



The Korean Institute of Electrical Engineers

Vol. 70, No. 10, October 2021

10

전기의 세계

기획 시리즈 MVDC 기술동향

전기공학랩페이지북 충북대학교 SPIN 연구실 소개

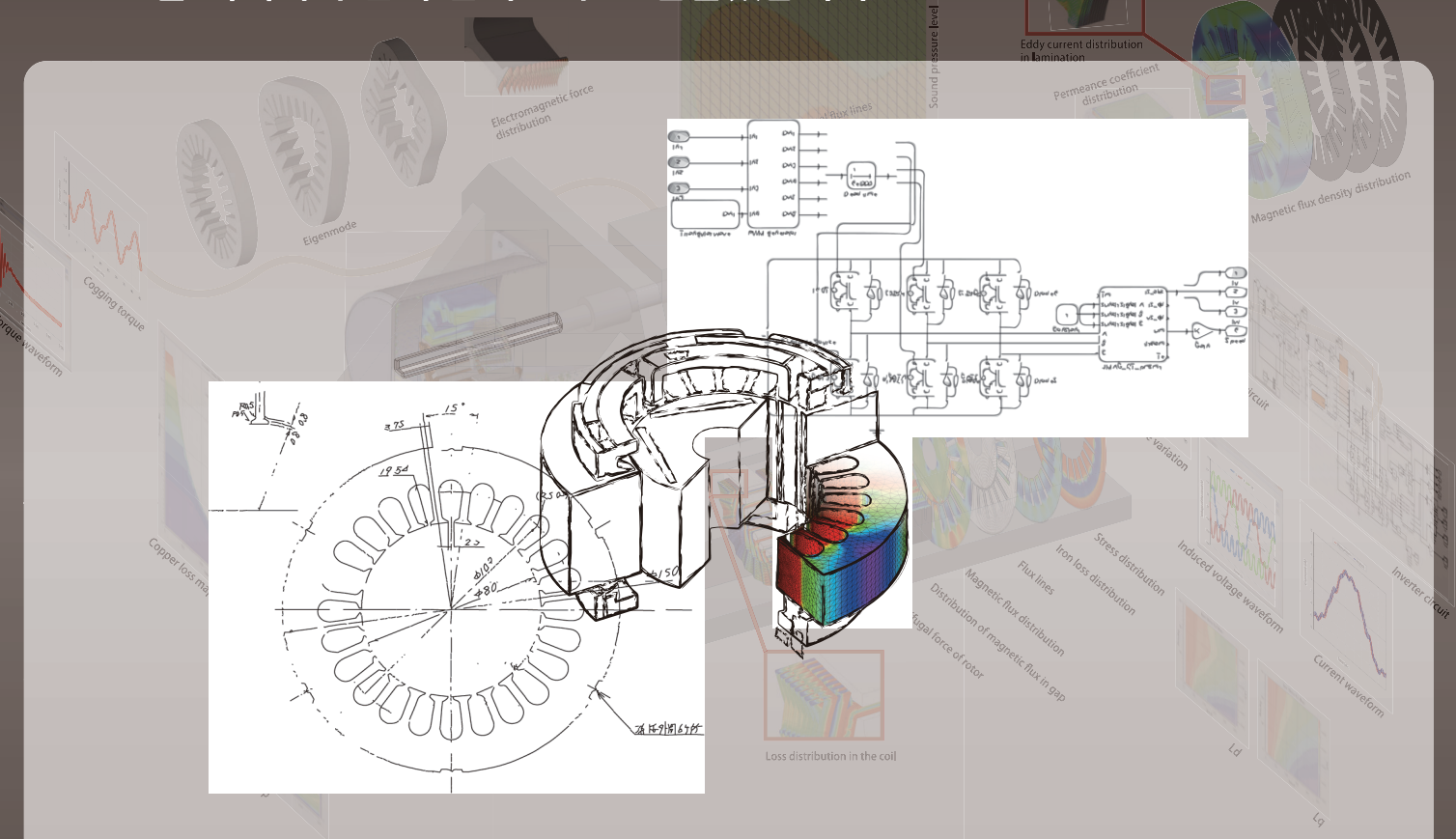
자유 기고문 기후위기에 대비한 친환경 송변전설비 개발현황 및 향후전망
도서지역 방파제 연계형 파력에너지 변환장치용 발전기의
연구 동향



대한전기학회
THE KOREAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Simulation Technology for Electromechanical Design

JMAG는 전기기기 설계 및 개발을 위한 시뮬레이션 소프트웨어입니다.
광범위한 장비의 복잡한 전자기 현상을 정확하게 모델링 합니다.
1983년에 출시된 이후, JMAG는 전 세계 산업계와 대학에서 사용되고 있으며
수천개의 제품 개발에 기여해 오고 있습니다. 사용자와의 지속적인 의사 소통은
JMAG를 세계적 수준의 분석 도구로 만들었습니다.



Applications

- Motors
- Generators
- Transformers
- Reactors
- Solenoids
- Actuators

Analysis Functions

- Magnetics
- Electrostatics
- Structural
- Thermal
- Multiphysics

Industries

- Automobiles
- Household appliances
- Digital equipment
- Factory automation
- Electrical equipment
- Educational institutions

Interface

- Major CAD systems
- Drive/control simulators
- Optimizers
- Other CAE tools



주식회사 이엠다인

URL <http://emdyne.co.kr>
Email info@emdyne.co.kr



CONTENTS

The Korean Institute of Electrical Engineers

전기계뉴스



- 전기안전공사, 전기안전위원회 운영 '첫걸음' 내디뎀 | 3
- 제주에너지공사, 지능형 풍력발전 모니터링 플랫폼 만든다 | 3
- 4분기 전기요금 전격 조정...kWh당 3원 인상
- 연동제 도입 후 두 번째 적용 | 4
- 노형욱 장관, "전기차·자율차 등 미래차 안전기반 조속 확립" 강조 | 4

기획시리즈 - MVDC 기술 동향

- 기획 시리즈 주제 소개 | 7
- 차세대 AC-DC Hybrid 배전 네트워크 R&D사업의 추진전략 및 비전 | 9
- MVDC 배전망 구축 및 운용을 위한 전력기기 개발 현황 | 14
- AC/DC Hybrid 배전망 운영 기술 | 19
- AC-DC Hybrid 배전망 테스트베드 구축 | 24

전기공학랩페이스북

- 충북대학교 SPIN 연구실 소개 | 29

자유기고문

- 기후위기에 대비한 친환경 송변전설비 개발현황 및 향후전망 | 32
- 도시지역 방파제 연계형 파력에너지 변환장치용 발전기의 연구 동향 | 37

학회 소식

- 학회일지 | 44

전기의 세계

KIEE Magazine

Vol. 70, No. 10, October 2021

발행일 2021년 10월 1일
발행인 김철환
편집인 강승택
발행처 사단법인 대한전기학회
(06130) 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22
과학기술회관 (신관)901호
Tel 02-553-0151 Fax 02-566-9957
<http://www.kiee.or.kr>

학회 본부 임원

회장 김철환
차기회장 김재언
부회장 전영환 이병준 이개명 이중환 박형구
노대석 박도영 이준호 김호찬 김재문
협동부회장 김한수 박기주 심용식 안승원 이상권
이천구 장창익
감사 김중겸 이난숙
총무이사 박철원 이정호
재무이사 차준민 김태균
기획·정책이사 강지원 김기현 주성관
사업이사 김효진 손진근 안상필 허 건
편집이사 박종배 이항범 강승택
학술이사 김광호 김문경 정상용 한기진 조현중
국제이사 장길수 류홍제 이교범 허 건
산학협동이사 김경호 양성배 오호진 신윤용 이준신
박건우 정호성 김석주
회원·교육이사 남기범 임용배 송화창 김래영 김길동
홍보이사 정형석 박정욱 한수희 박강서

부문화 회장

A부문 회장 노대석 B부문 회장 박도영
C부문 회장 이준호 D부문 회장 김호찬
E부문 회장 김재문

전임 편집인

2016년 이병국 2017년~2018년 정안성
2019년~2020년 강승택

온라인

씨티은행 102-53163-258(대한전기학회)
국민은행 349401-04-009338(대한전기학회)
지로번호 7510483

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

내지 2 청파이앤티 표지 2 이앤티다인
표지 3 공학교육인증원 표지 4 효성

Cover Story



전기기능사/기술자 자격 취득 및 양성을 위한 AR/VR 교육 시뮬레이터 / XR PLEX EW



AR/VR 교육을 통한 비대면 전기기능사/기술자 실습 교육
전기 시퀀스 회로 및 전기 기능사 자격증 취득을 위한 전기 회로 교육과 배선 공사 실습을
대면/비대면 방식으로 학습할 수 있는 시뮬레이션 소프트웨어입니다.

XR PLEX EW 2.0



스마트그리드 (태양광/풍력/수소) 통합교육 실험장치 / CPE-EN4500



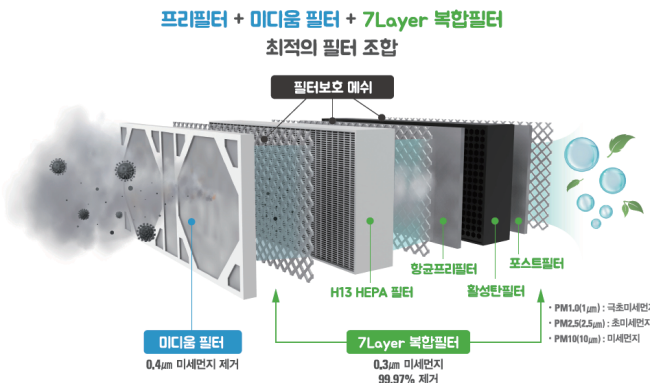
신재생에너지의 기본원리 및 회로구성을 통한
이론의 검증 및 시뮬레이션이 가능한 통합형 장비
Standard타입 모듈형 제품으로 광범위한
응용실습 가능

전기전자이론 및 실습 - 스마트 교육장비 / ARes-Advanced

- 리얼 스마트 러닝 기술교육 플랫폼
- 마이크로소프트 임베디드 OS 탑재
 - 올인원 계측 응용 프로그램
 - 이론 및 실습교재 지원
 - E-book 지원



납연기 정화시스템 - 에르큐 / CPE-FX40



직관적 GUI와 터치기능으로 사용자의 편리성을 극대화
필터의 사용시간과 오염도 변화에 대한 메커니즘 분석
필터교체 주기 자동 알림

전기계 뉴스



전기안전공사, 전기안전위원회 운영 '첫걸음' 내디뎠
정부-민간-산학연 등 각계 전문가 16명...
위원장에 김철한 대한전기학회장
전기안전관리법 근거...
전기설비 검사·점검기준 제·개정 방향 논의



한국전기안전공사는 16일 전북혁신도시 소재 본사에서 전기안전위원회 1차 회의를 열고 전기분야 산·학·연 전문가와 정부, 유관기관, 협·단체 관계자들로 구성된 위원들에게 위촉장을 전달했다.

현행 전기설비기술기준과 전기설비 검사·점검 현장 간 차이를 해소하고 새로운 기준을 마련하기 위한 전기안전위원회가 첫걸음을 내디뎠다.

한국전기안전공사(사장 박지현)는 16일 전북혁신도시 소재 본사에서 전기분야 산·학·연 전문가와 정부, 유관기관, 협·단체 관계자 등이 참석한 가운데 전기안전위원회 1차 회의를 개최했다.

이날 회의는 전기안전위원회 구성 후 처음으로 열린 것이다. 회의 결과 위원장에는 김철한 대한전기학회 회장(성균관대 교수)이 이름을 올렸다. 남기범 전기기술인협회 본부장, 안길영 LS일렉트릭 상무, 김권중 전기안전공사 기술이사 등 참석위원 16명은 위촉장을 수여받았다.

이번 전기안전위원회는 지난 4월 발효된 전기안전관리법 제18조와 정부 고시에 따라 새롭게 운영되는 것이다. 위원회는 현행 규정인 전기설비 기술기준과 전기설비 검사·점검업무 현장 간의 차이를 해소하고 기술 변화상황에 맞는 새 기준을 마련하기 위해 구성된 것이다.

이날 회의에서 위원들은 검사·점검기준 제·개정을 위한 위원회의 향후 운영 방안과 일정 등을 논의했다. 위원들은 우선 올해 11월까지 전기 수용설비와 신재생에너지설비에 대한 검사기준을 제·공고하고 내년 초까지 전력계통설비 검사기준 등도 새로 제·정하기로 의견을 모았다.

아울러 검사기준을 안전관리 현장에 적용하기 위해 책자 1만부를 제작해 대학과 공공도서관, 전기유관단체 등에 보급하고 현장기술자를 위한 교육도 함께 펼치기로 했다.

박지현 사장은 "신재생에너지 설비 보급 확대와 기술 발전으로 전기 산업 전반에 새 안전기준 마련이 시급해졌다"면서 "국민의 안전을 위해 위원회가 앞으로 큰 역할을 해주시길 바란다"고 당부했다.

김철한 위원장도 인사말을 통해 "위원회의 운영 목적에 맞게 앞으로 전기산업계의 다양한 이해와 요구들을 공정하게 논의하고 조정하는 소통의 장으로 만들어 나가겠다"고 밝혔다.

제주에너지공사,
지능형 풍력발전 모니터링 플랫폼 만든다
ICT전문기업 에이투엠(주)과 설비가동율 99%
목표 구현 추진



제주에너지공사와 에이투엠이 지능형 풍력발전설비 통합모니터링 플랫폼 구축을 위한 협약을 체결했다. 제·공: 제주에너지공사

제주에너지공사(사장 황우현, 이하 공사)가 풍력발전단지의 효과적 인 관리를 위한 시스템을 만든다.

공사는 지난 9월 14일 에이투엠(이하 협약기관)과 내년 3월까지 지능형 풍력발전설비 통합모니터링 플랫폼 구축을 위한 협약을 체결했다.

공사는 현재 풍력발전기 41기(국내 6번째 규모)와 ESS 27MWh, 태양광발전 1.5MW를 운영하고 있다. 설치된 설비 중에는 20년 이상 경과 되거나 노후로 고장이 잦고 예비품이 단종된 설비가 많다. 이로 인해 복구 대응이 늦어져 전력생산량 감소의 원인이 되고 있다.

이에 양 기관은 ▲실시간 풍력발전단지 상태 모니터링 및 설비 진단 ▲자재 입출고 관리 및 통계 ▲작업자 안전상태 점검 ▲설비점검 현황 분석 ▲풍력발전기 점검 이력별 전력 생산 손실금 추정 및 실시간 운영실적 보고 ▲최적 유지보수 의사결정 매뉴얼 제시 ▲모바일 서비스 제공 등의 내용을 포함해 협약을 진행했다.

플랫폼 적기 개발을 위해 공사와 협약기관은 지난 10년간 풍력발전 운영 노하우 기반으로 실시간 풍력발전단지 감시시스템 및 데이터베이스를 구축해 고장유형 통계, 자재사용, 출입관리, 출력예측 등 단계적으로 지능화할 계획이다.

2018년 공사에 구축된 풍력발전 10개 기종 통합모니터링 시스템에서 실시간 예측, 대응 기능을 개선해 운영관리 전반으로 확대하는 방식으로 진행된다.

특히 전력거래소와 기상청 OpenAPI를 활용해 실시간 도내 전력 수급 상황 및 신재생발전 출력 상황 등을 모니터링하고 향후 재생에너지 발전량 예측제도도 반영하여 수익성을 개선할 예정이다.

황우현 공사 사장은 "지능형 통합모니터링 운영관리 플랫폼 개발은 풍력설비 고장예측과 예방, 유지보수를 윈스톱으로 관리할 수 있다"라며 "생산성 향상은 물론 제주 모델이 국내외 풍력발전설비 관리의 표준 플랫폼이 되도록 하겠다"라고 밝혔다.

