



09

# 전기의 세계

**기획 시리즈** 대용량 전력변환 기술동향

**자유 기고문** 전기화학 센서 기술 동향

전력망의 재생에너지 수용능력 확대를 위한

풍력 발전 적정 비중과 증가 방안

유방암 조기 발견을 위한 건강 검진

**2023년 제 54회 하계학술대회 개최보고**



대한전기학회  
THE KOREAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

**Digital Twin**

Motor-Generator  
Thruster  
Propeller  
Main Engine  
Clutch  
Electrical Ties  
Hybrid Switchboard  
HMI  
Batteries  
Auxiliary Generator

**HIL606**  
4<sup>th</sup> Generation Flagship

Control HW

SW dev. tools

Power stage

Accessories

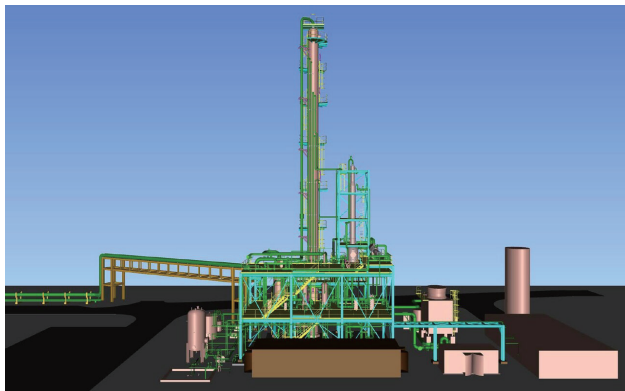




# CONTENTS

The Korean Institute of Electrical Engineers

## 전기계뉴스



전력연-발전 5사, 가스복합화력 CO2 포집 파일럿플랜트 건설 착수 | 5

한전KPS, 대국민 에너지 절약 캠페인 실시 | 5

현대건설, 사우디 525kV 초고압 직류송전선로 수주 | 6

아시아 4개국 간 연료수급 공조 '맞손' | 6

## 기획시리즈 - 대용량 전력변환 기술동향

HILS 기반 제주 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 개발 동향 | 9

MMC 기술의 국산화 | 15

MV급 대용량 전동기 구동용 모듈러 멀티레벨 컨버터 기술 | 20

## 자유기고문

전기화학 센서 기술 동향 | 27

전력망의 재생에너지 수용능력 확대를 위한

풍력 발전 적정 비중과 증가 방안 | 33

유방암 조기 발견을 위한 건강 검진 | 38

## 개최보고

2023년 제54회 하계학술대회 개최보고 | 42

## 학회 소식

학회일지 | 52

# 전기의 세계

KIEE Magazine

Vol. 72, No. 9, September 2023

발행일 2023년 9월 1일  
발행인 이건영  
편집인 허 진  
발행처 사단법인 대한전기학회  
(06130) 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22  
과학기술관 1관 901호  
Tel 02-553-0151 Fax 02-566-9957  
http://www.kiee.or.kr

### 학회 본부 임원

회장 이건영  
차기회장 이병준  
부회장 노대석 이준호 장용무 김태균 유상석 박종배  
이우철 김용상 이정환 최상열 손진근  
박경중 신운용 안승원 오호진 원영진  
협동부회장 이천구 장창익 최중수  
감사 김정태 윤재영  
총무이사 이방욱 한기선  
재무이사 김규호 김슬기  
기획·정책이사 송화창 김정수 정호성 박정욱  
편집이사 장길수 남순열 허 진  
학술이사 정성용 우정욱 윤성욱 주성관  
회원·교육이사 이병국 김원희 배성우 이수연 이수형 조현중  
사업이사 지명식 김석주 배재윤 손성용 송세현  
차한주 최승연  
산학협동이사 김경호 강용성 기유경 김재호 김중남  
남익석 박훈양 유호국 윤순일 이기환  
임철교 정재룡 최옥만  
국제이사 강승택 이교범 허 건  
홍보이사 차준민 김홍섭 문종필 신성수 유희덕 이상복

### 부문화 회장

A부문 회장 박종배 B부문 회장 이우철  
C부문 회장 김용상 D부문 회장 이정환  
E부문 회장 최상열

### 전임 편집인

2016년 이병국 2017년~2018년 정인성  
2019년~2021년 강승택 2022년~2023년 허 진

### 온라인

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

편집·디자인 드림기획 031-705-3812

인쇄 드림기획 031-705-3812

표지 2 미림씨스코

내지 1 에너테크

내지 2 서울데이터시스템

내지 3 한국플루크

표지 3 엠코전자

표지 4 우진기전

### 학회 사무국 직원별 담당 연락처(☎ 02-553-0151~7)

#### 사무국장

김정훈 : 업무총괄, 하계학술대회, D부문화, 산업전기응용부회  
electran@kiee.or.kr ☎ 0156

#### 경영지원팀

팀장 이상필 : 총무, C부문화  
elecproc@kiee.or.kr ☎ 0152

팀원 서영은 : 회원관리, 교육사업, 본부산하 연구회·위원회  
account@kiee.or.kr ☎ 0155

팀원 최순례 : 재무회계, 정보화  
member@kiee.or.kr ☎ 0154

#### 편집팀

팀장 송호석 : 국문논문, 국문논문P, E부문화  
elecjour@kiee.or.kr ☎ 0153

팀원 전필준 : 학회지, A부문화, 연구용역  
jun@kiee.or.kr ☎ 0157

팀원 박소희 : 영문논문(JEET), B부문화, 국제, 여성과학기술위원회  
jeet@kiee.or.kr ☎ 0151

# 고조파 진단 & 하이브리드 변압기



www.enerkeeper.com

(주)에너테크는 **고조파 및 전력품질** 분야에서 20년 이상 축적된 노하우를 바탕으로  
고조파 진단 ▶ 솔루션 제공 ▶ 유지관리 · A/S까지 **One-stop** 서비스를 제공하고 있습니다.

01



진단 & 컨설팅

고조파 진단



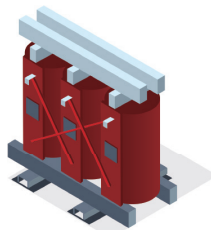
고조파 진단 · 분석  
전기품질 · 효율개선  
에너지절약 컨설팅

02



솔루션 제공

고조파 감쇄 변압기



하이브리드 변압기  
내진형 변압기  
고효율 변압기

고조파 필터



Hybrid 고조파 필터  
능동필터  
수동필터

ESS



피크전력 저감용  
태양광 계통연계용  
비상발전기 대체용

03



유지관리 & A/S

## BUSINESS AREA

### 고조파 진단

고조파 정밀 진단 및 분석

### 하이브리드 변압기

「변압기 + 고조파 감쇄 + 불평형 개선」 기능의 1석 3조 일체형 변압기 | **녹색기술인증**

### 내진형 변압기

업계 최고 수준의 내진성능 (0.8g 이상) | **조달우수제품** | **혁신제품**

### 고조파 필터

경제성 · 효율성 · 내구성 향상 제품

### ESS

피크전력 저감용



**etap**<sup>®</sup>  
Powering Success

**PSMS** Power System Monitoring & Simulation

**ADMS** Advanced Distribution Management System

**EMS** Energy Management System

**ILS** Intelligent Load Shedding

**GLOBAL**  
No. 1 SOLUTION

CONSULTING - SPECIFYING  
**engineer**

—2023  
**PRODUCT**  
OF THE YEAR

ArcSafety<sup>™</sup>

ePPC<sup>™</sup>

DEMO KIT



DEMO Server



**etap**<sup>®</sup>

Electrical Power System Analysis  
& Operation Software

**모든 전력산업 중심엔 ETAP이 있습니다.**

ETAP은 전세계 전력분야 대표기업들이 사용하고 그 우수함을 가장 인정받고 있는 전력시스템 솔루션입니다.



**35**  
★ ★ ★

(주)서울데이타시스템은 ETAP의 대한민국 공식공급사로 35년이 넘는 기간에 전력시스템 산업현장의 발전을 위한 핵심 소프트웨어를 제공하고 있으며, 항상 고객의 힘과 능력이 되려고 노력하고 있습니다.

We provide the best SOLUTION for 35 years.

구매문의 : 02)2649-9345 | [etap@esds.co.kr](mailto:etap@esds.co.kr)

전력 품질 연구를 빠르게 수행하는

# Fluke 1770 시리즈 3 상 전력 품질 분석기

- 500 개 이상의 전력 품질 매개변수 자동 측정
- 측정 결선 자동 고침으로 손쉬운 측정 지원
- 보고서 작성에 용이한 분석 소프트웨어
- 고속 전압 과도 현상 캡처
- 국제 표준 IEC 61000-4-30 ClassA Edition3 준수
- 외부 전원 없이 측정 회로에서 직접 전원 공급



| 적용 분야                            | 1773 | 1775 | 1777 |
|----------------------------------|------|------|------|
| 에너지 조사 및 부하 테스트                  | ●    | ●    | ●    |
| 고조파 조사                           | ●    | ●    | ●    |
| 불필요한 회로 차단기 트리핑                  |      | ●    | ●    |
| 전기 설비 전력 품질 조사                   |      | ●    | ●    |
| 과도 현상으로 인한 장비 고장 발견              |      | ●    | ●    |
| 20MHz 샘플링 기능으로 빠른 과도 현상을 세밀하게 캡처 |      |      | ●    |

Keeping your world up and running.™

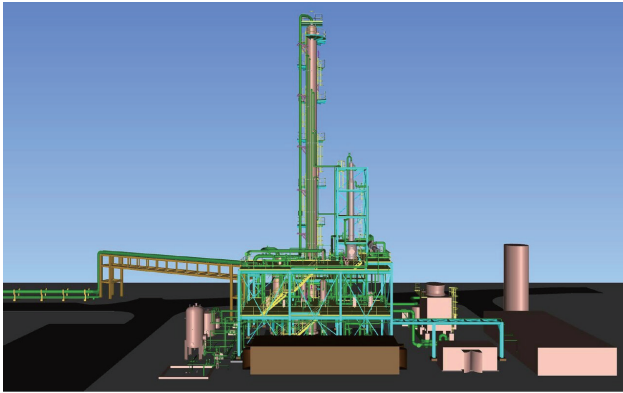
**FLUKE**®



## 전기계 뉴스



### 전력연-발전 5사, 가스복합화력 CO2 포집 파일럿플랜트 건설 착수 국내최초 가스복합화력발전소에 CO2 포집기술 실증



울산발전본부 가스복합발전소 연소 후 습식 CO2 포집 실증설비 조감도.

한전 전력연구원(원장 이종호)은 동서발전, 남동발전, 중부발전, 서부발전, 남부발전 등과 함께 ‘습식아민 CO2 포집-압축액화 파일럿플랜트’ 건설에 착수했다고 16일 밝혔다.

울산발전본부 가스복합발전소를 대상으로 하루 10톤의 CO2를 포집할 수 있는 규모다.

석탄화력을 가스복합발전으로 대체하는 연료전환 정책에 따라 오는 2036년에는 전력설비 실효용량의 44.2%를 LNG가 차지할 것으로 전망되고 있다.

가스복합발전은 온실가스 배출량이 석탄발전의 약 45%로 적은 수준이지만 발전 규모가 증가하면 CO2 배출도 증가할 수밖에 없어 CO2포집 등의 온실가스 감축기술이 필요하다.

이와관련, 전력연구원은 2021년부터 ‘LNG 발전의 연소 후 습식 CO2

포집기술 개발 및 격상설계’ 정부과제를 주관하고 있다.

해당 연구를 통해 전력연구원은 동서발전 울산발전본부 내 제4복합발전소와 연계해 건설하는 습식아민 CO2 포집-압축액화 파일럿플랜트 설계를 도출했다.

가스복합발전소의 배기가스는 이산화탄소 농도가 3~4% 수준으로 석탄화력, 철강, 시멘트 산업과 비교하면 상대적으로 CO2 포집의 기술적 난이도가 높다.

전력연구원에서 설계한 파일럿플랜트는 순도 99.9%의 CO2를 90% 이상의 높은 효율로 포집할 수 있기 때문에 온실가스 절감 효과가 클 것으로 기대되고 있다.

가스복합발전의 탄소포집 실증설비 건설을 위해 전력연구원은 핵심기술인 흡수제를 개발하고, 포집 공정을 최적화할 계획이다.

또 동서발전을 비롯한 발전5사는 포집설비와 발전소의 연계를 최적화하고, 한국전력기술은 실증설비의 기본설계를 지원할 계획이다. 현대중공업파워시스템은 실증설비 상세설계와 건설을 담당하게 된다.

전력연구원은 2024년 하반기까지 파일럿플랜트를 완공하고 시운전에 돌입할 계획이다. 이를 통해 포집에 필요한 에너지사용량을 최소화하고 고효율, 저비용을 위한 운전조건과 설비규격을 개발할 계획이다.

또 2025년까지 50만톤 CO2/년의 대규모로 설비를 격상하고 향후 파일럿플랜트를 활용해 생산된 이산화탄소는 인근지역의 CO2 활용설비 등에 사용될 예정이다.

전력연구원 관계자는 “가스복합발전소의 CO2 포집기술 실증설비는 온실가스 감축과 동시에 안정적으로 전력을 공급할 수 있는 탄소중립 실현의 핵심 연구시설”이라며 “설비건설 및 실증을 통해 온실가스 감축과 친환경 발전설비 확대에 기여할 것”이라고 말했다.

### 한전KPS, 대국민 에너지 절약 캠페인 실시 ‘전 국민 하루 1kWh 줄이기’ 범국민 동참 호소



한전KPS는 14일 광주송정역에서 ‘하루 1킬로와트시(kWh) 줄이기 캠페인’을 진행했다. 한전KPS 김홍연 사장(오른쪽에서 두번째)이 광주송정역을 이용하는 시민에게 에너지 절약 안내문과 홍보물품을 전달하고 있다.

발·송전 설비 정비 전문회사인 한전KPS(사장 김홍연)는 14일 광주송정역에서 ‘전 국민 하루 1킬로와트시(kWh) 줄이기 캠페인’을 진행했다.

이날 캠페인은 연일 지속되는 폭염 속에서 ‘하루 1kWh 줄이기’의 범국

민 동참과 함께, 각 가정과 상점에서 에너지효율 향상을 통한 에너지절약 문화 확산을 위해 진행됐다.

한전KPS 김홍연 사장을 비롯한 임직원은 광주송정역과 주변 상가를 방문해 시민들을 대상으로 ▲여름철 실내 적정온도 유지하기 ▲사용하지 않는 조명 소등 및 전자제품 플러그 뽑기 ▲에너지소비효율 1등급 제품 사용하기 등의 생활 속 실천 방법 안내문과 홍보물품을 배포하면서 에너지절약 동참을 적극 호소했다.

한편, 한전KPS는 지난 5월부터 본사 및 전 사업소 직원들 대상으로 ▲사내 대기전력 차단 캠페인 ‘중고마(중요한 건 PC/조명/대기전력을 끄는 마음)’ ▲에너지 절약 캠페인 ‘에너지 다이어트 10’(여름철 사내 전력 사용량 10% 감축) ▲잔반줄이기 캠페인 ‘350ppm(하루 3끼, 주 5일, 잔반 0)’ ▲다회용품 사용 독려 캠페인 ‘용기나요’와 같은 직원 참여형 환경경영 실천 캠페인을 실시해 에너지 절약문화 확산에 앞장서고 있다.

한전KPS 김홍연 사장은 “전국민이 에너지 절약 문화에 동참할 수 있도록 에너지 공기업으로서 모범을 보이고 에너지 절약 문화를 지속적으로 선도할 것”이라며 “여름철 전력수급대책 기간 동안 완벽한 발·송전 설비 정비로 안정적인 전력공급에 만전을 기할 것”이라고 말했다.



## 전기계 뉴스



### 현대건설, 사우디 525kV 초고압 직류송전선로 수주 안부-네움시티 잇는 525kV 초고압직류송전선로(HVDC) 프로젝트 수주

사우디 전력청이 발주한 송전선로 공사 계약 서명...  
1억4500만달러 규모  
사우디 송변전 분야에서 약 70여 개 프로젝트 수행



현대건설이 수행한 사우디 리아드 380kV 송전선로  
건설 프로젝트 사진. (제공=현대건설)

현대건설이 사우디 초고압 직류송전선로(HVDC) 공사 수주로 아미랄 프로젝트에 이어 연이은 수주 소식을 전하며 해외건설 핵심시장인 사우디아라비아에서 K건설의 입지를 더욱 견고히 다졌다.

현대건설은 지난달 31일(현지시간) 사우디 중부 전력청(SEC-COA)이 발주한 1억 4500만 달러(한화 약 1850억원) 규모의 '사우디 네움-안부 525kV 초고압직류송전선로 건설 프로젝트'의 계약을 체결했다고 밝혔다.

'사우디 네움-안부 525kV 초고압직류송전선로 사업'은 사우디 서부 해안의 전력 생산거점인 안부 지역에서 네움 신도시까지 총 605km 구간에 초고압직류송전선로를 구축해 전력망을 확충하는 프로젝트다. 현대건설은 이 가운데 207km의 송전선로와 450여 개의 송전탑을 신설하는 포선1 사업을 수행하며 2027년 7월 완공 예정이다.

초고압직류송전은 발전소에서 생산된 교류(AC)전력을 고압 직류로 변환해 목적지까지 송전하는 기술이다. 교류 송전에 비해 원거리 송전에 따른

에너지 손실이 적고, 주파수 상관없이 교류 계통 간 호환이 가능해 안정성과 효율성 측면에서 뛰어나며 특히 태양광, 해상풍력 등 신재생에너지 송전에 유리해 차세대 송전기술로 주목받고 있다.

사우디 전력청이 발주한 다수의 전력망 사업을 성공적으로 수행하며 굳건한 신뢰관계를 구축해 온 현대건설은 이번 프로젝트를 설계·구매·건설 등 사업 전 과정을 일괄 수행하는 턴키(Turn Key) 방식으로 수주함으로써 세계적인 기술력과 설계·조달·시공(EPC) 역량을 재입증했다.

한편 현대건설은 지난 1976년 사우디에서 첫 송전선로 공사에 착수한 이래 약 50여 년간 총 33건의 송전선로 프로젝트를 성공적으로 완수했으며, 하일-알주프 380kV 송전선로 등 현재 수행 중인 사업을 포함하면 현대건설이 사우디에 건설하는 전력망은 총 2만 여km, 지구 반 바퀴 길이에 달한다.

특히 현대건설은 사우디 최초의 초고압직류송전선로인 500kV HVDC 공사 이래 이번 525kV 프로젝트도 수행함으로써 사우디 전력망 확장을 선도해나가고 있다.

이밖에도 사우디 단일 최대 규모의 초고압 변전소인 뉴주베일 380kV 변전소를 준공(2019년)한 데 이어 라파 지역 변전소와 쇼아이바 변전소 확장 공사 등 약 70여 개의 프로젝트를 수행하며 사우디 송변전 분야에서 두각을 나타내고 있다.

현대건설 관계자는 "1975년 사우디 건설시장에 처음 진출한 이래 현대건설은 사우디 정부 및 발주처의 신뢰를 기반으로 아미랄 프로젝트 및 네움 러닝터널 등 16개의 대규모 프로젝트를 안정적으로 수행하고 있다"며 "신재생에너지 그리드 산업의 핵심으로 주목받고 있는 초고압직류송전선로 사업을 성공적으로 수행해 사우디 전력망 확충에 기여하고, 나아가 탄소중립 전력 인프라 분야에서의 입지 또한 확대해 나갈 것"이라고 밝혔다.

### 아시아 4개국 간 연료수급 공조 '맞손'

남동발전, '제38차 아시아 연료처장회의' 참석...연료수급 위기 공동 대응  
조석진 처장 "에너지산업 환경변화에 따른 유연한 공조 대상 확대" 제안

남동발전을 포함한 아시아 4개국 에너지 기업들이 글로벌 연료 수급 위기 발생시 신속한 대응을 위한 공조를 강화하기로 했다.

한국남동발전(사장 김희천)은 최근 말레이시아에서 열린 '제38차 아시아 연료처장회의'에 참석했다고 22일 밝혔다.

이번 회의는 남동발전을 비롯해 대만전력, 일본 J파워, 말레이시아 TNBF 4개국 연료구매 책임자들이 참석한 가운데 개최됐다.

이번 회의에서 참석자들은 각국의 연료수급 현황과 구매현황 등 정보를 공유하고, 글로벌 연료 수급 위기발생에 공동으로 대응할 수 있는 정보 공유 체계를 강화하기로 했다.

실제 지난해 발생한 인도네시아 유연탄 대외 수출금지, 러시아와 우크라이나 전쟁과 같은 국제 정세변화에 따른 글로벌 연료 수급 변동성이 커질 수 있어 아시아 최대 연료 구매그룹 간의 공조 확대는 어느 때보다 중요한 시점이라는 게 남동발전 측의 설명이다.

이에 각국의 연료 조달 책임자들은 이번 회의를 통해 국제 이상동향 발생시 수시로 상황을 공유할 수 있는 실시간 대응체계를 마련키로 했다.

또한 이번 회의에서 무탄소 연료 공급원으로 각광받는 수소, 암모니아 조달에 대한 각사의 도입계획을 공유하는 등 친환경 연료까지 안전을 확

대하기도 했다.

이 자리에서 남동발전은 에너지산업의 환경변화에 따라 유연하게 연료 수급 공조대상을 확대하는 것을 제안했다.

조석진 남동발전 조달계약처장은 "유연탄 가격은 지난해 9월 정점인 466달러에서 지속 하락해 현재 140달러 수준을 유지하고 있지만, 대외적 여건에 따라 언제라도 급등할 수 있다"면서 "앞으로도 국제동향에 민첩하게 대응하며 안정적 경제적으로 연료를 구매하기 위한 노력을 기울이겠다"고 말했다.

한편 아시아 연료처장회의는 1981년 동아시아 전력 3사인 한전, 대만 전력, 그리고 J-Power의 전신인 일본전원개발(EPDC)이 유연탄 구매 및 수송업무 등 관련 정보의 상호 교환을 위해 정례 회의체를 만들기로 합의해 시작했다. 2001년 이후에는 남동발전이 한국을 대표해 계속 참가해 오고 있으며, 2010년부터는 말레이시아의 국영 연료공급 회사인 TNBF가 참여해 4개국이 번갈아 개최하고 있다.



조석진 남동발전 조달계약처장(앞줄 왼쪽 두 번째)을 비롯해 제38차 아시아 연료처장회의에 참석한 연료구매 책임자들이 회의를 마치고 기념촬영을 하고 있다.(제공=남동발전)



기획시리즈

# 대용량 전력변환 기술동향

HILS 기반 제주 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 개발 동향

MMC 기술의 국산화

MV급 대용량 전동기 구동용 모듈러 멀티레벨 컨버터 기술



# 대용량 전력변환 기술동향



담당 편집위원

이귀준 교수  
한국교통대학교 전기공학과



대한전기학회 회원 그리고 독자 여러분 인사드립니다. 저는 한국교통대학교 전기공학과에서 신재생에너지 및 스마트그리드와 관련된 전력변환 및 안정도 분석 연구 등 전력전자 관련 연구를 하고 있는 이귀준입니다.

이번 기획시리즈의 주제는 “대용량 전력변환 기술동향”입니다. 현재 탄소 중립이라는 목표하에 신재생에너지 발전량이 지속적으로 증가하고 있으며, 10차 전력수급기본계획에 따르면, 이러한 추세는 앞으로도 지속될 것으로 예상되고 있습니다. 하지만 이러한 상황은 전력계통의 수급 불균형, 주파수 안정도 저하와 같은 전력계통의 안정성과 전력품질 확보에 어려움을 야기시키며, 이를 해결하기 위해 정부는 제4차 에너지기술개발계획에 따라 신재생에너지 수용성 확보를 위해 MVDC 직류배전 운영 시스템 기술 확보를 제시하고 있고, 제3차 지능형전력망 기본계획에 따라 분산에너지 계통 접속 확대를 위한 그리드포밍 및 MVDC 핵심 기술개발 사업을 추진할 전망입니다. 따라서 이를 실현하기 위한 대용량 전력변환 기술은 필수적이며, 본 기획시리즈에서는 이러한 상황을 반영하여 대용량 전력변환 기술동향 원고 세 편을 소개하고자 합니다. 초빙한 세 편의 원고는 “HILS 기반 제주 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 개발 동향(한전 전력연구원)”, “MMC 기술의 국산화(효성중공업)”, “MV급 대용량 전동기 구동용 모듈러

멀티레벨 컨버터 기술(한국전기연구원)”의 원고 제목으로 기고되어 있습니다.

첫 번째, “HILS 기반 제주 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 개발 동향” 원고는 한전 전력연구원에서 개발 중인 HILS 기반 대용량 전력변환 설비 제어 성능 분석 플랫폼을 소개하며, 향후 제주도 계통의 안정적인 운영을 위한 HVDC 운전 전략 개발 및 고방 분석 등의 연구에 활용될 수 있을 것으로 기대됩니다.

