딥 러닝 기술을 탑재한 연속 공정이 가능한 단일세포 통합 분석 시스템이 개발 중이다.

디지털 3D생체시스템은 디지털 진단-바이오-헬스케어 통합 시스템을 통한 개인 맞춤형 정밀의료 구현하기 위한 시스템이다. 디지털 진단기기를 통한 질병의 정밀진단-디지털 바이오기기를 통한 개인 맞춤 치료제 제작-디지털 헬스케어기기를 통한 치료제 주입 후 예후 모니터링을 통한 진단-치료-예후를 지원 할 수 있는 통합 시스템이다.

3. 결 론

Bio-MEMS 기반 바이오용 반도체 시장은 더 작은 저렴한 의료기기에 대한 수요와 여러 의료 기능의 통합 추이에

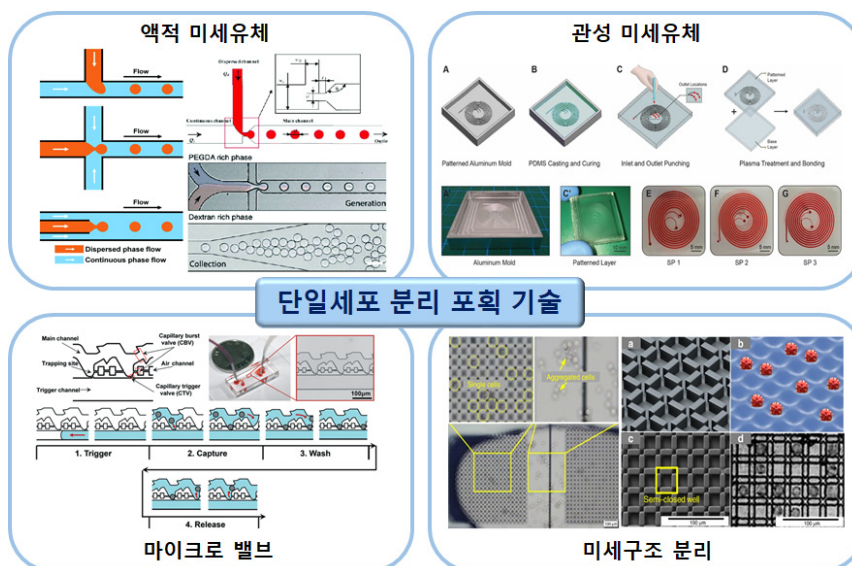


그림 9 Bio-MEMS 기반 단일세포 분리/포획 기술동향[15-19]

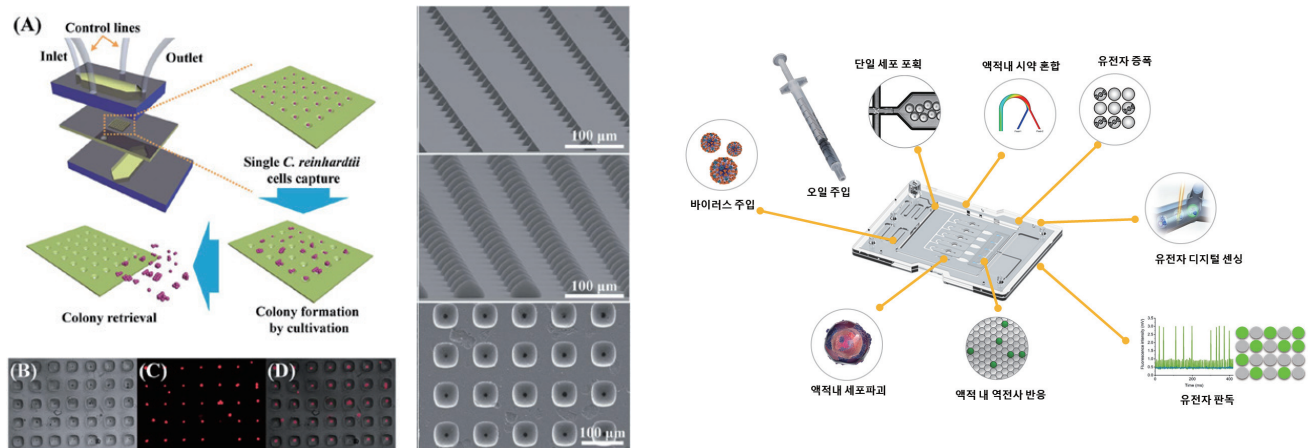


그림 10 Bio-MEMS 기반 단일세포 포획 어레이(왼쪽)[20] 및 단일세포 포획/분석 통합칩(오른쪽)[아이진社]

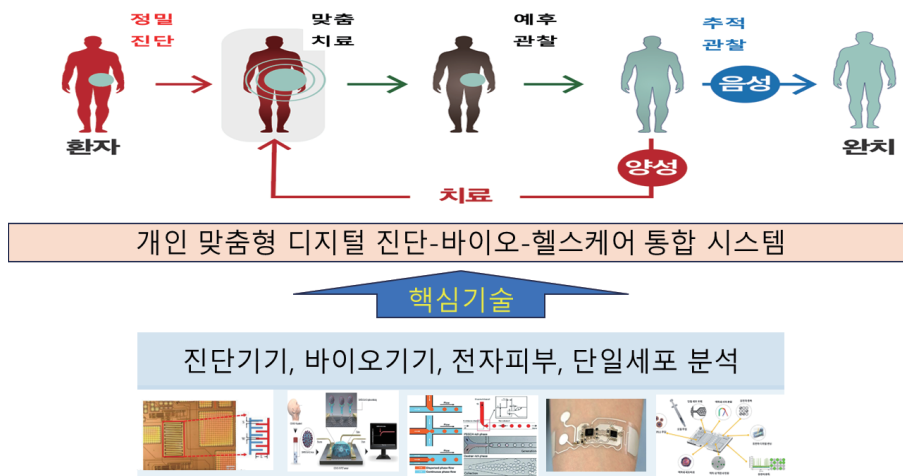


그림 11 개인맞춤형 디지털 진단-바이오-헬스케어 통합 시스템

따라 디지털 진단/바이오/단일세포-유전자 분석/전자피부 등 각 부문별 반도체의 의료용 시장의 성장세가 가파르게 올라갈 것으로 예측된다. 하지만, 글로벌 기업이 시장을 장악하고 있는 분야로서 차별화(틈새시장 및 미래지향 시장)를 통한 글로벌 시장 선점 전략 필요하다.