KIEE NEWS



4분기 전기요금 전격 조정...kWh당 3원 인상 연동제 도입 후 두 번째 적용 1분기 3원 인하 후 2 3분기 유보 4인 가구 평균 1050원 인상될 듯



정부와 한국전력은 23일 4분기(10~12월) 최종 연료비 조정단가를 전분기보다 3원 인상해 2013년 11월 이후 약 8년 만에 전기 요금을 인상했다. 사진은 전남 나주시 빛가람혁신도시 한국전력 본사 로비에 전시된 한전 에너지관리시스템 전시물. (제공: 연합뉴스)

정부가 4분기 전기요금을 kWh당 3원 인상한다. 지난해 말 도입한 연료비연동제도에 따른 두 번째 조정이다. 4인 가구 기준 월평균 350kWh를 사용하는 가구는 1050원가량 증가한다. 평균 9240kWh를 사용하며 119만원의 전기요금을 내는 산업용, 일반용은 한 달에 2만8000원가량 인상된다.

2, 3분기 전기요금을 동결했던 전력당국이 4분기에 연료비변동분을 소매요금에 반영한 것에는 더 이상 미룰 수 없다는 절박함도 담겨 있다. 국제유가는 지난해 말부터 반등했고 올해 들어 꾸준히 인상됐다. 2, 3분

기에도 kWh당 3원씩 인상 요인이 발생했지만 코로나19 때문에 침체된 경제상황을 고려해 인상 시기를 최대한 늦춰왔다.

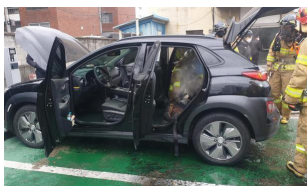
에너지 전문가들은 연료비가 인상된 만큼 전기요금에 반영해야 한다고 요구했지만 대선을 6개월 앞둔 상황에서 조정은 곧 인상 효과가 있는데 정부가 선뜻 결정하기 힘들 것이란 의견이 많았다. 하지만 현재 코로나19 백신 접종 완료율이 40%를 넘겼으며, 현재의 속도로 10월 말 70%를 넘겨 '위드 코로나'가 현실화되면 경제가 활력을 찾을 것이라는 전망도 전기요금 조정에 영향을 미쳤다는 분석이다.

한전에 따르면 4분기 연료비단가는 석탄, 유가 상승에 따라 +10.8원/kWh으로 급등했으나 소비자 보호장치 중 하나인 분기별 조정폭(3원/kWh)이 작동해 '0원/kWh'으로 조정됐다고 밝혔다. 2021년 1분기 최초 도입 시 -3원/kWh이 적용된 이후 2, 3분기 연속 유보됐던 연료비 조정단가가 0원/kWh으로 원상회복됐다는 의미다.

지난해 말 원가연계형 요금제도가 도입된 후 1월 주택용과 산업용 주요 종별 전기요금(평균판매 단가 108원/kWh)은 평균 3%가량 인하됐다. 이번에 요금을 조정할 만큼 3개월 단위로 연료비 조정단가를 반영해 12월까지 요금은 인상된 요금으로 고객에게 청구된다.

전기요금은 기준연료비와 직전 3개월 동안의 평균연료비의 차액으로 연료비 조정단가를 산출한다. 산출한 연료비 조정단가를 1개월 동안 사전 안내한 후 전기요금에 연료비 조정단가를 3개월 단위로 반영한다.

노형욱 장관, "전기차·자율차 등 미래차 안전기반 조속 확립" 강조 자동차안전연구원 방문, 전기차 화재에 대한 신속한 조사 지시 자율차 기술 선도를 위한 자율주행 실험도시(K-City)의 역할 강조



올해 1월 23일 대구 달서구 유천동 한 택시회사에 설치된 공용 전기차충전기에서 충전 중이던 전기차에서 화재가 발생했다. (제공: 연합뉴스)

연구원을 찾아 전기차, 자율차 등 미래차 분야의 안전도 강화, 기술개발 등 추진현황을 점검하고 관계자들을 격려하며 이같이 말했다.

노 장관은 자동차안전연구원에서 수행하고 있는 자동차 안전관리, 미래차 연구개발 지원 등 추진현황에 대해 보고받고 자동차 충돌시험 현장, 전기차 제작결함 조사현장을 차례로 점검했다.

노형욱 국토교통부 장관이 9월 24일 "탄소중립시대를 대비해 전기차, 수소차가 급속하게 증가하게 될 것으로 예상되는 만큼 전기차 수소차에 대한 안전 검사체계를 조속히 구축할 것"이라고 말했다.

노 장관은 이날 자동차안전

이 자리에서 "자동차안전연구원은 자동차 안전을 검증할 수 있는 국내 유일한 기관으로서 자동차 안전에 대한 전문성을 바탕으로 국민 신뢰를 확보하는 것이 중요"하다면서 "국민들이 자동차를 안심하고 믿고 탈 수 있도록 세계 최고수준의 자동차 안전기준을 마련하고, 신속한 리콜체계의 구축 운영이 중요"하다고 강조했다.

또한 "최근 연이어 발생하고 있는 전기차 화재원인에 대해 신속하고 투명하게 조사할 것"을 주문했다.

이후 노 장관은 자율주행차 테스트베드인 K-City의 통합관제센터를 방문하여 운영현황을 점검하고 스타트업(오토노머스에이투지)이 개발한 자율차를 시승하는 등 국내 자율차 상용화 추진 현황을 점검했다.

자율차 시승 이후, 노 장관은 "자율주행의 다양한 분야에서 기술혁신을 위해 노력 중이신 민간기업 및 전문가 등의 노고에 감사드린다"면서 "정부는 민간의 기술개발을 가속화하기 위해 선제적 규제정비, 자율주행 인프라(C-ITS, 정밀도로지도 등) 전국 구축, K-City 고도화, R&D 확대 등 다양한 지원 정책을 통해 자율주행차가 조속히 상용화될 수 있도록 최선의 노력을 다 할 것"이라고 밝혔다.



전기의 세계 기획시리즈

월별 주제 안내

호	주 제	담당위원
'21년 4월호	· 강화학습 기반 계획 및 제어 기술	· 김광기 위원 (인하대 교수)
5월호	· 전기기기 설계기술	· 한기진 위원 (동국대 교수)
6월호	· 에너지 신산업 기술동향	· 이한상 위원 (세명대 교수)
7월호	· 무선전력전송 국제규격 기술 동향	· 이기범 위원 (경북테크노파크 센터장)
8월호	· 전기인프라와 데이터	· 안준호 위원 (서울대 전력연구소 책임연구원)
9월호	· 자율지능시스템을 위한 제어이론 연구동향	· 이상문 위원 (경북대 교수)
10월호	· MVDC 기술동향	· 전진홍 위원 (한국전기연구원 센터장)
11월호	· 전기자동차 기술동향	· 배진용 위원 (동신대 교수)
12월호	· 전기자기 센서기술	· 강승택 위원장 (인천대 교수)
'22년 1월호	· 초전도기기 및 재료	· 이상헌 위원 (선문대 교수)
2월호	· 전기재난	· 임용배 위원 (한국전기연구원 책임연구원)
3월호	· 전기재료 연구동향	· 김명진 위원 (충북대 교수)



기획시리즈

MVDC 기술 동향

차세대 AC-DC Hybrid 배전 네트워크 R&D 사업의
추진전략과 비전

MVDC 배전망 구축 및 운용을 위한 전력기기 개발 현황

AC/DC Hybrid 배전망 운영 기술

AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드 구축

MVDC 기술 동향



담당 편집위원
전진홍 책임연구원
(한국전기연구원)



담당 편집위원 인사말 및 주제 소개

안녕하십니까? 대한전기학회 회원 여러분, 전기의 세계 2021년 10월호 기획 시리즈 'MVDC 기술동향'을 담당한 한국전기연구원에 재직 중인 전진홍입니다. 대한전기학회에서 발행 중인 '전기의 세계'의 편집위원으로 2021년에 임명되었고, 10월호 기획 시리즈의 주제 구상과 논문 모집의 의뢰를 받았습니다. 전력 시스템과 관련하여 어떠한 주제를 가지고 본 기획시리즈를 구성하면 좋을 것인가를 고민하였습니다. 전기학회에는 다양한 분야에 많은 회원님이 계시지만 제가 소속되어 있는 전력 시스템 분야에서는 탄소중립과 에너지전환이 가장 중요한 화두이며 이와 관련하여 재생에너지와 전력시스템의 중요성이 주목받고 있습니다. 탄소중립과 에너지전환을 위한 많은 기술적인 접근방법이 있습니다만 분산에너지원의 도입확대를 위한 배전망 기술에 대하여 이번 기획시리즈에서 다루는 것이 좋겠다고 생

각하였습니다. 이러한 배경에서 올해 초(2021년 1월) 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원이 예비타당성 조사를 거쳐 예산을 확보한 '차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업'에 대하여 회원님들께 소개해 드리고자 합니다.

국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)는 지구 평균 온도 상승 폭을 1.5°C 이내로 제한하기 위해서 2050년 전 세계 에너지 소비 중 전기에너지의 비중이 51%, 그중 재생에너지원에 의한 전기에너지 생산 비중은 90%로 변화해야 한다고 보고하였습니다. 우리나라의 2050 장기저탄소발전전략(LEDs, Long-term Low greenhouse gas Emission Development Strategy)에 따르면 2050년 탄소중립 실현을 위해서 석탄발전 비중은 0%, 재생에너지 발전 비중이

80%에 이르게 될 것입니다. 이처럼 탄소중립 실현을 위해서는 에너지 생산과 사용이 재생에너지와 전력시스템 중심으로 변화합니다. 재생에너지 대부분이 배전망에 연계됨을 고려하면 향후 에너지시스템은 분산에너지와 배전망 기반으로 재편될 것으로 예상할 수 있습니다. 미래의 배전 시스템은 소규모 분산 에너지 중심의 운영방식과 능동적인 전력제어 기술을 기반으로 생산지역 인근에서 적절한 소비가 이루어지고 인근 지역의 전력 전송을 자유롭게 할 수 있게 됩니다. 이를 위해서는 배전망에서 전력이 수동적인 단방향 흐름이 아닌 능동적 다방향 제어가 핵심 수단이 되며 이를 위해서 직류배전 기술이 필요합니다.

정책 측면에서도 이러한 필요성을 반영하여 제3차 에너지기본계획에서는 재생에너지 계통수용률 제고와 전력배전용량증대 등을 위해 MVDC 적용 마이크로그리드 전력망 구축과 같은 직류계통체계를 구축하고 AC/DC 병행공급이 가능한 신재생 연계형 저압 그리드를 구성하여 DC배전 상용화 추진하기 위한 직류 송배전시스템 산업(컨버터·제어플랫폼 제작 및 설치, 컨설팅, 시스템 유지보수) 육성 지원체계를 마련하겠다고 보고하였습니다. 2020년 12월 산업통상자원부에서 발표한 제5차 신재생에너지 기본계획에서는 계통 수용성 증대를 위한 시스템 구축의 인프라 혁신 수단으로 AC/DC 하이브리드 송배전 시스템 기술 등 차세대 전력계통 기술을 개발하고 교류 송전망과 직류 배전망을 융합한 하이브리드형 전력망으로 전환을 추진하겠다고 제시하였습니다.

이러한 대내외적인 환경에 맞추어 관련 연구를 수행하고 계신 연구자와 에너지기술개발 정책을 담당하는 기관에 관련된 원고를 요청하여 본 기획시리즈를 구성하였습니다. 이번 기획에서는 2022년부터 7년간 추진할 정부 R&D 사업인 '차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업'을 중심으로 사업의 추진전략과 비전, MVDC 핵심기술과 운영시스템 개발, 테스트베드 구축의 주제로 여러 전문가관에서 총 4편의 원고를 준비해 주셨습니다. 다만 지면상의 문제와 본 편집위원회의 협소한

네트워크로 인하여 유관 산업 및 적용 분야에 대한 다양한 기술 동향을 담지 못한 개인적인 아쉬움에 더불어 독자분들께 송구한 마음이 있습니다.

첫 번째 원고는 '차세대 AC-DC Hybrid 배전 네트워크 R&D 사업의 추진전략과 비전'으로, 사업목표인 '2030년 AC/DC 혼용 배전망 운영을 위한 MVDC 핵심기술 확보'를 위한 정부 R&D 사업의 배경, 비전 및 목표, 추진전략을 소개합니다.

두 번째 원고는 'MVDC 배전망 구축 및 운영을 위한 전력기기 개발 현황'으로, 재생에너지, 에너지저장장치, 전기차 등 직류 기반 시스템의 비중이 증대함에 따라 이를 효율적으로 연계하기 위한 직류 배전망 구축 및 운영에 필요한 MVDC용 전력기기에 대한 국내외 기술개발 추진 현황을 소개합니다.

세 번째 원고는 'AC/DC Hybrid 배전망 운영 기술'로, 분산전원과 전기자동차 확대에 따른 도심지 내 배전계통에서 AC/DC 하이브리드 배전계통 구성 및 통합운영의 필요성과 국내외 주요 MVDC 배전 운영기술의 동향, '차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업'의 세부사업인 'AC/DC Hybrid 배전망 운영기술 사업'에 대하여 소개합니다.

네 번째 원고는 'AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드 구축'으로, 탄소중립과 에너지전환에 따른 MVDC 기술개발의 필요성과 주요한 국내외 MVDC 실증 프로젝트에 대하여 설명합니다. MVDC 요소기기와 운영기술 검증을 위한 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드의 필요성과 활용방안에 대하여 제시하며 사업의 목적과 연구내용에 대하여 간략하게 소개합니다.

이번 기획시리즈를 통해 내년부터 수행될 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업에 대한 이해와 관심을 부탁드립니다. 탄소중립과 에너지전환을 위한 전력망 기술 변화에 선도적이며 능동적인 대응으로 전력시스템의 친환경성 확보와 안정성 제고에 더하여 본 국가 R&D 사업의 성공적인 수행을 통해 세계적인 기술 선도국으로 발돋움하기 위한 많은 연구자의 노력을 기대하며, 그 가운데 본 기획시리즈가 작은 기여라도 할 수 있기를 바라는 마음입니다. 감사합니다.



차세대 AC-DC Hybrid 배전 네트워크 R&D사업의 추진전략 및 비전

MVDC technology-based AC-DC hybrid power distribution network R&D program

이금정 스마트그리드PD | 한국에너지기술평가원

Lee kum-jung | Program Director for Smart-grid, KETEP



요 약

에너지전환과 탄소중립으로 촉진되는 재생에너지와 분산형전원 확대에 따라 계통접속 수요 대응과 계통안정성 확보를 위해 차세대 AC/DC 혼용망 구축을 위한 MVDC 핵심기기와 운영시스템 개발, 테스트베드 구축을 지원하는 정부지원 R&D사업을 2022년부터 7년간 추진할 계획이다. 이를 통해 MVDC 산업기반 조성과 국내기업의 글로벌 시장선도에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract

In order to respond to grid connection demand and secure grid stability in accordance with the increase of renewable energy and distributed power promoted by Energy transition policy and carbon Net-zero, MVDC core equipment and grid operating system development for the construction of a AC/DC hybrid power distribution network, and test bed construction will be supported by the government-funded R&D program for 7 years from 2022. It is expected that this program will be able to contribute to establishment of the MVDC industry base and the global market leadership of domestic companies.

1. 배 경

2050년 탄소중립 달성을 위해 요구되는 재생에너지 비중 확대와 최종 에너지소비의 전기화 추세로 인해 전력계통 인프라의 보강과 고도화가 요구된다. 재생에너지와 배전선로에 접속되는 분산형전원의 확대는 전력계통의 복잡도를 증가시키고 역조류 등 전체 전력계통의 안정성에 영향을 미친다. 뿐만 아니라 예기치 못한 재난 발생 시 전력공급의 안정성을 확보할 수 있도록 사고의 확산 가능성이 높은 중앙집중식 통합형 전력공급이 아닌 지역별 분산된 형태로 독립운전이 가능한 전력공급 체계를 갖추는

것 역시 중요하다.