두 번째, “MMC 기술의 국산화” 원고는 효성중공업이 수행한 MMC 기반의 HVDC, MVDC 시스템과 STATCOM 프로젝트를 설명하며, MMC 기술의 국산화 과정을 소개하고 있습니다.

세 번째, “MV급 대용량 전동기 구동용 모듈러 멀티레벨 컨버터 기술” 원고는 MMC 기반 대용량 고압 전동기 구동 시스템에서 전동기의 기동 및 저속 영역과 서브 모듈 커패시터 전압의 변동폭과의 상호 영향을 분석하고, 추가적인 보조 회로를 통해 전압 변동을 제한하는 방법을 소개하고 있습니다.

이번에 준비한 9월호 기획시리즈가 대한전기학회 회원분들에게 대용량 전력변환과 관련된 유익한 정보를 제공하고 조금이나마 도움이 될 수 있기를 진심으로 기원하며, 이만 소개 글을 마치도록 하겠습니다.

감사합니다.

# HILS 기반 제주 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 개발 동향

## Development of HILS-based HVDC control performance analysis platform

김시환 | 한전 전력연구원

Kim, Si-Hwan | KEPCO Research Institute



### 요약

본 고는 대용량 전력변환 설비의 안정적인 실계통 적용 및 운용을 위해 한전 전력연구원에서 개발 중인 HILS 기반 대용량 전력변환 설비 제어 성능 분석 플랫폼에 대해 소개한다. 제주 #1 HVDC 제어 시스템과 동등한 성능을 갖는 제주 #1 HVDC 제어 시스템 복제모델의 개발 사항을 소개하고, HILS 플랫폼 구축을 통한 대용량 변환설비 제어 기능 및 성능 검증 내용을 소개한다. 개발된 제주 #1 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼은 향후 제주도 계통의 안정적인 운영을 위한 HVDC 운전 전략 개발 및 고장 분석 등의 연구에 활용될 계획이다.

### Abstract

This paper introduces the development of a HILS-based high power conversion facility control performance analysis platform by the KEPCO Power Research Institute for stable application and operation of high power converter. The development of the Jeju #1 HVDC control system replication model with the same performance as the Jeju #1 HVDC control system is introduced, and the control function and performance verification of high power converter through the establishment of the HILS platform is introduced. The developed Jeju #1 HVDC control performance analysis platform will be used for research such as development of HVDC operation strategies and failure analysis for stable operation of the Jeju Island grid in the future.

## 1. 서론

신재생 에너지에 대한 관심과 적용이 늘어감에 따라 국내 계통에서도 신재생 에너지의 발전량이 지속적으로 증가하고 있다. 10차 전력수급기본계획에 따르면 영국, 프랑스, 독일 등 유럽 주요 국가를 중심으로 전세계적으로 재생 에너지 발전량 비중은 계속 증가할 것으로 예상되며, 국내 신재생 에너지 발전량 비중도 계속 증가할 것으로 예상된다[1].

재생 에너지 기반 발전 설비들이 증가함에 따라 탄소 중립이라

는 목표에 한 걸음 더 다가설 것으로 예상되지만, 한편으로는 국내 계통의 수급 불균형, 주파수 안정도 저하 등과 같은 계통 불안정성에 대한 우려도 나오고 있는 실정이다.

제주도 계통은 국내에서 신재생 에너지의 비중이 가장 높은 지역 중 하나이다. 2021년 기준 신재생 에너지의 발전량은 제주 계통 전체 발전량의 39%로 가장 높은 비중을 차지하고 있다[1]. 또한, 2036년까지 신재생 에너지 발전 설비 계획이 확정됨에 따라 신재생 에너지 발전량은 더욱 증가할 것으로 예상된다.

제주도 계통에 신재생 에너지 발전량이 증가함에 따라 신재

생 에너지의 변동성과 간헐성으로 인한 제주 계통의 주파수 안정도에 관한 우려, 그리고 신재생 에너지 발전 제약과 같은 이슈들이 지속적으로 나타나고 있다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안 중 하나로 제주도와 육지 계통을 연계하기 위해 설치된 HVDC(High Voltage Direct Current) 시스템을 활용하는 방법이 있을 수 있다.

HVDC는 제주도에 전력을 공급하기 위해 설치되었다. 현재는 HVDC 1호기와 2호기가 제주 계통과 육지 계통을 연결하고 있고, 주파수 제어를 통해 제주 계통의 주파수 안정도에 기여하고 있다. 추가적으로 도입될 예정인 HVDC 3호기는 전압형 시스템으로 도입될 예정으로 전류형 HVDC 대비 빠른 속응성으로 제주 계통 안정도에 많은 기여를 할 것으로 예상된다.

전력연구원 송변전연구소에서는 제주 계통의 안정도 향상을 위해 대용량 전력변환 설비인 HVDC의 실계통 운영 전략을 수립하고 있다. 실계통에서 운영되는 계통 연계형 전력 변환설비의 운영 전략은 실계통 도입 전 모의 시험을 통해 충분한 검증이 반드시 이루어져야 한다. 특히, HVDC와 같은 대용량 전력전자 기반 설비의 경우 실계통에서 성능 시험을 수행하기 어려우므로 계통에 적용하기 전 반드시 실제와 유사한 환경을 구축하여 제어기의 기능과 성능을 검증한 후 현장에 적용하여야 한다.

본 고에서는 실제 제주 계통과 유사한 환경에서 HVDC의 제어 전략을 수립하기 위해 전력연구원 송변전연구소에서 개발 중인 HILS(Hardware-in-the-Loop Simulation) 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 검증 플랫폼 개발 현황에 대해 소개한다. 먼저, HVDC 제어 플랫폼의 H/W 구조에 대해 소개하고, HILS를 위한 실시간 해석 모델 구현 내용에 대해 소개한다. 마지막으로 HILS 기반 제어 성능 검증 결과에 대해 간략히 소개한다.

## 2. HILS 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼

### 2.1 HILS 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 분석 플랫폼 H/W 구성

전력연구원에서는 제주 계통에 연계되어 있는 HVDC의 실시간 해석 및 운영 전략 수립을 위하여 국내 기술로 제주 #1 HVDC

제어기 복제모델 개발 전략과 활용 방안을 수립하여 자체적으로 제어 시스템을 개발해 왔다[2]. 앞선 언급된 바와 같이 대용량 전력변환 설비의 제어 시스템 성능 검증을 위해서는 실계통과 유사한 환경에서의 시험이 필요하다. 이러한 시험을 수행하기 위해 전력연구원에서는 그림 1과 같이 HILS 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 검증 플랫폼을 구축하였다.

제주 #1 HVDC 제어기 복제모델은 제주 변환소와 해남 변환소에 있는 제어 시스템을 분석하여 실제와 동등한 성능을 갖도록 개발되었으며, 그림 1에서 RTDS(Real Time Digital Simulator)의 양쪽에 위치해 있다. 각 제어 시스템은 제어 기능을 수행하는 제어기 큐비클과 RTDS로부터 제어 변수들을 측정하는 측정 큐비클로 구성되어 있다.

그림 1의 중앙에 위치한 RTDS에서는 싸이리스터 밸브를 포함한 주요 전력변환 설비의 실시간 해석 모델을 구현하여 실제 HVDC 시스템과 동등한 특성을 확인할 수 있도록 하였으며, 제주 계통의 실시간 등가 모델도 구현하여 제주 #1 HVDC의 제어 및 운전 전략이 제주 계통에 미치는 영향을 확인할 수 있도록 하였다.

실제 제어 시스템은 현장의 전력변환 설비로부터 전압과 전류 등 제어 신호들을 직접 측정하지만 HILS 기반 플랫폼에서는 RTDS로부터 신호들을 추출하기 때문에 제어 시스템과 RTDS를 연계하기 위한 인터페이스 장비들이 필요하다. 그림 1에서 RTDS 양 옆에 위치한 인터페이스 장비들은 RTDS와 제어 시스템을 연결하여 제어 신호를 측정할 수 있게 도와준다.



그림 1 HILS 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 검증 플랫폼 H/W

### 2.2 제주 #1 HVDC 성능 검증 플랫폼 실시간 해석 모델

그림 2는 제주 #1 HVDC 제어기 복제모델과 연계되어 제어 성능을 검증하기 위해 RTDS 내에 구현된 300MW 정격의 제주 #1 HVDC 시스템 실시간 해석 모델이다. 실시간 해석 모델에는



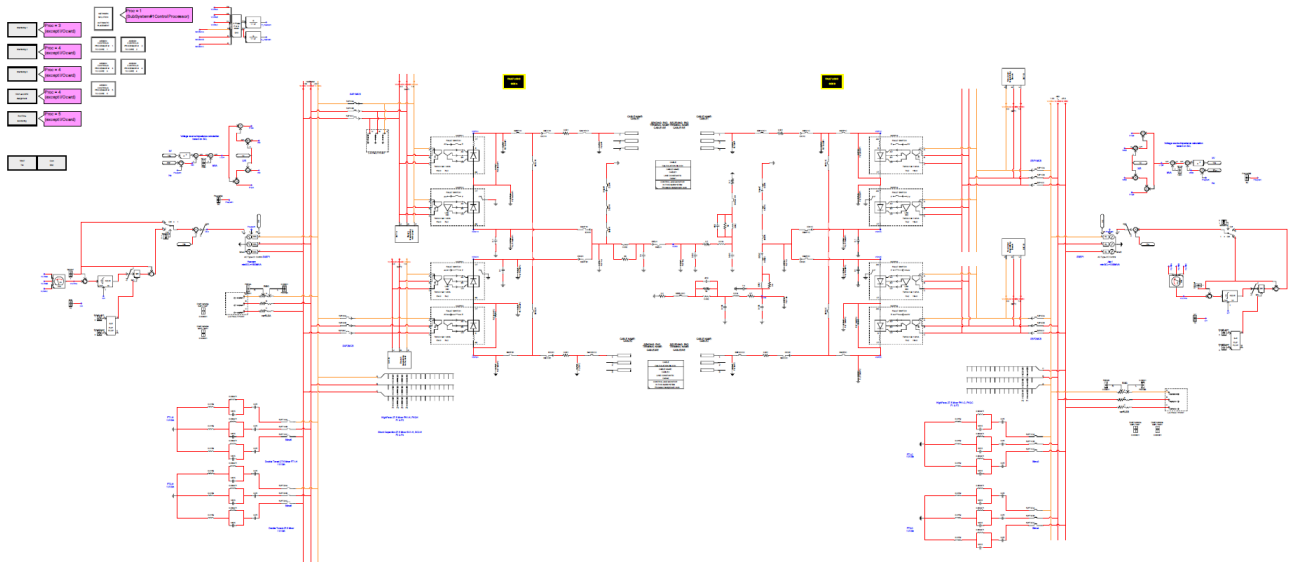


그림 2 제주 #1 HVDC 실시간 디지털 해석 모델

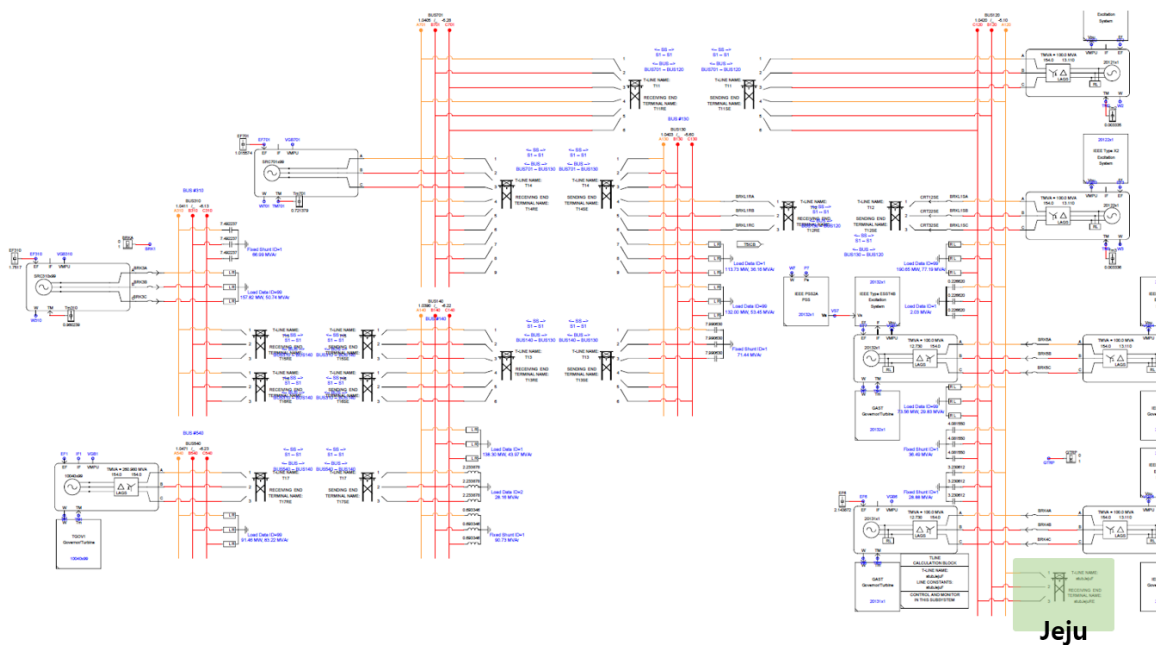
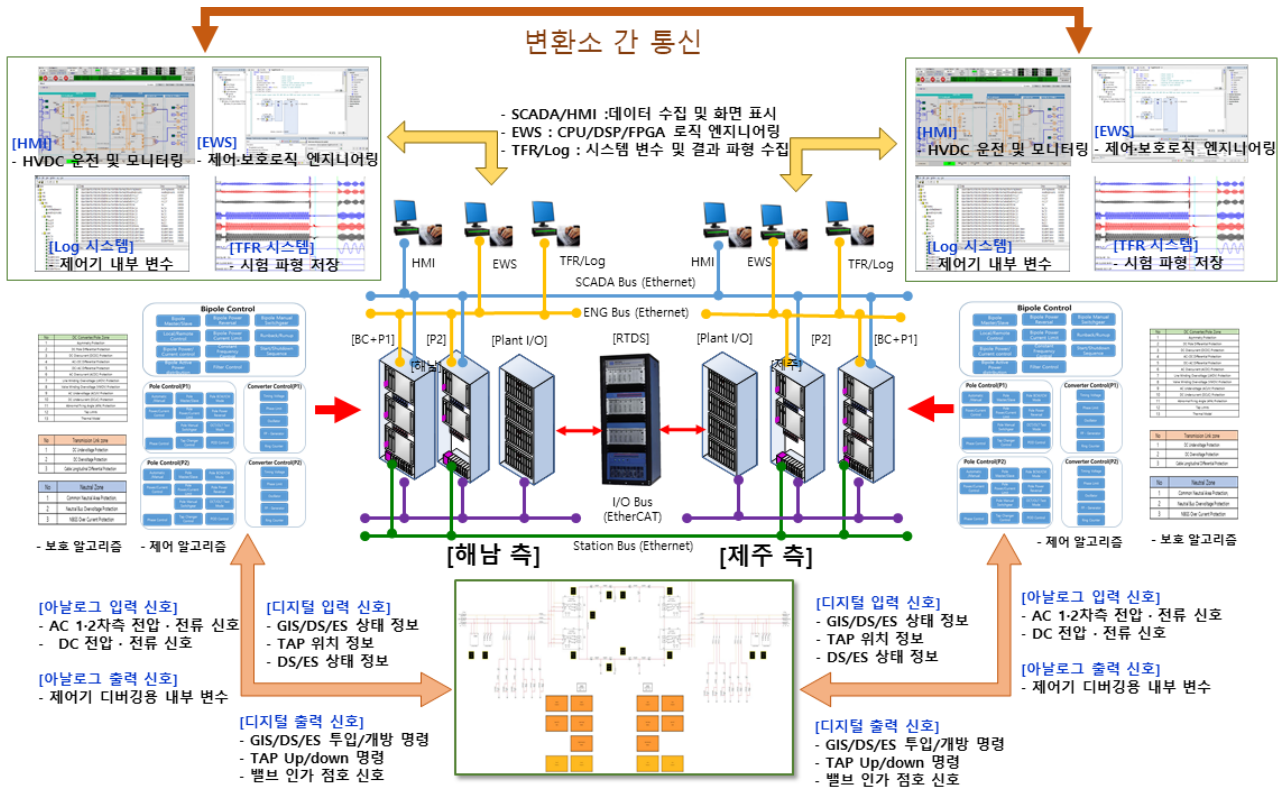


그림 3 제주 AC 계통 실시간 디지털 해석 모델

HVDC 시스템의 주요 설비인 사이리스터 밸브 기반 대용량 컨버터, 컨버터용 변압기, AC 고조파 필터 및 DC 케이블 등이 포함되어 있다. 실시간 해석 모델은 실제 시스템과 매우 유사한 동작 특성을 나타내야 하므로 실시간 해석 모델에는 실제 HVDC 시스템의 제정수를 동일하게 반영하였다.

구현된 대용량 컨버터 모델을 구동하기 위한 사이리스터 밸브의 점화각 신호는 H/W로 구현된 제어 시스템으로부터 입력받으

며, 사이리스터 동작에 의해 생성된 HVDC 실시간 해석 모델의 DC 전압/전류와 계통의 AC 전압/전류 등의 신호들은 제어기로 전송되어 점화각 신호를 조정하기 위해 사용된다. 또한, 실제 시스템과 동등한 운전 특성을 나타낼 수 있도록 사이리스터 밸브 신호 뿐만 아니라 선로의 차단기, 단로기 등의 동작 신호도 제어기로부터 수신하여 실제 변환설비의 기동 및 정지, 고장 발생 시 운전 동작 등을 모의할 수 있도록 구현하였다.



**그림 4** HILS 기반 제어 기능 통합 시험 환경

실계통에 적용되는 대용량 변환설비의 동작 특성은 AC 계통에 많은 영향을 줄 수 있으므로 제어 전략을 수립하기 위해서는 실계통에서 나타나는 영향을 검토할 필요가 있다. 이러한 계통 영향을 검토하기 위해 그림 3과 같이 제주 AC 계통의 실시간 해석 모델을 구현하였다. 제주 AC 계통 해석 모델은 그림 2의 제주 #1 HVDC 시스템 해석 모델과 연계되어 HVDC 동작에 의한 AC 계통의 영향을 검토하기 위해 사용된다. HVDC 제어 동작은 매우 빠른 시간 안에 이루어지므로 이러한 제어 동작에 의한 계통 영향을 검토하기 위해서는 계통의 과도 현상을 모의할 수 있어야 한다. 따라서, 제주 AC 계통 모델은 과도 현상을 해석할 수 있도록 구현되어 있다.

### 3. HILS 기반 제주 #1 HVDC 제어 성능 시험

개발된 HILS 기반 성능 검증 플랫폼의 시험 환경은 그림 4와 같다. 해남 측과 제주 측의 각 제어기는 HMI(Human Machine Interface)와 연결되어 있으며 HMI를 통해 제어 동작 수행을 위

한 명령을 입력할 수 있고, HVDC 시스템의 상태를 모니터링 할 수 있다. EWS(Engineering Workstation)는 제어 알고리즘의 수정 및 제어 전략 수립을 위한 제어기 내부 파라미터 수정 등을 위해 사용된다. 또한, Log 시스템은 제어기의 성능 시험 파형을 저장하여 성능 분석을 위한 자료를 수집하기 위해 사용된다.

각 변환소의 제어기는 기본적으로 통신을 통해 Master-Slave 구조를 갖도록 설정되어 있으며, 변환소 간 통신이 끊어지는 상황에서 HVDC의 제어 동작에 이상이 발생하지 않도록 되어 있다. 이러한 기능은 다양한 상황에서도 안정적으로 HVDC 시스템이 정상 동작 하여 계통에 영향을 주지 않도록 하기 위함이며, 제어기 통합 성능 시험에서는 이러한 기능도 검증을 수행한다.

그림 5는 그림 4와 같은 시험 환경에서 제주 #1 HVDC 제어기 복제모델의 Monopole 전력 제어 시험을 수행한 결과이다. 각 변환소 간 통신이 유지되고 있고 HVDC의 전송 전력이 0MW인 상황에서 DC 전력의 지령 값을 150MW로 설정한 후 HVDC가 지령 값대로 전력을 전송하는지 확인하였다. 그림 5(a)는 실시간 해석 모델에서 제주측 변환소의 DC 전압과 전류를 보여주고 있다. 입

력한 전력 지령 값을 추종하기 위해 DC 전류가 지속적으로 상승하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 전류가 상승하는 동안에도 DC 전압의 크기는 큰 동요 없이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 전력이 지령 값 150MW에 도달하는 순간 DC 전류의 상승은 멈추고 크기는 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5(b)는 실시간 해석 모델에서 제주 측 변환소의 AC 전압과 전류를 보여주고 있다. 그림에서 제주 측으로 전송되는 전력이 상승함에 따라 AC 전류가 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이 때 AC 계통의 전압은 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 그림에서 제주도로 전송되는 전력이 150MW가 되면 전류 및 전력의 증가는 멈추게 되고 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

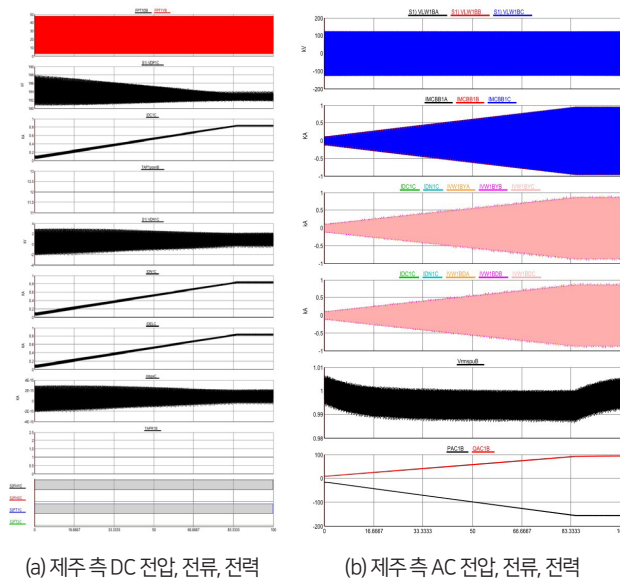


그림 5 Power ramp-up 제어 성능 검증 결과 파형

그림 6은 Monopole 전력 제어 시험을 수행한 결과로, 각 변환소 간 통신이 유지되고 있지만 그림 5의 상황과는 반대로 HVDC의 전송 전력이 150MW인 상황에서 DC 전력의 지령 값을 0MW로 설정한 후 HVDC가 지령 값대로 전력을 전송하는지 확인하였다. 그림 6(a)는 실시간 해석 모델에서 제주측 변환소의 DC 전압과 전류를 보여주고 있다. 입력한 전력 지령 값을 추종하기 위해 DC 전류가 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면, 전류가 감소하는 동안에도 DC 전압의 크기는 큰 동요 없이 유지되는 것을 확인할 수 있다. 또한, 전력이 지령 값 0MW에 도달하는 순간 DC 전류의 감소는 멈추고 짧은 시간 후 HVDC 시스템이 정지

되는 것을 확인할 수 있다. 그림 6(b)는 실시간 해석 모델에서 제주 측 변환소의 AC 전압과 전류를 보여주고 있다. 그림에서 제주 측으로 전송되는 전력이 감소함에 따라 AC 전류가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이때 AC 계통의 전압은 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 그림에서 제주도로 전송되는 전력이 0MW가 되면 전류 및 전력의 감소는 멈추게 되고 짧은 시간 이후 HVDC 시스템이 정지되는 것을 확인할 수 있다.

그림 5, 6으로부터 제주 #1 HVDC 제어 성능 플랫폼이 안정적으로 구축 되었으며, HVDC 제어기 복제모델의 전력 제어 기능이 정상적으로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 실제 HVDC 제어 시스템은 실제 계통의 다양한 환경 속에서 안정적으로 운전되기 위해 본 장에서 소개한 제어 기능 외에도 다양한 제어 기능이 포함되어 있다. 전력연구원에서는 구축된 제어 성능 검증 플랫폼을 통해 상기의 다양한 제어 기능을 검증하고 제주 HVDC 운영 전력 수립을 지속할 계획이다.