먼저 코로나-19로 SD바이오센서를 비롯한 국내 진단기기 기업의 글로벌 시장 선점 및 브랜드 가치 상승을 기반으로 틈새시장 공략과 국가적 차원에서 Bio-MEMS 기반 바이오용 반도체 산업 육성 적극적 지원을 통한 K-브랜드 기반 글로벌 미래지향 시장 선점 전략이 필요하다. 또한, 수도권 의료기기 완제품 기업과 지역 제조 산업이 협력하여 단

시간 제품화 및 대량생산화를 통한 공동성장 모델 발굴(SD 바이오센서 & 인타스)일 필요하다고 판단된다.

바이오용 반도체는 반도체 기술을 토대로 사업화가 유망한 분야이나 타 산업과 달리 기술적 요구조건이 높고 복잡하며, 개발 이후 제품화, 임상, 인허가 등 시장 진입까지 장애 요소가 많은 분야로서 규제완화 지원이 필수적이다.

[참고문헌]

- [1] Bio-MEMS Devices Market (2020-2024), Technavio, 2020.09
- [2] 진공 이야기, 제8권 제3호, 2021.12
- [3] 반도체 산업의 가치 사슬별 경쟁력 진단과 정책방향, 산업연구원, 2022.11

- [4] 일본, 바이오전략2020. 통합혁신전략추진회의, 2021.1
- [5] BioMEMS market and technology report, Yole Development, 2020.
- [6] Y. -H. Kuo, Y. -S. Chen, P. -C. Huang and G. -B. Lee, "A CMOS-Based Capacitive Biosensor for Detection of a Breast Cancer MicroRNA Biomarker," in IEEE Open Journal of Nanotechnology, vol. 1, pp. 157-162, 2020, doi: 10.1109/OJNANO.2020.3035349.
- [7] Giwan Seo. "Rapid Detection of COVID-19 Causative Virus (SARS-CoV-2) in Human Nasopharyngeal Swab Specimens Using Field-Effect Transistor-Based Biosensor". ACS Nano 14(2020): 5135-5142. doi:10.1021/acsnano.0c02823
- [8] Sang Hun Kim. "Hierarchically porous PdO-functionalized SnO₂ nano-architectures for exclusively selective, sensitive, and fast detection of exhaled hydrogen". J. Mater. Chem. A, 11(2023): 5135-5142. doi:10.1039/D2TA07130D
- [9] Fang Qian, Simultaneous electrical recording of cardiac electrophysiology and contraction on chip, Lab Chip, 2017, 17, 1732-1739
- [10] Ren Liu, High Density Individually Addressable Nanowire Arrays Record Intracellular Activity from Primary Rodent and Human Stem Cell Derived Neurons, Nano Lett. 2017, 17, 2757-2764
- [11] Tori B. Terrell-Hall, Permeability across a novel microfluidic blood-tumor barrier model, Fluids and Barriers of the CNS 217
- [12] Collin D. Edington, Interconnected Microphysiological Systems for Quantitative Biology and Pharmacology Studies, Scientific Reports volume 8, Article number: 4530 (2018)
- [13] Jun Chang Yang, Electronic Skin: Recent Progress and Future Prospects for Skin-Attachable Devices for Health Monitoring, Robotics, and Prosthetics, Adv. Mater. 2019, 1904765
- [14] Dan Liu. "Single-cell droplet microfluidics for biomedical applications" Analyst 147 11 (2022) 2283-2584 DOI:10.1039/d1an02321g
- [15] Zhaomiao Liu. "Generation of droplets in the T-junction with a constriction microchannel" Microfluidics and Nanofluidics 22 124 (2018) DOI : 10.1007/s10404-018-2144-3
- [16] Hossein Tavassoli. "Label-free Isolation and Single Cell Biophysical Phenotyping Analysis of Primary Cardiomyocytes Using Inertial Microfluidics" small 17 8(2021) 2006176 doi: 10.1002/sml.202006176
- [17] Huichao Chai. "A microfluidic device enabling deterministic single cell trapping and release" Lab Chip 21 2021, 2486-2494, DOI: 10.1039/d1lc00302j
- [18] Jiao Zhai. "A digital microfluidic system with 3D microstructures for single-cell culture" Microsystems & Nanoengineering 6 6 (2020), DOI: 10.1038/s41378-019-0109-7
- [19] Jong Seob Choi, Capture and culturing of single microalgae cells, and retrieval of colonies using a perforated hemispherical microwell structure, RSC Advances. Volume, 4. Issue number, 106. DOIs. <https://doi.org/10.1039/c4ra09730k>.

저자소개

김형진(Hyung Jin Kim)

2002년 경상국립대학교 전자재료공학과 졸업
 2011년 성균관대학교 대학원 졸업(공학박사)
 2023년~현재 울산과학기술대학교 반도체공학과 교수
 2021년~현재 MEMS 표준기술연구회 위원
 주 연구분야 : 바이오용 반도체