분산형전원의 계통연계와 도심 전력수요 증가에 대응하기 위해서는 포화된 도심 배전설비의 증설이 필요하지만, 설비 증설투자 소요되는 시간과 비용 부담이 큰 것이 사실이다. 노후화된 설비의 교체와 용량 증설의 필요성, 전력계통 복잡도 증가에 따른 유연한 조류제어와 전력품질 확보 등 문제해결에 있어 MVDC 기술의 잠재력과 필요성이 부각되고 있다. 기존 AC 배전설비의 일부 구간을 DC로 변환하여 사용하거나, AC/DC 혼용망 구성을 통해 기존 설비 대비 용량을 높이거나 배전망의 전력흐름을 효율

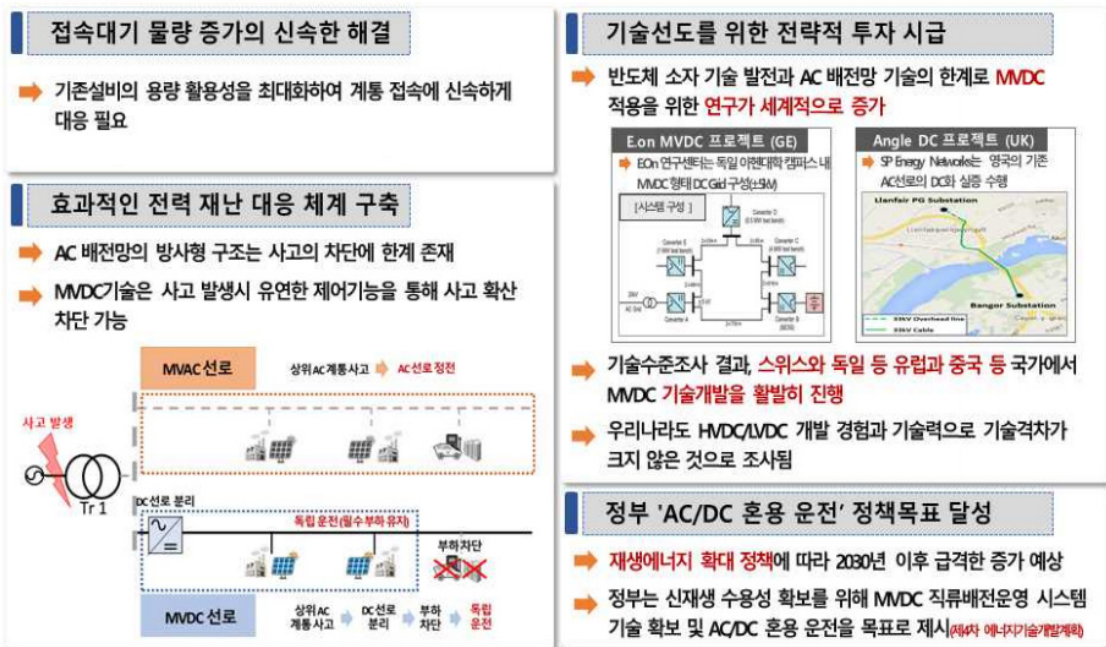


그림 1 MVDC에 대한 정부지원 R&D 사업추진의 필요성과 시급성

적으로 제어할 수 있어 배전선로의 이용률(capacity factor)을 높임으로써 불필요한 투자를 최소화 할 수 있을 것으로 기대된다.

MVDC(Medium Voltage Direct Current)는 (특)고압¹⁾ 직류배전선로 IEC²⁾에서 LVDC(Low Voltage Direct Current) 표준전압으로 정의한 1.5kV(±750V)를 기준으로 그 이상과 CIGRE³⁾에서 ±100kV 이상으로 정의한 HVDC(High Voltage Direct Current) 전압범위 미만인 1.5kV ~ 100kV로 그 영역으로 정의한다. MVDC 기술 적용을 통해 분산형전원이 위치한 배전망 단위에서 수동적인 단방향 전력흐름이 아닌 능동적 다방향 제어 구현으로 재생에너지의 불확실성과 간헐성에 대응할 수 있다. 그리고 도심의 고전압 DC 전원과 부하의 증가 시 MVDC 기술을 활용한 AC/DC 혼용망 형태의 배전선로 구축으로 AC 대비 비용과 변환손실 측면에서 효율성을 확보할 수 있을 것이다.

배전망은 국가의 중요 기반시설로 구축되는 선로의 길이가 방대하고 안정적인 운영이 중요한 분야이며, 해외기술에 의존할 경우 구축비와 유지보수 비용측면에서 경제적 손실이 클 것으로 우려된다. MVDC 기술동향 분석 결과, 연구와 투자가 증가하는 성장기 단계의 기술로 아직 뚜렷한 선도기업이 없으므로, 국내의 관련 기술개발 역량을 활용하여 MVDC 기술을 선도하기 위한 전략적 투자의 필요성과 중요성이 대두되었다.

그림 1은 MVDC 핵심기술 확보를 위한 정부지원 R&D 사업추진의 필요성과 시급성을 정리한 내용이다[1].

정부는 '지능형 전력망' 분야에서는 재생에너지 확대에 따른 안정성 확보 및 분산형 에너지 확산을 위한 직류 송배전(HVDC, MVDC) 시스템을 개발하는 『제4차 에너지기술개발계획』을 2019년 12월 수립하였다. 이에 따라 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원은 예비타당성 조사를 거쳐 2021년 1월 '차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업' 예산을 확보하였고, 2022년부터 2028년까지 총 예상사업비 2,644억원 중 정부지원금 1,904

1 우리나라는 표준전압으로 송전전압 765kV, 345kV, 154kV 3가지와 배전전압 특고압 22.9kV, 저압 380V, 220V를 사용 중

2 International Electrotechnical Commission : 전기전자기술 분야의 국제 표준기구

3 Conseil International des Grands Reseaux Electriques : 1921년 창립되어 프랑스 파리에 본부를 두고 있는 세계최대의 전력분야 연구단체

역원을 투자할 계획이다.

2. 비전 및 목표

MVDC 기반의 AC/DC 하이브리드 배전 네트워크 도입을 통해 정부의 신재생에너지·분산형전원 보급확대의 정책목표 달성에 기여하고, 전력수요 집중 및 증가 현상을 적절히 해결하여 안정적인 전력공급 환경 구축을 통해 경제성장의 기반을 조성하고자 한다.

관련 분야의 기술수준 평가 결과, 스위스와 독일 등 실증 프로그램이 진행 중이며 중국도 MVDC 관련 기술개발을 활발하게 진행하고 있지만, 우리나라도 HVDC/LVDC 개발 경험과 전력분야의 기술력을 고려할 때 기술격차가 크지 않은 것으로 조사되었다.

표 1 배전망 운영이슈와 MVDC를 활용한 기술적 해결방향

배전망 운영 핵심이슈	기술적 해결방향
배전설비 확장 한계 ▶ 변전설비 추가에 따른 수용성 한계	재생에너지 접속 수요 대응 ▶ 배전설비 접속용량 확대 : 기존시설 최대 활용 및 추가건설 회피 ▶ 선로이용률 향상 : 불필요한 추가건설 및 투자 최소화
배전계통 제어 한계 ▶ 분산전원 확대에 따라 배전계통의 불확실성 증가 ▶ 재난 발생 시 전력공급 사고 확산 가능성	전력계통 운영 효율 확대 ▶ 배전손실 최소화 : AC/DC 및 전압레벨 변환 손실 최소화 ▶ 고장 시 정전회피 : 지역별 독립운전 및 재난복원
전력변환 손실 증가 ▶ AC/DC 변환손실 확대	사회적 수용성 ▶ 기기 안전성 : 단위기기별 내구성 및 사고 대응 ▶ 환경 친화성 : 배전시설의 환경적 수용성 ▶ 인체 안전성 : 배전망과 추가시설 등에 대한 인체 안전성

본 사업의 목표는 2028년 AC/DC 혼용 배전망 운영을 위한 MVDC 핵심기술을 확보하는 것이다. 재생에너지 확대, 전력수요 집중 및 증가 현상 심화 등에 따라 계통의 안정성과 효율성을 확보할 수 있는 직류배전망 인프라 도입 추진으로 직류망의 기능적 장점을 교류망과 조합함으로써 최적의 AC/DC 혼용망 운영방안 마련으로 정부의 에너지기술개발 계획 실현에 기여하고자 한다.

MVDC 핵심기술⁴⁾은 직류배전망 기능 확보에 필요한 핵심부품·기기와 운영기술, 직류배전망 성능과 신뢰성 검증을 위한 파일럿 플랜트 구축, 직류배전망 체계 도입을 위한 기술적, 제도적 기반 기술까지를 포함한다.

세계 DC배전 시장규모는 꾸준히 증가추세를 보이며 MVDC 수요처 확대에 인하여 MVDC 배전 시장규모 역시 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. MRS사 시장보고서에 의하면 DC 배전 시장규모는 '21년 42.8억불로 그 중 MVDC 시장은 69% 수준이며 연평균성장률(CAGR)은 4.6%('18~'21)로 전망하였다. 수용가 별로 살펴보면 전기차 급속충전에 대한 CAGR이 7.4%로 가장 두드러지며 상업빌딩에 연결되는 배전망 시장규모 역시 높은 시장 점유율을 차지하고 있다. 표 2는 MRS사의 2013~2025년 DC 배전 수용가별 시장규모와 연평균성장률 전망 보고서 중 2021년 기준 내용이다[2].

표 2 DC 배전 수용가별 시장규모 및 연평균성장률 (2021년 기준)

구분	규모 (백만불)	비율 (%)	CAGR ('18~'21)
DC 데이터센터 마이크로그리드	597.6	14.0	3.7%
상업건물 마이크로그리드	825.8	19.3	4.2%
통신기지국	960.2	22.4	3.4%
LED Lighting Anchor	606.6	14.2	4.6%
군사용	348.5	8.1	3.2%
전기차 충전	563.8	13.2	7.4%
기타	378.4	8.8	2.8%
합 계	4,281.1	100.0	4.2%

4 MVDC 핵심기술 개발 범위: MV DC/DC 컨버터스테이션, MV AC/DC, DC/AC 컨버터스테이션, MV 멀티터미널 직류차단기, MVDC 보호기기(개폐기, 단로기, 바리스터), MVDC 계측·진단기기(전류, 전압), MVDC 배전망 운영시스템, AC/DC 혼용배전망 운전기준 등

MVDC 기술은 전력계통뿐 아니라 지하철, 선박, 산업단지 등 대규모 수용가 직류시설에 대한 단위 기술별 사업화 추진과 미래 DC 기반 전력망 역할 정립에 활용 가능하여 향후 전력망 시장을 주도하는 선도기술로 국내기업들의 글로벌시장 입지확대와 경쟁력 강화에 기여할 수 있을 것이다.

핵심기술 개발을 통해 달성할 목표는 해외 선진연구그룹의 실증연구 성능수준을 바탕으로 설정하였으며, 실증연구에 대한 정보가 없을 경우 관련 논문 등 이론적 계산 및 연구결과를 참고하여 설정하였다.

특히 에너지전환과 2050 탄소중립 정책목표 달성 측면에서 MVDC 기술의 강점을 활용하여 배전망 운용효율을 높일 수 있도록 주요 성과목표로는 전력변환 손실 10% 이상 저감과 재생에너지의 전력계통 접속 수요대응을 위해 배전선로의 재생에너지 연계용량 60% 향상, 그리고 전력흐름 제어를 통해 최대 허용부하율 30% 향상을 설정하였다. 사회적 수용성과 경제성 측면에서 설비의 설치면적 20% 이상 축소 역시 중요한 성과목표로 설정하여 달성하고자 한다.

3. 추진전략

MVDC가 적용되는 전력분야의 대규모 시스템은 설치·운영실적인 트랙레코드(Track record)가 없으면 실제 계통 적용이 불가하므로, 실제 환경과 유사한 테스트베드 구축 및 실증연구를 통해 개발된 기술의 검증 및 신뢰성 확보를 추진할 계획이다. 배전계통을 구성하기 위한 설계, 운영, 보호, 성능시험 등을 포함하여 AC/DC Hybrid 배전망 설계, 해석/평가기술, 운영 프로그램을 포함하는 운영시스템, 상태평가 및 고장처리, 성능평가 기술을 중점 개발 대상으로 선정하였다.

해외에서도 각 국 정부의 지원을 통해 MVDC 실증연구가 활발히 진행 중이다. FEN Research Campus MVDC Grid(독일), Western Power Distribution(영국), Angle DC(영국), Power

Networks Demonstration Centre(영국), Anhui Lu'an Jinzhai DC 배전 프로젝트(중국) 등이 추진 중인 실증 프로젝트이다.

영국의 Angle DC 프로젝트의 경우, 노스웨일즈(North Wales)의 앵글시(Anglesey) 섬과 본토를 연결하는 기존 33kV AC를 ± 27 kV DC로 변환하여 늘어나는 전력수요와 분산형전원의 보급 확대에 따라 요구되는 기존 배전망의 선로 보강 및 재생에너지원의 전력계통 연결문제 해결을 목적으로 추진되었다.

중국의 NR Electric은 2018년부터 MVDC 4개 프로젝트를 추진하고 있으며, 신재생에너지 수용성 향상 및 전기차 증가에 따른 DC 부하 수요증대에 대응하기 위한 목적이다. 그 외에 중국의 지방전력공사에서 진행한 대표적인 실증 프로젝트로는 베이징 인근지역(Yanqing)에서 지능형 마이크로그리드와의 연동운전과 송전망의 용량 증대 목적으로 10MW 용량의 10kV AC-DC 하이브리드 배전 네트워크 프로젝트의 실증을 진행 중이고, 상하이 인근지역(Nanhui)의 경우 육상풍력 발전단지의 계통연결을 위해 18MW 용량의 2개 ± 30 kV DC 선로를 구성하여 실증한 사례 등이 있다.

본 사업에서도 MVDC 핵심기기의 실계통 성능 검증을 위한 요소기기 테스트베드 구축과 직류 배전망 운영기술의 실계통 성능검증에 필요한 매쉬(Mesh) 구조의 ± 18.7 kV DC피더 3개와 22.9kV AC피더 1개로 구성되는 파일럿 플랜트를 구축하게 된다. AC/DC 혼용망 운영시스템의 경우 HILS(Hardware In the Loop Simulation) 기반 컨버터스테이션 고신뢰 C&P(Control & Protection) 및 사이버보안 기술 확보와 지능형 가상물리시스템(Cyber Physical System) 구축, 계통 시각화 기술, 데이터 플랫폼 기술 등 디지털기술을 적극 도입할 계획이다.

또한 기존 AC와는 적용·운영 측면에서 차이가 큰 DC 배전망 구축을 위해서는 핵심기술 개발과 실증 외에도 DC배전 시장 활성화 측면에서 제도적 제약사항 등에 관한 규제·제도개선을 위한 사전연구가 필요함으로 같이 추진할 계획이다.

4. 결 론

전력산업은 타 산업에 비해 제품 수명주기가 길고, 고장 시 사회·경제에 미치는 과급효과가 매우 크기 때문에 국가 기반시설에 대한 해외 MVDC 기술 중속을 방지하고 MVDC의 국내 산업생태계 기반 조성을 위해 핵심기술 R&D에 대한 정부지원의 필요성과 시급성이 크다고 하겠다.

전력산업의 특성 상 새로운 기술의 도입 시, 기술기준 수립과 함께 장기간 실증 및 검증을 통한 성능과 안전성 입증은 무엇보다 중요하므로 본 사업을 통해 MVDC 핵심기술 개발과 함께 추진되는 테스트베드 구축은 MVDC 산업기반 육성과 국내기업의 글로벌 시장선도에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

저자소개

이금정(Lee kum-jung)

1992년 포항공과대학교 전기전자공학과 졸업
1994년 동 대학교 대학원 졸업(석사)
2006년 KAIST 경영대학원 테크노MBA
2006년~2014년 (주)효성 전력본부 상무
2018년~현재 한국에너지기술평가원
스마트그리드PD
주 연구분야: 전력계통, ESS 등



재생에너지 및 분산형전원의 확대, 수송과 산업 분야 등 전기 수요 증가로 촉발되는 전력망 운영 상의 니즈와 산·학·연의 기술적 역량이 연계될 수 있도록 다양한 주체의 참여와 협업을 유도하여 MVDC 관련 연구와 산업 간 선순환적 환경을 구축하는 계기가 될 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] “차세대 AC/DC Hybrid 배전네트워크 기술개발” 예타사업 기획보고서, 한국에너지기술평가원, 2020.7
- [2] “Global DC Distribution Network Market Research Report, 2013-2025”, MRS, 2019

MVDC 배전망 구축 및 운용을 위한 전력기기 개발 현황

Technology status of power equipment development for MVDC distribution network

김래영 교수 | 한양대학교 전기공학과

Rae-Young Kim | Department of Electrical Engineering, Hanyang University



요약

직류를 기반으로 하는 재생에너지, 에너지 저장 장치, 전기차 등이 점차 확대됨에 따라 이를 효율적으로 연계하기 위한 직류 전력망이 도입이 가시화되고 있다. 본 원고에서는 직류 배전망 구축 및 운용에 필요한 MVDC용 전력기기에 대한 국내외 기술 개발 추진 현황을 소개하고자 한다.