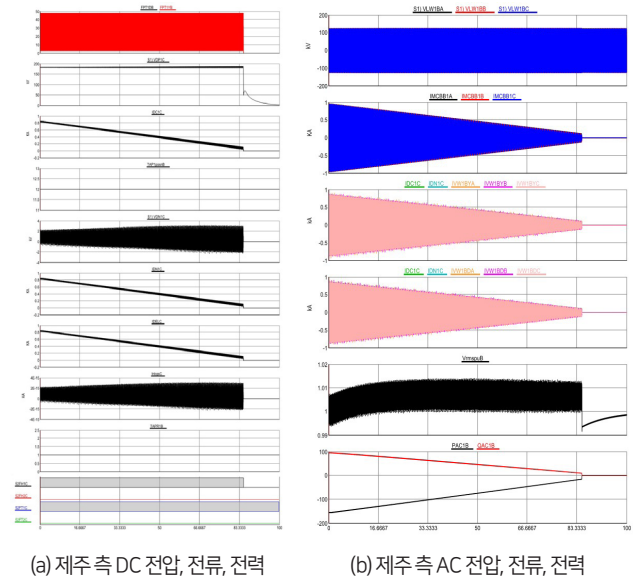


그림 6 Power ramp-down 제어 성능 검증 결과 파형

## 4. 결론

본 고에서는 실제 계통에 적용되는 대용량 전력변환 설비인 제주 #1 HVDC의 제어 성능 검증을 위한 HILS 기반 제어 성능 검증 플랫폼의 H/W 구성 및 실시간 해석 모델, 그리고 시험 환경을 소개하고 성능 검증 결과에 대해 고찰하였다. 현재 개발된 제주 #1



HVDC 제어 성능 검증 플랫폼은 향후 도입되는 제주 HVDC 3연계선 (#3 HVDC)의 제어기 레플리카와 함께 설치되어 제주 계통 및 HVDC 통합 실시간 해석 플랫폼으로 확장 구축될 예정이다. 통합 해석 플랫폼은 향후 제주 HVDC 간 통합 제어 운영 전략을 수립하기 위해 활용될 계획이다. 또한, 제주 계통 실시간 해석 모델에는 STATCOM, ESS 등의 특수설비 해석 모델을 상세하게 추가하여 더욱 정밀하게 개발될 예정이다. 개발된 제주 계통 통합 시험 환경은 향후 전력전자 기반 설비들의 상세한 동특성을 면밀하게 검토하여 제주도 계통의 신뢰성과 안정성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### [참고문헌]

- [1] 제10차 전력수급기본계획, 산업통상자원부, 2023.1
- [2] 김시환, "HVDC 레플리카 제어기의 개발과 활용", 전기의 세계, 2022.12

#### 저자소개

##### 김시환(Kim, Si-Hwan)

2012년 한양대학교 전기제어공학과 졸업  
2019년 한양대학교 대학원 졸업(공학박사)  
2019년~2023년 한전 전력연구원 선임연구원  
주 연구분야: HVDC/MTDC 제어 및 운영,  
해상풍력 계통연계 등



# MMC 기술의 국산화

## Development of MMC-based system using domestic technology

구남준 | 효성중공업연구소

Ku, Nam-Joon | Hyosung Corporation



### 요약

대용량 고전압 분야에서 각광받고 있는 MMC 토폴로지의 유래와 특징을 간략히 기술하고, 효성중공업이 수행한 MMC 기반의 HVDC, MVDC 시스템과 STATCOM 프로젝트에 대한 설명을 통해 MMC 기술의 국산화 과정을 소개한다.

### Abstract

This paper introduces modular multilevel converter suitable for high voltage application with wide power range and shows how Hyosung Heavy Industries successfully developed MMC-based HVDC, MVDC system and STATCOM using their own domestic technology.

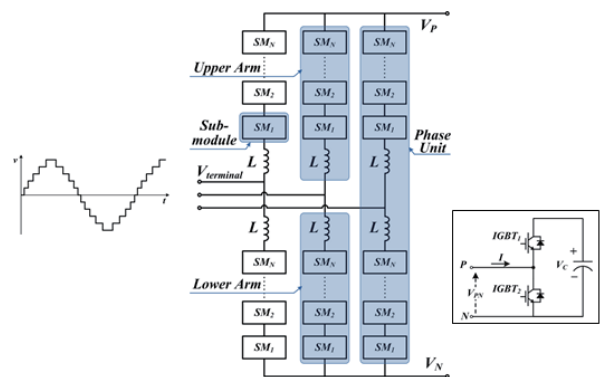
## 1. 서론

모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multilevel Converter, MMC)는 다수의 커패시터와 전력용 반도체 소자로 구성된 모듈화된 서브모듈을 조합하여 커패시터에 충전된 직류를 교류로 변환시킬 수 있는 전력변환 회로이며 2002년 독일의 Marquardt 교수에 의해 처음 제안되었고 2007년 시작된 미국 샌프란시스코의 Trans Bay 프로젝트에서 Siemens에 의해 처음 상용화되었다.

MMC는 고조파가 매우 낮은 출력 성능을 가지고 높은 모듈성, 간단한 확장성, 낮은 전압 정격의 전력 스위치 활용성과 같은 이점으로 인하여 대용량 고전압 분야에 많이 적용되고 있다. 특히 최근에는 HVDC 시스템, STATCOM, 재생 에너지 시스템, 배터리 저장 시스템, 전기 선박 시스템 등의 분야에서 MMC 회로를

선택하고 있다.

본 고에서는 국내 최초로 MMC 기술을 확보하여 상용화한 효



컨버터 출력 전압

MMC 구성

Sub-Module

그림 1 MMC 및 서브모듈 회로 구성과 출력전압 파형

성중공업의 HVDC, MVDC 시스템과 STATCOM의 기술개발 연혁과 제품을 소개하고 MMC 기술의 미래와 비전을 전망한다.

## 2. HVDC 시스템 개발

HVDC는 고압직류송전을 의미하며, 발전소에서 생산된 교류 전력을 고압직류로 변환하여 필요한 곳까지 송전한 뒤에 다시 교류로 바꾸어 수요자에게 공급하는 방식이다. 장거리 송전 시에 교류송전방식에 비해 송전 효율 및 안정도가 높고, 다른 주파수 교류계통간의 연결이 가능한 장점이 있다. HVDC 시스템은 컨버터를 구성하는 반도체 스위치 종류에 따라 전류형과 전압형으로 구분된다. 전압형은 전류형 대비 시스템 최대용량이 작고 전송거리는 짧지만 블랙스타트 기능, 해상변전소 구축, 멀티터미널 구성이 용이한 장점을 가지고 있다. 송전거리가 길고 발전용량이 수십 GW 단위라면 전류형이 유리하지만, 그러한 발전용량과 배후계통을 가진 나라는 많지 않다. 최근에 발주가 나오는 프로젝트들은 1GW~2GW 사이의 전압형 시스템이 대부분이며, 앞으로는 멀티터미널 형태의 HVDC 시스템이 주를 이룰 것으로 예상된다.

전압형 HVDC의 최신 기술인 MMC 기술은 Siemens에서 최초로 상용화하였으며, 효성중공업은 Siemens, GE Hitachi에 이어 세계에서 4번째, 국내에서는 최초로 상용화에 성공하였다.

2012년 산업통상자원부의 “해상풍력 연계용 20MW급 전압형 HVDC 연계기술 개발” 과제를 시작으로, 당시 전압형 전력변환 장치의 최신 기술인 MMC 방식을 적용한 HVDC 시스템을 구성하는 컨버터와 제어시스템을 순수 국내 기술로 개발 완료하였고, 2017년 제주도 행원 실증단지에서 해상풍력 연계 실증을 성공적으로 수행하였다. 이 기술을 바탕으로 2017년부터 양주변전소에 설치될  $\pm 120\text{kV}$  200MW급 HVDC 시스템을 개발하였다.

HVDC 기술 국산화는 에너지기술개발사업의 일환으로, 2017년 주관기업인 효성과 한국전력, 전기연구원, 전자기술연구원, 전자통신연구원, 삼화콘덴서공업 등의 기관과 기업이 참여하여 “200MW급 전압형 MMC 개발 및 운영/실증” 국가과제를 진행하였다.

효성은 파일럿 프로젝트인 20MW급 HVDC 시스템을 통해 MMC 기반의 HVDC 시스템의 주요 기술력을 이미 확보하였기

때문에 추가적으로 제품의 신뢰성을 높이기 위해 노력하였다. 과제 참여기관으로부터 자문단을 구성하여 정기회의의 진행하였으며, 주관기업에서는 국내외 전문가 그룹을 구성하고 정식 계약을 통해 신뢰성 확보를 위한 활동을 지속하였다.

시스템의 전기적인 설계는 국제 시험 규격인 IEC 62501을 통해 검증하였다. IEC 62501은 2009년에 발행된 전압형 HVDC 컨버터 밸브의 전기적 시험에 관한 규격으로, 시스템 사양에 따라 결정되는 시험요구조건에 대한 충족 여부를 확인하는 모든 전기적 형식시험 항목을 정의하고 있다. 시험 항목은 제어 및 보호를 포함한 시스템의 정상적인 동작을 검증하는 운전시험과 컨버터 밸브 구성품의 절연 성능을 검증하는 절연 시험으로 구분된다. 효성이 개발한 200MW급 HVDC 시스템의 컨버터 밸브들은 2022년 전기연구원에 의뢰하여 IEC 62501을 기반으로 형식시험을 완료하고 인증서를 발급받았다.

200MW급 전압형 HVDC 시스템은 국내 최초로 변전소 전력 설비 내진설계 권고안인 IEEE693의 해석 및 시험 절차를 참고하여 컨버터 밸브 구조물의 내진성능을 검증하였다. 3층으로 구성된 HVDC 컨버터 밸브 시스템은 유연체 구조물로 지진에 상당히 취약한 구조지만, 기존 전력사업 아이템인 변압기와 차단기 개발을 통해 축적된 내진설계 기술을 바탕으로 유연체 구조물의 내진설계 해석 기술이 정립되었고 내진성능을 향상시키면서 비용 상승은 최소화시키는 대각선 형태의 브레이스(Diagonal brace)를 채택하여 내진 설계에 적용하였다. 컨버터 밸브의 내진 성능을 검증하기 위해 한국전력의 지침에 따라 최대지반 가속도(PGA) 0.321g 수준으로 인공지진파를 적용한 시간이력시험을 진행하였고 성공적으로 완료하였다.

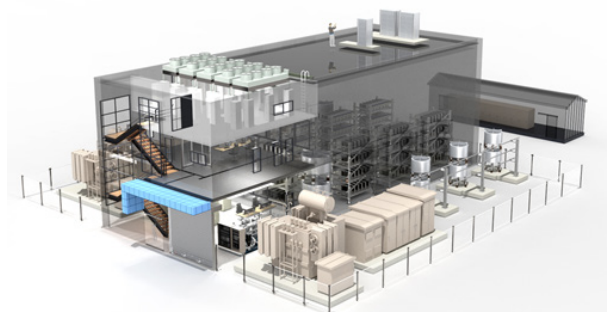


그림 2 제주 20MW MMC HVDC 사이트 조감도





그림 3 20MW MMC HVDC 밸브실



그림 4 효성 HVDC 밸브 시험실 전경

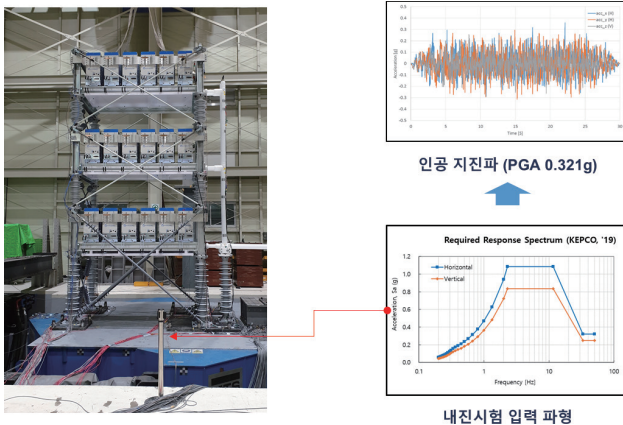


그림 5 HVDC 밸브 3층 구조물의 시간이력시험

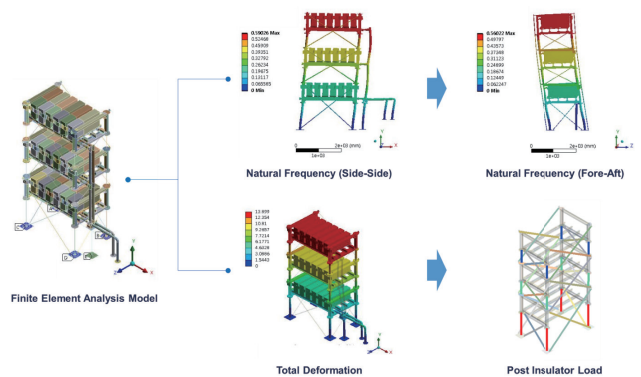


그림 6 HVDC 밸브 3층 구조물에 대한 동적스펙트럼 분석

이와 같이 국내의 전문가들의 자문과 국제 규격을 바탕으로한 시험을 통해 시스템의 신뢰성을 검증함으로써, 효성은 MMC 기반의 전압형 HVDC 설계 능력을 입증하였으며 HVDC 기술 자립화와 국제적인 경쟁력을 확보하게 되었다.

### 3. MVDC 시스템 개발

MVDC는 중규모 계통 연계를 위해 1.5kV ~ 100kV 사이의 전기를 직류로 송전하는 시스템이다. MVDC는 지역 간 대용량 송전에 적용되는 HVDC와 수송가 연계에 적용되는 IVDC 사이의 배전 계통에 적용되는 기술이며, 정부의 재생에너지 확대 정책에 따라 기술의 활용성이 증대되고 있다. 현재 MVDC 국내 시장은 기술 개발 초기 단계이지만, 제 4차 에너지 기술 개발 계획에 따르면 정부는 신

재생에너지 수용성 확보를 위해 MVDC 직류 배전 운영시스템 기술 확보 및 AC/DC 혼용 운전을 목표로 제시하고 있고, 제 3차 지능형 전력망 기본계획에 따르면 분산에너지 계통 접속 확대를 위한 그리드포밍 및 MVDC 핵심기술개발 사업이 추진될 전망이다.

해외의 경우, 중국 Wenchang 프로젝트(2010~2013), 영국 Angle DC 프로젝트(2016~2020)와 같이 상용화 이전의 파일럿 프로젝트가 추진되고 있다. Navigant 리서치에 따르면 MVDC 시장은 2030년 약 \$16억 정도의 규모로 전망되며, 40kV 이하의 시스템이 시장규모의 약 40%를 차지할 것으로 예상되고 있다.

효성중공업은 이러한 흐름에 맞춰, 2020년부터 진행된 “실계통 운용 MVDC 스테이션 개발 및 실증” 과제에 참여하여 나주 한전 에너지밸리 연구원 내 MMC 기반의  $\pm 35$ kV 30MW 급 MVDC 컨버터 스테이션을 구축하고 운전/시험을 완료함으로써 MVDC



그림 7 나주 30MW MMC MVDC 사이트

스테이션 및 배전망 구축을 위한 설계/엔지니어링 기술과 계통 사고 시 과도상태 해석 및 보호 협조 등의 운영기술을 확보하여 MVDC 시장에서의 경쟁력을 확보하는 노력을 하였다.

나주  $\pm 35\text{kV}$  30MW급 MVDC 시스템은 효성이 개발한 기존 HVDC 시스템과 다르게 PTP(Point to Point) 방식이다. 그리고 주요 장비인 컨버터 밸브, C&P 시스템, 냉각시스템을 컨테이너에 탑재되도록 설계하여 별도의 전용 건축물 없이 시스템을 빠르게 구축될 수 있도록 하였다. MMC 기반의 컨버터 밸브는 30개의 서버 모듈로 구성된 Arm을 하나의 컨테이너로 구성하여, 한 개의 컨버터 스테이션을 6대의 컨테이너로 구현하였다. 각 컨테이너 내부에는 총 6개의 서버모듈로 구성된 밸브 섹션 5개를 적재되어 있다. C&P 시스템은 Operator와 Interface 기능을 수행하는 운영 시스템, Operator의 운전 지령에 따라 컨버터를 제어하고 보호 기능을 수행하는 컨버터 제어시스템, 그리고 AC 선로 보호 및 CB/DS/ES 조작을 수행하는 보호시스템으로 구성된다.

효성이 개발한 MVDC 시스템은 STATCOM 모드 시운전, BTB 모드 전력전송 시운전, PTP 모드 전력전송 시운전을 통해 성능을 검증하였으며, 향후 MVDC 관련 법령 정비를 위하여 지속적인 실증 운전 및 데이터 확보에 사용될 예정이다.

#### 4. STATCOM 개발

효성중공업은 유연송전시스템(FACTS)를 자체 기술로 개발하는 목표를 세우고 1990년대 중반부터 지속적인 연구개발을 진행

해왔다. 1997년 1MVA STATCOM, 2007년 10MVA STATCOM, 2009년에는 국내 최초로 송전급 100MVA STATCOM을 개발하여 미금 변전소에 설치하고 운전하였다.

2012년부터는 MMC 방식의 STATCOM을 개발하기 시작하였으며, 다양한 자체 시험과 기능을 검증하고 국제인증기관인 KEMA Labs의 인증 시험을 거쳐 제품의 신뢰성을 확보하였다. 2015년에 인도 전력청의 NP Kunta 100MVA STATCOM을 수주하였고, MMC 기술을 적용한 STATCOM을 납품하여 2017년 커미셔닝을 완료하고 현재까지 운전을 지속하고 있다. 해외에서는 인도 프로젝트를 시작으로 현재까지 총 10개국에 약 20개의 STATCOM 프로젝트를 수주하여 진행해오며 해외에서 기술력을 인정받고 있다. 해외 뿐 아니라 국내에서는 2016년 한국전력의 STATCOM 프로젝트 입찰에 참여하여 신청주, 신영주 프로젝트에 당시 단일 변전소 기준 세계 최대 용량급인 400MVar MMC 기반의 STATCOM을 납품하였다.

앞으로도 효성은 MMC 기술을 적용한 고효율 STATCOM을 통해 송전선로에 무효전력을 공급하여 전력 계통의 안정성과 전력품질을 향상시키며, 국내의 전력회사, 신재생 에너지 발전 사업자, 산업 플랜트에 전력 솔루션을 제공할 것이다.



그림 8 신영주 400MVar MMC STATCOM 및 사이트 전경

#### 5. 맺음말

본 고에서는 효성중공업의 MMC 기술의 연구성과와 개발현황을 다루었다. 현재 효성중공업에서는 STATCOM 뿐만 아니라 HVDC와 MVDC 시스템도 해외 시장 진출을 하기 위해 다양한

개선작업이 이루어지고 있다. 500MVA 이상 STATCOM, GW급 HVDC 시스템을 구성하기 위해, 더 큰 용량을 갖는 MMC를 개발할 예정이다. 병렬 IGBT 구조의 신규 서브모듈을 개발하고 있으며, 컨버터 밸브 제어 및 운영 기술을 향상시키고 있다. 또한 차세대 계통망 형태로 멀티터미널 구조가 주목받고 있기 때문에 멀티터미널 DC 링크 보호 협조 기술 및 통신 인터페이스 보안 기술 등을 연구하고 있다.

최근 “제 10차 장기 송변전설비계획”에 따르면 산업통상자원부와 한전은 국가 에너지 안보 확립을 위한 안정적인 전력계통을 구축하고자 국가 HVDC 기간망 보강 계획을 발표하였다. 가까운 미래에 서해안과 수도권을 연결하는 HVDC 기간망이 구축되어 서해안의 태양광과 해상풍력 설비로부터 생성된 재생에너지를 수도권으로 전송할 예정이다. 또한 대규모 전력망을 보강하고 유연하고 효율적인 계통운동을 하기 위해 ESS, 유연송전시스템 등 전력망 건설 대안기술이 확충될 전망이다. 2050년 탄소중립 달성을 위한 국가 차원의 중대한 과제에 효성중공업도 막중한 책임감과 사명감을 가지고 안정적인 전력인프라를 구현할 수 있도록 적극적인 참여와 기여를 할 예정이다.

#### 저자소개

##### 구남준(Ku, Nam-Joon)

2010년 한양대학교 전기공학과 졸업  
2018년 동 대학교 대학원 졸업(공학박)  
2018년~현재 효성중공업연구소 재직  
주 연구분야: 전력전자





# MV급 대용량 전동기 구동용 모듈러 멀티레벨 컨버터 기술

## Modular Multi-level Converter Technology for High Power Medium Voltage Electric Motor Drive

박병건 | 한국전기연구원 전기모빌리티단

Park, Byoung-Gun | Electric Mobility Research Division, KERI



### 요약

본 고에서는 최근 대용량 고압 전동기 구동 시스템에 새로운 적용이 가능한 모듈러 멀티레벨 컨버터 토폴로지의 기술적 특징을 확인하고, 전동기의 기동 및 저속 영역에서 영향을 미치는 모듈러 멀티레벨 컨버터의 주파수에 따른 서브 모듈 커패시터 전압의 변동폭을 이론적으로 분석하고, 이러한 문제를 해결하기 위한 기존 연구 결과의 고찰을 통해 향후 MMC 적용 고압 전동기 드라이브 기술의 개발 전략들을 제안하고자 한다.

### Abstract

In this article, the technological characteristics of the modular multi-level converter(MMC) topology, which can be newly applied to the high-power medium-voltage motor drive system, has been confirmed. The voltage fluctuation of the sub-module capacitor, which affects the motor start-up and low-speed region according to the operating frequency of the modular multi-level converter, was analyzed by theoretical equation. This article seeks the future strategies for MMC-applied Medium-voltage motor drive technology through consideration of the results of previous research.

## 1. 서론

최근 모듈형 멀티레벨 컨버터(Modular Multi-level Converter, MMC)는 출력 전압의 낮은 왜곡률, 모듈배치에 따른 용량의 확장성과 초고압까지 전압 레벨을 확장할 수 있는 장점으로 인해 고압(Medium Voltage, MV)에서부터 초고압(High Voltage, HV)까지 전력 변환 응용분야에서 활용 가능한 멀티레벨 컨버터 토폴로지로서 널리 알려져 있다. 이러한 장점에 힘입어 MMC는 고전압 직류(HVDC) 시스템, 정적 동기 보상기(STATCOM) 및 MV 전동기용 드라이브 시스템으로 널리 활용되고 있다[1]~[3].

고압 전동기 드라이브로 MMC를 적용할 경우 정현파에 가까운

출력 특성으로 전동기의 절연 내력 및 효율을 크게 높일 수 있는 장점을 가지고 있어, 최근에는 MMC를 고압 전동기 구동용 인버터로 활용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, MMC 토폴로지 적용 드라이브의 경우 일정한 주파수로 운전되는 계통 시스템과 다르게 운전 주파수에 의해 MMC를 구성하고 있는 서브 모듈의 커패시터 전압 변동이 변하게 되어 안정적인 기동을 어렵게 하는 특징을 가지고 있다. 특히 서브 모듈의 커패시터 전압 변동의 폭은 저주파수로 갈수록 크게 나타나기 때문에 전동기의 기동 시 안정적인 전압을 유지하기 어려워 기동 실패를 야기할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 서브 모듈의 커패시터 용량을 충분히 크게 가져가면 전압변동의 폭은 줄어 들 수 있지만, 서브 모듈 커패시터의

용량을 키우기에는 시스템의 부피와 비용적인 문제가 발생할 수 밖에 없다. 이러한 서브 모듈의 커패시터 전압 변동은 출력 전류의 진폭에 비례하고 작동 주파수에 반비례한 특성을 가지고 있다. 따라서, MMC를 전동기 구동용 인버터 토폴로지로 적용하기 위해서는 기동 및 저주파수에서 서브 모듈 전압 리플을 안정적으로 유지하기 위한 방법은 필수적으로 적용되어야만 한다.

이러한 기동 및 저속 영역에서 서브 모듈의 커패시터 전압 변동을 안정적으로 유지하기 위한 다양한 방법들이 연구되어왔다. 고주파 공통 모드 전압을 투입하는 방법[4]은 순환 전류를 저감하면서 상위와 하위 암(Arm)의 에너지 균형을 조절하여 전동기 기동 시 서브 모듈의 전압 변동을 최소화 하는 방법을 제안하였지만, 고주파 공통 모드 전압의 주입으로 인해 전동기의 권선 절연이 저하되거나 전동기 베어링이 손상될 수 있다. 또한, 전동기의 속도가 증가함에 따라 주입되는 고주파 전류의 증가로 인해 순환 전류가 증가하여 반도체 소자의 전류 스트레스 및 전력 손실이 증가하는 문제점을 가지고 있다.

개선된 순환 전류 주입을 통해 전 속도 영역에서 전동기를 제어하기 위한 방법[5]에서는 서브 모듈의 전압 변동과 순환 전류를 줄이는데 효과적이지만 저속 운전에서 RL 부하만을 사용하여 유효성을 평가하여, 전동기 특성을 고려하였을 때 효과를 확보하기에는 부족한 면이 있다. 추가적인 회로를 구성하여 서브 모듈의 전압 변동을 억제하는 방법의 경우 안정적으로 초기 기동 및 저속 영역에서 전동기를 구동할 수 있지만, 이 방법의 경우에는 전체 서브 모듈의 비용과 부피를 증가시키는 단점이 있다.

본 글에서는 MMC 토폴로지의 저주파 작동 시 SM 커패시터 전압 변동에 대한 분석과 하드웨어의 추가적인 회로를 적용하는 방법[6]을 이용한 서브 모듈의 전압 변동을 줄이기 위한 연구에 대해 MATLAB/SIMULINK 소프트웨어를 이용한 시간 영역 시뮬레이션 결과와 실시간 시뮬레이터 OPAL/RT를 이용한 HILS(hardware-in-the-loop) 결과를 통해 유효성 검증 결과를 간단하게 소개하고자 한다.