ICEE 2024 참관기

강승택 |

대한전기학회 ICEE 한국위원장, 인천대학교



ICEE 2024의 행사장인 북큐슈 국제회의장 건물

대한민국, 일본, 중국, 홍콩이 주축이 된 전기공학 국제학술대회인 International Council Electrical Engineering Conference 2024(ICEE 2024)가 올해에는 6월 30일~7월 4일 기간에 일본에서 개최되었다. 전세계를 정치적으로나 경제적으로 어지럽게 하는 군사작전과 고립화 외교, 기후변화 관련 재난과 자원 분쟁으로 국제활동에 위축감이 드는 때에 본 학술대회의 정상적인 개최에 대한 우려와 기대가 섞여있는 마음을 누구든 가졌으리라. 특히, 물가가 상승한 상황에서 경기의 침체, 엔화의 약세로 지쳐 보이는 일본이라 협력을 통해 참여국끼리 위로하고 힘을 모아주자는 바람도 생기게 되었다. 국방기술 개발과제 수행 상의 업무강도와 인천대에 가져온 과학기술정보통신부 대학연구센터 전파·위성 ITRC의, 이 정부의 예산삭감에 따른 후유증을 극복하며 원래의 계획과 일정에 맞춰 가느라 피곤한 상태에, 시간을 제대로 낼 수 있을지 의심스러웠

다. 그러나, 국제위원장으로서의 역할, ICEE Council의 한국 대표로서의 의무로 인해, 개인적인 체력 상태를 따질 때가 아니라는 생각이 들어, 대한전기학회 사무국을 통해 접수된 개최국의 학술대회 준비팀의 쏟아지는 요청들에 대응하며, 연초부터 1학기 말에 이르러 차근차근 국외출장을 준비하고 있었다. 일본에서의 행사 바로 다음 주가 우리의 대한전기학회의 하계학술대회이고, 2023년 말, 방문한 인도 공학 기술학회(IEI)가 답방 형식으로 보내는 인도 공학자들의 내한은 물론 축하와 투어가 예정되어 국제업무와 ICEE 업무를 동시에 수행하는 상황이었다.

수치해석, 전자회로, 전기자기학, 통신용RF부품설계 수강생들의 성적을 처리하자마자인 그 주 일요일인 6월 30일 대표단인 이병준 회장님, 김용상 C부문회장님, 손진근 I부문회장님, 김래영 교수님, 심재용 교수님, 김정훈 사무국장님, 박소희 과장님의 한국 대표단이 모두 모

여 인천국제공항을 떠나 후쿠오카 공항에 도착했다. 6월인데도 본격 여름 날씨가 한국이나 후쿠오카에 찾아와 있었다. 이는 우리를 기다리는 엄청난 비에 대한 전조였다. 현지 가이드의 차를 타고 기타큐슈 고쿠라 지역에 도착하였다. 큐슈는 전파공학 분야의 국제 Forum인 APMET가 2년마다 열리고 한국의 전기자기학과 안테나 공학의 대표자들이 큐슈대의 야스모토 교수님과 후쿠오카 공대 와타나베 교수님이 초청한 자국의 전문가들은 물론 유럽, 미국, 싱가포르, 홍콩, 중국, 대만의 명망있는 공학자들과 함께 발표와 토론, 문화체험을 즐겨온 곳으로, 늘 오고 싶은 생각이 든다. 특히, 큐슈와 혼슈의 관문이면서, 공업기술의 번창한 이전과 이후에도 존재감이 높은 곳이 북큐슈와 고쿠라 지역이다.

福岡県 北九州市イメージ



북큐슈시의 이미지



Prof. Rae-Young Kim



Prof. Masayuki Watanabe



Dr. Hideki Motoyama



Dr. Feng Xue



Prof. C. C. Chan

ICEE 2024의 기조연설자들



ICEE 2024 포털의 커버사진

현지 가이드가 추천한 좋은 식당에서 식사를 하며 대표단 업무를 함께 수행할 결의를 다졌다.

다음 날인 7월 1일 학술대회의 종이 올랐다. 학술대회 조직위원장인 Masayuki Watanabe 교수의 개회선언에 뒤이어, 일본 전기학회인 IEEJ의 회장인 Shinya Fushimi 박사가 환영사를 낭독하였다. 그 다음, 이병준 회장님을 비롯하여, 참가국 단체들의 대표들이 축사를 전달하였다. 이번 학술대회의 모토는 Transformative Electrical Engineering for Future Society로서 전기계가 산업적 성장과 함께 사회와 환경문제에 더 적극적인 발걸음을 하는 것에 있어, 국경을 넘어도, 해를 넘어도, 연속성을 가져야 한다고 외치고 있었다. 키노트 연사들의 발표에서도 각자의 전문영역이 다뤄지면서도 신재생 에너지가 들어온 전력망의 효율적 관리 기술이 여러 번 등장하였다. 한국의 대표 연사인 김래영 교수님의 발표제목은 'Advanced e-Grid Technologies towards 100% Renewable Electrical Energy System for future Society'이다. 후대의 독자들을 위해 참고로, Masayuki Watanabe 교수는 'Power System Inertia and Stability Monitoring Using Synchrophasor Measurements', Hideki Motoyama 박사는 'Decarbonized Society : Challenges and Solutions for the Future - IEEJ PES R&D Strategic Plan', Feng Xue 박사는 'Development

DAY1 July 1st (Mon.)

	Main Hall	Room A	Room B	Room C	Room D	Event Hall
14:00 - 15:40	SS: Future Power and Energy System Toward Carbon Neutrality		B1: Power System Planning (5) 14:00-15:40	C1: DC Microgrid (5) 14:00-15:40	D1: Power System Apparatus (5) 14:00-15:40	PO1: Poster Session - 1 14:00-15:40
15:40 - 16:10	Coffee Break					
16:10 - 17:50		A2: Engineering Education (4) 16:10-17:30	B2: Electric Vehicles and Power Systems (4) 16:10-17:30	C2: Circuit and Nonlinear Systems (4) 16:10-17:30	D2: Distribution System - 1 (4) 16:10-17:30	

DAY3 July 3rd (Wed.)