Abstract

As Direct Current (DC) power sources including renewable energy, energy storage devices, and electric vehicles are gradually expanded, the DC power grids are rapidly introduced. This paper introduces the current status of technology development for power equipment for MVDC distribution networks.

1. 서론

직류를 기반으로 하는 재생에너지, 에너지 저장 장치, 전기차 등이 점차 확대됨에 따라 이를 효율적으로 연계하기 위한 직류 전력망이 도입이 가시화되고 있으며, 이에 따라 국내 전력계통 환경에 맞는 새로운 기술 또는 전력기기 개발 또한 요구되고 있다. 송전급의 HVDC의 경우 이미 기존 전력망에 적용되고 있으며, 전력 전송 시 고효율화와 경제성 확보 측면에서 용량 증대, 가격 절감 등을 중점으로 기술개발이 추진 중이나, 배전급에 해당하는 MVDC 기술은 해외 선진사에서도 기술개발 초기단계로, 계통의 전압 안정도를 향상하거나, 비상시 인근 계통으로 빠른 전력 공급을 하는 등 전력망의 최적화 관점에서 전 세계적으로 연구 개

발이 활발하게 진행 중에 있다.

전력망 내 전력기기는 타 산업에 비해 기술 변화 속도가 느리나, 제품 수명 주기가 비교적 길어 시장 선점시 지속적인 시장 지배력과 성장 잠재력을 가진다. 또한 고장 발생시 사회 및 경제적인 파급효과가 막대하기 때문에 안전성, 신뢰성, 내구성이 우선적으로 고려되어야 하며, 국내 전력계통에 맞도록 표준화된 규격 확보와 장기간 실증 검증이 요구된다. 이를 위하여 최근 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업과 같은 직류 배전망 운영에 필요한 MVDC 시스템용 전력기기의 기술개발 및 성능개선, 안전성 확보를 통해 국내 전력기기 산업의 산업경쟁력 확보를 위한 노력이 진행되고 있다. 본 원고에서는 직류 배전망 구축 및 운용에 필요한 MVDC용 전력기기 및 핵심부품에 대한 국

내 기술 개발 추진 현황과 이에 대한 해외 기술개발 현황을 소개하고자 한다.

2. MVDC 시스템용 전력기기 개요

MVDC 기술은 송전계통에 적용되는 HVDC(초고압 직류송전)와 저압 수용가의 LVDC(저압 직류배전) 사이의 전압레벨 및 전송용량을 갖는 특고압 직류선로를 활용하는 배전기술로 (특)고압 직류배전으로 LVDC의 최대값 1.5kV 이상과 HVDC 최소값 100kV 이하의 범위에서 정의된다. 신재생에너지원/분산전원, 전기차 충전소, ESS(Energy Storage System), IDC(Internet Data Center) 등 대규모 전력 수용가와 직접 연결되거나 중장거리에서 발전된 대용량 신재생에너지를 도입 또는 수용가 부근으로 이송하기 위해서 MVDC 시스템 기술이 적용되며, 이를 도입에서 활용하기 위해서 수용가에서 사용 가능한 DC 전압으로 변환이 필요하다.

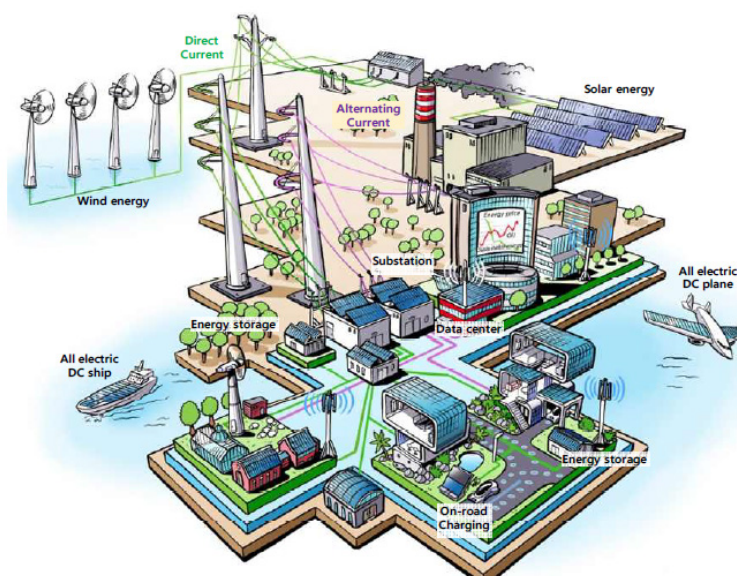
이를 위해 MVDC 배전망 운용에 필요한 전력기기의 핵심부품 및 기기를 개발하고 안전성 및 신뢰성 확보를 통하여 직류배전 운용 기반 마련을 목표로 HVDC, LVDC에서 확보된 기술 외 차별화된 MV급 DC망 구성을 위해 새로운 기술개발이 필요한 핵심기

기 측면의 전력 변환장치와 보호장치 등을 중심으로 기술개발이 지원 필요성이 대두되고 있으며, MVDC 배전망 운용에 필요한 핵심 전력 기기로는 크게 MV급 DC 망구성을 위한 컨버터 스테이션 전력기기, 직류차단 및 보호용 전력기기 등이 포함될 수 있다.

3. MVDC용 컨버터 스테이션 전력기기

MVDC 배전망 또는 AC-DC 혼합형 배전망을 구성하기 위해서는 서로 다른 전력망 사이에 전력 시스템의 유연성을 확보하기 위한 다양한 전력변환 장치가 요구되며 이를 컨버터 스테이션이라고 정의하고 있다. 이러한 컨버터 스테이션은 크게 DC-DC 컨버터 스테이션과 DC-AC 컨버터 스테이션으로 구분한다.

DC-DC 컨버터 스테이션은 DAB(Dual Active Bridge), 멀티레벨 컨버터, SM(SubModule) 기반 MMC(Modular Multilevel Converter) 적용 컨버터 조합을 통해 대규모 재생에너지 연계, 속도성, 신뢰성 향상 등 DC 계통과 DC 계통을 연결을 목적으로 한다. 예를 들어 DC-DC 컨버터 스테이션을 직류(DC) 35kV급 MVDC 배전망에 적용하는 경우, LVDC 수용가 사용자에게 전원을 공급(MV/LVDC)하고 MVDC 전력망의 유연성 증대를 위해 배전망 간의 전력 공급(MV/MVDC)을 주로 수행하게 된다.



[출처: From DC building to a DC distribution and transmission, Delft University of Technology]

그림 1 MVDC 배전망 예시

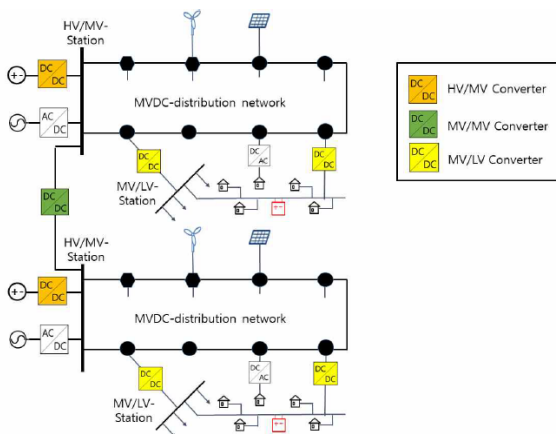


그림 2 MVDC 배전망의 DC-DC 컨버터 스테이션 개념도

DC-AC 컨버터 스테이션은 직류 전력을 교류 전력으로 변환하며 반대로 교류 전력을 직류 전력으로 변환할 수 있는 것으로 기존의 AC 계통과 신재생에너지원들로 구성된 DC 계통을 연계함으로써 연계 계통의 전압 안정도 향상을 도모하며 AC-DC 계통 간 전력공급 제어를 유연하게 하는 것을 목적으로 한다. 또한 Multi-terminal MVDC를 통해 연계 계통의 전압 안정도를 향상시키고, 필요 용도에 따라 Grid 구성을 자유롭게 할 수 있으며, 수용가 측면에서도 DC 계통과 기존 AC 수용가를 연결하는 핵심적 역할을 수행하며 이때 MVAC(특고압) 사용자 전압 범위는 3.3kV ~ 13.8kV, LVAC(저압) 사용자 전압 범위는 220V ~ 690V 이다.

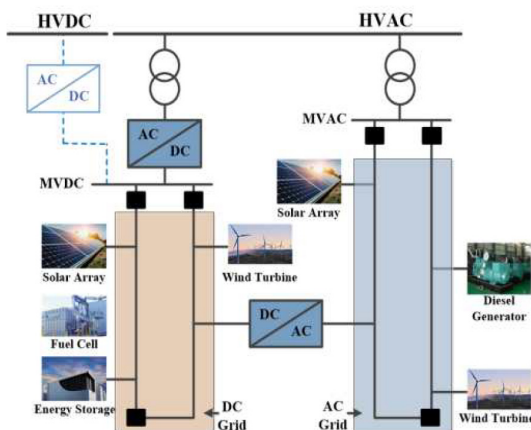


그림 3 MVDC 배전망의 AC-DC 컨버터 스테이션 개념도

국내 기술 개발 동향 및 수준의 경우 장거리 송전용 HVDC의

경우 국내 대기업에서 HVDC, STATCOM 중점을 두어 연구개발 및 실증을 일부 진행하고 있으나, MVDC용 컨버터 스테이션은 HVDC 및 LVDC 대비 현재 개발기술이 미비한 상태이며, 전압형 HVDC 기술을 응용한 MVDC용 기술개발과 대책 연구소 및 대학을 중심으로 기초 연구가 진행되어 오고 있다. 예를 들어 정부출연 연구소에서는 2015년부터 단상 13.2kV_{ac} 입력과 1500V_{dc} 출력을 가지는 LVDC용 SST 시스템 시제품을 개발하고 있으며, 대학에서는 주로 HILS 시스템을 활용하여 멀티터미널 구성시 신뢰도를 중점으로 유효전력 출력 변동, AC계통의 3상 지락사고에 의한 영구고장 시나리오 등과 같은 연구를 진행하고 있다. 또한 한전에서 2016년부터 2018년까지 직류기반 도서지역 분산전원 및 부하 연계시스템을 구축하고 저압 직류배전이 가능하도록 기존 AC 13.2kV 특고압을 750V 저압으로 전환하며 IDC, EV 충전 빌딩 등 DC 20kV급 전력 공급에 대한 사전 연구를 수행하는 등 배전망 관점에서 직류 도입의 타당성 및 적정 시스템 사양 등을 결정하는 후속 연구를 진행 중이다.

해외의 경우는 최근 몇 년간 유럽과 중국 등에서 MTDC(Multi-Terminal Direct Current) 시스템의 운전, 제어, 모델링, 보호 등에 많은 연구들이 진행되고 있다. 유럽의 경우 ABB에서 체코 Nupharo Park 프로젝트를 통해 11kVdc /350Vdc/48Vdc 등 다양한 직류망을 구현하고 저장장치 등을 설치하여 직류배전 실증을 위한 사이트를 구축 중에 있으며, 중국 Zhoushan에서는 2012년 세계 첫 전압형 5터미널에 대한 시운전을 시작했으며, 400/300/100/100/100(MW) 용량 ±200kV DC전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성된 바 있다. 또한 Zhangbei에서는 4-터미널을 건설 중에 있으며, 3000/3000/1500/1500(MW) 용량 ±500kV DC전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성 중에 있다. 미국은 DOE(Department of Energy)와 전력회사 등을 중심으로 약 200여 개의 프로젝트를 추진 중으로 자연재해시 전력공급 신뢰도 확보, 즉 전력 탄력성에 대한 실증사업을 수행 중이다. 세계 첫 전압형 3-터미널 HVDC는 Nan'ao에서 2015년 시운전을 시작했으며, 200/100/50(MW) 용량 +/-160kV DC전압의 MMC 컨버터 타입으로 구성된 바 있으며, MTDC 시스템과 DC망에 더 적합한 특징을 가진 MMC 기반 컨버터에 대한 연구 및 개발이 진

행 중이다.

국내 시장의 동향은 장거리 송전에 있어 상용화된 HVDC와 다르게 배전망 연계까지 염두한 컨버터 스테이션에 대한 국내 시장은 아직 형성되고 있지 않다. 그러나 일부 지하철 및 경전철에 DC 750~1500V가 적용되고 있고, 일부 수용가단의 직류망 도입으로 $\pm 750V$ DC/DC 컨버터를 국내에서 개발 중이 있으며, 향후 DC 배전이 도입됨에 따라 국내 전력망에서도 컨버터 스테이션에 대한 수요가 증가할 것으로 예측된다.

해외 시장에서도 MVDC 분야는 상용화 이전 Pilot Project 단계로, 신재생에너지와 직류 부하 증가에 맞춰 MVDC 직류 배전 기술개발이 전 세계적으로 추진되고 있다. 영국에서는 전력수요 증가에 따라 기존 33kV MVAC 선로를 $\pm 27kV$ MVDC로 변환하여 송전용량 및 계통효율을 증대하기 위해 2016년부터 ANGLE DC 프로젝트를 진행하였으며, 중국에서는 WENCHANG 지역의 AC 해저케이블 수리 프로젝트의 일환으로 정상 AC해저케이블을 이용하여 8MVA / $\pm 15kV$ 를 DC로 송전한 바 있다. 향후 MVDC 관련 시장은 목적에 따라 크게 신재생에너지 및 비신재생 에너지 시장으로 구분될 것으로 예상되며 특히 신재생에너지 도입 및 분산전원 연계 정책에 따라 시장이 빠르게 성장될 것으로 기대된다. 또한 발전소 또는 송/변전 설비 구축이 어려워지는 것과는 반대로 전력소비는 증가함에 따라 기존의 전력망의 효율 향상을 꾀하고 계통 안정도를 향상 시키기 위한 계통 안정화 프로젝트 시장도 동반 성장할 것으로 예측된다.

4. MVDC용 직류차단 및 보호용 전력기기

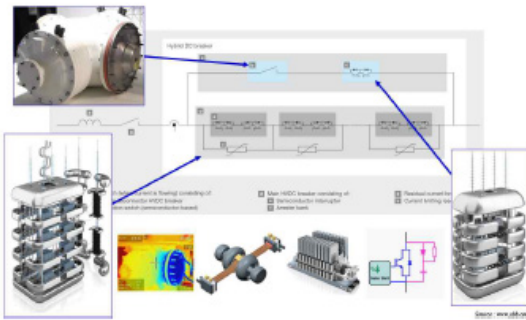
MVDC 배전망 또는 AC-DC 혼합형 배전망을 구성하게 될 경우 AC계통과 마찬가지로 보호대책이 필요하게 된다. 기존의 전류형 HVDC 시스템의 경우 Point-to-Point 방식으로서 전력계통의 경로가 1-way로 구성됨으로 고장이 발생할 경우 변환기 자체에서 차단하거나 AC 차단기에서 고장전류를 차단할 수 있으나 Multi-Terminal MVDC 시스템의 경우 계통 내 고장이 발생하면 고장구간만 신속히 제거해야 전체 시스템을 안정적으로 운용할 수 있다. 따라서 AC 시스템과 마찬가지로 계

통을 보호하기 위해 Bus를 기준으로 Tree 구조 또는 Loop 구조로 분기되는 DC 선로마다 차단기를 적용해야 할 필요가 있다. 고압 직류 차단은 역전압 방식(기계식 차단), 공진형, 역전류 주입형, 복합형 차단 등 다양한 방식이 있으나 아크 차단의 어려움 및 차단 시간 증가 등으로 인해 MVDC 계통운용 및 보호협조를 위한 직류차단 전력기기 상용화 기술은 아직 미확보된 상태이다.