## 2. MMC의 주파수에 따른 전압변동 분석

그림 1은 일반적인 3상 MMC 토폴로지를 나타낸다. 각 상을

구성하고 있는 암(Arm)은 출력단을 기준으로 상위 암(Upper Arm)과 하위 암(Lower Arm)으로 나눌 수 있으며, 각 암(Arm)에는 비퍼 인덕터 ( $L$ )가 직렬로 연결되어 각 상 사이의 전압 차이로 인해 컨버터 내부에서 순환하는 전류를 제한하는 데 사용된다.

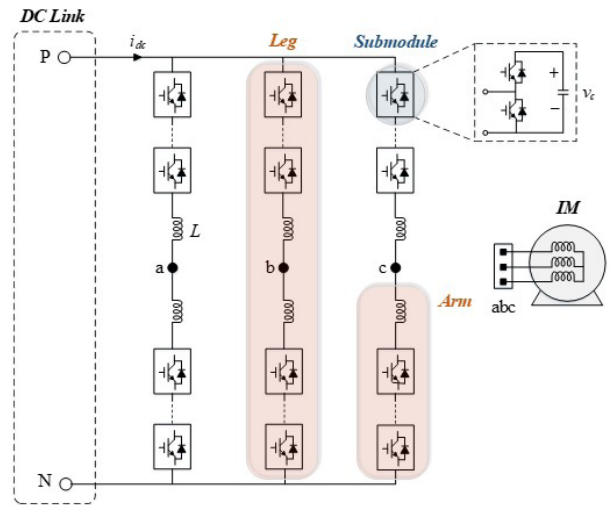


그림 1 고압 드라이브용 모듈러 멀티레벨 컨버터 구성

출력 전압( $v_{ox}$ )과 전류( $i_{ox}$ )는 순수한 정현파와 과형이라고 가정하여 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{cases} v_{ox} = V_o \sin(\omega t + \delta_{ox}) \\ i_{ox} = I_o \sin(\omega t + \delta_{ox} - \phi_x) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  $v_{ox}$  및  $i_{ox}$ 는 각 상의 출력 전압 및 전류( $x = a, b, c$ 는 각각 위상  $a, b$  및  $c$ 를 나타냄)이고,  $V_x$ 와  $I_x$ 는 각 상의 출력 전압 및 전류의 최대값을 나타낸다.  $\delta_{ox}$ 는 각 상의 위상각( $a = 0, b = -2\pi/3, c = +2\pi/3$ )이고,  $\phi_x$ 는 전압과 전류 사이의 위상차이다.

MMC의 상위 암 전압  $v_{xP}$ 와 하위 암의 전압  $v_{xN}$ 는 식 (2)와 같이 표현되며, 식 (1)의 출력 상전압을 고려하면, 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} v_{xP} = \frac{1}{2} V_{DC} - v_{ox} \\ v_{xN} = \frac{1}{2} V_{DC} + v_{ox} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{cases} v_{xP} = \frac{1}{2} V_{DC} - V_{ox} \sin(\omega t + \delta_{ox}) \\ v_{xN} = \frac{1}{2} V_{DC} + V_{ox} \sin(\omega t + \delta_{ox}) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $V_{DC}$ 는 DC 링크 전압을 나타낸다. 상위 암과 하위 암의 전류값은 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} i_{xP} = \frac{1}{2} i_{ox} + i_{cx} \\ i_{xN} = -\frac{1}{2} i_{ox} + i_{cx} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $i_{xP}$  및  $i_{xN}$ 은 각각  $x$  상의 상부 및 하부 암 전류이고  $i_{cx}$ 는 순환 전류를 나타낸다.

MMC 드라이브의 상위 암과 하위 암의 전력은 전압과 전류 식에 의하여 식 (5)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{cases} P_{xP} = \frac{1}{2} V_{DC} i_{cx} - \frac{1}{2} v_{ox} i_{ox} + \frac{1}{4} V_{DC} i_{ox} - v_{ox} i_{cx} \\ P_{xN} = \frac{1}{2} V_{DC} i_{cx} - \frac{1}{2} v_{ox} i_{ox} - \frac{1}{4} V_{DC} i_{ox} + v_{ox} i_{cx} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $P_{xP}$ 와  $P_{xN}$ 은 상하위 암의 순시 전력을 나타내며, 컨버터의 입출력 전력이 균형을 가지기 때문에 첫 번째 항과 두 번째 항은 동일하다. 이를 이용하여 순환 전류  $i_{cx}$ 는 다음 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_{cx} = \frac{v_{ox} i_{ox}}{V_{DC}} = \frac{V_x I_o}{2 V_{DC}} \cos(2\omega t + 2\delta_x - \phi_x) + \frac{V_x I_o}{2 V_{DC}} \cos \phi_x \dots\dots\dots (6)$$

상위암 전력 식 (5)에 식 (1), 식 (3)과 식 (6)을 대입하면 순시 상위 암 전력  $P_{xP}$ 의 식은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$P_{xP} = \frac{V_{DC} I_o}{4} \left[ \cos(\omega t + \delta_x - \phi_x) - \frac{2 V_o^2}{V_{DC}^2} \cos \phi_x \cos(\omega t + \delta_x) - \frac{2 V_o^2}{V_{DC}^2} \cos(\omega t + \delta_x - \phi_x) \right] \dots\dots\dots (7)$$

상위암 전력을 적분하여 다음 식과 같이 에너지  $E_{xp}$ 를 계산할 수 있다.

$$E_{xP} = \frac{V_{DC} I_o}{4} \left[ \frac{\sin(\omega t + \delta_x - \phi_x)}{\omega} - \frac{2 V_o^2}{\omega V_{DC}^2} \cos \phi_x \sin(\omega t + \delta_x) - \frac{2 V_o^2}{\omega V_{DC}^2} \sin(\omega t + \delta_x - \phi_x) \right] \dots\dots\dots (8)$$

식 (8)에서 운전 각주파수  $\omega$ 가 감소할 때, 상위 암의 에너지의 첫 번째 항이 우세한 값으로 변하며, 두 번째 및 세 번째 항의 경우 저주파 변동에 미치는 영향이 적기 때문에 값이 작아져 무시

할 수 있다. 따라서, 상위 암의 에너지를 단순화하여 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{xP} = \frac{V_{DC} I_o}{4} \frac{\sin(\omega t + \delta_x - \phi_x)}{\omega} \dots\dots\dots (9)$$

비슷하게 식을 유도하여 하위 암의 에너지는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$E_{xN} = -\frac{V_{DC} I_o}{4} \frac{\sin(\omega t + \delta_x - \phi_x)}{\omega} \dots\dots\dots (10)$$

에너지의 최대 변동 값  $E_{peak}$ 은 상하위 암의 최대 값을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_{peak} = E_{xP}(\max) - E_{xN}(\min) = \frac{V_{DC} I_o}{2\omega} \dots\dots\dots (11)$$

여기서,  $E_{peak}$ 은 에너지 최대 변동값이며, 상위 암의 최대값  $E_{xp}(\max)$ 이며, 하위 암의 최소값  $E_{xN}(\min)$ 을 나타내며, 에너지 변동과 서브모듈의 커패시터 전압은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{peak} = N \left( \frac{1}{2} C v_{\max}^2 - \frac{1}{2} C v_{\min}^2 \right) \dots\dots\dots (12)$$

$$= N C_{dc} v_c \Delta v_{pp}$$

$$\Delta v_{pp} = \frac{I_o}{2 C \omega} \dots\dots\dots (13)$$

여기서,  $v_c$ 는 서브모듈의 커패시터 전압이고,  $v_{\max}$ 와  $v_{\min}$ 은 서브모듈의 커패시터 전압의 최대값과 최소값이며,  $\Delta v_{pp}$ 는 커패시터 전압의 최대 변동 값으로 출력 전류의 크기와 반비례하며,

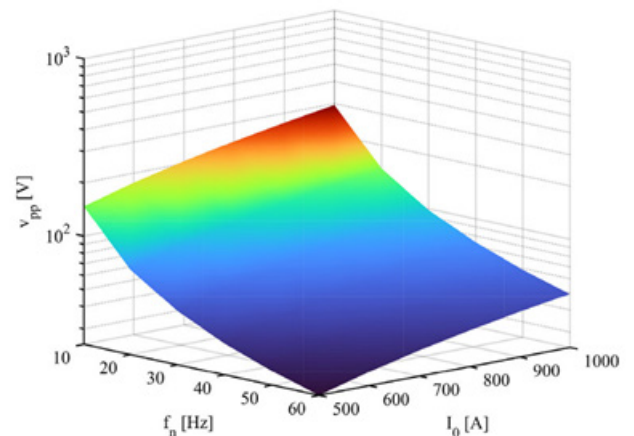


그림 2 운전주파수와 전류값에 의한 서브모듈 전압변동



운전 주파수와는 반비례한 관계를 식 (13)을 통해서 알 수 있다.

결론적으로 MMC 토폴로지의 서브 모듈의 커패시터 전압의 변동은 출력 전류와 운전 주파수에 따라 변동하게 되며, 전동기 구동의 경우 기동 및 저속 영역에서 전압변동 폭이 커질 수 밖에 없어서 안정적인 기동 및 운전이 어려워 진다. 이러한 출력 전류와 운전주파수의 관계를 정리하면, 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

### 3. MMC의 서브 모듈 전압 변동 제한 방법 [6]

추가적인 하드웨어를 추가한 서브 모듈 전압 제한 방법의 서브 모듈 회로는 그림 3과 같이 3상 MMC 토폴로지를 구성할 수 있

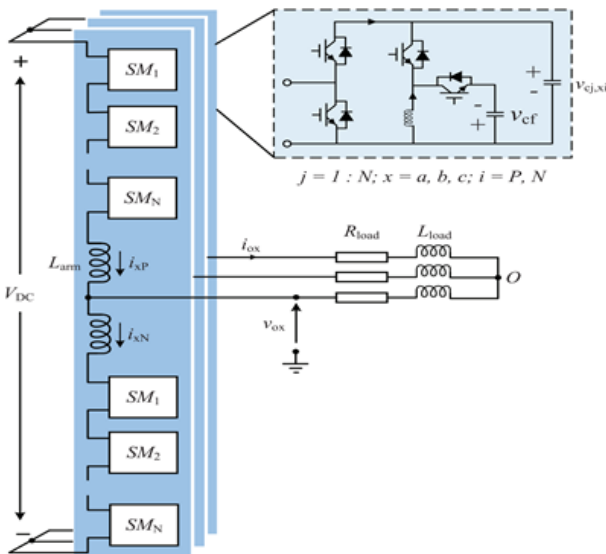


그림 3 추가 회로에 의한 전압변동제한방법

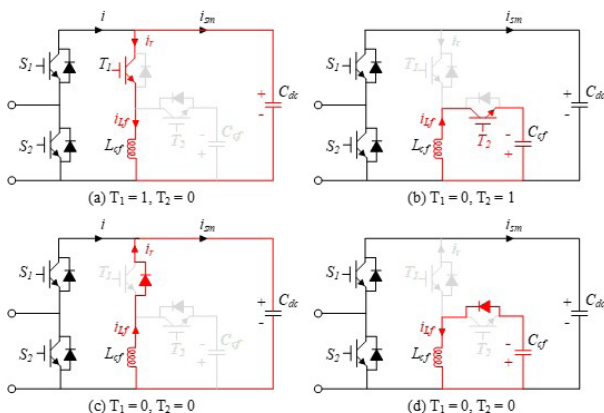


그림 4 서브모듈 전압변동 제한 회로의 동작 모드

다. 기본 하프 브릿지 서브 모듈에 독립된 커패시터를 가지고 있는 부스트 방식의 회로를 추가하여 안정된 전압 변동 제한을 구현할 수 있다.

그림 4는 서브 모듈에 추가된 전압 변동 제한 회로의 동작 모드를 나타낸다. 각각의 서브 모듈에 2개의 추가 IGBT 소자( $T_1$  및  $T_2$ )와 에너지 저장 구성 요소로 보조 커패시터  $C_g$  및 스위치 간 동작에 있어서 전류 제한 및 에너지 저장용 버퍼 인덕터  $L_g$ 로 구성할 수 있다.

제안된 회로의 동작에 대해 그림 4에서 보여지는 바와 같이 스위치  $T_1$  및  $T_2$ 의 조합에 따라 보조 커패시터  $C_g$ 의 충전 모드와 방전 모드로 구분된다. 충전 모드에서 그림 4(a)와 같이 스위치  $T_1$ 가 턴-온 되어 인덕터에 에너지를 저장하며, 스위치  $T_2$ 는 항상 턴-오프를 유지한다. 그림 4(b)의 상태에서 스위치  $T_1$ 이 턴-오프 되고, 스위치  $T_2$ 가 턴-온 되면서 보조 커패시터  $C_g$ 를 충전하게 된다. 그림 4(d)에서와 같이 방전 모드에서 스위치  $T_1$ 은 항상 턴-오프 상태인 반면 PWM 신호에 의해 스위치  $T_2$ 의 턴-온 기간동안 버퍼 인덕터  $L_g$ 가 충전된다.

이러한 추가적인 하드웨어 구성에 의해 서브 모듈의 전압 변동을 제한하는 방법에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 5부터 그림 7까지 확인할 수 있다. 그림 7은 기존 제어 방식[3]을 사용하는 MMC 제어와 전압제한 방법을 적용한 방법에 대한 운전주파수 50Hz에서의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 그림 5(a)는 커패시터 전압 변동을 보여주며, 서브 모듈 커패시터 전압이 2000V를 유지하고 있으나, 기존의 MMC는 230V의 전압 변동폭을 보여주는 반면에 전압 변동 제한 방법을 경우 35V 이하의 전압 변동폭을 가지는 것을 확인할 수 있다. 그림 5(c)의 순환 전류 역시 기존의 방법의 경우 130A에서 전압 변동 제한 방법의 경우 40A 정도로 70% 정도 저감 효과를 보여준다. 그림 6의 경우 저주파수 영역의 15Hz에서의 기존 MMC 제어 방법과의 비교된 시뮬레이션 결과를 보여준다. 저주파수에서 서브모듈 커패시터 전압 변동폭은 50Hz에 비해 기존 MMC 제어의 경우 480V로 증가하였으며, 제안한 방법 또한 165V로 전압변동폭이 증가하였으나, 전류 파형에서 확인할 수 있듯이 안정적인 제어가 가능한 결과를 볼 수 있다. 그림 7은 주파수 변동에 따른 기존의 MMC 제어와 전압 변동

제한 제어 방법에 대한 성능 비교를 나타낸다. 주파수 변동에 따라 전압 변동 폭과 출력 전압, 전류의 특성이 저주파수에서의 영향이 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

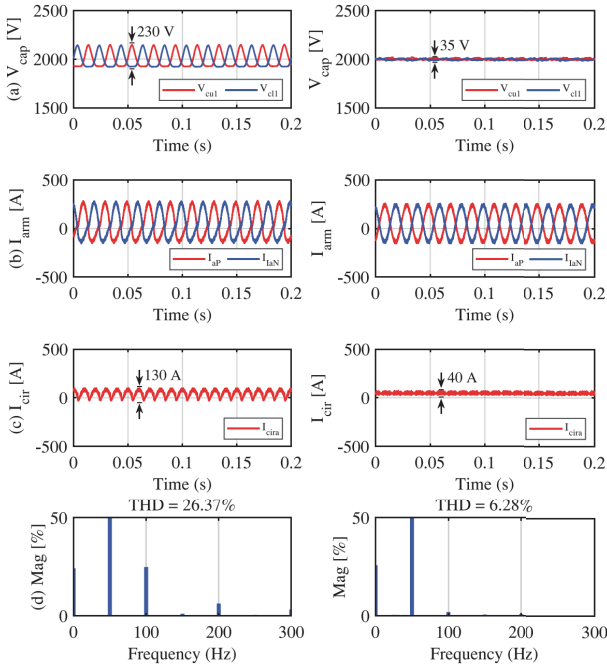


그림 5 주파수 50Hz에서 전압 변동제어의 유무에 따른 시뮬레이션 결과

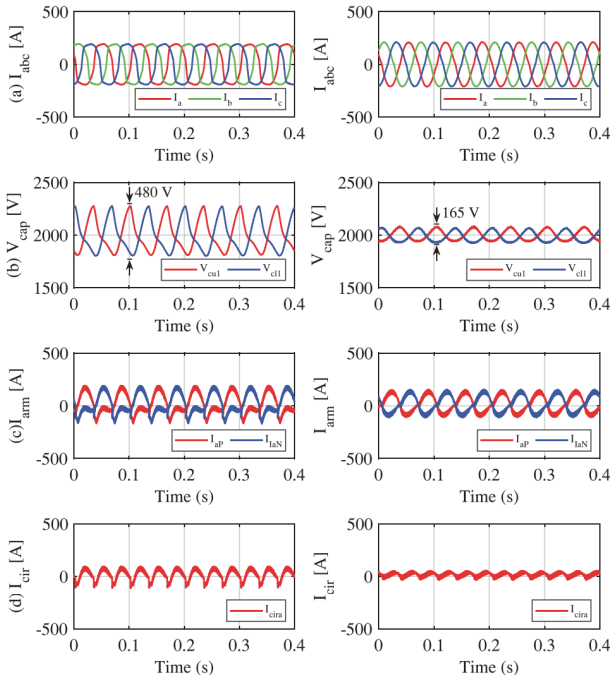


그림 6 주파수 15Hz에서 전압 변동제어의 유무에 따른 시뮬레이션 결과

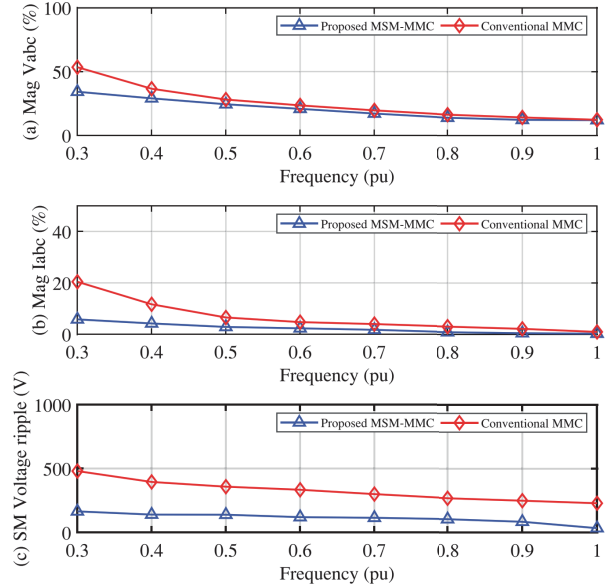


그림 7 주파수 변화에 따른 제어 성능 비교

대용량 구동 시스템의 경우 실험을 통한 성능 검증이 쉽지 않기 때문에 실제 시스템의 성능과 유사한 효과를 검증할 수 있는 실시간 시뮬레이터 장비인 OPAL-RT를 활용하여 개발된 제어 기법에 대한 성능을 확인한다. 그림 8은 OPAL-RT 실시간 시뮬레이터의 실험 환경을 나타낸다. 서브 모듈 전압의 변동을 줄이기 위한 방법은 Matlab/Simulink 플랫폼을 이용하여 시뮬레이션 모델을 구성하고 실시간 시뮬레이터를 이용하여 실험적 결과를 아날로그 출력을 통해 확인하였다. 그림 9와 그림 10은 실시간 시뮬레이터에 의해 출력되는 결과 파형을 나타낸다. 운전 주파수 50Hz와 25Hz 운전 조건의 변화에 대한 성능을 확인하였다. 그림 9는

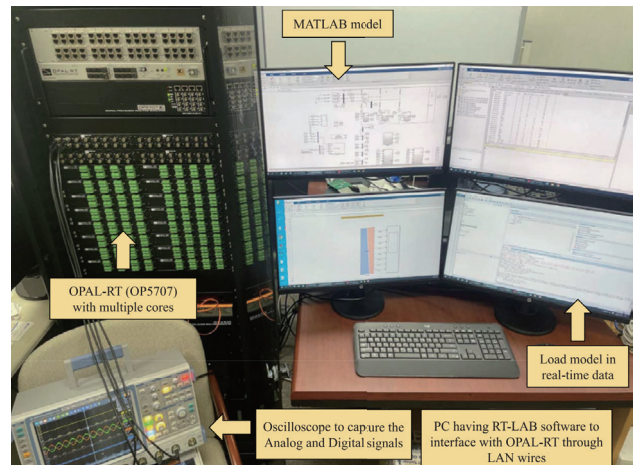
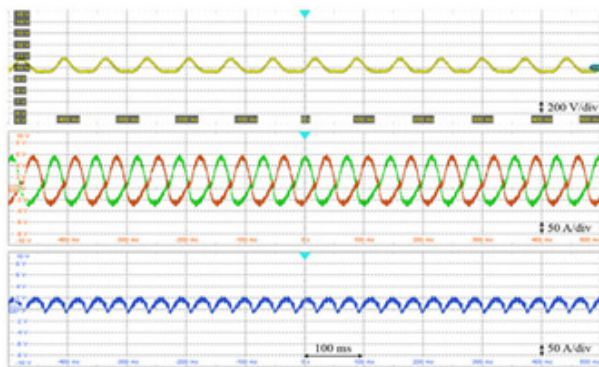
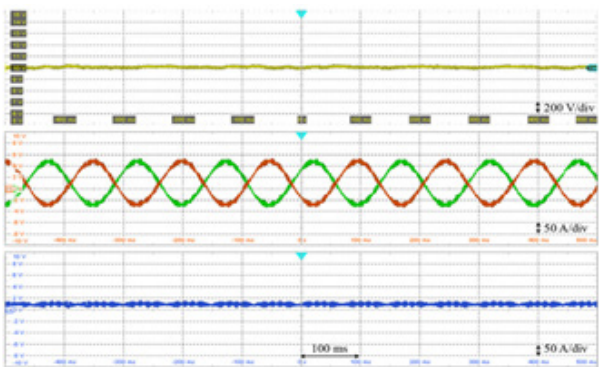


그림 8 OPAL-RT를 이용한 HILS 검증 환경



(a) 기존 MMC 제어



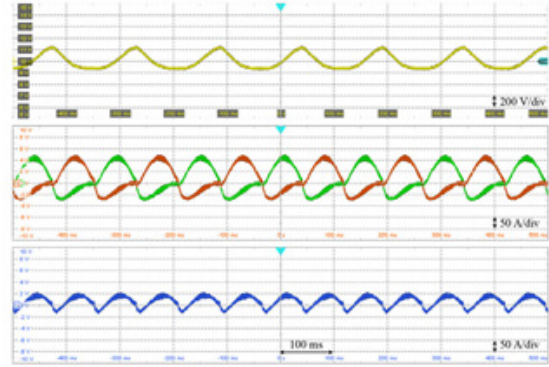
(b) 전압변동 제한제어

그림 9 주파수 50Hz에서의 전압변동 특성

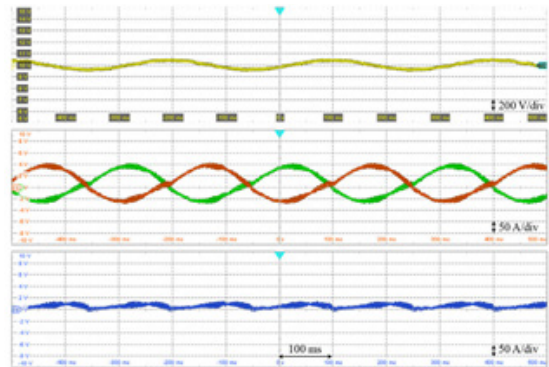
운전 주파수 50Hz에서 실험 파형을 나타낸다. 그림 9(a)는 기존 MMC 제어이고, 그림 9(b)는 전압 변동 제어를 적용한 결과로 전압변동특성의 개선되는 특성이 시뮬레이션 결과와 비슷한 특성을 나타내는 것을 확인하였다. 그림 10은 운전 주파수 25Hz에서 전압 변동 특성에 대한 실험 파형을 보여준다. 서브 모듈의 추가적인 하드웨어 구성에도 불구하고, 대용량 고압 전동기의 구동 특성 상 저속 영역에서 순환 전류 및 전압 변동에 우수한 특성을 확인할 수 있다.

## 4. 결 론

본 고에서는 최근 대용량 고압 전동기 구동 시스템에 새로운 적용이 가능한 모듈러 멀티레벨 컨버터 토폴로지의 기술적 특징을 확인하고, 전동기의 기동 및 저속 영역에서 모듈러 멀티레벨 컨버터의 운전 주파수에 따른 서브 모듈 커패시터 전압의 변동폭을 이론적으로 분석하고, 이러한 전압 변동이 고압 전동기 구동에 미



(a) 기존 MMC 제어



(b) 전압변동 제한제어

그림 10 주파수 25Hz에서의 전압변동 특성

치는 영향을 확인하였다. 또한, 서브 모듈의 전압 변동을 제한하기 위한 방법 중 추가적인 회로를 통해 효과적으로 저주파수 영역에서 안정적으로 구동할 수 있는 방법에 대해 확인하고, 시뮬레이션 및 실험 파형을 통해 기술적 효과를 확인하였다.