	Main Hall	Room A	Room B	Room C	Room D	Event Hall
9:20 - 11:20	PN3: AI in Power and Energy Systems	A6: Energy System Toward Carbon Neutrality (5) 9:40-11:20	B6: Energy Storage System - 2 (5) 9:40-11:20	C6: Power System Operation and Control - 2 (5) 9:40-11:20	D6: Advanced Protection and Maintenance for Power Systems (6) 9:20-11:20	PO4: Poster Session - 4 9:20-11:20
11:20 - 13:00	Lunch					
13:00 - 15:00	PN4: Emerging Technologies for Microgrid	A7: Market and Policy (5) 13:00-14:40	B7: AI and Intelligent System Application (5) 13:00-14:40	C7: Electrical Machines & Smart Appliances (5) 13:00-14:40	D7: Distribution System - 2 (4) 13:00-14:20	PO5: Poster Session - 5 13:00-15:00

DAY2 July 2nd (Tue.)

	Main Hall	Room A	Room B	Room C	Room D	Event Hall
9:00 - 11:20		Tutorial Session*	B3: Renewable Energy - 1 (6) 9:20-11:20	C3: Design and Energy Management in Smart City / Microgrid (7) 9:00-11:20	D3: Power System Dynamics & Stability (6) 9:20-11:20	PO2: Poster Session - 2 9:20-11:20
11:20 - 13:00	Lunch					
13:00 - 15:00	PN1: Advanced Control and Simulation Techniques for Power Systems	A4: Advanced Energy Conversion (6) 13:00-15:00	B4: Renewable Energy - 2 (6) 13:00-15:00	C4: Transportation and Power Electronics (6) 13:00-15:00	D4: Operation and Control in AC Microgrid (5) 13:00-14:40	PO3: Poster Session - 3 13:00-15:00
15:00 - 15:30	Coffee Break					
15:30 - 17:30	PN2: Advanced Distribution System with Transformative Power Electronics Technologies	A5: Electromagnetic Theory and Semiconductor (5) 15:30-17:10	B5: Energy Storage System - 1 (6) 15:30-17:30	C5: Medical Application and Human Support (6) 15:30-17:30	D5: Power System Operation and Control - 1 (6) 15:30-17:30	
*09:00 - 11:20 Tutorial Session: Electromagnetic Standpoints of Power Transfer through Materials of Electric Power Cables.						

ICEE 2024의 논문발표 세션들

and prospect on the adaptive fault defense technology in China's new power system', C. C. Chan 교수는 'New Journey of Energy Revolution and Automotive Revolution'에 대한 발표로써 무대 위에 섰다. 논문 발표는 다음 표와 같이 전기공학의 다양한 분야에 걸쳐 진행되었다.

전력계통과 전력전자 분야에서 단연 많은 논문들이 수록되었다. 작년에 비해 전기기기 분야 특히 모터의 해석과 최적화 기술된 논문들이 소폭 늘었다. 본인은 작년에 이어, Tutorial을 맡아, 무선전력전송과 무선충전을 전기자기학 관점과 매질의 특성의 시각에서 다루어, 홍콩의 HKIE의 부회장으로부터 칭찬을 받고, 대표단 업무뿐만 아닌 학술적 역할로서 기여한 것 같아 뿌듯함이 들었다. 특히, 올해, ICAIC, I2MTC, APEMC와 함께 줄곧 튜토리얼이 이어졌다. 화기애애한 분위기도 있지만, 때로는 치열한 토론이 있는 세션들의 열기를 식히는 대다수가 기다리는 연회가 7월 2일에 우리가 머문 Rhiga Royal Hotel에서 열렸다. 명문 호텔에서의 연회라서 기대가 컸다.

이병준 회장님께서 학술행사를 치른 일본팀과 참가자들을 격려하시기 위해 마이크 앞에 서셨다. 대나무로 만든 현

악기의 연주, 북큐슈가 공해와 오염을 벗어나기 위한 노력을 크게 한 결과인 Green city로의 변모를 축하하는 듯했다. è ICEE 2026을 대비하여, 전력기술과 행사가 치러질 지역의 특색을 겸비한 연회를 기획하는 것을 서둘러야 하겠다는 생각이 들었다. 하계학술대회를 앞두고도 본 대회에 오셔서 소임을 다 하신 이병준 회장님, 바쁘신데도 같이 하신 부문회장님들, ICEE 한국측 위원님들, ICEE 한국측 위원님들 그리고 세심히 일정을 계획한 사무국 담당자께 감사의 말씀 드립니다.



ICEE 2024 연회에서 이병준 회장님과 한국참가자



1921년 창립된 CIGRE(본부 Paris 소재/<https://www.cigre.org>)는 103개 회원국이 참여하는 국제기구로서 전기에너지산업 분야 Global Platform이다. CIGRE는 기여도가 인정받는 전문가를 2년마다 회원국에서 추천받아 6개월간 공적평가 및 검증을 거쳐 후보자 4명을 발굴 후, 선정위원회 (Award Committee)에서 최종 2명을 선정하여 최고의 명예인 CIGRE Medal Award를 수여한다.

2024년 5월 29일 소집된 위원회에서 선정된 수상자 2명에 대한민국의 구자운 한양대 명예교수가 포함되었으며, 6월 중에 60개국이 대표 총회 승인을 거쳐 103개 회원국에 공표된 후, Paris에서 개최되는 2024 CIGRE Session 중 8월 25일 Opening Ceremony에서 수락 스피치 후 아시아인 최초로 수상한다.

구자운 교수는 1984년 프랑스 EDF (Electricity of France) Renardiere Research Center에서 Post Dr. 연구원 시절 CIGRE Society 활동을 시작하였다. 1990년대에도, 기술선진국의 소비시장으로 변방에 존재하던 아시아 태평양지역 국가(AORC)들이 중심 역할을 할 수 있도록 40년 간 정성 어린 헌신과 기여가 인정받아 선정되었다.

CIGRE grants 7 kinds of distinctions in recognition of the services rendered by members



CIGRE Medal 이란?