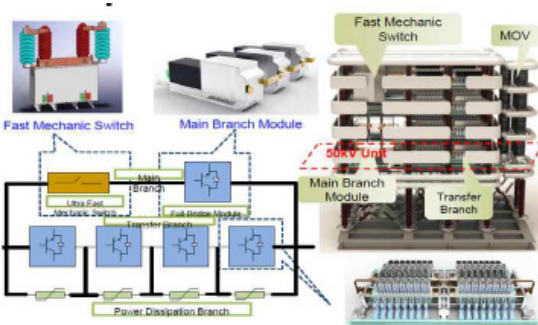
이를 위하여 국내에서는 국책연구소와 국내기업이 80kV급 직류 차단기술 개발을 위한 공동연구를 진행하여 80kV DC 차단기 설계, PT제작 및 성능 평가시험을 수행하였으며, 이를 통해 DC 80kV/2000A급 차단 성능을 확보한 바 있다. 또한 일부 국내 대기업에서 역전류주입 방식의 Prototype HVDC차단기를 개발하였으며 4.4kVpeak 차단 성능을 확보하기도 하였다. 그러나 배전급 규모의 차단기술 개발 및 테스트베드 시험운용을 통해 실계통에 적합한 상용화 수준의 직류 차단기술 개발은 아직 진행되지 못하고 있다. 뿐만 아니라 Mesh형으로 형성되는 MV급 직류 배전 시스템의 계통 구성을 변경하기 위해서는 직류 개폐기, 직류 단로기, 보호계전기 등 MVDC용 보호기기의 개발도 절실히 요구되고 있다.

해외의 경우, 계식 고속스위치와 전력용반도체로 구성하는 방식으로 ABB, GE(구 Alstom), Mitsubishi, C-EPRI, CSG 등이 HVDC 차단기를 개발하고 있으며 MVDC 차단기 역시 기존 개발된 컨셉을 바탕으로 MV급에 적합한 구조의 차단기가 개발 중이다. 미국 DOE는 원천 기술 확보, 기초연구 강화, 파괴적 혁신의 창의성을 지향하기 위한 연구개발 프로그램으로 ARPA-E(Advanced Research Projects Agency - Energy)를 운영하고 있으며 7개의 MVDC 차단기 과제가 진행 중이다.

국내 대표적인 DC 차단기 시장은 직류 전기 철도 구간이며, 연평균 성장률은 약 9.4%로 성장할 것으로 예상된다. 해외 시장의 경우 2024년까지 MV/HVDC 차단기 시장은 약 37억 달러(CAGR 6.54%) 규모에 이를 것으로 예상되며 이러한 성장은 전기 네트워크 인프라의 성장, 송전·배전 인프라에 대한 투자 증가, 신뢰성 있고 안전한 전력 공급에 대한 수요 증가, 그리고 재생 에너지원에 대한 투자 등에 기인하고 있다.



(a) ABB社 복합형 직류 차단기



(b) SGCC社 복합형 직류 차단기

그림 4 MVDC용 직류차단 전력기기



(a) 단로기

(b) 접지 스위치

(c) 절체 스위치

그림 5 MVDC용 보호 전력기기

5. 결 론

전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위해 태양광, 연료전지, 풍력 등의 친환경에너지로의 전환 확대 및 정보화 확산으로 직류 전원을 필요로 하는 데이터 센터 등의 수요가 증가하고 있으며 이에 따라 향후 전력망은 직류 전력망이 도입이 가시화되고 있으며, 특히 교류 및 직류 배전망이 혼합한 AC-DC 혼합 배전망으로 변화할 것으로 예상된다. 본 고에서는 직류 배전망 구축 및 운용에 필요한 MVDC용 전력기기에 대한 국내 기술 개발 추진 현황과 이에

대한 해외 기술개발 현황을 다루었다. MVDC용 전력기기는 미래 전력망의 핵심 기술로써 반도체, 전력전자, 전력설비, 제어, 통신, 기계, 건설 엔지니어링 등 전기관련 전분야로 기술 파급 효과가 크고, 국내 고압 대전류 전력변환장치의 기반기술을 확보하고 글로벌 경쟁력을 향상시키는데 이바지할 것으로 사료된다.

[참고문헌]

- [1] “차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업”, 에너지기술평가원, 2020
- [2] 한창희, 장길수, 이한상, “MVDC(Medium-Voltage Direct Current) 기술 동향”. 대한전기학회, 2019
- [3] 고유란, 민명환, 안태풍, “MVDC 배전시스템에서 다양한 복합형 직류 차단의 토폴로지 연구 및 분석”, 전력전자학회, 2020
- [4] 이종필, “탄소중립을 위한 전력시스템용 DC 컨버터스테이션 핵심 기술”, 전력전자학회, 2021

저자소개

김래영 (Kim Rae-Young)

1997년 한양대학교 전기공학과 졸업
1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사)
2009년 미국 버지니아공대(Virginia Tech)
대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
2010년~현재 한양대학교 전기공학과 부교수
2009년 미국 National Semiconductor
책임연구원

2016년 미국 Center for Power Electronics
System 방문교수

현재 당 학회 평의원, 회원교육이사, B부문전력전자연구회
주 연구분야: 전력전자, 전력계통, 무선전력 등





AC/DC Hybrid 배전망 운영 기술

AC/DC Hybrid Distribution Network Operation Technology

김주용 수석연구원 | 한전 전력연구원

Kim Juyoung | Lead Researcher / KEPCO Research Institute



요약

본고에서는 특고압 직류 기반의 배전시스템의 필요성과 국내외 연구동향을 소개한다. 다음으로 최근 추진 중인 특고압 기반의 AC/DC 하이브리드 배전망 운영기술 개발 사업의 연구내용을 살펴보고, 향후 연구성과의 효과에 대해 논의한다

Abstract

This paper introduced necessities and global research activities of MVDC (Medium Voltage Direct Current) distribution system. First, we checked details of research contents related to the project which is named as development of AC/DC hybrid distribution network operation technologies. Then, effects of its research product were discussed in this paper.

1. 서론

정보화 사회의 급속한 발전으로 인해 디지털 기기들이 확대되고 있으며, 특히, 미국 EPRI에서는 직류부하인 디지털 부하가 2000년에는 전 세계적으로 10% 밖에 되지 않으나, 2020년도에는 전체 부하의 50%에 도달할 것이라는 예상을 내놓았다. 한편, 에너지 자급률 향상, 저탄소 성장 및 '탈원전' 정책으로 인해 신재생에너지는 더욱 확대될 전망이며, 제 8차 전력수급계획에서는 2030년까지 전체 발전량의 20%를 신재생에너지를 통해 생산한다는 계획이다.

대부분 가전제품의 경우, 현재 공급되는 교류전력을 내부에서 직류로 변환하여 전력을 소비하고 있다. 또한, 태양광, 연료전지,

ESS 등의 경우, 생산된 전력이 직류이기 때문에 교류인 계통과 연계시키기 위해서는 전력변환이 필요하다. 전력을 변환하는 과정에서 손실을 수반하게 되고, 이로 인해 전력효율이 저하하게 된다. 최근 부각되고 있는 전기자동차(EV)에 경우에도 직류부하이기 때문에 동일한 문제가 발생하게 된다. 이에 따라 직류기반의 배전시스템을 구성하고 이를 통해 직류부하에 직접적으로 직류전원을 공급하는 동시에 신재생원의 연계 및 효율성을 높이는 직류(DC; Direct Current) 배전이란 연구가 국제적으로 진행되고 있으며, 현재 국내외적으로 저압의 LVDC(Low Voltage Direct Current) 배전 연구에서 MVDC(Medium Voltage Direct Current) 배전에 대한 연구들로 진행되고 있다.

수용가 DC배전 이외에 배전계통에서 증가하는 신재생원, 저

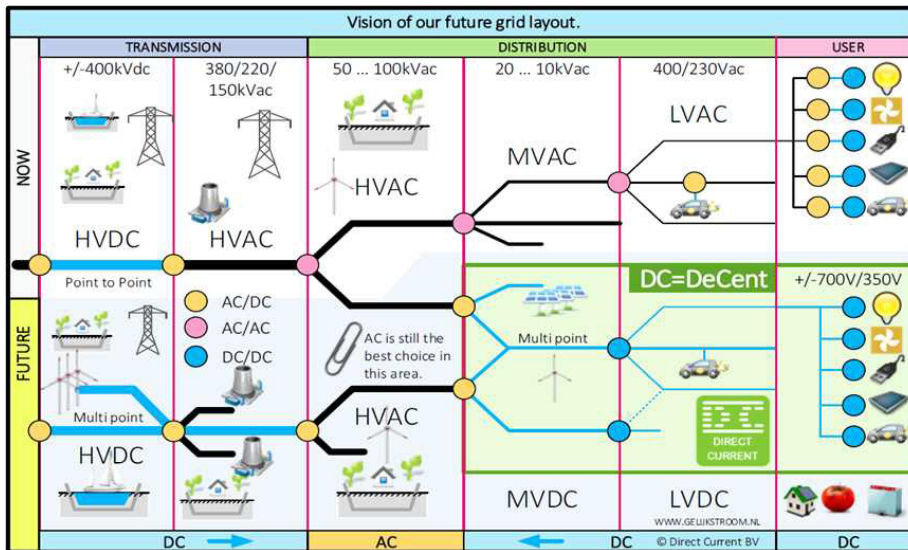


그림 1 DC 기반의 미래 전력시스템

[출처: FDirect Current BV]

장장치, 전기자동차 등의 연계효율 향상 및 연계용량 극대화를 위해 직류배전 기술을 활용할 수 있다. 특히, 최근 정부의 신재생에너지 보급확대 정책을 성공적으로 추진하기 위해 신재생사업이 확대될 경우 직류배전 기술이 신재생 보급확대와 비용절감에 기여할 수 있을 것으로 고려되고 있다. 이는 정부의 제 3차 에너지기본계획에서도 제시하고 있다. 또한, 장기적으로는 도심지내 배전계통에서 다양한 분산전원과 전기자동차 등이 확대될 경우 고압 직류 배전계통인 MVDC 배전 필요할 것으로 예상됨에 따라 AC/DC 하이브리드 배전계통 구성 및 통합운영에 필요한 운영기술에 대한 대비가 필요하다.

2. 국내외 MVDC배전 운영기술 동향

직류배전의 연구는 Low Voltage 레벨의 인터넷 데이터센터(IDC; Internet Data Center)에서 시작되었다. 미국의 로렌스버클리 국립연구소(LBNL; Lawrence Berkeley National Laboratory), EPRI, 일본의 NTT에서 DC배전 적용을 통해 IDC의 소비전력을 절감하고, 공간활용도를 증가시켰으며 동시에 신뢰성을 높였다. 다음으로 DC Home, 빌딩 등의 등의 수용가 내의 직류배전 적용에 대한 연구가 진행되었다. 이후에는 저압 직류 배전선로에 대한 연구와 저압 DC 마이크로그리드에 대한 연구가 진행되고 있다.

이와 같은 저압 직류배전 연구와 함께 최근에는 고압 직류배전, MVDC 배전에 대한 연구가 진행되고 있다.

우선 영국에서는 ANGLE DC 프로젝트가 진행되고 있다. 영국 내 North Wales지역의 Bangor 변전소와 Anglesey 지역의 Llanfair PG 변전소 사이를 MVDC Link를 이용해 연결하는 프로젝트이다. Anglesey 지역의 부하량 증가, 신재생에너지 증가 및 저전압 문제를 해결하기 위해 Anglesey 지역의 33kV 기존 AC선로의 27kV DC화를 통해 선로의 추가 없이 전송용량을 24.8VA에서 최대 35.5MVA까지 증가시키는 사업이다. 또한, 중국 Wenchang 지역에서는 LNG 발전원에 기존의 해상 플랫폼과 지상 플랫폼 사이를 연결하는 29.2km의 3가닥 단상 해저케이블에서 Surge Impact와 절연문제로 특정 1상 선로에서의 전송문제가 발생하여 15kV의 MVDC 선로로 전환하여 기존 AC 선로에서 있었던 Surge Impact 및 절연문제를 해결한 프로젝트가 진행되었다. 즉, 기존 AC선로를 DC선로로 전환하고 전압형 컨버터(VSC)를 통해 능동적으로 Point to Point 간 조류 흐름을 제어하는 운영기술이 연구되고 있는 것이다.

또한, 독일은 연방교육연구부(German Federal Ministry of Education and Research, BMBF)의 지원을 받아 연구를 거쳐 FEN(Flexible Electrical Networks) 연구 캠퍼스를 설립하였다. FEN은 "Energiewende"(에너지 전환) 즉, 에너지 분야의 탈탄소

화(Decarbonization)를 가능하게 하기 위한 DC 기반 시스템 기술의 연구 및 개발에 전념하고 있다. 동시에 독일 경우 E.ON과 RWTH 대학이 공동으로 RWTH 대학 내에 고압 DC (MVDC) 실증사이트를 구축하여 MVDC 보호 및 차단기술 개발과 다양한 전원 및 부하의 연계, 고효율 전력변환기 개발 등 핵심기술들의 연구가 추진되고 있다. MTDC (Multi-Terminal DC) 형태의 MVDC 배전계통을 구성하여, 전압유지를 위한 컨버터 운영 및 유효/무효전력을 제어 등의 운영 연구를 진행 중이다. 또한, 중국 옌칭의 바달링경제개발지구(Badaling Economic Development Zone)에 10kV AC-DC 하이브리드 배전 네트워크 프로젝트를 진행 중이다. 이 프로젝트는 지역 내 DC 배전 네트워크를 구축하고, 링 네트워크의 폐쇄 루프 운영과 인접한 링 네트워크와의 상호 연계 운영을 통해 분산에너지, 마이크로 그리드 등의 유연한 연계 및 네트워크의 에너지 용량 개선을 위한 운영기술을 연구 중이다.

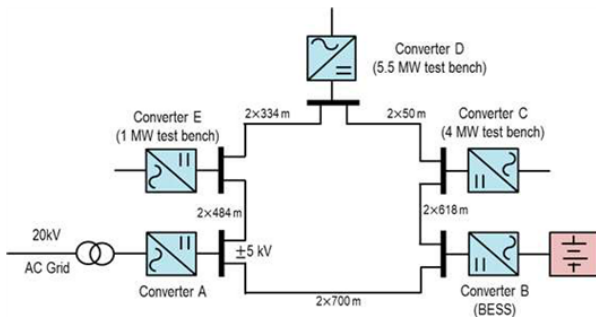


그림 2 E.ON MVDC 프로젝트 시스템 구성

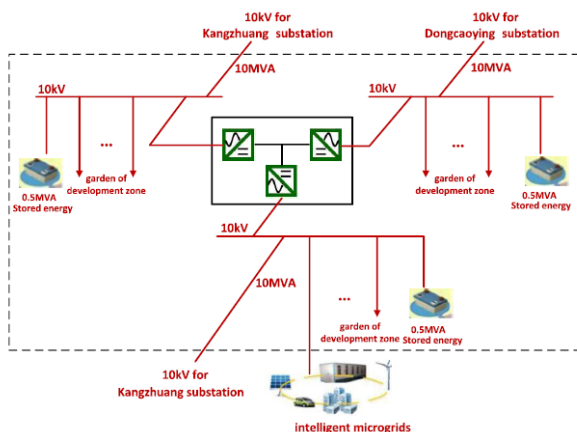


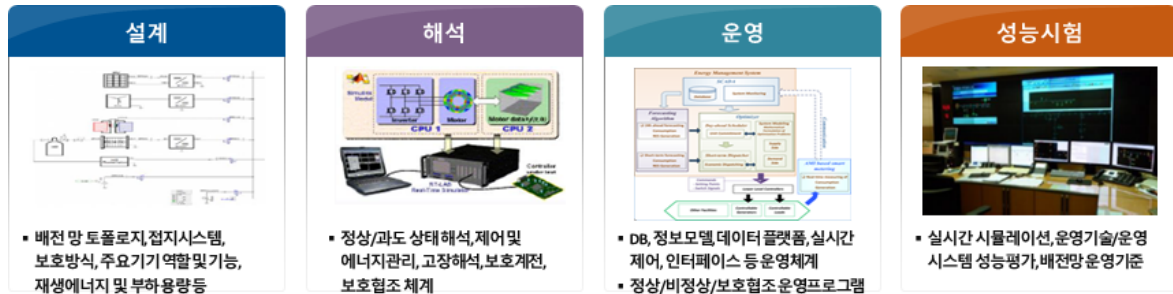
그림 3 옌칭 MVDC 프로젝트 구성도

3. Medium Voltage AC/DC 하이브리드 운영기술 개발

대규모의 신재생에너지 및 전기차의 출현과 이에 따른 배전계통 내 전력품질 및 연계용량 향상의 필요성이 제기되면서 경제적이고 효율적인 배전시스템의 필요성이 제기되고 있다. 따라서 이와 같은 에너지 전환에 대응하고 “차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업”을 정부에서 추진 중이고, 본 장에서는 세부사업 중 “AC/DC Hybrid 배전망 운영기술” 개발사업에 대해 소개하고자 한다.