향후 고압 전동기를 비롯한 대용량 구동 시스템에 적용 가능할 것으로 예상되며, 이러한 MMC 토폴로지의 기술적 개선 및 방법 등은 대용량 고압 드라이브 시장의 국내 사업화를 통한 기술 선점 등에 이바지할 것으로 사료 된다.

## [참고문헌]

- [1] Kouro, S., Malinowski, M., Gopakumar, K., Pou, J., Franquelo, L.G., Wu, B., Rodriguez, J., Pérez, M.A., Leon, J.I.: Recent advances and industrial applications of multilevel converters. IEEE Trans. Ind. Electron. 57(8), 2553-2580, 2010.
- [2] Debnath, S., Qin, J., Bahrani, B., Saeedifard, M., Barbosa, P.: Operation, control, and applications of the modular multilevel con-

- verter: A review. IEEE Trans. Power Electron. 30(1), 37-53, 2015.
- [3] Perez, M.A., Bernet, S., Rodriguez, J., Kouro, S., Lizana, R.: Circuit topologies, modeling, control schemes, and applications of modular multilevel converters. IEEE Trans. Power Electron. 30(1), 4-17, 2015.
- [4] Perez, M.A., Bernet, S., Rodriguez, J., Kouro, S., Lizana, R.: Circuit topologies, modeling, control schemes, and applications of modular multilevel converters. IEEE Trans. Power Electron. 30(1), 4-17, 2015.
- [5] A. J. Korn, M. Winkelkemper, and P. Steimer, "Low output frequency operation of the Modular Multi-Level Converter." 2010 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, Atlanta, GA, USA, pp. 3993-3997, 2010.
- [6] M. Hagiwara, I. Hasegawa, and H. Akagi, "Start-up and low-speed operation of an electric motor driven by a modular multilevel cascade inverter," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 49, no. 4, pp. 1556-1565, 2013.
- [7] Nguyen, V.-T., Kim, J.-W., Park, J.-W., Lee, J.-M., Park, B.-G., "A modified submodule of modular multilevel converter using active power decoupling method for reducing capacitor voltage ripple under low-frequency operation," IET Power Electron. 1-15, 2022.

#### 저자소개

##### 박병건(Park, Byoung-Gun)

2005년 명지대학교 전기정보제어공학부 졸업  
 2007년 한양대학교 전기공학과 졸업(석사)  
 2011년 동 대학교 전기공학과 졸업(공학박)  
 2011년~현재 한국전기연구원 책임연구원  
 2015년~현재 과학기술연합(UST) 대학원 대학교  
 부교수

주 연구분야: 대용량 전력변환 시스템 및 EV용 구동 시스템 등







# 전기화학 센서 기술 동향

## Trends in Electrochemical Sensor Technology

이원석 | 한국교통대학교

Lee, Won-Seok | Korea National University of Transportation



### 요 약

1700년대 후반 전기화학 기술이 소개된 이후로 전기화학 기술은 분석 전기화학, 전해 공정, 표면처리 기술, 광전기 화학, 배터리, 에너지 저장, 생물 전기 화학, 전기화학 센서 등 다양한 응용 기술로 발전되어 왔다. 수많은 전기화학 응용 기술 중에서 전기화학 기반 센서 기술의 동향 및 전망에 대하여 살펴본다.

### Abstract

Since the introduction of electrochemical technology in the late 1700s, electrochemical technology has been developed into various applications such as analytical electrochemistry, electrolysis process, surface treatment, photoelectrochemistry, battery, energy storage, bioelectrochemistry, and electrochemical sensor. Among the numerous electrochemical application technologies, we review the trends and prospects of electrochemical-based sensor technology.

## 1. 서 론

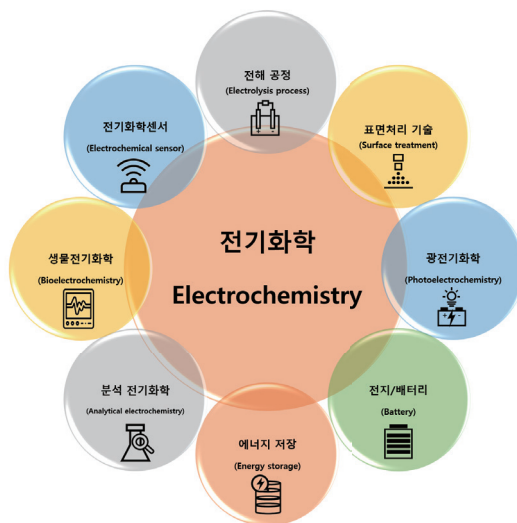
전기화학 기술은 물질 간의 전자 이동을 비롯한 여러 물리 화학적 현상을 탐구하는 분야이며, 전기/전자 현상과 화학 반응의 관련성을 연구하는 분야로 물리, 화학, 생물학 등 다양한 분야에 적용이 될 수 있는 기술이다. 초기의 전기화학 기술은 산업 분야 전반에서 제련, 화합물 제조, 표면 코팅 기술, 전지 제작 등 여러 분야에서 적용되어 오며 기술이 발전되었다. 또한, 전기/전자 및 화학 기술 여러 분야에서 전기화학 원리가 적용되어 오고 있으며, 측정 및 분석 기술로도 활용되고 있다. 현대에 이르러 전기화학 기술은 다양한 산업 분야에서 응용 기술로 활용되며 전해 공정, 표면처리 기술, 광전기 화학, 배터리, 에너지 저장, 분석 전기화

학, 생물 전기화학, 전기화학 센서 등 다양한 분야로 적용되고 있다. 최근 마이크로/나노 기술, 재료 기술의 발달로 반도체 분야, 연료 전지를 비롯한 에너지 분야, 바이오 및 환경 분야에서도 전기화학 기술이 활용되고 있다. 다양한 분야에서 활용되는 전기화학 기술 중에서 본 고에서는 바이오, 환경, 가스 센서 분야에서의 전기화학 센서 기술에 대하여 동향, 한계점 및 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

## 2. 전기화학 기술의 역사 및 동향

개구리의 다리 근육이 전기 자극으로 수축하는 현상으로부터 생물학적 전기에 대하여 탐구하기 시작하였고, 전기와 화학적 현

상이 서로 연관되어 있음을 이해함에 따라 전기화학 기술에 관한 연구가 활발하게 시작되었다. 1800년대 전지의 원형이 소개되었고, 물이 전기에 의해 분해되는 현상을 발견하였다[1]. 이를 시작으로, 전기량과 전기화학적 반응이 밀접한 관계가 있다는 사실이 밝혀짐에 따라 전기화학 기술은 학계에서 더욱 주목을 받게 되었다. 이후 19세기 말, 네른스트식이 발표가 되며 열역학의 발전이 전기화학 기술에도 큰 영향을 미치게 되었다[1]. 이후 현대에 이르러 분석 화학, 전기·전자공학, 재료공학, 신소재공학, 광학, 마이크로 나노공학, 생명 공학 등 다양한 분야의 기술 개발 및 발달과 함께 전기화학 기술은 다학제간 응용이 가능한 기술로 자리매김하여 현재까지도 연구 개발이 진행중에 있다.



출처 자체 제작

그림 1 현대전기화학응용 기술

### 3. 전기화학 기반 센서란?

센서란 외부 자극 혹은 입력 신호를 전기신호를 비롯한 다른 출력신호로 변환하는 소자를 일컫는다. 그중에서도 전기화학 신호로 출력하는 센서를 전기화학 센서라 부른다. 전기화학 센서는 계측 방식에 따라, 검지하고자 하는 대상 물질에 따라 센서의 분류가 가능하다. 계측 방식에 따라 대표적으로 순환전압전류법 (Cyclic voltammetry), 전기화학 임피던스 분광법 (Electrochemical impedance spectroscopy), 양극 벗김 전압전류법 (Anodic stripping voltammetry) 등이 있다. 순환전압전류법은

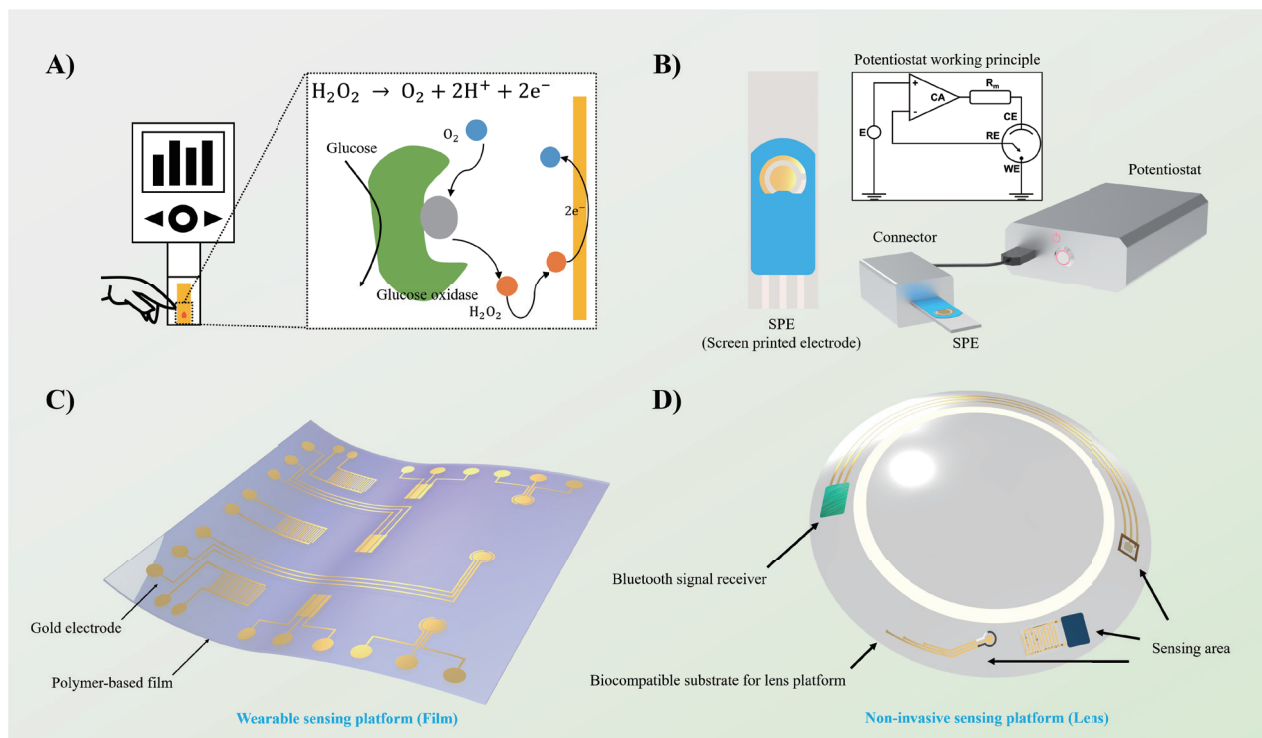
작동 전극의 전위가 시간에 따라 선형으로 증가하며, 설정된 전위에 도달한 후 작동 전극의 전위가 반대 방향으로 상승하여 초기 전위로 돌아가는 방식으로 필요한 만큼 반복하여 측정하는 방식이다[2]. 일반적으로 측정하고 하는 시료 또는 용액 등 분석물질의 전기화학적 특성 또는 전극에 흡착된 분자의 전기화학적 반응 및 특성을 연구하는 데 주로 활용되는 방식이다[2]. 전기화학 임피던스 분광법의 경우 주파수가 다른 교류신호를 통해 임피던스를 계측하는 방식이며[3], 양극 벗김 전압전류법은 특정 이온의 정량적 분석을 할 경우 주로 사용되는 방법이다[4]. 측정하고자 하는 특정 이온이 증착 단계 동안 작업 전극에 전기 도금되면서 전위가 스트리핑 되는 동안 전극 표면에서 산화되는데 전류는 스트리핑 단계 동안만 측정되며 이온이 산화되기 시작하는 전위부터 전류 신호의 피크값으로 기록이 된다[4]. 이러한 양극 벗김 전압전류법은 특정 이온을 쉽고 빠르게 정량적으로 검출할 수 있어 환경 센서로도 활용 되고 있다[4]. 한편, 측정하고자 하는 대상에 따라 전기화학 센서는 바이오, 환경, 산업, 농업 등 다양한 분야에서 응용이 가능하다[5]. 전기화학 센서는 고민감도, 고선택도, 짧은 측정 시간, 사용자의 편의성 등에서 다른 방식의 센서에 비하여 장점을 지니기 때문에 여러 다른 센서보다도 많이 활용되는 추세이며, 상용화가 많이 이루어진 센싱 방식이다[5]. 최근에는 재료 기술의 발달로 인하여 그래핀, 맥신 등 물리 화학적 특성이 매우 뛰어난 2차원 나노 소재들이 새롭게 보고 됨에 따라 전기화학 센서의 작동 전극에 적용하여 센싱 효율을 높이는 기술이 개발되고 있으며 반도체 공정 기술이 발전됨에 따라 전기화학 센서는 소형화 및 집적화가 이루어지고 있다. MarketsandMarkets 과 Smart Sensor Market 보고에 따르면 전 세계 스마트 센서 시장은 2020년 366억 5,000만 달러에서 연평균 성장률 19.0%로 증가하여, 2025년에는 875억 8,000만 달러에 이를 것으로 전망됨에 따라 전기화학 센서 시장은 앞으로도 계속 성장될 것으로 전망 된다[6,7].

### 4. 전기화학 기반 바이오 센서 기술

현재, 바이오센서 기술은 급속도로 성장하는 추세이며 특히,

전기화학을 이용한 센서 기술 중에서 생체 신호 및 생화학 반응을 통한 진단 기술로 활용되는 바이오 센서 기술은 오래전부터 개발되어 활용되어 오고 있다. 그중에서도, 당뇨병 진단 및 예방을 위하여 개발된 혈당 측정 기술은 전기화학식 바이오 센서 기술 중에서도 가장 많이 알려져 있는 기술이다[8]. 혈당 측정 기술은 혈액 내 글루코스 양을 측정하는 기술로 전기화학식 센서는 크게 2세대에 걸쳐 개발이 진행되었다. 전기화학식 글루코스 센서의 주요 화학 메커니즘은 산소가 존재하는 상태에서 글루코스는 글루콘산과 과산화 수소로 변환되며 이러한 반응을 효소인 글루코스 옥시다아제가 촉진시킨다[8]. 효소반응을 통하여 생성된 과산화 수소 혹은 산소 변화를 전기화학적 방식으로 측정함에 따라 글루코스양을 정량적으로 분석 할수 있다. 1세대 글루코스 센서의 경우 과산화수소 농도를 전류 검지 방식을 통하여 측정하는 방식이며, 2세대 글루코스 센서는 1세대 글루코스 센서에서 혈액 내 용존 산소 농도에 의존적인 한계점을 극복하고 전기화학 매개자를 활용하여 정확한 혈액 내 글루코스양을 분석하도록 발전되었다[8]. 2세대 글루코스 센서는 전기화학식 혈당 센서로

서 제품화 및 상용화 되어 현재까지도 많은 당뇨 환자들이 이용하고 있다. 최근 마이크로/나노 기술의 발달로 비침습 또는 최소 침습형 글루코스 센서들이 개발되고 있으며 패치 타입의 전기화학식 웨어러블 기기의 개발을 비롯하여 렌즈 타입의 스마트 센서 또한 활발하게 진행되고 있다[8]. 뿐만 아니라, 전기화학식 센서는 암, 치매 등 여러 질환을 조기에 검지할 수 있는 기술로 확장되어 연구 개발이 진행되고 있다[9]. 전기화학 바이오 센서의 구조적인 면을 살펴보면 초기에는 기준 (reference), 작동 (working), 상대 (counter) 전극의 3전극 시스템이 주로 활용되어져 왔다. 특히 휴대용 기기 개발 및 현장 진단의 중요성이 높아지며 스크린 프린팅 방식의 3전극을 많이 활용해 오고 있으며 현재까지도 상용화된 제품이 가장 많은 방식이다. 최근에는 전자공학의 발달로 전계효과트랜지스터 (Field effect transistor)를 비롯하여 집적화 기술이 적용됨에 따라 센서의 크기가 줄어들고 있는 추세이다. 이러한 추세 속에서 생체적합성이 높은 고분자 물질인 PDMS (Polydimethylsiloxane) 물질을 비롯하여 전도성을 지닌 폴리아닐린 필름에 전극을 증착시켜 패치 타입의 전기화학 센서를 개발



출처 자체 제작

**그림 2** 혈당센서 (글루코스센서) a) 글루코스 전기화학적 센싱 메커니즘 b) 스크린 프린팅 전극을 이용한 센싱, c) 패치타입 웨어러블 글루코스 센서 모식도, d) 스마트 렌즈형 글루코스 센서

하여 체액 기반 웨어러블 센서를 개발하고 있다[8]. 또한 이러한 패치 타입 이외에도 생체 삽입형 센서의 개발 역시 활발히 이루어지고 있다. 생체 삽입형 센서의 경우는 전극을 비롯한 기기의 생체적합성, 외부전력의 필요 유무 및 그에 따른 배터리 기술 등 개선되어야 할 점이 있지만, 전기화학 기술 기반 배터리 기술을 활용하게 될 경우 극복이 가능할 것으로 전망된다. 전기화학 바이오 센서는 앞서 살펴본 바와 같이 여러 세대에 걸쳐 그 기술이 발전되고 있으며 다학제간 기술 교류로 센서 효율을 높이는 방식으로 개발되고 있어 앞으로도 발전 가능성이 높다고 예상되며, 초고령화 사회로의 진입을 앞둔 현실점에서 현장 진단, 개인 의료 및 원격 의료등 새로운 방식의 의료 기술의 발전으로 반드시 수반되어질 기술이라 여겨 진다.

## 5. 전기화학 기반 환경 센서 기술

전기화학 환경 센서는 토양, 수질, 대기 등 다양한 종류의 환경 오염물질을 검출하는 것이 주요 목표이며 수계의 경우 납, 카드뮴, 구리 등 중금속 이온 검출에서 전기화학 센서 기술이 상용화되어 있다[10]. 특히, 양극 벅깅 전압 전류법을 이용한 중금속 이온 검출은 다른 중금속 이온 검출 방법보다 정확하고 빠르게 측정이 가능

하여 주로 활용되고 있는 기술이다. 또한, 페놀류 화합물, 인산계 물질, 살충제 등 다양한 환경 오염 물질의 측정에 전기화학 센서가 개발되고 활용 되고 있다. 살충제의 경우 체내에 흡수되면 치명적인 질병을 야기시킬 수 있기 때문에 연구 개발이 더욱 활발하게 진행 중이다[10]. 살충제는 과일, 채소 등을 비롯한 식재료의 표면에 존재 유무를 확인하는 전기화학 센서 개발이 주를 이루고 있으며 토양 또는 수계 내의 살충제 성분을 전기화학식 센서로 측정하는 기술들이 보고 되고 있다[10]. 이때 사용되는 전기화학 방식은 주로 3 전극 시스템을 활용한 순환전류전압법 및 양극 벅깅 전압전류법 활용이 주를 이룬다. 최근에는 수계 내에 존재할 수 있는 비스페놀 A를 비롯한 환경 호르몬 검출용 전기화학 센서들이 개발되고 있다. 환경 호르몬 물질은 식품, 화장품, 영수증 등 일상생활에서 주로 사용하는 제품으로부터 쉽게 노출될 수 있으며, 체내에 유입될 경우 대사증후군 (당뇨, 비만, 고혈압 등)을 비롯하여 여러 질병을 유발할 수 있다. 따라서, 쉽고 빠르게 검출이 가능한 전기화학 센서를 활용하여 환경 호르몬을 검출 하는 기술에 대하여 상용화를 위한 연구가 진행 중이다[11]. 수질 오염 물질의 경우, 강/호수, 농업/산업 폐수 등에서 빠르게 현장 진단을 해야 하기 때문에 전기화학 센서가 활용되고 있다. 환경 오염이 날로 심각해지는 상황 속에서 전기 화학식 센서의 개발 및 적용 사례는 점차 늘어날 것으로 예상된다.

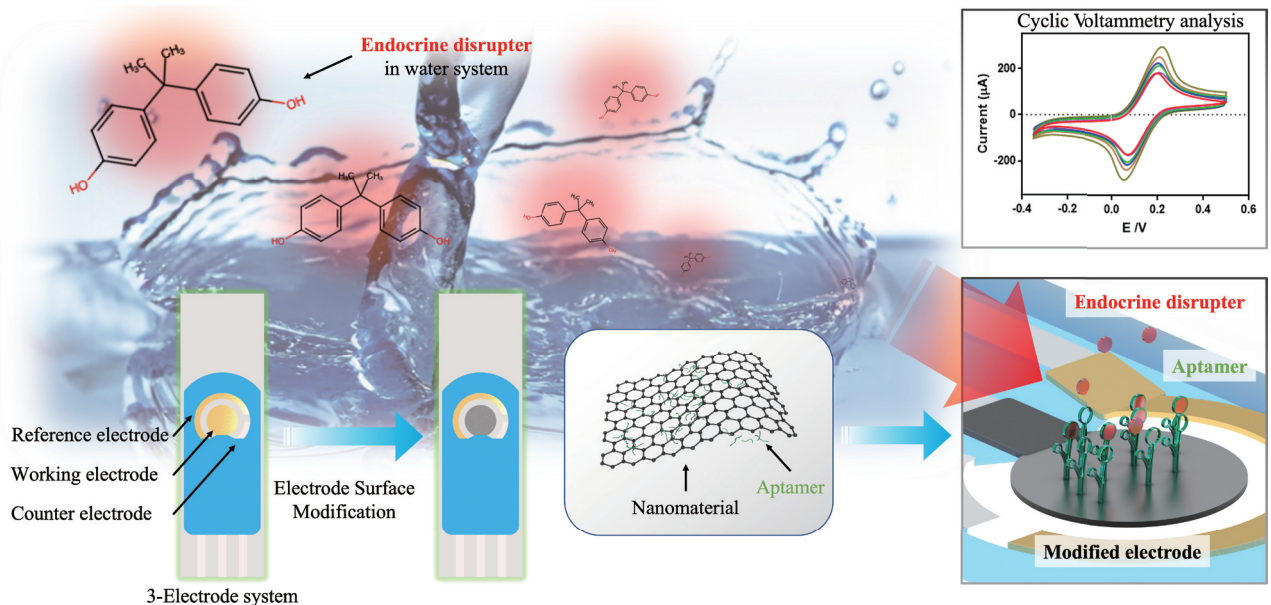


그림 3 전기화학 시스템 기반 환경 센서 모식도

출처 자체 제작



## 6. 전기화학 기반 가스 센서 기술

산업 기술 발달 및 운송 수단 발전으로 배기 가스를 비롯한 유해 화학 가스가 많이 배출됨에 따라 대기오염은 날로 심각해지고 있으며, 황사를 비롯한 미세먼지의 증가는 대기오염으로 인하여 가스 센서 개발의 수요가 늘어나고 있음을 시사한다. 전기화학 기술 기반의 가스 센서의 경우 전극 위에 가스와 주로 반응을 하는 전기/전자재료를 도포하고 전극을 개질화하여 센서로 활용하고 있다. 여러 재료 중에서 가장 많이 적용하는 재료로는 탄소나노섬유, 그래핀 등의 탄소 계열 재료이며 그 밖에도 산화아연, 산화주석, 산화인듐, 산화니켈, 산화철, 이산화티타늄, 텅스텐 산화물 등의 금속산화물을 주로 활용한다[12]. 팔라듐, 백금, 금, 은, 알루미늄 등 금속 재료 역시 가스 센서 전극 재료로 흔하게 사용되고 있다. 전기화학식 가스 센서의 센싱 메커니즘은 센서 표면의 전기/전자재료와 가스 분자간의 산화 또는 환원 반응을 통한 전자 이동으로 인하여 발생하는 전류값 또는 저항값의 변화를 측정하여 특정 가스의 농도를 정량적으로 분석하는 것이다[12]. 최근에는 전계효과트랜지스터 및 금속산화물 트랜지스터 등을 활용한 전기화학식 가스 센서들이 개발되고 있으며 이러한 센서들은 고민감도, 고회복성, 고재현성 등으로 단순한 전기화학식 센서의 한계점을 극복하는 기술로 자리매김하고 있다[12]. 전기화학식 가스 센서에서 측정 가능한 대표적인 유해 가스들은 질소산화물, 암모니아, 미세먼지 등이다. 최근에는 휘발성 유기화합물을 측정하는 전기화학식 센서들이 활발히 개발되고 있으며 나아가 인간의 호흡을 통하여 구취, 구내염 등의 구강 질환에서부터 암 등의 다양

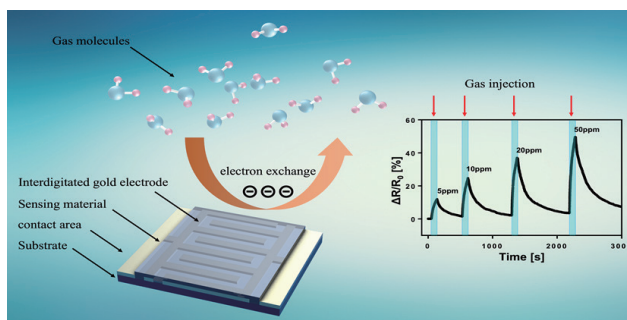
한 질병을 감지하는 기술까지도 개발되어 상용화 단계에 이르고 있다[13]. 한편, 인공지능 및 딥러닝/머신 러닝 기술의 진보로 인하여 전기화학식 가스 센서에서 측정된 결과를 활용하여 딥러닝/머신 러닝으로 가스 유출을 실시간으로 모니터링하는 기술들도 보고 됨에 따라[13], 전기화학식 가스 센서는 기존의 가스 센서보다 진보된 스마트 센서로 자리매김하고 있으며 첨단 산업 분야에서 발생하는 여러 유해가스를 감지하는 기술로 전기화학식 가스 센서가 많이 상용화될 것으로 예측된다.