1.1. CIGRE Award 종류

	Name	Qualification conditions	Nominators	Number of nominees	Frequency
1	CIGRE Medal	Administrative or technical achievement (5 supports letters required)	CIGRE members, National Committees or Administrative Council members	2	Every 2 years
2	Honorary Members	Technical contribution or leadership role in CIGRE activities	Administrative Council members or Technical Council Chair	10	Every 2 years
3	CIGRE Fellow	Lead technical role in the Study Committees	CIGRE members, National Committees	5	Every 2 years
4	TC award	Active participation in Study Committees	Study Committee Chairpersons	1 per SC (16)	Every 2 years
5	Distinguished member	Long collaboration to CIGRE works	National Committees	1% equiv. membership	Every 2 years
6	Thesis award	Paper written by a student based on their research of PhD or MSc thesis	Authors	No limit	Open
7	NGN Significant Contribution award	Age and contribution to CIGRE activities (WG, SC or NGN group)	NC Chairs and SC Chairs	5	Every 2 years
8	CIGRE Women in Energy	Woman CIGRE member, and contribution to CIGRE activities (WG, SC, NC, WIE group)	NC Chairs, SC Chairs and WIE NC Chairs	5	Every 2 years

1.2. CIGRE Awards 절차

	Name	Date of consultation	Deadlines for nominations	Publication media	Form of award
1	CIGRE Medal	Mid October of non-Session year	End of March of Session year	Opening Ceremony, Electra, website	Medal
2	Honorary Members	Mid December of non-Session year	End of April of Session year	Opening Ceremony, Electra, website	Certificate
3	CIGRE Fellow	Mid December of non-Session year	End of April of Session year	Opening Ceremony, Electra, website	Certificate
4	TC award	Mid December of non-Session year	Mid-April of Session year	Study Committee meeting, Electra, website	Certificate
5	Distinguished member	Mid October non Session year	Mid-February of Session year	National Committee event, Electra, website	Certificate
6	Thesis award	Open	Any time	Electra	Publication
7	NGN Significant Contribution award	Mid December of non-Session year	End of April of Session year	Opening Ceremony, Electra, website	Certificate
8	CIGRE Women in Energy	Mid December of non-Session year	Beginning of April of Session year	Opening Ceremony, Electra, website	Certificate

1.3. Medal Awardees (2008년 제정 이후)

Name	Country	Year	CIGRE function
Ja-Yoon KOO	South Korea	2024	Former Chair of the Korean National Committee, active member of CIGRE Administrative Council and outstanding expert in "Insulated cables" and "Materials and emerging test techniques".
Robert George STEPHEN	South Africa	2022	Former CIGRE President, former Chair of Study Committee South Africa 2022 "Overhead lines", former Chair of the South African National Committee, and Editor-in-chief of CIGRE Science & Engineering
Mohamed RASHWAN	Canada	2022	Former Chair of Study Committee B4 "DC systems and 2022 power electronics", former Chair of the Canadian National Committee, and member of the Steering Committee
Richard BEVAN	Australia	2021	Former CIGRE Treasurer and former Chair of the Australian National Committee
Anjan BOSE	United States	2021	Long-standing and outstanding expert in "Power systems operation and control"
Mark WALDRON	United Kingdom	2020	Former Technical Council Chair, and former Chair of Study Committee A3 "High voltage equipment"
Konstantin PAPALIOU	Switzerland	2020	Former Chair of SC B2 "Overhead lines", Chief Editor of CSE
Klaus FRÖHLICH	Switzerland	2018	Former CIGRE President and former Chair of the Technical Committee
Clark GELLINGS	United States	2018	Former Chair of the United States National Committee, 2018 former Chair of the United States National Committee, and former member of the Steering Committee
Narain G. HINGORANI	United States	2016	Former Chair of SC 14 "HVDC links and AC power electronic equipment"
Prabha KUNDUR	Canada	2014	Former Chair Canada NC, former Chair of SC C4 "System technical performance"
Marcio SZECHTMAN	Brazil	2014	Former Chair of SC B4 "HVDC and Power Electronics"
Colin RAY	United Kingdom	2012	Former Chair of SC C1 "System Development and Economics"
André MERLIN	France	2012	Former CIGRE President, former Chair of the Technical 2012 Committee and former Chair of the French National Committee
Jean KOWAL	France	2010	Former CIGRE Secretary General
Heinz-Helmut SCHRAMM	Germany	2010	Former Chair of SC 13 "Switching Equipment"
Aldo BOLZA	Italy	2008	Former CIGRE Technical Committee Chair and former Chair of Study Committee 21 "HV insulated cables"
Joao Guimaraes Ferreira DA SILVA	Brazil	2008	Former Chair Brazil NC, Chair RIAC

인지도 성숙 과정은 어떠하였나? (2024년 이전)

CIGRE (전력망국제기구)는 1921년 프랑스 Paris에서 창립되어, 2024년 현재 103개 회원국이 참가하는 전기에너지 산업분야의 최대 & 최고의 국제기구이다. 또한 IEC의 전기에너지 산업 분야 국제표준 원안을 CIGRE 16개 분야 Study Committee 산하의 250개 Working Group에서 다국적 전문가들이 참여하는 공동연구를 통해 제공하고 있다.

구자윤 교수는 EDF (Electricity of France) Research Center에서 Post Dr. 시절인 1984년 CIGRE Session에 처음으로 참여하여 활동의 중요성을 인식하였다. 1985년 해외과학자 유치 일환으로 KIST에서 선임연구원으로 근무하였고, 1988년 한양대학교 교수로 이직 후 2016년 정년 하였다. 지난 40여년간, 국내기업들의 국제 활동 필요성을 역설하고 참여 설득 노력을 지속하고 있다.

1986년 LS전선 (당시 금성전선)이 국내 중전기기업으로 최초로 CIGRE에 함께 논문발표 후, 2년 마다 2022년까지 LS 전선과 한양대학교 논문을 지속적으로 발표하였다. 아울러 국내기업들과 관련 분야 교수들이 논문발표에 참여하도록 독려하여, 현재 심사를 거친 발표 논문 숫자가 기술 선진국 수준으로 향상되었다.