대규모 재생에너지와 EV 등의 배전계통 변동요소가 확대됨에 따라 이를 배전계통 내에서 해결함과 동시에 CO₂ 절감, 에너지 효율 상승, 신재생 확대 및 직류전원 공급 요구에 대응할 수 있는 MVDC 배전망 시스템의 운영기술을 개발하는 것이 본 세부사업의 목적이다. 세부적인 운영기술 개발 내용으로는 MVDC 배전계통 요구사항 및 기능을 정의하고 신재생원, 부하의 최적배치 및 용량을 도출함과 동시에 MVDC 배전계통의 안정적인 운영을 위한 발전원 및 수용가를 포함한 정상, 과도, 고장상태 해석기술 기반의 1) MVDC 배전망 구조 설계 기술과 신재생에너지 발전, 에너지저장장치 및 직류수용가로 구성된 MVDC 배전계통의 안정적인 운영 및 에너지 이용 효율 최대 상승을 위한 2) MVDC 배전망 전압제어 및 전력관리 기술, MVDC 배전망의 상정사고를 고려하여 계통 및 기기를 보호하기 위한 3) MVDC 보호협조 및 보호시스템 개발 기술, MVAC와 연계 최적운전을 위한 4) AC/DC 배전망 운영시스템 개발 기술, 저압 직류 및 저압 교류 기반의 신재생에너지와 수용가 연계를 위한 5) 통합 연동 시스템 개발 기술, 그리고 마지막으로 개발된 운영기술 및 운영시스템의 성능시험 기준 수립을 위한 6) MVDC 운영기술 및 운영시스템 성능평가 기술로 구성된다.

본 AC/DC 하이브리드 배전망 운영기술 개발 과제가 완료시, MVAC 배전시스템과 연계한 MVDC 배전망 토폴로지 설계서, MVDC 배전망 해석 표준모델, MVDC 정상, 비정상 및 보호협조 운영 알고리즘 및 응용프로그램, AC/DC 하이브리드 배전망 운영시스템 및 운전기준을 등 MVDC 상용화 운영기술을 확보하게 될



AC/DC 하이브리드 배전망 운영

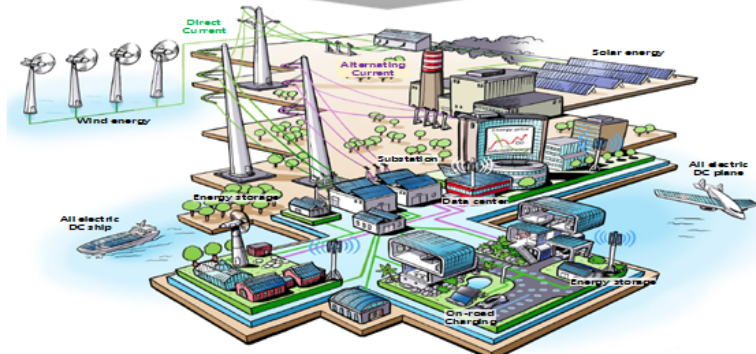


그림 4 AC/DC Hybrid 배전망 운영기술 범위

것이다. 이를 통해 국내의 전력시스템 내 AC/DC 하이브리드 배전망 운영이 가능해 질 것이며, 에너지 전환에 대응한 AC 및 DC 배전 시스템의 상호운영성을 확보할 것이다.

4. 결 론

최근 가전회사의 직류가전 개발과 건설회사의 건물 내 직류배전의 적용 그리고 직류기반의 USB를 활용한 Nanogrid에 대한 연구는 신재생에너지, 에너지 저장장치 보급과 맞물려 직류전원에 대한 수요와 시장을 확대시키고 있다. 또한, 수용가, 신재생원, 저장장치, 전기자동차 등의 직류화와 최근 정부의 탄소중립 정책은 직류배전 기술이 신재생 보급확대와 비용절감 기술로 고려되고 있다. 향후 배전계통에서 대규모의 다양한 분산전원과 전기자동차 등이 확대되는 변화가 예상되고 있는 시점에서 MVDC 배전시스템은 전력시스템의 변환에 대응한 솔루션으로 그 필요성이 증대되고 있다. 따라서 AC/DC 하이브리드 배전계통 구성 및 통합 운영 기술 개발이 현재 무엇보다 필요하다.

앞서 소개한 것과 같이 정부가 “차세대 AC/DC Hybrid 배전

네트워크 기술개발 사업”을 추진 중에 있고, 이 사업의 세부사업인 AC/DC 하이브리드 배전망 운영기술 개발 사업 내에서 대규모 분산전원 연계 및 직류부하 공급을 위한 MVDC 배전망 토폴로지 설계 및 운영기술을 개발하게 된다면 태양광, 에너지저장장치, 전기자동차 등의 보급 확대 기여 및 배전계통 전기품질, 운영 신뢰성 및 효율성을 증대시킬 수 있을 것으로 예상된다. 더불어, 이를 위해서는 본 사업 내에서 학계, 연구계 및 산업계가 AC/DC 하이브리드 배전망의 상용화가 가능하도록 공동으로 기술개발을 해야 하며, 동시에 현행 전기 관련 법규, 전기설비 기술기준 등에 대해 전력시스템 내에 MVDC 배전망을 적용할 수 있도록 수정사항을 도출하고 이를 기반으로 개정하는데 함께 노력해야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] MVDC 배전망 해석모델 개발 및 최적 공급전압 연구, 한전전력연구원, 2020.6
- [2] Midium voltage direct current(MVDC) grid feasibility study, CI-GRE, 2020.2
- [3] 저압 직류배전 실증인프라 구축 및 실계통 적용 연구, 한전전력연구원,

2017.3

[4] 저압 직류배전망 독립성 실증 연구, 한전전력연구원, 2017.8

[5] 김주용, "저압 직류배전시스템 기술개발 현황 및 확대전망", 대한전기학회
지, 2016.8

저자소개

김주용(Kim Juyong)

1992년 경북대학교 전기공학과 졸업

1994년 동 대학교 대학원 졸업(석사)

2007년 동 대학교 대학원 졸업(공학박)

1994년~현재 전력연구원(KEPRI) 수석연구원

현재 KEPRI 스마트배전연구소 배전계획연구
실장

현재 당 학회 전기물성·응용부문화 사업/홍보

이사

주 연구분야 : DC배전, 배전계획 등



AC-DC Hybrid 배전망 테스트베드 구축

Test-bed for MVDC technology-based AC-DC hybrid power distribution network

전진홍 책임연구원 | 한국전기연구원

Jeon JinHong | Principal Researcher/Korea Electrotechnology Research Institute



요약

본고에서는 MVDC 기술 개발의 필요성과 2022년부터 수행 예정인 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업의 추진 배경에 대하여 설명한다. MVDC 요소기기와 운영기술 검증을 위한 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드의 필요성과 활용방안에 대하여 제시하며 사업의 목적과 연구내용에 대하여 간략하게 소개한다.

Abstract

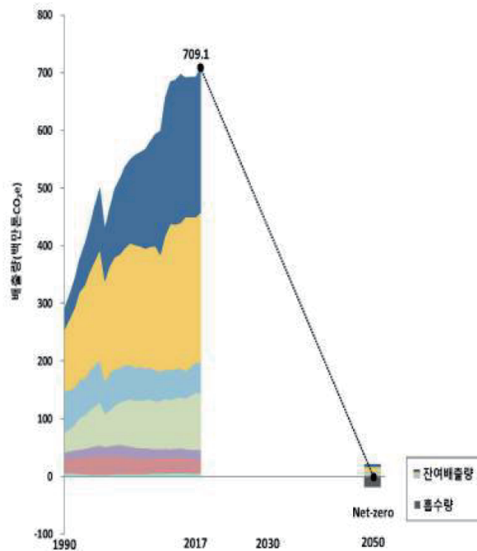
This paper explains the necessity of MVDC technology and the background of the next-generation AC/DC Hybrid distribution network technology development project scheduled to be carried out in 2022. The necessity and utilization of AC/DC Hybrid distribution network test-bed for verifying key-equipment and operating technologies are presented. Briefly introduce the purpose of the project and the contents of the study.

1. 서론

기후변화 문제를 해결하기 위해 1997년 교토의정서와 2015년 파리기후변화협정이 채택되었다. 파리기후변화협정에서는 지구 온난화를 방지하기 위해 온실가스 배출량을 줄여 지구의 평균 온도 상승을 2℃ 아래로 억제하고, 1.5℃를 넘지 않도록 노력하기 위한 전 지구적인 합의안을 도출하였다. 이에 따라 우리나라도 2020년 10월 28일 대통령 국회 시정연설을 통해 2050년 탄소중립을 선언하였으며 2020년 12월 30일 2050장기저탄소발전전략(지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략)을 유엔에 제출하였다. 2050장기저탄소발전전략 기본방향(그림 1)에 따르면 환경부는 2050년 탄소중립 실현을 위해서 석탄발

전 비중은 0%, 재생에너지 발전 비중이 80%에 이르게 될 것으로 예상된다. 국제재생에너지기구(IRENA, International Renewable Energy Agency)는 2018년 전 세계 에너지 소비 중 전기에너지의 비중이 21%, 그중 재생에너지에 의한 전기에너지 생산 비중은 25%로 보고하였으며 에너지전환이 진행된 2050년에는 전 세계 에너지 소비 중 전기에너지의 비중이 51%, 그중 재생에너지원에 의한 전기에너지 생산 비중은 90%로 변화(그림 2, 그림 3)할 것으로 추정한다.

우리나라의 2050장기저탄소발전전략과 국제재생에너지기구의 예측에서 나타낸 바와 같이 탄소중립 실현을 위해서는 최종 사용 에너지 중 전기에너지의 비중 증대와 필요한 대부분의 전기



구 분	포럼 1안('17년 대비 75% 감축)	2050 탄소중립(안) 추가 검토안 ※ 향후 정책 성과, 기술 발전 등을 고려하여, 시나리오 정교화(복수안) 예정
목표	- 2050년 75% 감축(2017년 대비) → 2062년 탄소중립 달성	- 2050년 탄소중립 실현
주요기술	[전환] 재생에너지 발전 비중 60% 석탄 발전 비중 4.4% CCUS 38.8백만톤 포집 [산업] 수소환원제철 적용 스마트 공장 100% CCUS 활용 에너지 원단위 연 2% 개선 [건물] 에너지 절감율 24%(BAU 대비) 고효율 기기 보급 6%(BAU 대비) HEMS 보급 66%, AMI 100% 보급 [수송] 친환경차 93%, 내연기관차 7% 자율주행, 인공지능 확산 해운-철도-항공 선진화	[전환] 재생에너지 발전 비중 65~80% ↑ 석탄 발전 비중 0% LNG 발전 → CCUS 연계 동북아 슈퍼그리드 [산업] 수소환원제철 적용 확대 순환경제(원료 재사용·재활용) 강화 혁신소재(생물원료 등) 상용화 CCUS 활용 확대 ↑ DAC(대기중 탄소포집) [건물] 도시가스 대체(→전기·수소) 건축물 녹색건축 전면 확산 건축물 LCA 기반 최적설계 [수송] 친환경차 대중화 교통 수요관리 혁신 완전 자율주행차

그림 1 2050 장기저탄소발전전략(LEDs) 기본 방향 (환경부 LEDS 공청회, 2020.11.19.)

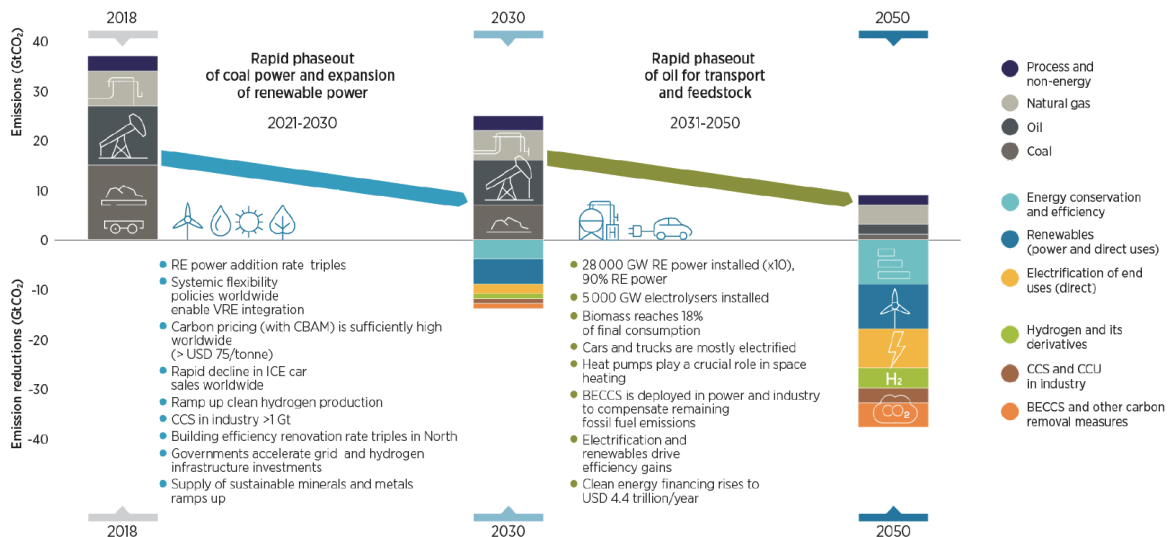


그림 2 에너지전환에 따른 이산화탄소 배출량과 에너지원의 변화(World Energy Transitions Outlook - 1.5°C Pathway, IRENA, 2021. 6.30.)

에너지 생산이 재생에너지에 의해 이루어져야 한다. 이는 재생에너지 중심의 분산에너지 확대로 전력 공급 및 수요의 체계가 변화함을 의미한다. 재생에너지 대부분이 배전망에 연계됨을 고려하면 향후 에너지시스템은 신재생전원 기반의 분산에너지와 배전망 중심으로 전환됨을 예상할 수 있다. 이러한 시스템의 변화는 생산지역 인근에서 적절한 소비가 이루어져 전체 시스템의 변동성을 완화할 수 있는 소규모 분산에너지 중심의 운영방식과 능

동적인 전력제어 기술을 필요로 한다. 이를 뒷받침하기 위해서는 배전망에서 전력이 수동적인 단방향 흐름이 아닌 능동적 다방향 제어가 핵심 수단이 되며 이를 위해서 직류배전 기술이 필요하다.

정책 측면에서도 이러한 필요성을 반영하여 제3차 에너지기본계획에서는 재생에너지 계통수용률 제고와 전력배전용량증대 등을 위해 MVDC 적용 마이크로그리드 전력망 구축과 같은 직류계통체계를 구축하고 AC/DC 병행공급이 가능한 신재생 연계형 저

압 그리드를 구성하여 직류배전 상용화 추진하기 위한 직류 송배전시스템 산업(컨버터·제어플랫폼 제작 및 설치, 컨설팅, 시스템 유지보수) 육성 지원체계를 마련하겠다고 보고하였다. 2020년 12월 산업통상자원부에서 발표한 제5차 신재생에너지 기본계획에서는 계통 수용성 증대를 위한 시스템 구축의 인프라 혁신 수단으로 AC/DC 하이브리드 송배전 시스템 기술 등 차세대 전력계통 기술을 개발하고 교류 송전망과 직류 배전망을 융합한 하이브리드형 전력망으로 전환을 추진하겠다고 제시하였다.