## 7. 결 론

본 고에서는 전기화학 기술의 시작부터 현재까지 여러 분야의 응용 기술에 대하여 살펴보았다. 다양한 전기화학 기술 응용 분야 중에서도 센서에 적용된 사례들을 살펴보았으며, 특히 바이오, 환경 분야에서 주로 활용되는 기술에 대하여 살펴보았다. 전기화학식 센서의 특징인 고민감, 고편의성 기술로 인하여 여러 분야에서 상용화 기술이 보급되고 있으며, 인공지능/딥러닝/머신러닝 기술까지 적용됨에 따라 전기화학식 센서 분야는 기존의 현장 진단용 기술에서 진화하여 스마트 센서 기술로 자리매김하여 국내외 센서 시장에서 주요 핵심 성장 기술로 여겨질 것으로 예상된다.

### [참고문헌]

- [1] 백운기, 여인형, "전기화학 기초와 응용", 자유아카데미, 2021.2
- [2] Noémie Elgrishi, Kelley J. Rountree, Brian D. McCarthy, Eric S. Rountree, Thomas T. Eisenhart, and Jillian L. Dempsey. "A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry" Journal of Chemical Education. 95, 2, 197-206. 2017.11
- [3] Alexandros Ch. Lazanas and Mamas I. Prodromidis. "Electrochemical Impedance Spectroscopy-A Tutorial" ACS Measurement science. 3, 3, 162-193. 2023.03
- [4] Ellis, William D. "Anodic stripping voltammetry". Journal of Chemical Education. 50 (3): A131. 1973.03
- [5] Jaya Baranwal, Brajesh Barse, Gianluca Gatto, Gabriela Broncova, and Amit Kumar. "Electrochemical Sensors and Their Ap-



출처 자체 제작

그림 4 전기화학식 가스 센서 측정 메커니즘 모식도

- plications: A Review" Chemosensors. 10, 363. 2022.09
- [6] MarketsandMarkets, Smart Sensor Market, 2020
- [7] INNOPOLIS 연구개발특구진흥재단 "글로벌시장동향보고서 스마트 센서 시장". 2021.05
- [8] Tamoghna Saha, Rafael Del Caño, Kuldeep Mahato, Ernesto De la Paz, Chuanrui Chen, Shichao Ding, Lu Yin, and Joseph Wang. "Wearable Electrochemical Glucose Sensors in Diabetes Management: A Comprehensive Review" Chemical Reviews. 123, 12, 7854-7889. 2023.05
- [9] Shaoguang Li, Hongyuan Zhang, Man Zhu, Zhujun Kuang, Xun Li, Fan Xu, Siyuan Miao, Zishuo Zhang, Xiaoding Lou, Hui Li\*, and Fan Xia. "Electrochemical Biosensors for Whole Blood Analysis: Recent Progress, Challenges, and Future Perspectives" Chemical Reviews. 123, 12, 7953-8039. 2023.01
- [10] Tony O Hara and Baljit Singh. "Electrochemical Biosensors for Detection of Pesticides and Heavy Metal Toxicants in Water: Recent Trends and Progress" ACS EST Water. 1, 3, 462-478. 2021.02
- [11] Laura E. Sofen and Ariel L. Furst. "Perspective—Electrochemical Sensors to Monitor Endocrine Disrupting Pollutants" Journal of The Electrochemical Society. 167, 037524. 2019.12
- [12] Abdelghaffar Nasri, Mathieu P'étrissans, Vanessa Fierro, Alain Celzar. "Gas sensing based on organic composite materials: Review of sensor types, progresses and challenges" Materials Science in Semiconductor Processing. 128, 15, 105744. 2021.06
- [13] Usman Yaqoob and Mohammad I. Younis. "Chemical Gas Sensors: Recent Developments, Challenges, and the Potential of Machine Learning—A Review" Sensors. 21, 8, 2877. 2021.04

**저자소개****이원석(Lee, Won-Seok)**

2012년 연세대학교 의공학과 졸업  
2018년 동 대학교 대학원 졸업(공학)  
2021년~현재 한국교통대학교 전기공학전공 교수  
주 연구분야: 전기화학센서, 센서칩 등



# 전력망의 재생에너지 수용능력 확대를 위한 풍력 발전 적정 비중과 증가 방안

## Appropriate Proportion of Wind Power Generation Capacity and Proposal for Increase in Renewable Energy Capacity Expansion

정술영, 이용승, 이재걸, 이종민 | 한전 전력연구원

Jung, Sol-Young, Lee, Yong-Seung, Lee, Jae-Gul, Lee, Jong-Min | KEPCO Research Institute



### 요 약

태양광과 풍력 발전의 출력 특성은 매우 상이하기 때문에 특정 발전원의 비중이 지나치게 높은 경우 전력망의 수용능력의 부족으로 인하여 잉여전력이 증가하는 특징을 갖는다. 이에 한국전력공사 전력연구원(이하 전력연구원)에서는 전력망의 재생에너지 수용능력 확대를 위한 방법으로 중장기적인 태양광 및 풍력 발전의 적정 설비 비중을 분석하였으며 그 내용을 본고에서 소개하고자 한다. 태양광과 풍력발전의 적정 발전설비 비중을 분석하기 위해서 전력연구원에서 개발한 재생에너지 잉여전력 산정 방법론을 활용하였으며 2036년과 2050년에 대한 분석을 수행하였다. '23년 현재 우리나라는 태양광의 발전설비 비중이 92%로 매우 높은 수준이기 때문에 적정 재생에너지 비중을 확보하기 위해서는 풍력 발전 설비의 비중 확대가 필요한데 이를 위해서는 풍력발전의 잠재량을 늘리기 위한 연구개발 및 제도 개선이 필요하다. 재생에너지 적정 비중 산정 방법과 결과는 향후 재생에너지 설비 계획 시에 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

### Abstract

Since the output characteristics of PV and wind power generation are very different, surplus power increases due to insufficient capacity of power grid if one of these power generation sources has an excessively high proportion. Accordingly, KEPCO Research Institute has analyzed the mid-to-long-term appropriate proportion of PV and wind power generation facilities as a method for expanding the renewable energy capacity of the power grid using the renewable energy surplus power calculation methodology developed by KEPCO. As a result of the analysis of 2036 and 2050, since Korea currently has a very high proportion of PV generation facilities at 92%, it is necessary to increase the proportion of wind power generation facilities in order to secure an appropriate share of renewable energy. To this end, R&D and institutional improvement are needed to increase the potential of wind power generation. It is expected that the method and results of calculating the appropriate proportion of renewable energy can be used in future renewable energy planning.

## 1. 서 론

탄소 중립 달성을 위해 태양광 및 풍력 설비는 발전량 기준으로 2022년 30.8TWh에서 2030년 46.8TWh, 2036년 77.2TWh 그리고 2050년 893.7TWh까지 높이는 계획을 수립하고 있다.[1] 한

국전력공사 전력연구원(이하 전력연구원)에서 자체 분석한 결과에 따르면 재생에너지 발전량 증가에 따라 잉여전력 발생 전망 역시 증가하는 것으로 분석되었으며, 2030년에 연간 0.89TWh, 2036년에 20TWh, 2040년에 82TWh, 2050년에 350TWh가 발생할 것으로 전망된다. 이에 따라 전력연구원에서는 전력망의 재

생에너지 수용능력 확대를 위한 방안과 관련된 전력 수요 이전, 발전기 유연 운전 기술, 재생에너지 적정 비중 분석 등의 연구를 진행하고 있다.

특히 태양광과 풍력 발전의 출력 특성은 매우 상이하기 때문에 특정 발전원의 비중이 지나치게 높은 경우에 전력망의 수용능력 부족으로 인하여 잉여전력이 증가하는 특징을 갖는다. 2023년 현재 국내 태양광의 발전설비 용량은 25.2GW, 비중이 92%로 매우 높은 수준이며, 반면 풍력 발전설비 용량은 2.2GW, 비중이 8%로 매우 낮은 수준이다. 국내 전력망의 재생에너지 적정 재생에너지 비중을 확보하기 위해 풍력 발전 설비의 비중 확대가 필요하다.

해외에서도 태양광과 풍력 설비의 비중에 따른 장주기 저장장치 필요용량을 분석하는 연구를 수행하고 있다.[2] 캘리포니아는 태양광 90%, 풍력 10% 일 때, 독일은 태양광 30%, 풍력 70%일 때 장주기 저장 장치 설치 용량이 최소화될 수 있다고 분석하였다. 이는 각 계통의 수요 패턴과 재생에너지 발전의 출력 특성에 따라 잉여전력이 최소화가 되는 지점이 다르게 발생할 수 있으며, 국내 적정 재생에너지 비중에 대한 분석이 필요하다.

국내의 경우 태양광 설비 인허가 절차가 풍력에 비해 간단하고, 작은 단위 용량으로 설치가 용이하기 때문에 태양광 보급이 풍력 발전 보급보다 활발히 이루어지는 경향이 있다. 전력망의 재생에너지 수용능력 확대를 위해 적절한 재생에너지 설비 비중에 대한 분석을 수행하고, 풍력 발전 적정 비중 확보를 위한 기술 개발 및 제도 개선이 필요하다.

본 기고문에서는 재생에너지 비중에 따른 2036년과 2050년의 최소 잉여전력 발생 지점을 분석하여 태양광 및 풍력 발전의 적정 설비 용량을 분석하였다. 또한 풍력발전의 잠재량을 늘리기 위한 연구개발 및 제도개선 방안에 대해 제시하였다.

## 2. 풍력 및 태양광 비중에 따른 잉여전력 변화

재생에너지 잉여전력 발생 원인은 전력망 유연성 부족이며, 장기적으로는 발전기 최저 안정부하 제약, 단기적으로는 송전용량 부족 및 발전기 응답 속도 부족의 원인에 의해서 발생한다. 특히 장기적으로 발생하는 잉여전력은 아래의 그림 1과 같이 계통 내

Must-run 발전기들의 최소 출력을 더 이상 하향할 수 없는 경우에 발생하며, 이 경우 발전기 최저안정 부하 하향 또는 전력 수요 이전, 그리고 재생에너지 비중 변화에 따른 연간 재생에너지 패턴 변화를 통해 잉여전력을 줄일 수 있다.

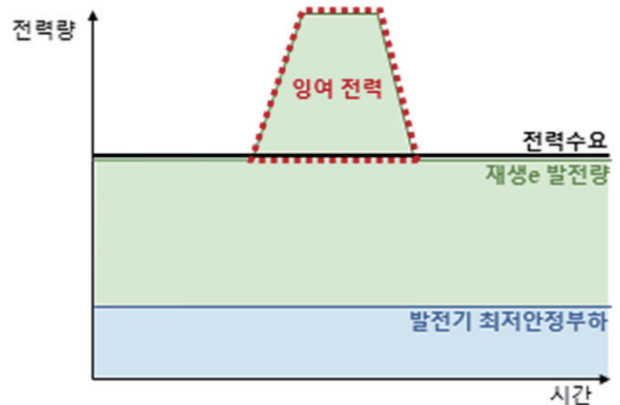


그림 1 발전기 최저 안정부하제약으로 인한 재생에너지 잉여전력 발생원인

아래의 그림 2는 Climate Policy Initiative에서 풍력과 태양광의 비중 변화에 따라 잉여전력 최소지점 분석 및 장주기 저장장치 필요량의 최소 지점을 분석한 것이다[2]. 미국 캘리포니아의 경우에는 풍력 10%, 태양광 90% 지점에서 필요한 장주기 저장장치 용량이 최소화되며, 독일은 풍력 70%, 태양광 30%인 지점에서 그 양이 최소화된다. 이는 계통의 전력 수요패턴 및 재생에너지 발전 패턴 등에 따라 재생에너지 잉여전력 발생이 다르게 나타날 수 있음을 의미한다.

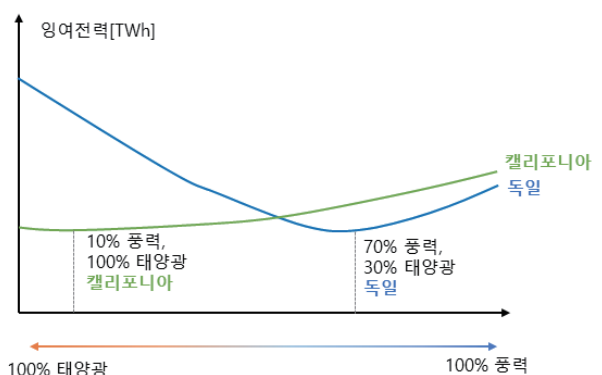


그림 2 풍력 및 태양광 비중에 따른 장주기 저장장치 필요용량 분석

아래의 그림 3은 태양광 및 풍력 설비 비중 변화에 따른 재생에너지 잉여전력 변화의 예시를 나타낸 것이다. 각 그래프는 하루



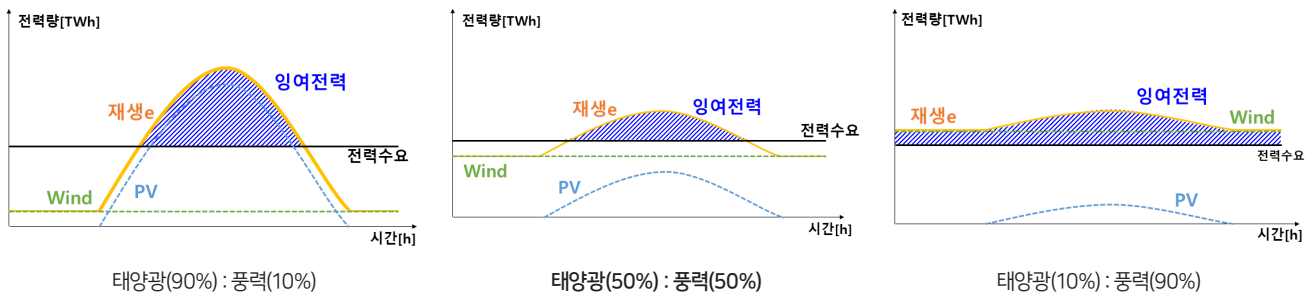


그림 3 재생에너지 설비 비중의 변화에 따른 잉여전력 변화예시

동안의 전력수요와 태양광 및 풍력의 발전량을 1시간 단위로 나타낸 개념도이다. 태양광의 출력 패턴은 주로 낮시간대에 분포하고, 풍력의 패턴은 비교적 고르게 분포하는 경향을 나타낸다. 태양광이 90%이고 풍력이 10% 비중인 경우 낮시간대에 잉여전력이 집중되며, 태양광의 비중이 줄어들고 풍력 비중이 증가하는 경우 낮 시간대의 재생에너지 출력이 밤 시간대로 이전되는 효과가 발생하여 주로 낮 시간대에 발생하던 재생에너지 잉여전력이 감소한다. 풍력의 비중이 더욱 증가하게 되는 경우에는 전체적인 시간대에 걸쳐 잉여전력이 발생하여 더 많은 잉여전력이 발생할 수 있다.

### 3. 국내 태양광 및 풍력 발전 설비 적정 비중 분석

#### 3.1 전제조건 및 분석방법

2036년과 2050년의 재생에너지 잉여전력 최소화 관점에서 국내 태양광 및 풍력 발전 설비의 적정 비중을 분석하였다. 2036년은 제10차 전력수급기본계획, 2050년은 2050 탄소중립 시나리오의 최대 전력 수요와 재생에너지 설비 용량 데이터를 사용하였다 [1,3]. 표 1은 2036년과 2050년의 최대 전력수요와 재생에너지 설비용량 전제조건을 나타낸다.

표 1 최대 전력수요와 재생에너지 설비용량 전제조건

|            | 2036년   | 2050년   |
|------------|---------|---------|
| 최대 전력수요    | 118.0GW | 211.0GW |
| 재생에너지 설비용량 | 99.8GW  | 595.3GW |

재생에너지 잉여전력 분석은 한전 전력연구원에서 자체 개발

한 분석 툴을 활용[4]하였으며, 연도별 태양광과 풍력의 설비 비중을 5% 단위로 변화시켜서 잉여전력이 최소가 되는 지점을 분석하였다. 이때 연도별 총 재생에너지 설비용량과 전력수요 패턴은 변화시키지 않고 고정하였으며, 재생에너지는 태양광과 풍력으로만 구성되었다고 가정하였다. 전력 수요와 재생에너지 패턴은 2018년 실적 데이터를 정규화하여 활용하였고, 태양광의 이용률은 15.2%, 풍력의 이용률은 30.2%를 적용하였다.

#### 3.2 분석 결과

2036년의 태양광 및 풍력 발전 설비의 적정 비중 분석 결과

표 2 태양광/풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 변화표(2036년)

| 풍력  | 태양광  | 잉여전력    | 풍력   | 태양광 | 잉여전력    |
|-----|------|---------|------|-----|---------|
| 0%  | 100% | 22.9TWh | 55%  | 45% | 13.8TWh |
| 5%  | 95%  | 21.7TWh | 60%  | 40% | 14.3TWh |
| 10% | 90%  | 20.4TWh | 65%  | 35% | 15.2TWh |
| 15% | 85%  | 19.2TWh | 70%  | 30% | 16.5TWh |
| 20% | 80%  | 18.1TWh | 75%  | 25% | 18.4TWh |
| 25% | 75%  | 17.0TWh | 80%  | 20% | 20.8TWh |
| 30% | 70%  | 16.0TWh | 85%  | 15% | 23.7TWh |
| 35% | 65%  | 15.1TWh | 90%  | 10% | 27.1TWh |
| 40% | 60%  | 14.4TWh | 95%  | 5%  | 31.0TWh |
| 45% | 55%  | 13.8TWh | 100% | 0%  | 35.2TWh |
| 50% | 50%  | 13.6TWh |      |     |         |

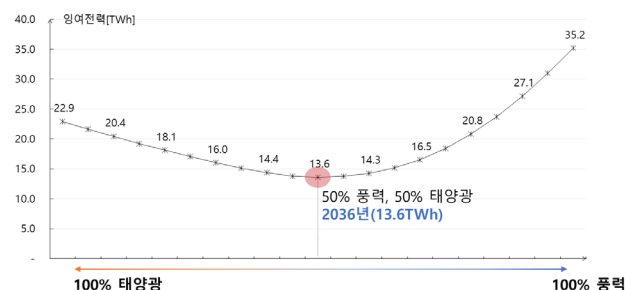


그림 4 태양광/풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 변화 그래프(2036년)

력 50%, 태양광 50%일 때 잉여전력 발생량이 최소가 되는 것을 분석하였다. 아래의 표 2와 그림 4는 풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 발생량을 나타낸 것이다.

태양광이 100%이고 풍력이 0% 비중일 때 잉여전력은 22.9 TWh이며, 풍력 발전 비중을 증가시키에 따라 잉여전력이 줄어든다. 또한 풍력 비중이 50%가 되는 지점에서 13.6TWh의 최소 잉여전력이 발생하며, 풍력 발전 설비 비중이 100%일 때 35.2TWh로 최대 잉여전력이 발생하는 것을 알 수 있다. 즉, 잉여전력 최소화 관점에서 2036년에는 태양광과 풍력이 각각 49.9GW의 설비 용량이 확보되어야 한다는 것을 의미한다.

같은 방법으로 2050년에 대해 분석한 결과 풍력이 35%, 태양광이 65%일 때 재생에너지 잉여전력이 최소화가 된다. 아래의 표 3과 그림 5는 태양광과 풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 변화를 나타낸다.

표 3 태양광/풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 변화표(2050년)

| 풍력  | 태양광  | 잉여전력     | 풍력   | 태양광 | 잉여전력     |
|-----|------|----------|------|-----|----------|
| 0%  | 100% | 371.1TWh | 55%  | 45% | 353.5TWh |
| 5%  | 95%  | 360.7TWh | 60%  | 40% | 376.7TWh |
| 10% | 90%  | 350.6TWh | 65%  | 35% | 402.6TWh |
| 15% | 85%  | 340.7TWh | 70%  | 30% | 430.6TWh |
| 20% | 80%  | 331.4TWh | 75%  | 25% | 460.4TWh |
| 25% | 75%  | 322.5TWh | 80%  | 20% | 491.9TWh |
| 30% | 70%  | 315.1TWh | 85%  | 15% | 525.5TWh |
| 35% | 65%  | 311.4TWh | 90%  | 10% | 560.9TWh |
| 40% | 60%  | 312.5TWh | 95%  | 5%  | 598.2TWh |
| 45% | 55%  | 320.1TWh | 100% | 0%  | 636.9TWh |
| 50% | 50%  | 334.3TWh |      |     |          |

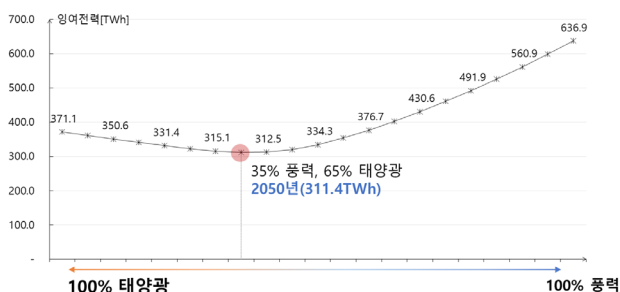


그림 5 태양광/풍력 발전 설비 비중에 따른 잉여전력 변화 그래프(2050년)

2050년의 경우 태양광의 비중이 100%일 때 371.1TWh의 잉여전력이 발생하고, 풍력의 비중이 높아지면서 풍력 비중이 35%, 태양광이 65%가 되는 지점에서 311.4TWh의 최소 잉여전력이 발

생한 후 풍력의 비중이 100%가 될 때 최대 잉여전력이 발생한다. 즉, 2050년에는 풍력의 설비 용량이 전체 재생에너지의 35%인 208.4GW가 확보되어야 함을 의미한다.

#### 4. 국내 풍력 설비 비중 확대 방안

태양광과 풍력 발전 설비의 적정 비중 분석 결과 2036년과 2050년 각 연도에 필요한 풍력 설비 용량은 49.9GW(50%), 208.4GW(35%)이다. 아래의 표 4는 국내 풍력설비 필요량과 잠재량을 나타낸 것으로 기존에 설치된 풍력 설비는 2022년에 1.9GW이며, 상기의 분석결과에 따라 2022년 대비하여 2050년까지 약 200GW이상의 풍력 설비 용량이 더 확보되어야 함을 알 수 있다.

한국에너지공단에서 발표한 신·에너지 백서[5]에 따르면 경제적 잠재량을 기준으로 육상 풍력 24GW, 고정식 해상풍력 41GW로 총 65GW의 잠재량이 존재한다. 따라서 2050년까지 필요한 설비 용량을 확보하기 위해서는 약 143GW의 풍력 잠재량 확대가 필요하다.

표 4 국내 풍력설비 필요량과 잠재량

| 구분       | 2022                           | 2036   | 2050    |
|----------|--------------------------------|--------|---------|
| 풍력설비 필요량 | 1.9GW                          | 49.9GW | 208.4GW |
| 풍력 잠재량   | 65GW (육상 24GW + 고정식 해상풍력 41GW) |        |         |
| 부족 여부    | 충분                             | 한계     | 부족      |

풍력 잠재량은 부유식 해상풍력 기술 개발, 터빈 대형화 및 대형 풍력 단지 확보 기술 개발, 풍력 이용률 극대화를 위한 기술 개발 등 연구 개발을 통해 확대할 수 있다. 부유식 해상풍력은 수심 35m 이상의 해상에 띄워 설치하는 방식으로 기술적으로 난이도가 높지만 풍력 비중 증대를 위해서는 필수적인 기술로 분류할 수 있다. 또한 터빈을 대형화하고 대형 풍력 단지 개발을 통해서 설비 필요량을 극대화할 수 있다. 특히 대형 터빈 국산화 및 실증을 통해 국산 터빈 공급망을 촉진하여 효율적인 풍력 설비 보급에 기여할 수 있을 것이다. 그리고 제어시스템을 도입하여 후류 제어, 하중저감제어 등 풍력 이용률을 극대화할 수 있는 기술의 개발 및 적용도 중요하다.