전기에너지 산업기술 후발주자인 아시아 국가들은 (일본 제외) 1990년대에도 기술선진국의 소비시장으로서 존재의 이유가 부여되었고 국제커뮤니티의 변방에 머물러 있는 상황을 절감하고 여건 개선에 지속적인 노력을 기울였다. 구교수가 택한 트랙은, 기술선진국 리더들을 설득하여 CIGRE 본부에 2000년 AORC (Asia-Oceania Regional Council) 창립을 건의 및 핵심역할을 한 후, 아시아 국가들이 중심이 된 2005년 CMD (Condition Monitoring & Diagnosis) 및 2015년 HVDC Asian Conference를 창립하였다. 오늘날, 아시아를 넘어 40여개 국가가 참여하고 활동하는 Global Community로 성장되도록 이끌었다.

상기 성공 사례를 기반으로 아래와 같이 한국인 최초로 전기에너지 산업 국제커뮤니티의 크고 작은 상을 수상 하면

서 다음과 같이 대한민국의 인지도를 향상시켰다.

2.1. 2021년 8월 23일: CIGRE Honorary Member Award

CIGRE는 개인의 리더십을 발휘하여 세계 에너지 산업 기술 향상에 기여한 회원들을 기억하기 위한 Honorary Member Award를 1992년에 제정하였다. 103개 회원국에서 홀수 년도에 추천되어 심사를 거친 (작수 년도: 1월~6월) 10명 이내의 회원에게 CIGRE General Session (작수 년도) 기간 중에 수여한다.

2021년은 CIGRE 창립 100주년을 기념하기 위하여 5명이 선정되었으며, 아시아 국가에서는 한양대학교 구자운 명예 교수가 유일하고 70년 한국전기산업계 최초의 한국인이다.



2.2. 2023년 8월 30일: Hans Printz Award 수상

1960년대에 들어와 기술선진국 중심으로 전기에너지 시



장은 전력망 확장과 송전전압 상승이 절실해졌고, Technical Solution Provider들에게 Young Engineer 양성을 담당하는 대학의 역할과 참여가 중요하다는 공감대가 확산되었다. 이러한 시대적 변화에 Proactive Role

은 독일이 중심이 되었고 문헌 공대의 Hans Printz 교수님이 앞장서서 1972년에 창립한 국제커뮤니티가 ISH (International Symposium on High Voltage Engineering)이다 (참여국가 50국).

<세계 고전압 공학인상>인 Hans Printz Award는 “세계 고전압공학 분야에 기여가 인정되는 교수를 기억하자”라는 ISH 창립자인 Prof. Hans Printz의 유지를 받들어 2019년도에 제정되어 오스트리아 Gratz 공대 Muhr 교수가 최초의 수상자이다. 1986년 이후 지속적으로 아시아 지역의 관련 여건개선을 이끌어 후발국가들의 시장 진입채널을 넓힐 수 있도록 노력해온 구자운 교수의 Footprint가 평가되어 2023년 수상자로 선정되었으며, 한국 및 아시아의 최초의 교수가 되어 8월 28일 Memorial Lecture를 하였다.

소감

심사과정이 6개월여 지속되고 자료 제출과 검증 절차가 다양해 과연 될까? 생각 했었습니다~

부모님의 올 꿈은 기도에 주님께서 응답 주신 것으로 믿습니다.

대한민국 전기에너지 기술 역량이 향상되었음을 국제사회에서 인정받게 된 계기로서, 최초의 한국인이라 개인의 영광이며, 국내 관련 산업의 해외시장 인지도 향상에 기여할 수 있게 되었다

또한 70세가 넘어서, 한국인 최초로, 전기에너지 산업 관련 Global Society가 수여하는 최고의 상들 Awardee List에 KOREA를 남겨 후학들이 조금 더 편안히 인정받으면서 활동할 수 있는 여건을 조성하게 되었습니다.

저자소개

구자운 한양대 명예교수
대한전기학회 제41대 회장
CIGRE 한국위원회 명예위원장
산자부 제4대 전기위원회 위원장



학회 소식

2024년도 제7차 이사회

일 시 2024년 7월 12일(금) 07:00-08:00

장 소 제주부영호텔 1층 다이아몬드

참석자 이병준, 이준호, 박종배, 문승일, 김석주, 차준민, 홍선기, 김용상, 김경호, 최상열, 손진근, 김구환, 노대석, 이인호, 최효진, 송화창, 최홍석, 이정호, 허 돈, 차한주, 남순열, 정호성, 주성관, 배성우, 우정욱, 조현중, 최승연, 김정주, 한경희, 손성용, 정상용, 강승택, 장길수 (감사)장용무 (이상 34명)

주요 회의 내용

1. 신입회원 승인 : 원안대로 승인 함

- 총 133명 [정회원 26명, 준회원(석사) 13명, 준회원(학부) 88명, 다수년 4명, 제휴 1명, 종신 1명]
- 총무이사로부터 제안 설명을 듣고 원안대로 승인 함.

2. 발전 연구회의 전문위원회 전환(신설) 신설 승인의 건

- 본부 산하 연구회였던 “발전 연구회가 지난 6차 이사회에서 에너지기술 전문위원회로의 전환(신설)을 요청하였으나 명칭이 너무 포괄적임에 따라 심의 보류되었으며, 이에 명칭을 “**발전기술 전문위원회**”로 변경하여 전환(신설)을 재요청”하고 “전문위원회 신설 및 폐지에 관한 규정”에 따라 승인 요청
- 관련하여 기획정책위원회의 사전 검토와 6개 부문회의의 전환에 대한 사전 의견을 묻은 바 이견 없었음.
- 총무이사로부터 제안 설명을 듣고 원안대로 승인함. 아울러 발전기술 전문위원회에 승인 통보 시 관련 규정(전문위원회 신설 및 폐지에 관한 규정)에 따라 3년 기간 동안 한시적으로 유지됨을 알리고 기간 내에 부회 또는 부문회로의 승격(전환)을 위해 노력해 줄 것을 당부하기로 함.