이러한 기술적·정책적 필요성에 의하여 산업통상자원부와 한국에너지기술평가원은 예비타당성 조사를 거쳐 2021년 1월 ‘차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업’ 예산을 확보하였고, 신재생전원의 배전 연계 전력수요 대응 및 안정적 전력공급 환경 구축을 목표로 2022년부터 2028년까지 총 예상 사업비 2,644억 원 중 정부지원금 1,904억 원을 투자할 계획이다. 본고에서는 개발된 요소기기 및 운영기술과 전력망 운영 이슈의 해결 가능성 및 안정성 검증하기 위한 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드 구축 방안에 대하여 소개하고자 한다.

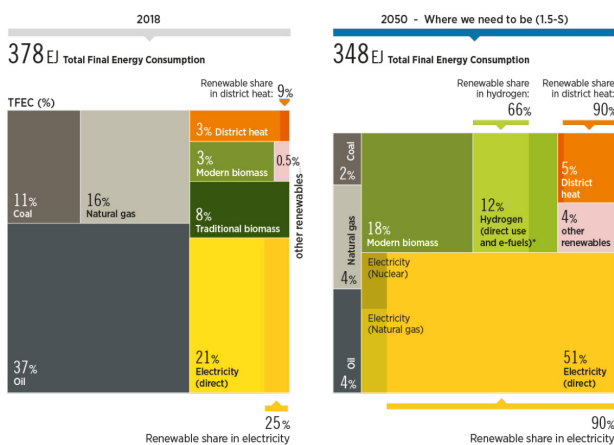


그림 3 에너지전환에 따른 에너지시스템의 변화
(World Energy Transitions Outlook - 1.5°C Pathway, IRENA, 2021. 6. 30.)

2. 국·내외 기술개발 동향

우리나라의 직류 시스템 기술개발은 HVDC와 LVDC 중심으로 진행되었다. HVDC는 제주 시험 선로 운영을 통해 다양한 실증을 완료하였으며, 제8차 전력수급기본계획에 따르면 송전망 문

제 해결을 위한 지속적인 HVDC 선로 보강이 진행될 예정이다. LVDC는 한국전력공사가 고창시험장에 시험선로를 구축하여 운영하고 있으며, 특히 서거차도에 $\pm 750\text{V}$ 의 저압직류 마이크로그리드를 구축하고 신재생에너지, 에너지 저장장치를 연계하여 직류 전력을 수용가에 공급하는 실증 시험을 진행하였다. 국내에서는 MVDC 관련 전력변환장치와 차단기와 같은 핵심기기 기술과 대규모 해상풍력 연계를 위한 토폴로지, 시뮬레이션 구축, 컨버터 제어 알고리즘 중심으로 기초연구가 진행되고 있으나 실제 MVDC 배전망을 구축하고 핵심기술을 통합하여 실증하기 위한 연구는 수행된 바가 없다.

MVDC 배전망 구축을 위한 실증은 유럽과 중국을 중심으로 다양하게 진행되고 있다. 유럽의 경우는 신재생에너지 도입 비중이 높은 영국과 독일을 중심으로 관련 연구가 수행되고 있다. 영국 Angle-DC project는 Llanfair PG 변전소에서 Bangor 변전소까지 기존의 50Hz 33kV의 교류 배전선로를 $\pm 25\text{kV}$ 직류 배전선로로 전환하여 기존 배전선로의 용량증대 효과를 실증하였으며, 다수의 배전망 운영자(DNO)가 저탄소 에너지 전원을 수용하기 위한 목적으로 MVDC 배전망 도입을 검토하고 있다. 독일 아헨공대(Aachen University)는 캠퍼스 내 각종 연구용 부지에 약 6.2MW 규모의 $\pm 5\text{kV}$ 의 직류 배전망 구축하였다. 해당 시험 선로를 이용하여 다단자 구조에서 각 컨버터의 제어기법에 대한 연구를 활발히 진행하고 있으며 MVDC 전력망 계획 및 운영, 자동화 및 제어, 표준화 및 규제, 클라우드 플랫폼, 에너지 변환, 경제성 검증 등을 위한 실증단지를 조성 중이다.

중국은 Shenzhen Baolong Industrial Park에 에너지 인터넷 기반 $\pm 10\text{kV}$ 직류 배전망을 구축하고 있으며 전력공급 신뢰성과 품질 유지, 신재생에너지와 에너지저장장치의 안정적 계통연계를 목적으로 110kV 교류 송전망 양단에 MMC 구조의 컨버터를 적용하여 MVDC 배전망을 구성하였다. MVDC 배전망에는 교류 및 직류 마이크로그리드를 연계하여 전압과 조류 제어 기능을 검증하고 있다. Zhuhai Tangjiawa Science Park에서는 다단자 구조의 $\pm 10\text{kV}$ MVDC 배전망을 구축하고 있다. 앞선 Baolong MVDC와 마찬가지로 MVDC 전력망의 운전모드를 분류하고 컨버터의 제어 모드를 나누어 MVDC 배전망 운영에 로컬제어부터 협조

제어, 최적제어까지 기존의 계층 운영구조를 적용하여 각 계층별 MVDC의 기능을 정의하였다. 현재는 다양한 기능에 대해 시뮬레이션 검증을 완료하였으며 실제통 검증을 수행할 계획이다.

3. AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드

MVDC 배전망 방식은 기존 교류 배전망의 핵심기기와 운영방식 전반을 대폭 변경하는 기술로 사용할 전압 수준, 그리드 구조, 제어 기술, 보호 기술 등 새로운 기술 적용 등에 대한 실증연구 차원의 검증 필요하며 단위 기기의 운전 및 제어부터 배전망의 설계 및 운전, 관리 등에 이르는 모든 관련 기술 영역에서 충분한 실험 및 실증 데이터를 확보하여 단위 기술의 개발 과정에서 발견되지 않는 문제들을 검출하고 해결해야 한다. MVDC 배전망을 구성하는 요소기기는 기기별 독립적인 형태의 개발 및 성능 검증이 가능하나, 모든 구성요소를 포함하는 시스템인 MVDC 배전망의 안정성, 신뢰성 및 안전성을 보장하기 위해서는 구성기기들의 상호 협조 성능과 복합적인 배전망 운영 성능을 검증할 수 있는 종합적인 실증 선로가 필요하다.

전력망 신기술을 실제 전력계통에서 직접 검증하는 것은 운영 중인 전력망의 안정성 및 품질을 저해하여 막대한 사회·경제적 피해를 초래할 수 있으므로, 실제 운영 조건과 유사한 형태의 실증 선로에서 성능을 검증한 후 실제 계통에 적용하는 것이 바람직하다. 본 사업을 통해 구축하는 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드의 개념도는 그림 4와 같다. 구축된 테스트베드는 MVDC 배전망 기술을 다양한 운영목적(신재생 분산자원 및 EV 충전 수용성 확대, 배전망 효율 및 신뢰성 향상, 배전설비의 사회적 수용성 향상 등)으로 최적화하기 위한 기술 개발과 그 효과를 검증을 위한 통합 플랫폼의 기능을 수행한다. MVDC 배전의 핵심기술을 신재생발전사업, 전기차 충전사업, 철도 시스템, 커뮤니티 마이크로그리드 등의 타 분야 사업과 융합할 수 있는 가능성을 검증하고, 새로운 신사업 모형을 개발하기 위한 검증 수단으로 활용할 수 있다. 본 테스트베드를 통해 검증된 기술은 다음과 같은 배전계통에 적용 전력망 기술 확산을 위한 기술적·제도적 체계 수립에 이바지할 수 있다.

- MVDC 기기의 확대 보급 및 생산을 위한 제품의 표준화
- MVDC 기기의 설계, 설치, 검사 및 진단을 통한 설비의 관리



그림 4 MVDC 배전망 파일럿 플랜트 구축 개념도

표준화

- 핵심 기기의 상호운용성을 확보 및 연관된 기술 확장을 위한 기술기준 마련

AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드 세부 사업의 목적은 앞에서 소개한 두 개의 세부사업에서 개발된 AC/DC Hybrid 배전망 요소기기 및 운영기술의 성능을 검증하는 것이며 이를 통해 AC/DC Hybrid 배전망 도입에 대한 기술적 성과를 확인하고, 실계통 도입 시 필요한 기술 기준 마련하는 데 있다. 본 세부사업에서는 MVDC 핵심기기 및 배전망 과일렛 플랜트 구축을 위한 연구와 배전계통의 직류 기술 도입을 위한 기술적·제도적 체계 마련 연구가 핵심 주제로 수행될 예정이다. 이러한 연구 활동을 통하여 배전설비 용량 확대와 전력흐름 제어와 같은 접속 수요 대응에 대한 기여도와 전력변환 손실 최소화, 고장시 정전회피, 배전망 혼용 운전과 같은 운영 효율 확대에 대한 효과를 검증할 계획이다.

4. 결 론

본고에서는 MVDC 기술 개발의 필요성과 2022년부터 수행 예정인 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업의 추진 배경에 대하여 설명하였다. 우리나라와 세계 주요 국가의 직류배전 시스템 실증 기술의 현황에 대하여 기술하였으며 MVDC 요소기기와 운영기술 검증을 위한 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드의 필요성과 활용방안에 대하여 제시하였다. 향후 추진될 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드 세부 사업의 목적과 연구내용에 대하여 간략하게 소개하였다.

본 국가 R&D 사업이 성공적으로 완료된다면 2030년 AC/DC 혼용 배전망 운전을 실현하기 위한 직류 배전 핵심기술을 확보하여 재생에너지 증대에 따른 배전망의 운영 문제 해결과 안정적인 전력공급 환경 구축에 이바지할 수 있다. 개발된 직류 배전 기술을 통해 국내 배전망과 연계된 전력수요와 분산전원 등을 효율적으로 대응하고, 국민에게 안정적인 전력공급의 기반 제공에 활용될 것이다. 또한, 본 사업을 통해 구축된 AC/DC Hybrid 배전망 테스트베드는 신재생발전사업, 전기차 충전사업, 철도 전력시스템,

커뮤니티 마이크로그리드와 같은 새로운 기술의 검증과 보급·확산을 위한 중요한 전력산업 인프라로 활용될 것이다.

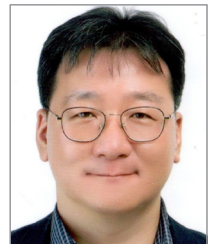
[참고문헌]

- [1] 전진홍, "탄소중립 실현을 위한 분산에너지 기반의 전력시스템", 전기저널, 2021.8
- [2] 2050장기저탄소발전전략(지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050탄소중립 전략), 환경부, 2020.12
- [3] Global High-Level Forum on Energy Transition, World Energy Transitions Outlook-1.5°C Pathway, IRENA, 2021. 6.30.
- [4] 분산에너지 활성화 추진전략, 산업통상자원부, 2021.6.30.
- [5] 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발사업, 산업통상자원부, 2020.7

저자소개

전진홍(Jeon JinHong)

1995년 성균관대학교 전기공학과 졸업
 1997년 동 대학교 대학원 졸업(석사)
 2012년 부산대학교 대학원 졸업(박사)
 1997년~현재 한국전기연구원
 현재 당 학회 평의원 및 전력기술위원회
 편집이사
 주 연구분야: 마이크로그리드, 분산에너지,
 직류시스템 등



충북대학교 SPIN 연구실 소개

김명진

연구실 개요

2017년에 개설된 충북대학교 전기공학부의 지능형 전력설비 및 네트워크 (Smart Power Infrastructure & Network: SPIN) 연구실은 전력설비와 전력계통 분야에서 다양한 연구를 수행하고 있다. 전력설비의 성능과 밀접한 연관이 있는 고전압 및 절연재료에 대한 연구와 더불어 다양한 전력설비간연동으로 특성화되는 차세대 전력망의 제어 및 신뢰성 향상에 관한 연구를 통하여 미래 에너지 분야에서의 융/복합 연구 활성화에 기여하고 있다. 본 연구실에서의 다양한 연구 경험을 바탕으로 배출된 인재들은 관련 기관에서 에너지 전문가로서의 역량을 발휘하고 있다.

1. 전력설비 및 절연재료

고전압 및 절연재료 분야에 대한 연구는 기존 및 신개념 전력설비 적용을 위한 절연재료 개발, 수명특성 분석 및 주요 성능에 측기법에 대한 연구를 수행하고 있으며 주제별 세부 내용 및 성과는 다음과 같다.



그림 1 고전압 실험실 전경

아니라 학부과정 학생들이 “필러선정-시편제작-물성확인-시험수행”의 과정을 직접 경험할 수 있도록 하는 자기주도형 프로젝트를 주기적으로 실시하여 절연재료 및 고전압 분야에 대한 학생들의 실무역량강화 및 전문성 향상에 기여하고 있다.

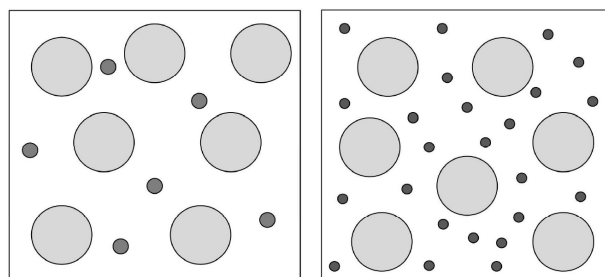


그림 2 필러첨가를 통한 복합재료 개발

(1) 절연재료 개발

고기능성 필러가 첨가된 복합재료의 개발 및 특성화에 대한 연구를 수행하고 있다. 필러 종류, 크기, 제작공정, 함량비 등과 같은 설계 및 공정상의 세부요소가 목표 성능 (절연내력, 열전도, 절연저항, 내트래킹성 등)에 끼치는 영향성을 확인하고 이를 바탕으로 용도별 재료의 설계 및 제작공정의 최적화에 대한 연구를 수행하고 있다.

마이크로 및 나노 복합체 (Micro /Nano-Composite) 시편에 대한 실험실 자체 제작이 가능한 환경을 구축하여 대학원생 뿐만

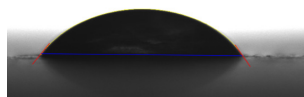
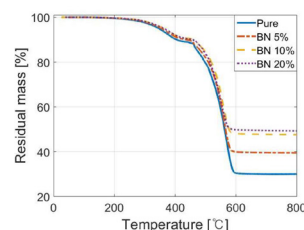


그림 3 재료특성 분석 (예: TGA/접촉각)

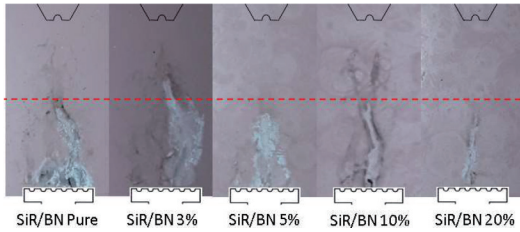


그림 4 넷트래킹성 시험 사례

(2) 수명특성 분석

전력설비의 자산관리체계 활성화, 시스템 신뢰성에 대한 관심 증가에 부응하기 위하여 전력설비의 수명특성분석에 대한 필요성이 증가하고 있다. 해당 기술의 중요성을 고려하여 본 연구실에서는 다양한 전력설비에 적용되는 절연재료에 대한 수명특성 분석 관련 연구를 실제 실험과 전산해석을 병행 사용하여 수행하고 있다.

수명지수의 도출뿐만 아니라, 열화에 따른 주요 물성 파라미터값의 변동추이 확인을 통하여 전력기기의 진단기술 관련 연구에 적용하고 있다. 시험 형상 및 조건에 따른 영향성 분석, 가속 열화조건 선정기법들에 관한 추가연구를 통하여 효과적인 장기 수명특성 시험법의 개발 및 수명특성 분석 기법의 고도화연구를 진행하고 있다.