연구 개발과 동시에 풍력 발전 확대 보급 속도와 전력망 수용력을 동시에 높이기 위한 제도 개선 역시 필요하다. 현재 풍력 발

전은 복잡한 인허가 문제로 인해 입지선정부터 준공까지 소요되는 기간이 매우 길어 효율적인 보급에 어려움을 겪고 있다. 입지 발굴, 주민 수용성 확보, 인허가 등 개발 과정을 정부 주도로 시간을 단축하는 등 절차 및 규제를 간소화할 수 있는 제도가 동반되어야 할 것이다.

## 5. 결 론

전력망의 재생에너지 수용확대를 위한 방법 중 하나로 태양광 및 풍력 발전 설비 용량의 적정 설비 비중을 분석하였다. 2036년에는 풍력 50%, 태양광 50%일 때 잉여전력 발생량이 13.6TWh로 최소가 되며, 2050년에는 풍력 비중이 35%, 태양광이 65%가 되는 지점에서 최소 잉여전력이 발생한다. 현재 국내 풍력 설비 비중이 8% 수준인 것을 감안할 때 적정 재생에너지 비중 확보를 위해서는 풍력 발전 설비의 비중 확대가 필요하며 2036년에 49.9GW, 2050년에 208.4GW의 풍력 설비 필요량이 분석되었다.

현재 기술 수준에서 국내의 풍력 잠재량은 필요량을 만족하기에 한계가 있어 풍력 잠재량 확대를 위한 부유식 해상풍력, 터빈 대형화 등 연구개발이 필요하다. 또한 효율적인 풍력 발전 설비 확대 보급을 위해 절차 및 규제를 간소화 할 수 있는 제도 개선이 필요할 것으로 사료된다.

본 고에서 제시한 재생에너지 적정 비중 산정 방법과 결과는 향후 재생에너지 설비 계획 시에 활용하여 보다 효율적인 설비 투자를 할 수 있을 것으로 기대한다.

## 참고문헌

- [1] 산업통상자원부, "제10차 전력수급기본계획(2022~2036)", 2023.1
- [2] Climate Policy Initiative, "The path to low-carbon, low-cost electricity grids", 2017.4
- [3] 정부, "2050 탄소중립 시나리오", 2021.10
- [4] 이재걸, "계절적 특성을 고려한 재생에너지 잉여전력 분석에 관한 연구", 2023.
- [5] 산업통상자원부, 한국에너지공단, "신·재생에너지 백서", 2020.1

### 저자소개

#### 정솔영 (Jung, Sol-Young)

2016년 상명대학교 에너지공학과 석사 졸업  
2016년 한국전력공사 전력연구원(송변전연구소) 입사  
2022년~현재 한국전력공사 전력연구원 연구전략실 선임연구원  
주 연구분야: 재생에너지 수용성 증대 및 탄소중립 미래전력망 설계



#### 이용승 (Lee, Yong-Seung)

2016년 한양대학교 전기공학과 석사 졸업  
2016년 한국전력공사 전력연구원(배전연구소) 입사  
2020년~현재 한국전력공사 전력연구원 연구전략실 선임연구원  
주 연구분야: 재생에너지 잉여전력 산정 및 중장기 에너지저장믹스



#### 이재걸 (Lee, Jae-Gul)

2004년 인천대학교 전기공학과 석사 졸업  
2004년 한국전력공사 전력연구원(송변전연구소) 입사  
2021년~현재 한국전력공사 전력연구원 연구전략실 책임연구원  
주 연구분야: 탄소중립 미래전력망 설계 및 중장기 에너지저장믹스



#### 이종민 (Lee, Jong-Min)

1998년 한국과학기술원 화학공학과 박사 졸업  
1998년 한국전력공사 전력연구원(발전연구소) 입사  
2022년~현재 한국전력공사 전력연구원 연구전략실 R&D개발팀장  
주 연구분야: 신발전 시스템 설계 및 해석





## 유방암 조기 발견을 위한 건강 검진

염유경 | 한국의료재단 IFC 건강검진센터 영상의학과 전문의

### 여성암 1위, 유방암

국가암등록통계(보건복지부와 중앙암등록본부)에 따르면 2015년 이후 신규 암 환자 수는 매년 증가하는 추세이며, 우리나라 국민이 기대수명(83세)까지 생존할 경우 암에 걸릴 확률은 약 38% 정도로 추정됩니다. 암 환자수가 증가하는 요인으로는 암 발생이 높은 고령인구 증가와 여성의 암 발생률 증가로 설명되고 있으며, 특히 유방암 발생률에 주목할 필요가 있습니다. 국가암검진사업 대상 암종인 6대암(위암, 대장암, 간암, 폐암, 유방암, 자궁경부암) 중 나머지 암들의 발생률이 최근 10년 감소 추세를 보이거나 유의한 변화가 없는 것과 달리, 유방암의 발생률은 지난 20년 간 증가하는 추세이며 최근 발표된 국가암등록통계상 여성암 발생률 1위를 기록했습니다.

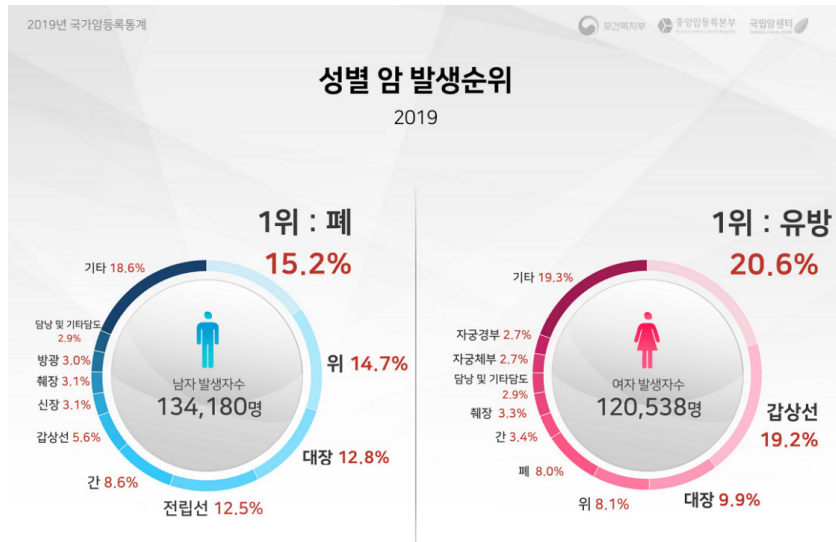
### 유방암 조기 발견의 의의

다만 유방암의 경우 조기 발견시 말기에 비해 생존율이 높고 완치가 가능하며 (5년 생존율: 0기 98.9%, 1기 97.2%, 4기 44.1%), 유방의 외형 변화가 심하지 않은 유방보존술식(breast conserving surgery)이나 방사선 및 항암 치료 등을 적절히 선택할 수 있습니다. 따라서 유방암의 조기 발견은 생명 연장뿐만 아니라 여성의 삶의 질 향상에도 기여한다고 할 수 있습니다.

### 유방암의 위험요인

많은 연구를 통해 확립된 유방암의 위험요인으로는 직계 가족의 가족력, 유방촬영술상 치밀한 유방, 여성 호르몬의 영향 (초경 시작 연령이 12세 미만, 폐경 연령이 54세 이상, 첫출산 연령이 30세





이상, 모유 수유를 하지 않은 경우, 폐경 후 호르몬 사용, 내인성 에스트로겐 농도 상승, 높은 체질량 지수(비만), 방사선 노출, 유방암 관련 유전자 변이(BRCA1, BRCA2) 등이 있습니다.

특히 국내 유방암 증가세가 가파른 이유로는, 초경 시기가 빨라지고 출산 시기가 늦어지는 등, 여성 호르몬에 노출되는 기간이 길어졌기 때문으로 분석됩니다. 또한 식습관의 서구화도 영향이 있을 것으로 생각됩니다. 유방암 발생률에 대한 한 이민자 연구에서, 미국과 한국에 거주하는 한국인의 유방암 발생률이 유의한 차이를 보였으며 이는 유방암 발생이 주로 환경적 요인에 의한다는 것을 의미합니다.

#### 유방암의 임상 증상

그렇다면 유방암의 증상은 무엇일까요? 가장 흔한 증상은 만져지는 멍울입니다. 암의 경우 보통 단단하고 고정되어 있으며, 국소적인 피부 비후나 함몰을 동반하기도 합니다. 또한 유방암이 유두 가까이에서 생긴 경우 유두의 함몰 또는 편향이 나타날 수 있으며, 일측성 유두에서 혈성 또는 맑은 분비물이 나올 수 있습니다. 따라서 일차적으로는 평소에 정기적으로 여성 스스로 유방을 관찰하고 촉진하는 습관을 갖는 것을 중요합니다. 생리 전에는 유방이 단단해질 수 있으므로 매월 생리가 끝난 후 2~3일째에 검진하는 것이 좋습니다. 그러나 촉진 등 자가 진단에 의해 발견되면 일반적으로 1 cm 이상의 종괴여야 하며, 크기가 크더라도 병변의 위치에 따라 만져지지 않는 경우도 있습니다. 또한 앞서 기

술된 여러 가지 증상이 나타나려면 유방암이 상당히 진행된 경우가 많습니다. 따라서 유방암의 조기 발견을 위해서는 정기적인 건강검진이 필수적입니다.

#### [참고]

**“잠깐, 나도 유방통과 만져지는 멍울이 있는데 유방암인가요?”**

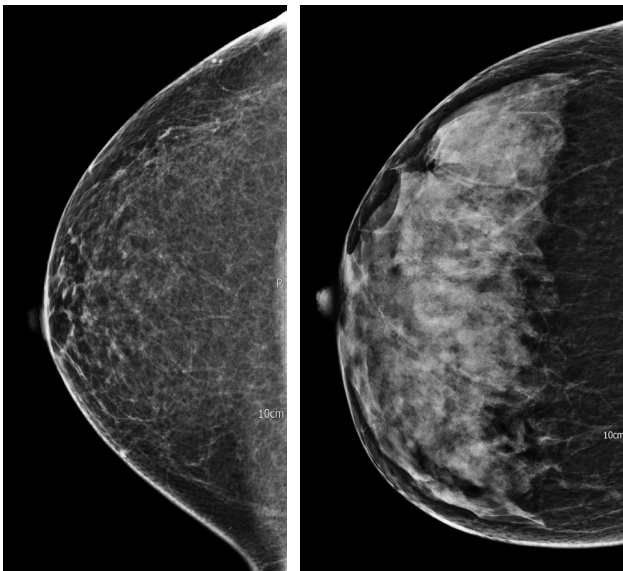
유방 진료를 위해 내원하시는 분들이 가장 흔하게 호소하는 증상은 유방통이며, 앞서 기술한 유방암과 관련된 증상이 아닐까 걱정하시는 경우가 많습니다. 유방통을 주소로 내원시 대부분의 경우는 호르몬 변화에 따른 생리적 유방통이며, 이는 호르몬 주기와 관련하여 주기적으로 양측 유방에 발생한다는 특징이 있습니다. 하지만 이러한 증상이 호전없이 지속되거나 일측 또는 국소적으로 발생하는 경우, 통증 외 상기 다른 증상을 동반하는 경우에는 반드시 의사에 의한 진찰 및 추가 검사를 받아야 합니다.

또한 만져지는 멍울도 비교적 흔한 유방 관련 증상입니다. 멍울이 만져진다고 해서 모두 암은 아니며 섬유선종(fibroadenoma)과 같은 양성 종양이나 치밀한 유방 실질 조직인 경우가 더 많습니다. 그러나 만져지는 병변이 있다면 반드시 전문의의 진찰 및 필요에 따른 추가 검사를 통해 정상 또는 양성(benign) 소견임을 확인해야 합니다. 특히 평소 만져지지 않던 멍울이 새로 생겼다면 유방암의 가능성을 반드시 염두에 두어야 합니다.

## 유방암 진단을 위한 기본적인 검사: 유방촬영술과 유방초음파

### 1) 유방촬영술(mammography)

가장 기본적인 범세계적으로 통용되는 유방암 검사방법이며, 유방 조직이 고르게 퍼지도록 압박한 뒤 방사선(X-ray)을 투과하여 시행하는 검사입니다. 우리나라 국가 암검진 프로그램에서는 매달 유방 자가검진을 하고 만 40세 이상 여성은 1~2년 간격으로 유방촬영술 및 의사의 임상진찰을 받도록 권장하고 있습니다. 그렇다면 기본 검사인 유방촬영술만 시행하면 충분할까요? 한국 여성의 유방암 검진에서 고려해야 할 중요한 사항은, 우리나라 여성의 경우 서양 여성에 비해 유방의 밀도가 높다(치밀유방, dense breast)는 점입니다. 게다가 우리나라 유방암 발생 연령대가 서구보다 10년 정도 낮으며 (30세 이후 점차 증가하여 45~49세에 가장 높다가 이후 서서히 감소하는 양상), 젊은 연령대의 여성의 경우 밀도가 더욱 높습니다. 이는 선별적으로 시행되는 유방촬영술의 민감도가 떨어진다는 것을 의미합니다. 따라서 대부분의 경우에 기본 검사인 유방촬영술에 더하여 유방초음파를 함께 시행하는 것이 유방암 발견에 도움이 됩니다.



\* 유방촬영술상 지방이 대부분인 유방(좌측)과 치밀 유방(우측): 치밀 유방일 경우 절반 이상이 유선 조직으로 이루어져 있으며 이는 유방 촬영상 음영이 높게(하얗게) 나오게 됩니다. 유방에 생기는 병변 역시 음영이 높게(하얗게) 보이기 때문에 병변이 있더라도 이러한 정상 조직에 가려져 병변 유무를 정확히 알기가 어렵습니다. 또한 최근 연구 결과에서 유방의 치밀도가 높을수록 유방암의 발생 위험이 높다는 보고들이 있어 주의를 요합니다.



### 2) 유방초음파 (breast sonography)

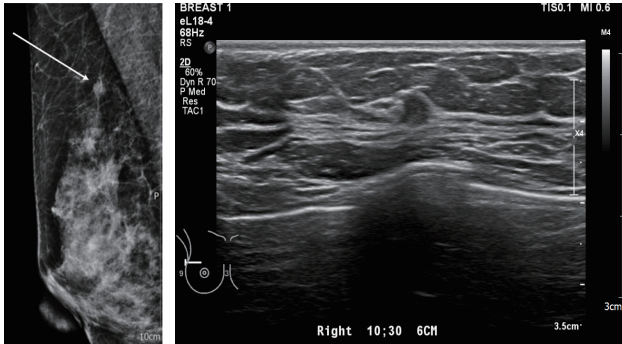
유방 초음파의 경우 초음파 빔을 통하여 유방내부를 관찰하는 것으로, 방사선 위험이 없어 단기간 여러 번 검사를 할 경우에도 건강상의 문제를 유발하지 않습니다. 다만 유방 초음파의 경우 병소에 대한 판단과 영상획득이 동시에 이루어지는 주관적인 검사로 수행자 역량에 매우 의존적이며, 반드시 유방촬영술의 소견을 참조하여야 하므로 경험이 많은 의사에게 검사받는 것이 중요합니다.

이 두 가지(유방 촬영술과 유방 초음파) 검사는 서로 보완적인 역할을 하며, 하나의 검사로 다른 검사를 완전히 대체할 수 없습니다. 치밀한 유방 실질에 가려진 종괴의 경우 초음파가 병소의 발견 및 감별 진단에 큰 역할을 하지만, 유방암의 중요한 소견인 미세석회화 등은 유방촬영에서 확인이 가능하기 때문입니다.

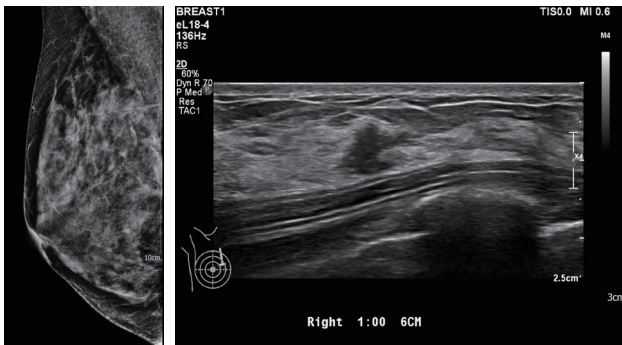
그 외 일차적인 진단 검사로 사용되지는 않지만 민감도가 가장 높은 검사로는 유방 MRI가 있습니다. 대개의 경우, 유방암 진단 후 병기 결정을 위해 시행되나, 유방암 발생의 고위험 유전자를 보유한 사람의 선별검사(screening)나 보형물 상태 평가, 실질 내 이물질(필라핀 등)을 주입한 경우의 유방 검진 등에 활용되기도 합니다.

### 건강검진 후 유방암 진단 사례

- 1) 5년 간 건강검진을 받지 않았던 47세 수검자입니다. 유방촬영술상 우측 유방 상측에 새롭게 나타난 비대칭 음영(developing asymmetry)이 확인되었으며 초음파상 해당 부위에 암으로 의심되는 0.5 cm 종괴가 발견되어 우측 유방 부분절제수술을 시행받았습니다.

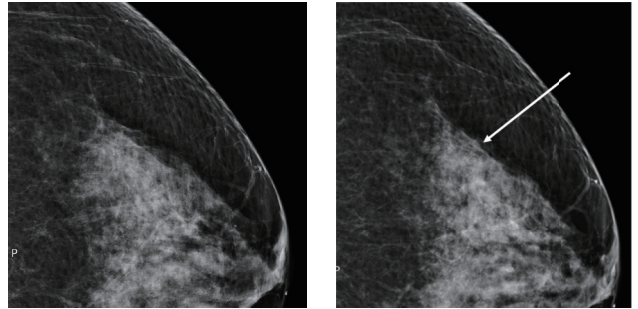


- 2) 정기 검진을 위해 2년 만에 내원한 49세 수검자입니다. 유방촬영술상 치밀유방이며 그 외 이상소견은 보이지 않습니다. 같은 날 시행한 유방 초음파상 우측 유방에 약 1 cm 크기의 유방암 의심 종괴가 확인되었으며, 조직검사를 유방암으로 진단되어 부분절제수술을 시행받았습니다. 이는 치밀 유방에서 초음파 검사의 중요성을 보여주는 케이스입니다.



- 3) 정기 검진을 위해 1년 만에 내원한 56세 수검자입니다. 유방촬영술상 1년 전과 비교해 좌측 유방에 새롭게 나타난 미세석회화(microcalcification)가 관찰되었으며 초음파상에서는 이상소견 보이지 않았습니다. 조직검사상 초기 유방암(비침습성, 관상피내암) 진단되어 부분절제수술을 받았습니다. 이는 치밀 유방이라도 유방 초음파만이 아닌 유방촬영술을 함께 시행해

야함을 보여주는 케이스입니다.



### 맺음말

유방암은 발생률이 가장 높은 여성암이지만, 조기 발견시 사망률이 매우 낮고 치료 방법에 대한 선택의 폭이 넓습니다. 생활습관 관리와 유방에 대한 관심, 정기 검진을 통해 모든 여성분들이 건강하고 행복한 삶을 누리시기를 바랍니다.

\*사진 출처: 한국의료재단 IFC 건강검진센터

### 저자소개

#### 염유경(Yeom, Yu-Kyeong)

서울아산병원 영상의학과 전공의 및 유방파트 전임의  
대한영상의학회 정회원  
대한초음파의학회 정회원  
대한유방영상의학회 정회원



## 개최보고

## 2023년 제 54회 하계학술대회 개최보고

정상용(조직위원장, 성균관대 교수)



대한전기학회 창립 76주년인 2023년 제54회 하계학술대회를 우리나라 제일의 가족 관광 휴양지인 강원도 평창군 횡계면에 소재한 용평리조트에서 7월 12일(수)부터 15일(토)까지 사흘간 개최하였다. 금번 하계학술대회는 “에너지 신기원을 여는 젊은 발상 대한전기학회”라는 슬로건으로 진행되었고, 개최된 하계학술대회에는 2,629

명이 사전, 현장 등록과 특별단체회원과 초청 인사 등을 포함하여 3,000여 명 이상의 인원이 참가하였으며, 1,272편의 논문이 구두 및 포스터 세션에서 발표되었고, 3개 학회 공동좌담회, 초청강연, 특별강연, 전문 workshop, 미니드론 자율비행 경진대회, 여러 분야의 특별 세션 등을 포함하면 총 1,511여 편의 연구 성과가 발표되었다.



대한전기학회 이건영 회장 개회식 인사



한국전력공사 김태균 본부장 축하



중국전기공정학회 Mr. Jianbo GUO 부회장 축하



개회식 사회 정상용 조직위원장



표 1 등록 현황

| 구분         | 사전등록   | 현장등록   | 계      |
|------------|--------|--------|--------|
| 정회원        | 754명   | 377명   | 1,131명 |
| 준회원(학부생포함) | 636명   | 298명   | 934명   |
| 비회원        | 135명   | 429명   | 564명   |
| 합 계        | 1,525명 | 1,104명 | 2,629명 |

표 2 발표현황

| 구분               | 발표     | 비고              |
|------------------|--------|-----------------|
| 학술발표             | 1,272편 | 표 3, 4 학술발표 현황  |
| 초청강연, 특별강연       | 2편     |                 |
| 전문 Workshop      | 108편   | 16개 전문 Workshop |
| KYACC 포럼         | 2편     |                 |
| KEPRI Time       | 7편     |                 |
| 3개 학회 공동주최 좌담회   | 1편     |                 |
| CF인력양성 Workshop  | 4편     |                 |
| JEET영문지 활성화 특별세션 | 2편     |                 |
| 전기역사 전문위원회 특별세션  | 3편     |                 |

| 구분                               | 발표    | 비고        |
|----------------------------------|-------|-----------|
| 전자자동차연구회 특별세션                    | 7편    |           |
| 산업전기응용부회 특별세션                    | 3편    |           |
| 종합건설사 전기협의회 특별세션                 | 2편    |           |
| 'Be Ally and Use power' Workshop | 1편    |           |
| 마니아 기술세미나                        | 2편    |           |
| 스마트에너지경진대회                       | 63편   | 표 5. 수상내역 |
| 미니드론 자율비행 경진대회                   | 22편   | 표 6. 수상내역 |
| 지역혁신형 창업 아이디어 페스티벌               | 10편   | 표 7. 수상내역 |
| 전기안전 우수논문 공모전                    |       | 표 8. 수상내역 |
| 총편수                              | 1,511 |           |



제3회 전기사랑 장학생 장학금 수여



성균관대 김현수 명예교수 초청강연



개회식 전경



만찬 전경



개회식 후 단체 사진

첫째 날인 7월 12일(수) 오전부터 전문 Workshop 및 산학 친 선교류회를 시작으로 첫 일정 시작되었다.