3. IEEE CEFC 2024 국제학술대회 개최 결과 보고

- 일시 / 장소 : 2024년 6월 2일(일)~6월 5일(수) / ICC 제주
- 주관 : IEEE Magnetic Society, 대한전기학회 EMECS 부문회, 충북대학교, 성균관대학교
- 규모 : 22개국 총 360명 (국내 150명, 국외 210명)
- 접수논문 / 발표논문 : 25개국 399편 / 21개국 336편
- 기조강연 발표 3개
- 학생 발표 논문 대상 총 20편의 Best Student Presentation Awards 선정



학회 소식

회원님의 원고를 기다립니다.

우리 학회 잡지인 「전기의 세계」는 회원 모두가 만들어가는 잡지입니다.

원칙적으로 회원 누구나 자유롭게 기고할 수 있는 열린 저자 체제로 운영하고 있습니다.

다만 원고 모집의 어려움으로 담당 편집위원을 연간 계획과 같이 지정하여 원고를 모으고 있을 뿐입니다.

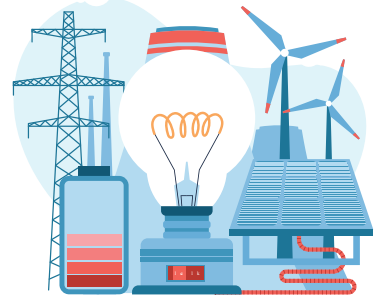
특히, 다음 칼럼에 대한 원고를 널리 모집하며 채택된 원고는 소정의 원고료도 드리고 있습니다.

회원소리 : 전기계, 전기학회에 대한 제언이나 느낀 점을 포함한 임의 내용으로 분량은 A4기준 4면 내외입니다.

회원/회원사 동정 : 회원이나 회원사의 동정을 공지하는 난이므로 동정이나 새소식을 보내주세요.

건강/취미 이야기 : 건강이나 취미에 관련된 내용으로 분량은 A4기준 3면 내외입니다.

- 문의처 대한전기학회 사무국, 송호석
- 전 화 02-553-0153
- E-mail elecjour@kiee.or.kr



학 회 일 지

2024.6.18. ~ 2024.7.18

06.18(화)

6차 기술협의회 (온라인회의)

06.20(목)

6차 학술위원회 (ICC제주)

06.21(금)

4차 I부문 이사회 (학회 회의실)

06.24(월)

회장단 간담회 (나주)

3차 소통위원회 (온라인회의)

06.25(화)

6차 국문지 편집위원회 회의 (온라인회의)

06.26(수)

소통위원회 기자간담회 (학회 회의실)

전기에너지 워킹그룹회의 (학회 회의실)

06.27(목)

ICEMS 한국위원회 (학회 회의실)

07.01(월)

회지 「전기의 세계」 73권 7호(7월호) 발간

국문지 전기학회논문지 73권 7호(7월호) 발간

영문지 영문논문지 19권 5호(7월호) 발간

07.10(수)

제55회 하계학술대회 07.10 ~ 07.13 (ICC제주)

07.11(목)

7차 국문지 편집위원회 회의 (부영호텔)

6차 영문편집위원회 회의 (부영호텔)

2차 학회지 편집위원회 회의 (부영호텔)

7차 학술위원회 회의 (부영호텔)

4차 소통위원회 (부영호텔)

4차 A, B, C, D부문 이사회 (ICC제주)

5차 E, I부문 이사회 (ICC제주)

07.12(금)

7차 본부 이사회 (부영호텔)

편집위원

허 진(편집위원장, 인천대학교)

강창묵(인천대학교)

박형준(한국전자통신연구원)

이일무(한국전기기술인협회)

이기덕(부위원장, 한국전자기술연구원)

강현일(한밭대학교)

오은성(한서대학교)

임동국(울산대학교)

조수연(부위원장, 한국자동차연구원)

노종석(중앙대학교)

유경상(한국에너지기술연구원)

조춘남(한국폴리텍대학)

강동원(중앙대학교)

민찬식(한국폴리텍대학)

이상봉(영남대학교)



구독 안내

회원 가입 안내

☞ 회원의 구분 및 자격

구분	자격
정회원	① 4년제 대학교를 이수한 분 (박사과정 포함) ② 2~3년제 대학 졸업한 후 실무 경력 2년 이상인 분 ③ 고교 졸업 후 실무경력 4년 이상인 분 또는 전기공학 분야의 학술 및 응용에 관하여 상당한 경력이 있는 분
준회원(석사)	전기공학(학과 또는 관련 분야)을 전공하는 대학원 전일제 석사과정 재학 중인 분
준회원(학부)	전기공학(학과 또는 관련 분야)을 전공하는 대학교 학부생으로 재학 중인 분

☞ 입회비 및 연회비

입회비 및 연회비

구분	입회비	연회비	합계
정회원	15,000원	70,000원	85,000원
준회원(석사)	10,000원	40,000원	50,000원
준회원(학부)	면제	10,000원	10,000원

다수년 회원 및 종신 회원 : 정회원으로써 다수년 회비 또는 종신회비 납부를 희망하는 분

구분	입회비	3년	5년	7년	합계
다수년 회원	15,000원	140,000원	210,000원	350,000원	3년 : 155,000원 5년 : 225,000원 7년 : 365,000원
종신 회원		1,050,000원 [15년분 연회비]			1,065,000원

회원의 혜택

1. 학회지 "전기의 세계" PDF 파일 매달 이용 제공
2. 전자도서관: 전기학회 국문논문지(통합권), 영문논문지 2종 (JEET, IJCAS), 학술대회논문 등 열람 권한 부여
3. 학회 및 유관기관의 각종 행사 및 주요 소식 등 정보 제공
4. 하계학술대회 및 부문회 춘·추계 학술발표대회와 각종 학술행사에 참가 및 발표기회 부여
5. 대한전기학회 교육원 교육강좌 수강시 회원 자격 부여
6. 전기공학 및 기술발전에 업적이 있는 회원에게 학회상 수여: 공로상, 학술상, 논문상, 기술상, 표창 등
7. 회원의 학술활동(논문 및 원고)을 학회 발간물에 게재(심사완료 이후) 및 다른 회원에게 홍보할 기회 부여
8. 국내외 학술활동에 관한 정보제공
9. 일정한 자격을 갖춘 회원의 경우 대한전기학회 시니어 회원, 대한전기학회 펠로우(석학)회원 신청자격 부여