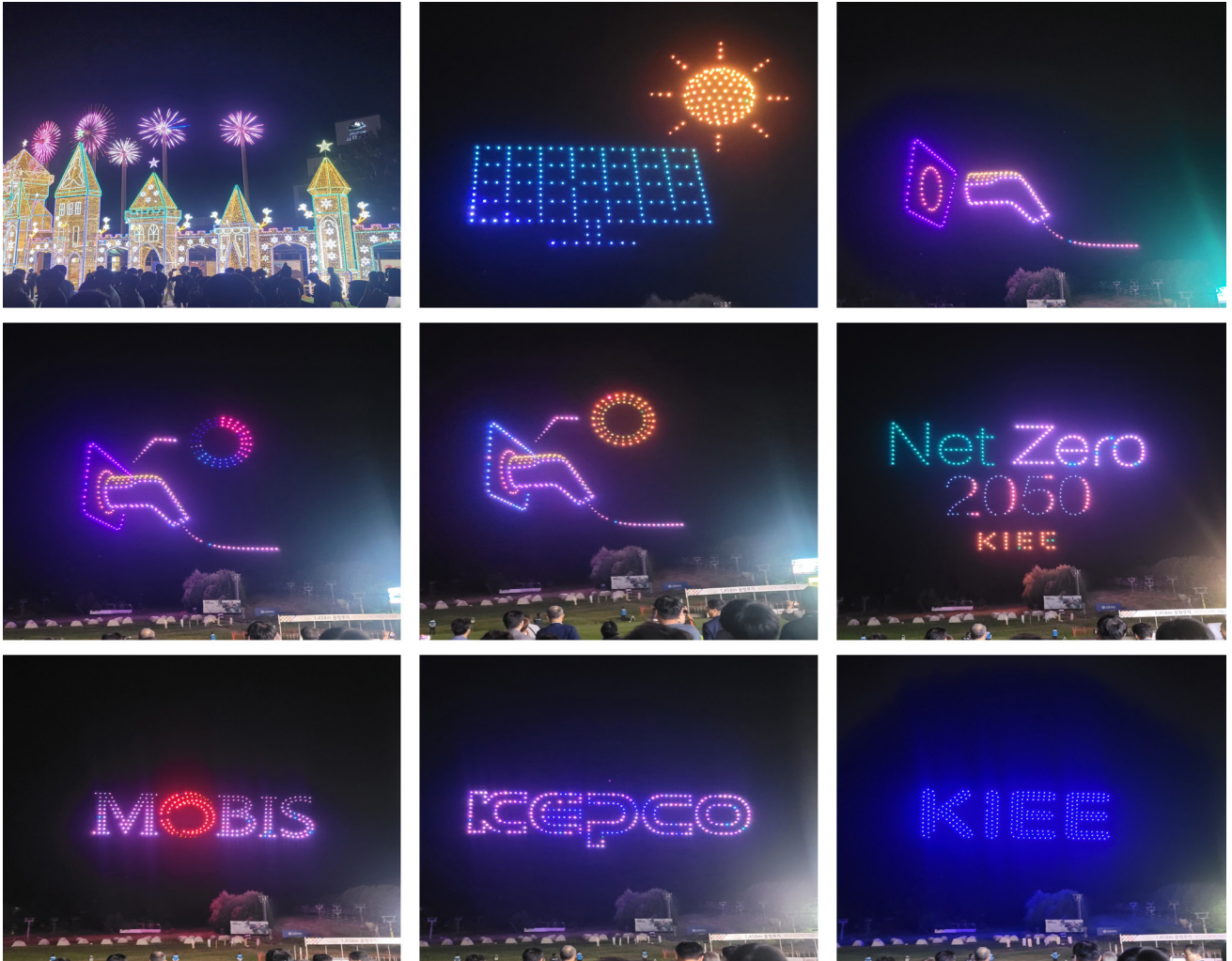
오전 9시 30분부터 시작된 16개 분야의 전문 Workshop이 오후까지 진행되었고, 오후 5시 10분부터 드래곤밸리호텔 그랜드볼룸에서 개최된 개회식에서는 정상용 조직위원장의 사회로 이진영 학회장의 인사와 이준호 한국전력공사 부사장을 대신하여 김태균 본부장의 축사, 중국전기공정학회 Mr. Jianbo GU 부회장 축사로 진행되었다. 이어서 개최된 제3회 전기사랑 장학금 수여식에서는 전국 대학에서 선정된 10명의 학생에 대해 장학금을 수여하였고, 이어진 초청 강연에서는 성균관대학교 김현수 명예교수의 “

전기차의 미래 전망과 빠르게 변하는 미래를 어떻게 준비해야 할까? 를 주제로 초청강연 진행되었다. 이어 블리스힐 스테이 윌리스 홀로 이동하여 개최된 만찬에서는 이진영 학회장의 인사말과 김진태 강원도지사의 환영사가 축하 영상으로 진행되었고, 장용무 부회장의 학술대회 전반적인 현황을 보고하였다, 이어서 이천구 부회장이 주축으로 있는 늘 푸른 앙상블팀의 연주 와 뒤풀이 행사를 진행하여 즐거운 만찬 시간을 보냈다. 만찬 후 용평잔디광장으로 이동하여 이번 학술대회에 하이라이트인 수백 대의 드론이 밤하늘에 수 놓은 멋진 드론쇼가 펼쳐져 참석하신 회원여러분들의 잊지 못할 추억으로 기억되었다.

표 3 2023년도 학술발표 현황

| 부문회/부회/본부             | 연구회                    | 구두발표 | 포스터발표 | 합     |
|-----------------------|------------------------|------|-------|-------|
| A. 전력기술 부문            | 전력계통                   | 26   | 159   | 185   |
|                       | 송배전설비                  | 4    | 48    | 52    |
|                       | 전력경제                   | 4    | 23    | 27    |
|                       | 마이크로 그리드               | 7    | 27    | 34    |
|                       | 전력계통보호 및 자동화           | 5    | 23    | 28    |
|                       | 수력양수발전                 | 5    | 16    | 21    |
|                       | 전기저장장치(ESS)            | 8    | 9     | 17    |
| B. 전기기기 및 에너지변환시스템 부문 | 전기기기                   | 18   | 103   | 121   |
|                       | 전력전자                   | 15   | 34    | 49    |
|                       | 전기교통신기술                | 2    | 9     | 11    |
|                       | 신재생에너지시스템              | 3    | 25    | 28    |
|                       | 초전도기기                  | 4    | 18    | 22    |
|                       | E-모빌리티                 | -    | 9     | 9     |
| C. 전기물성·응용 부문         | 전기재료                   | 4    | 22    | 26    |
|                       | 스마트 대전력 및 고전압 기술       | 14   | 42    | 56    |
|                       | 광전자 및 전자파              | 5    | 24    | 29    |
|                       | 전력IoT/센서               | 5    | 11    | 16    |
|                       | 전력Asset&RiskManagement | 8    | 7     | 15    |
| D. 정보 및 제어 부문         | 제어계측                   | 7    | 16    | 23    |
|                       | 로보틱스 및 자동화             | -    | 21    | 21    |
|                       | 컴퓨터지능 및 지능시스템          | 7    | 24    | 31    |
|                       | 자율이동체 정보처리             | 8    | 3     | 11    |
|                       | 의용시스템                  | 4    | 14    | 18    |
| E. 전기설비 부문            | 설계감리                   | 1    | 9     | 10    |
|                       | 시공기술                   | 1    | 14    | 15    |
|                       | 안전기술                   | 9    | 25    | 34    |
|                       | 배전설비진단                 | -    | 24    | 24    |
|                       | 기술기준                   | 3    | 14    | 17    |
|                       | 전기철도                   | -    | 21    | 21    |
|                       | LVDC설비                 | -    | 24    | 24    |
|                       | 전기설비용·복합               | 4    | 16    | 20    |
| I. 산업전기·응용 부회         | 산업전기응용부회               | 4    | 100   | 104   |
| K. 학회본부               | 무선전력전송                 | 10   | 10    | 20    |
|                       | 스마트그리드                 | 4    | 4     | 8     |
|                       | 전기자동차                  | 5    | 4     | 9     |
|                       | 발전                     | -    | -     | -     |
|                       | S-Session(학부생발표)       | -    | 107   | 107   |
|                       | EMTP                   | 4    | 5     | 9     |
| 합계                    |                        | 208  | 1,064 | 1,272 |





드론쇼



둘째 날인 7월 13일(목) 오전, 오후로 각 발표회장에서 구두와 포스터 학술발표가 진행되었고, Techno-Lounge(신기술 제품 전시회), 올해 처음 기획한 6대 대기업(LG전자, LS일렉트릭, 현대모비스, 현대NGV, 효성중공업, HD현대일렉트릭)인사 채용 홍보 부스 개최되었다.



전문 Workshop

13일 오전 타워콘도에서는 JEET 특별세션, '자동차 배터리 기술과 재활용'을 주제로 열린 전기자동차연구회 특별세션과 전력산업 현안 해소와 R&D 성과물 및 사업화를 위한 기술협력 강화를 위한 행사로 한전전력연구원 특별세션(KEPRI Time) 개최되었고, 블리스힐 스테이에서는 학생회원들에게 종합건설사 전기관련 분야의 소개 및 동향에 대하여 종합건설사 전기협의회에서 특별세션이 개최 되었다.

표 4 본부/부문회/ 부회 학술현황

| 본부/부문회/부회          | 발표편수   | 소속 연구회                                                              |
|--------------------|--------|---------------------------------------------------------------------|
| 학회 본부              | 153편   | 스마트그리드, 무선전력전송, 발전, 전기자동차, S-Session, EMTP                          |
| 전력기술부문회            | 364편   | 전력계통, 전력계통보호 및 자동화, 마이크로그리드, 송배전설비, 전력경제, 전기저장장치, 수력양수발전            |
| 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 | 240편   | 전기기기, 신재생에너지시스템, 전력전자, 초전도기기, 전기교통신기술, E-모빌리티                       |
| 전기물성·응용 부문회        | 142편   | 스마트 대전력 및 고전압 기술, 전력IoT센서, 전기재료, 광전자 및 전자파, 전력 Aest&Risk Management |
| 정보 및 제어 부문회        | 104편   | 제어계측, 컴퓨터지능 및 지능시스템, 의용시스템, 로봇틱스 및 자동화, 자율이동체 정보처리                  |
| 전기설비 부문회           | 165편   | 안전기술, 배전설비진단, 전기철도, 기술기준, LVDC설비, 시공기술, 설계감리, 전기설비융복합               |
| 산업전기응용 부회          | 104편   | 산업전기응용                                                              |
| 합 계                | 1,272편 |                                                                     |

표 5 제14회 스마트에너지 경진대회 수상현황

| 구분  | 상명              | 작품번호   | 제출구분    | 세부분야      | 소속        | 주제안자 |
|-----|-----------------|--------|---------|-----------|-----------|------|
| 대상  | 학회장상            | SEI-01 | 아이디어    | 신재생에너지    | 대덕대학교     | 이상일  |
| 금상  | 한국전력공사 사장상      | SEC-08 | 캡스톤 디자인 | 전력IT      | 전남대학교     | 홍주혁  |
|     | 한전KDN 사장상       | SEC-28 | 캡스톤 디자인 | 기타        | 한경대학교     | 최신영  |
|     | 한국전기공사협회 회장상    | SEC-19 | 캡스톤 디자인 | 신재생에너지    | 한국기술교육대학교 | 김세진  |
|     | 한국전기기술인협회 회장상   | SEC-13 | 캡스톤 디자인 | 전기철도 및 선박 | 한경대학교     | 서사무엘 |
|     | 한국전기산업진흥회 회장상   | SEC-05 | 캡스톤 디자인 | 신재생에너지    | 부산대학교     | 양은석  |
| 은상  | 학회장상            | SEI-09 | 아이디어    | 스마트그리드    | 국민대학교     | 김호중  |
|     | 학회장상            | SEI-28 | 아이디어    | 에너지절약     | 한양대학교     | 김노영  |
|     | 학회장상            | SEC-22 | 캡스톤 디자인 | 에너지절약     | 호서대학교     | 송승민  |
|     | 한국전기공업협동조합 이사장상 | SEI-32 | 아이디어    | 기타        | 인하대학교     | 권재민  |
| 동상  | 학회장상            | SEI-11 | 아이디어    | 전력IT      | 목포대학교     | 윤성민  |
|     | 학회장상            | SEI-14 | 아이디어    | 전기자동차     | 국민대학교     | 김희은  |
|     | 학회장상            | SEC-14 | 캡스톤 디자인 | 신재생에너지    | 동명대학교     | 윤연철  |
|     | 학회장상            | SEC-16 | 캡스톤 디자인 | 신재생에너지    | 순천대학교     | 박상혁  |
|     | 학회장상            | SEC-26 | 캡스톤 디자인 | 기타        | 부경대학교     | 성철민  |
| 장려상 | 학회장상            | SEI-03 | 아이디어    | 신재생에너지    | 서영대학교     | 고성민  |
|     | 학회장상            | SEI-05 | 아이디어    | 신재생에너지    | 원광대학교     | 김호준  |
|     | 학회장상            | SEI-07 | 아이디어    | 에너지절약     | 서울과학기술대학교 | 조세현  |
|     | 학회장상            | SEI-08 | 아이디어    | 스마트그리드    | 순천대학교     | 채규성  |
|     | 학회장상            | SEI-15 | 아이디어    | 전기자동차     | 중앙대학교     | 최예진  |
|     | 학회장상            | SEI-18 | 아이디어    | 전기철도 및 선박 | 한국교통대학교   | 김준원  |
|     | 학회장상            | SEI-21 | 아이디어    | 에너지절약     | 순천대학교     | 정태규  |
|     | 학회장상            | SEI-26 | 아이디어    | 에너지절약     | 충북대학교     | 이재준  |
|     | 학회장상            | SEI-27 | 아이디어    | 에너지절약     | 충북대학교     | 강민성  |
|     | 학회장상            | SEI-34 | 아이디어    | 기타        | 충북대학교     | 정병훈  |
|     | 학회장상            | SEC-01 | 캡스톤 디자인 | 스마트그리드    | 가천대학교     | 여동성  |
|     | 학회장상            | SEC-07 | 캡스톤 디자인 | 전력IT      | 부경대학교     | 차영화  |
|     | 학회장상            | SEC-09 | 캡스톤 디자인 | 전력IT      | 한경대학교     | 권태혁  |
|     | 학회장상            | SEC-11 | 캡스톤 디자인 | 전기자동차     | 동양미래대학교   | 김동현  |
|     | 학회장상            | SEC-12 | 캡스톤 디자인 | 전기자동차     | 호남대학교     | 박재민  |
|     | 학회장상            | SEC-17 | 캡스톤 디자인 | 신재생에너지    | 전북대학교     | 한정현  |
|     | 학회장상            | SEC-20 | 캡스톤 디자인 | 에너지절약     | 부경대학교     | 김상현  |
|     | 학회장상            | SEC-25 | 캡스톤 디자인 | 기타        | 부경대학교     | 권민근  |
|     | 학회장상            | SEC-27 | 캡스톤 디자인 | 기타        | 순천대학교     | 이찬기  |





구두 학술발표회



포스터 학술발표회



인재채용 홍보부스

표 6 제10회 미니드론 자율비행 경진대회 수상현황

| 상명          | 팀명           | 소속       | 팀원 이름         | 비고               |
|-------------|--------------|----------|---------------|------------------|
| 대상          | 국민대통합        | 국민대      | 정현우, 이호빈, 김주영 | 대한전기학회회장상        |
| 금상          | SRD          | 아주대      | 김완수, 석대근      | 매스웍스코리아상         |
|             | 우리 드론이 달라졌어요 | 서경대      | 고형석, 이제희, 이한빈 | 광운대 총장상          |
| 은상          | iASL         | 인하대      | 김용희, 김동현, 남승원 | 대한전기학회<br>D분회회장상 |
|             | 드론투척병        | 경북대, 부경대 | 박호영, 박형준      |                  |
|             | 푸아양          | 중앙대      | 장민우, 이원국, 황현성 |                  |
|             | BTBT         | 강원대      | 양문기           |                  |
| 동상          | Skynergy     | 아주대      | 박세렴, 이정민      | 로보웍스상            |
|             | 디디에 드론바      | 경성대      | 이현수, 조선민      |                  |
|             | 원천관316호      | 아주대      | 전희욱, 박상현, 강재학 |                  |
|             | 22-DroneBoy  | 인하대      | 박준식, 김선우      |                  |
| 기술 워크샵 최우수상 | 부릉부릉부릉       | 아주대      | 강진우, 남기현, 남유빈 |                  |
| 기술 워크샵 우수상  | 원천관316호      | 아주대      | 전희욱, 박상현, 강재학 |                  |





현대모비스 조성환 대표이사 특별강연



3개학회 공동주최 좌담회



KYACC 포럼



13일 오후 드래곤밸리호텔 그랜드볼룸에서 현대모비스 조성환 대표이사의 “How Mobis is shaping the future in mobility technology transformation” 주제로 특별강연을 하여주셨고, 이어서 같은 장소에서 탄소중립 시대의 국가 에너지 전략의 초석을 두고자 대한전기학회, 한국원자력학회, 한국 신재생에너지학회가 공동주최한 좌담회가 『탄소중립을 위한 여정 : 원자력과 신재생, 미래 전력망 주력 전원으로로서의 역할과 책임』 주제로 개최된 좌담회에는 정부 기관, 언론, 학회등에서 많은 관심을 가졌다.

블리스힐 스테이에서 사회진출 전 학부생 및 석·박사생과 회사 전문가를 매칭하는 프로그램인 KYACC(KIEE-Young Analysts Competency Consultant)포럼과 탄소중립 분야 인력양성



영문지 활성화 워크숍



전기역사전문위원회 특별세션

에 대한 CF(Carbon Free) 인력양성 세션 등 젊은 회원들을 위한 행사가 진행되었고, LH 현장 중심 전기설비 기술에 현황에 대한 산업전기응용부회 특별세션, 전기역사전문위원회 특별세션등 다

채로운 행사가 진행되었다. 그린피어 콘도에서는 스마트에너지경진대회, 미니드론 자율비행 경진대회, 지역혁신형 창업 아이디어 페스티벌등 학생 경진대회가 개최되었다.



한전전력연구원 KEPRI Time

표 7 지역혁신형 창업아이디어페스티벌 수상현황

| 상명  | 발표제목                                                                         | 주제안자 | 소속    | 공동제안자                     | 지도교수 |
|-----|------------------------------------------------------------------------------|------|-------|---------------------------|------|
| 대상  | 전기화재 예측을 통한 화재 예방장치                                                          | 최승민  | 강원대학교 | 전준호, 정재훈                  | 곽동걸  |
| 금상  | Highlighting the Local Features of Floating Solar Power<br>지역적 특색을 갖춘 수상 태양광 | 김소연  | 목포대학교 | 나영준, 백건, 전성빈,<br>정태준, 원준혁 | 이동호  |
| 금상  | IoT와 인공지능 기반의 마이크로컴퓨터가 내장된<br>화재감지 CCTV                                      | 류진규  | 강원대학교 | 김승준, 김명수                  | 곽동걸  |
| 은상  | ESS와 IOT: 더 나은 에너지 관리를 위한 연결                                                 | 이성준  | 한라대학교 | 김희준, 임준혁, 하태경             | 한경희  |
| 은상  | 레고! 코딩! 쉽다!                                                                  | 이화성  | 동명대학교 | 이건우                       | 박성주  |
| 은상  | 해양 쓰레기 탐지 시스템                                                                | 황서영  | 울산대학교 | 이정섭                       |      |
| 동상  | 조립형 보트 (카타마란)                                                                | 김종훈  | 동명대학교 | 김동근                       | 정채림  |
| 동상  | 돌리면 치약이 나오는 칫솔                                                               | 이윤정  | 마산대학교 | 강소윤, 이은정, 정민주             | 구효진  |
| 동상  | 홍채인식 질병진단 플랫폼                                                                | 권혁   | 한라대학교 | 이현지, 김주현, 이재승, 권기태        | 이창훈  |
| 동상  | 수혈용 혈액 수송 무인이동체 시스템                                                          | 고병근  | 마산대학교 | 강류훈, 정지훈, 박주영, 허동완        | 황정원  |
| 인기상 | 레고! 코딩! 쉽다!                                                                  | 이화성  | 동명대학교 | 이건우                       | 박성주  |
| 인기상 | 돌리면 치약이 나오는 칫솔                                                               | 이윤정  | 마산대학교 | 강소윤, 이은정, 정민주             | 구효진  |
| 인기상 | 홍채인식 질병진단 플랫폼                                                                | 권혁   | 한라대학교 | 이현지, 김주현, 이재승, 권기태        | 이창훈  |

표 8 제4회 전기안전 우수논문 공모전 수상현황

| 상명     | 논문제목  | 저자                                    | 소속  |
|--------|-------|---------------------------------------|-----|
| 학계     | 장관상   | 통계적 분석을 이용한 패턴분류에 따른 변압기 교체결정방안       | 박세희 |
|        | 사장상   | 배전반 고장 진단을 위한 온도 예측 알고리즘 성능 비교에 관한 연구 | 김든찬 |
|        | 연구원장상 | 사고유형별 ESS의 안전성 등급 평가에 관한 연구           | 이예빈 |
| 산업·연구계 | 사장상   | 전기자동차용 150[kW] 구동 유닛의 설계 및 시험 검증      | 김희운 |
|        | 학회장상  | DCT 전력신호 압축기법 기반의 DFR 시스템 설계에 대한 연구   | 마성덕 |
|        | 연구원장상 | 마이크로그리드 내 실시간 감시 시스템 구현에 관한 연구        | 최민지 |





전기자동차 연구회 특별세션



CF인력양성 워크숍



산업전기응용융부회 특별세션



종합건설사 전기협의회특별세션



스마트에너지 경진대회



지역혁신형 창업아이디어 페스티벌







미니드론 자율비행 경진대회



학술대회등록

7월 14일(금) 정오까지 진행된 학술발표와 인사 채용 홍보 부스, Techno-Lounge를 끝으로 제54회 하계학술대회가 종료되었다.

비가 오락가락하는 변덕스러운 날씨임에도 불구하고 참여하시는 분들의 도움으로 학술대회가 큰 문제 없이 안전하게 마무리될 수 있었습니다.

올해 대한전기학회 하계학술대회는 에너지 신기원을 위한 신 기술을 역동적으로 견인하고, 미래 사회의 주역인 젊은 전기공학도 양성과 활발한 사회진출을 도모하는 전문 프로그램 제공으로 더욱 뜻깊은 전기인들의 중점 학술 교류 행사로 치러졌다고 자부한다. 이를 위해서, 본부 학술위원회의 노력을 비롯하여, 학회 본부 및 부문회 회장단, 본부 이사 및 평의원, 각 연구회 및 위원회,

학회사무국 등의 전폭적인 협조와 격려가 큰 도움이 되었고, 전기공학 분야 학문과 기술의 발전을 위하여 기꺼이 후원과 협찬을 해 주신 기관과 산업체 그리고 신기술 전시회에 참여하신 여러분께 감사드립니다.



## 학회 소식

## ☰ 2023년도 제8차 이사회

일 시 2023년 8월 11일(금)~16(수)

장 소 이메일 회의

참석자 임원 전체

## 주요 회의 내용

- 총무, 재무, 회원현황 및 5개 부문회, 부회, 편집, 학술 등 각종 위원회 현황 및 발전방향 보고
- 신입회원 승인 : 원안대로 승인함.  
: 개인회원 45명 (정회원 7명, 준회원(석사) 6명, 준회원(학부) 25명, 종신회원 7명)

## 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 전필준
- **전화** 02-553-0157
- **E-mail** jun@kiee.or.kr



## 학 회 일 지

2023.7.20.~2023.8.19

## 8.1(화)

회지 「전기의 세계」 72권 8호(8월호) 발간  
전기학회 국문논문지 72권 8호(8월호) 발간

## 8.11(금)

본부 제8차 이사회 (이메일 회의)

## 8.14(금)

본부 제6차 KYACC 추진위원회 (학회 회의실)

## 8.16(수)

ICEE-CCA 2023 국제학술대회  
(8.16~19, TURIN POLYTECHNIC UNIVERSITY IN  
TASHKENT, Uzbekistan)

## 8.17(목)

A부문회 3차 학술위원회 (학회 회의실 및 화상회의)

## 편집위원

허 진(편집위원장, 인천대학교)

박능수(건국대학교)

민세동(순천대학교)

이승재(한국폴리텍대학)

강동원(중앙대학교)

박형준(한국전자통신연구원)

이귀준(한국교통대학교)

조수연(한국자동차연구원)

노종석(중앙대학교)

배인수(강원대학교)

이기덕(한국전자기술연구원)

조준남(한국폴리텍대학)

문원식(숭실대학교)

서훈철(연암공과대학교)

이성규(동아대학교)





Murata Software에서 개발한 FEM(Finite Element Method) 방식의 종합 해석 소프트웨어

| 패키지                       | 가격       | 설명                                          |
|---------------------------|----------|---------------------------------------------|
| Femtet Basic              | \$ 2,399 | 8가지 Solver 기본 제공                            |
| Femtet Accelerator        | \$ 1,599 | 무제한 병렬 Core 사용                              |
| CAD Data Translator       | \$ 1,999 | 3D CAD 확장자 변환기                              |
| Advanced Mechanical       | \$ 1,999 | 비선형 구조 / 비선형 재료 해석                          |
| Advanced Magnetic         | \$ 1,999 | 모터 해석 / 과도 해석 / 임의 파형 해석                    |
| Advanced Electromagnetics | \$ 1,999 | 과도 해석 / TDR / ESD / 임의 파형 해석                |
| Advanced Thermal-Fluid    | \$ 1,999 | 열유체 연성 해석                                   |
| Femtet Academic           | \$ 199   | 교육기관 전용 풀옵션 패키지<br>(CAD Data Translator 제외) |



#### Low-cost

- 1년 라이선스 구독 방식
- 타 SW 대비 1/10 이상 저렴한 가격
- 초기 SW 비용 및 별도 유지보수 비용 無

- 8가지 Solver Multi-physics 기능 기본 제공
- 자주 사용하는 재료, 모델 사용자 DB 저장
- Python, VBA 기반 매크로 기능 제공



#### All-in-One



#### User-Friendly

- 직관적이고 편리한 UI
- 2개월 무료 평가판 제공
- 자동 Mesh를 통한 설계 시간 단축



# 세상을 밝히는 빛, 미래를 바꾸는 힘

에너지가 세상을 밝힙니다. 에너지가 미래를 바꿉니다.  
세상과 미래를 품은 스마트 에너지 플랫폼, 우진기전

전력산업 분야의 토털 플랫폼을 바탕으로 고객 맞춤형 솔루션 제공에서부터  
철저한 사후관리까지, 스마트 에너지 세상의 미래를 이끌어온 기업  
우진기전의 무한도전은 지금도 계속됩니다.



## 전력기기 솔루션

개폐기류, 변성기 보호계전기,  
차단기류, 일반 전력기기류



## 전력시스템 솔루션

발전소 및 초고압 변전소 기자재, 발전기,  
Motor Drive System, Bus Duct,  
원격검침 System



## 전력품질 솔루션

UPS, 컨테이너 데이터센터, AVC,  
AHF & SVC, 쿨링시스템, STS



## 신재생 솔루션

태양광 및 풍력 발전설비,  
ESS, EMS, 수상태양광 부력체



**우진기전**

17794 경기도 평택시 청북읍 현곡길 85-8  
Tel : 031-686-0500 Fax : 031-686-0510