회원 가입 절차 및 회비 납부

1. 회원 가입 절차

- ① 대한전기학회 홈페이지에서 온라인 가입 (<https://www.kiee.or.kr>) → ② 입회비와 연회비 납부 → ③ 이사회에서 신규 회원 승인 → ④ 회원 활동

2. 회비 납부 방법 및 문의처

홈페이지 로그인 후 마이페이지에서 입회비 및 연회비 확인 후 결제방법 (카드 또는 무통장) 선택하여 결제 가능

- ① 카드선택: 전자결제 등록된 모든 신용카드는 사용가능
- ② 무통장(온라인 입금) 선택
계좌번호: 수협은행 1010-2175-5210 / 국민은행 349401-04-009338
예금주: 대한전기학회
- ③ 담당 및 문의처: 경영지원팀 최순례 차장, 02-553-0154, member@kiee.or.kr



ATM Profile

Company	(주)에이티엠아이앤씨	CEO	대표이사 진 덕 수
Homepage	http://www.atminc.co.kr	Tel	02-522-4226
On-Line Market	https://smartstore.naver.com/atminc https://www.alltm.co.kr	Fax	02-522-4229
E-mail	atm@atminc.co.kr	Company Type	중소기업
Since	2005.10.17		
Business	전자,전기 통신용측정장비		
Address	서초본사 : 서울특별시 서초구 반포대로 28길 21-12, 재영빌딩 3층 안양지사 (반도체측정 랩 및 교육장) : 경기도 안양시 동안구 흥안대로 427번길 16, 평촌디지털엠패이어빌딩 307호		
Intro	계측장비의 최고 명성과 품질을 가진 (현)Keysight Technologies (구)Agilent Technologies사의 국내 공인대리점으로 다년간 축적된 계측장비 노하우와 솔루션을 보유하고 있는 전문인력으로 구성된 회사입니다.		

업계 베스트 셀러



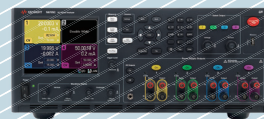
키사이트 B2900 시리즈 SMU
키사이트 PZ2100 시리즈 SMU



EXR 오실로스코프



키사이트
스마트 벤치 에센셜



키사이트 N6705C
전원 공급/분석기

키사이트 데모 전시, 키사이트 장비 교육실, 반도체 측정 랩



계측실험실(DEMO장비 활용)



교육장(SMU,Oscilloscope 이론실습실)



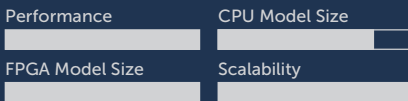
반도체측정실(PZ,SMU,Probe station)

Real-Time Solutions for Every Industry



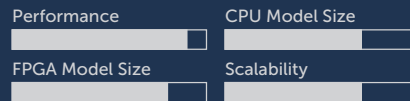
Flagship Real-Time Simulators

OP5707XG



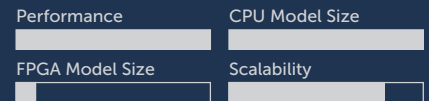
Compact Mid-Range Simulators

OP4610XG



Brute Force Computing

OP5033XG



RT-LAB

RT-LAB enables real-time model simulations with enhanced control, visualization, accessibility, and customization features



Code
Parallelization



Simulink
Integration



Communication
Protocols
& Drivers



Customizable
Dashboards



HYPERSIM

HYPERSIM is a state-of-the-art and extensively field-tested simulation software platform for both power systems and power electronics



3rdParty Software
Compatible



Native Library
Model



Real Time
Visualization



Test
Automation

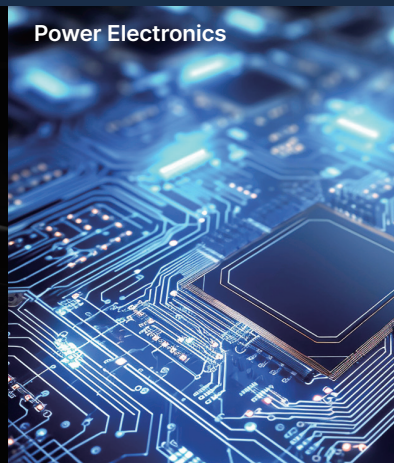
Power System



Automotive



Power Electronics



Aerospace



정확한 설계 완벽한 감리

JH 지화기술단

주식회사
J E E H W A

전 기

전기설계(전문 1종)
전기종합감리
전기안전점검

정보통신

정보통신설계
정보통신종합감리

소 방

소방설계
소방시설물감리

친환경연구

전략기술연구개발
친환경관리방안연구





How to light up the world? Ask HYOSUNG

세상에 힘이 되는 전력기술로 온 세상을 밝히고 있습니다.

효성중공업은 전 세계를 무대로 다양한 에너지 분야에서 고품질의 제품과 서비스를 통해 고객 여러분을 만나고 있습니다. 변압기, 차단기 등 최고 품질의 전력설비와 HVDC, STATCOM, ESS 등 스마트 그리드 솔루션을 통해 전력 전송 기술의 첨단화를 이끌고 있습니다. 고효율 전동기, 풍력용 발전기와 같은 친환경 신재생 에너지의 발전시스템을 제공하여 녹색기술 분야를 이끌어 나가고 있습니다.

‘Global No. 1’을 모토로 글로벌 환경과 미래까지 생각하는 효성중공업은 끊임없는 도전과 혁신을 통해 글로벌 시장을 이끌어 나가고 있습니다.

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

(04144) 서울특별시 마포구 마포대로 119 (공덕동) www.hyosungheavyindustries.com