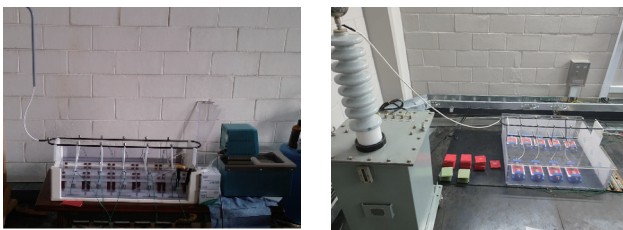


그림 5 장기 수명특성 시험구성 사례

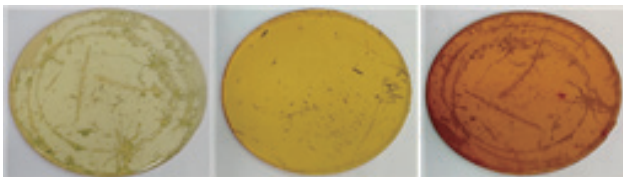


그림 6 열적 열화 시간에 따른 시편변화

(3) 절연재료의 성능 예측 및 평가

절연재료의 성능측정과 고전압 실험의 수행을 위해서는 다양

한 설비, 비용 및 공간이 소요됨이 현실이다. 이러한 제약을 극복함과 동시에 연구개발의 소요시간 최소화 등에 기여할 수 있는 기법의 개발에 관한 연구도 수행하고 있다. 특히, 연산자원의 비약적인 발전을 활용하여 등가회로 모델링, 유한요소해석, 기계학습 및 인공지능 기술의 복합적인 적용을 통하여 대상시험물의 특징 및 파괴 매커니즘별 최적화를 위한 연구를 수행하고 있다.

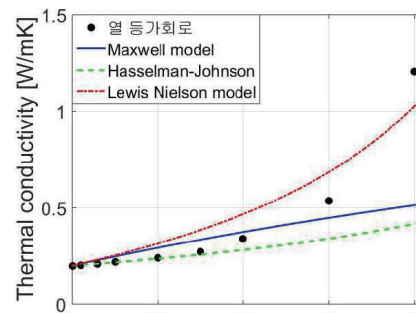
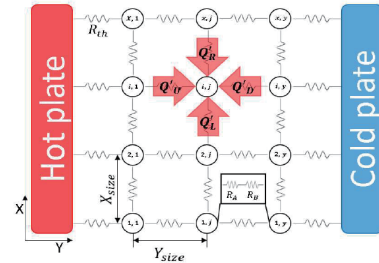


그림 7 열적 등가회로모델을 통한 열분포 및 열전도도 예측

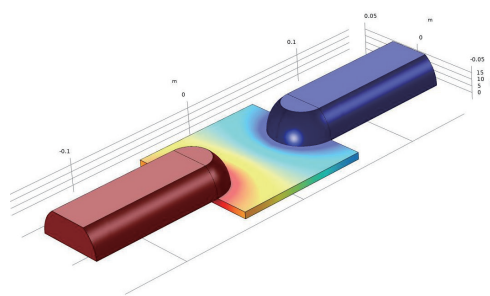


그림 8 유한요소해석 사례 (연면내력)

2. 전력 네트워크

신재생 에너지원의 확대 보급, 양방향 전력흐름의 현실화, 분산 자원의 활성화로 인하여 전력 계통의 형상 (Configuration) 도 획기적으로 급변하고 있다. 또한, 전력전자기술의 발달, MV/LV 계통의 활성화 및 각종 센서/통신 기술의 발달로 전력 계통과 전력설

비의 설계 및 운영기법에 많은 변화가 발생하고 있다. 이와 같은 추세를 고려하여 본 연구실에서는 배전계통, 마이크로그리드 및 신재생에너지원이 확대 보급된 차세대 전력 계통 적용을 위한 각종 제어 기법 개발과 미래형 전력설비에 대한 연구를 수행하고 있다. 주요 내용은 다음과 같다.

(1) 제어기법 연구

출력 특성이 서로 상이한 다수의 에너지원이 복합적으로 연결된 전력망의 운영을 위해서는 다양한 제어기법 개발이 요구된다. 퍼지 (Fuzzy), 모델기반 (Model Based) 및 인공지능 등을 활용하여 신재생에너지원 출력제어 및 마이크로그리드의 에너지관리를 위한 다양한 지능형 제어기법 개발 및 검증에 관한 연구를 수행하고 있다. 또한, 다양한 제어기법의 적용이 전력 시스템 및 설비의 특성에 끼치는 영향을 분석하는 연구를 수행하고 있다.

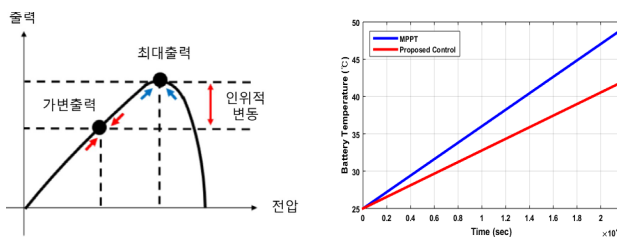


그림 9 태양광 가변출력제어 및 효과

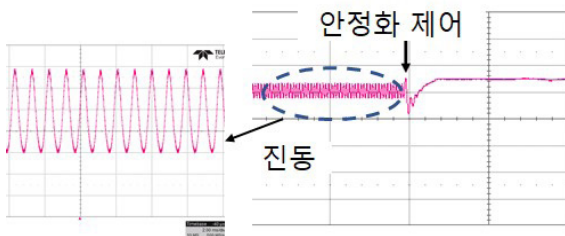


그림 10 전압 안정화제어기 효과

(2) 시스템/전력설비 분석 모델 개발

다양한 형상과 특성을 지닌 전력설비간 유기적인 연동이 필요한 미래형 전력 네트워크의 성능을 분석하기 위해서는 시스템 뿐만 아니라 개별 설비의 다양한 성능을 특성화할 수 있는 모델의 개발이 요구된다. 이를 위해 전력 네트워크의 다양한 데이터, 모델링 법칙 및 실증/실험 데이터의 효과적인 통합을 통한 성능 분석

모델에 관한 연구를 수행하고 있다.

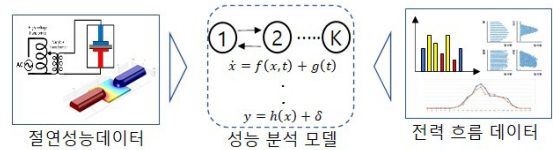


그림 11 성능분석 모델의 고도화

3. 향후 계획

충북대학교 전기공학부의 지능형 전력설비 및 네트워크 (SPIN) 연구실은 고전압, 절연재료 및 전력계통에 대한 폭넓은 연구를 수행해 왔다. 향후에는 자산관리체제와 연계할 수 있는 수명특성 분석체계 고도화, 절연재료 설계의 체계화, 신뢰성 분석 및 향상 기법 개발 등과 같은 전력설비 및 에너지 네트워크 분야의 도전적인 문제해결을 위한 핵심연구를 수행할 계획이다. 또한, 에너지 관련 설비와 시스템에 대한 전문지식을 갖춘 융합형 기술인재의 양성을 통하여 관련 국내 산업계의 기술발전에 이바지하고자 하고자 한다.

저자소개

김명진(Myungchun Kim)

2004년 한양대학교 전자전기공학부 공학사
2006년 동 대학교 전기공학과 공학석사
2015년 Univ. of Texas at Austin 전기컴퓨터 공학부 공학박사
2017년~현재 충북대학교 전기공학부 교수
2006년~2017년 국방과학연구소 연구원
주 연구분야: 전력설비, 마이크로그리드 등
e-mail: mckim@cbnu.ac.kr



기후위기에 대비한 친환경 송변전설비 개발현황 및 향후전망

Development Trend of Environment-friendly Transmission Facilities to Prepare for Climate Crisis

구교선 책임연구원 | 한국전력공사 전력연구원

Koo-Kyosun | Principal Researcher, KEPCO Research Institute



요 약

과거의 연구개발은 경제성과 신뢰성 향상이 주요 이슈였으나, 최근에는 환경문제를 해결이 주된 목표로 패러다임이 전환되고 있다. 송변전 분야에서는 기후위기 대응을 위해 SF₆ 대체 기술 및 고효율 전력설비 개발을 중심으로 연구개발이 수행되고 있다. 향후 친환경 설비의 전압 레벨 상향, 운영기술의 고도화, 친환경 기술의 융합 등으로 발전해 갈 전망이다.

Abstract

In the past, major issues in R&D were cost reduction and reliability improvement, but recently, solving environmental problems has shifted to major issues. In order to prepare for the climate crisis, R&D in the field of power transmission is focusing on SF₆ replacement and high-efficiency technologies. In the future, R&D is expected to advance such as increasing the voltage and convergence of eco-friendly facilities,

1. 서 론

19세기 말부터 지구의 평균기온이 상승하는 “지구온난화” 현상이 발생하고 있다. 최근 지구의 평균기온은 산업혁명 이전의 온도인 약 15℃보다 1.1℃ 상승하였으며, 대기중 이산화탄소 농도는

5년 전에 비해 20% 가량 증가했다[1]. 이러한 지구온난화는 빙하 감소, 해수면 상승, 가뭄 및 홍수 등 기상이변의 원인이 되고 있다. 이러한 기후변화 대응을 위해 1992년 리우에서 개최된 유엔환경개발회의(UNCED)에서 온실가스 배출 최소화의 기본적 장치를 마련하는 내용의 기후변화협약(UNFCCC, 리우협약)을 채택하였

표 1 파리 기후협약 주요 내용

구분	협약 내용
온도상승	· 기온상승을 산업화 이전대비 섭씨 2℃ 이하로 유지하고 1.5℃ 이하로 제한
온실가스 감축목표	· 각국의 자체 상황을 고려하여 자발적으로 목표 설정 · 2020년부터 5년마다 상향된 목표 제출
재원	· 2020년부터 연간 1,000억 달러 이상 지원 · 선진국은 개발도상국에 재원지원 및 기술이전 의무 부담
참여국가	· 195개 국가 참여 · 선진국 뿐만아니라 개발도상국에도 감축 의무 부여

고, 1997년에 채택된 교토의정서에서는 선진국 중심의 온실가스 감축 목표치를 규정하고, 2015년의 파리협정에서는 전 세계 모든 국가가 기후변화 대응에 동참하도록 하였다. 이에 따라 온실가스 배출량 7위 국가인 우리나라도 2030년 온실가스 배출전망(BAU, Business As Usual) 대비 30% 감축이라는 자발적인 목표를 제시하고 있다[2].

2. 친환경 이슈 및 기술개발 동향

과거 송변전 분야의 R&D는 전력설비의 국산화로 경제성 향상, 진단기술 고도화를 통한 신뢰성 강화 등 현안을 해결하기 위한 것이 대부분이었으나, 최근에는 친환경으로 패러다임이 변화하여 관련 분야의 연구개발이 급증하고 있다. 더욱이 정부의 탄소중립 정책에 따라 온실가스를 저감하는 기술이 주목받고 있어, 온실가스를 친환경 가스로 대체하는 기술과 전력설비의 효율을 향상시키는 기술이 활발히 연구되고 있다.

1) SF₆와 친환경 대체가스

전력산업에서 가스절연 물질로 주로 사용되는 SF₆는 1938년 미국 GE사에서 절연가스로 특허 출원하고, 1966년 프랑스 EDF의 변전소에 SF₆ GIS가 최초로 적용되었다. 그 후, 전 세계적으로 전력설비의 소형화 및 안정성 향상을 위해 SF₆가 널리 사용되고 있다.

SF₆는 공기에 비해 소호능력이 100배이고 절연성능은 3배 이상으로 탁월하며, 열전달 효율은 2배로 냉각성능 또한 매우 우수

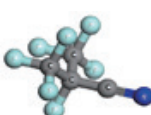
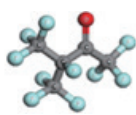
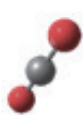
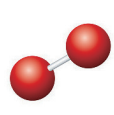
하다. 특히 불연성으로 화재에 강하고, 금속 등 전기재료를 부식시키지 않고 독성이 없어 장기 안정성과 작업성을 보장할 수 있는 물질이다. 그러나 지구온난화지수가 23,500으로 과불화탄소(PHCs), 수소불화탄소(HFCs)와 함께 불소(F)를 주요 원소로 한 대표적인 지구온난화 물질로 분류되고 있다. 특히 SF₆는 대기 중 수명이 3,200년으로 거의 분해되지 않아 SF₆를 적용한 GIS가 처음 사용된 지 55년 만에 지구온도를 약 4m°C 상승시키는데 기여하고 있으며, SF₆에 대한 규제가 없을 경우 2050년에는 12m°C, 2100년에는 30m°C까지 지구 기온을 상승시킬 것으로 추정하고 있다[3].

따라서 SF₆의 대체 절연물질을 찾기 위한 연구가 크게 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 첫 번째는 소호능력과 절연능력이 있는 불소(F) 합성가스 중 지구온난화지수가 낮은 가스를 개발하는 방법이고, 두 번째는 건조공기나 지구온난화지수가 SF₆에 비해 훨씬 낮은 CO₂ 등 자연가스를 절연매질로 사용하는 방법이다. 첫 번째 방법은 3M사에서 개발한 C₄F₇N(제품명 Novec4710) 또는 C₅F₁₀O(제품명 Novec5110) 등을 적용하는 것으로 전기적 성능은 우수하나 액화온도가 높아 CO₂, O₂, N₂ 등과 혼합해서 사용해야 하며, 일반적인 기체에 비해 지구온난화지수가 높은 단점이 있다. 두 번째 방법은 자연가스를 사용하는 것으로 친환경적이지만 소호능력과 절연성능이 상대적으로 낮아 이에 대한 보완 대책이 필요하다.

2) 송변전 분야 전력손실 및 설비별 비중

전력설비의 운영 과정에서 에너지 손실은 필연적으로 탄소배

표 2 SF₆ 및 대체가스의 특성

	SF ₆	C ₄ F ₇ N	C ₅ F ₁₀ O	CO ₂	건조공기(N ₂ + O ₂)
분자구조					
지구온난화지수	23,500	2,100	< 1.3	1	0
절연내력(SF ₆ 비교)	1	2.2	1.7	0.25 ~ 0.35	0.3 ~ 0.4
액화온도(°C, 1 atm)	-64	-4.7	26.9	-78.5	N ₂ : -195.8 O ₂ : -183
대기중 수명	3,200년	35년	0.004년	-	-

출에 영향을 주는 요소이다. 송변전 분야에서도 송전선로, 변압기 등에서 발생하는 전력손실을 최소화하여 효율을 높임으로써 간접적으로 온실가스를 저감하는 효과가 있다.

전력계통에서는 송배전선로의 저항 손실과 전력설비(주로 변압기)의 손실이 필연적으로 발생하며, 이에 따른 국내 송변전 전력손실은 약 8,279GWh(손실률은 약 1.6%)에 이른다. 전력전송 과정에서 발생하는 송전선로의 손실이 63%, 변압기에서 발생하는 손실이 37%를 차지한다[4]. 송전선로의 손실을 줄이기 위해서는 송전전압을 높이는 것이 가장 효과적이지만, 전력망 체계를 바꾸는 것은 어려우므로 송전선을 대용량화하는 기술개발이 이루어지고 있다. 변압기의 효율을 높이기 위한 기술로는 고방향성 규소강판을 적용, 설계를 최적화하여 손실을 최소화하고 있다.

3. 연구개발 동향 및 적용현황

1) SF₆ 대체 기술

송변전 분야에서 SF₆를 사용하는 설비는 170kV, 362kV, 800kV 가스절연 개폐장치(GIS, Gas Insulated Switchgear)와 154kV 가스절연 변압기가 있다. 개폐장치에 SF₆가 사용되기 전에는 절연유, 공기, 진공 등이 절연매질로 사용되어 왔으나, 변전설비의 대용량화, 고전압화, 용지확보 어려움 등에 문제로 소형화가 가능한 GIS가 1980년부터 지속적으로 사용되고 있다. 또한 민간시설과 인접한 지하복합변전소는 화재 안전성이 무엇보다 중요하므로 불연성 물질인 SF₆ 가스를 적용한 변압기를 2000년부터 사용하고 있다.

개폐장치 분야에서 SF₆를 대체하기 위해 25.8kV급 이하의 GIS는 건조공기에 진공차단기를 결합한 기술이 적용되고 있으나, 170kV급 이상의 GIS는 상대적으로 높은 전압레벨로 인해 불소계 혼합가스를 사용한 GIS가 개발되고 있다. 국내 LS 일렉트릭은 GE와 기술협력을 통해 C₄F₇N, O₂, CO₂를 혼합한 절연가스를 이용한 170kV Eco GIS를 2020년 개발 완료하고, 현재 나주 왕곡변전소에서 실증하고 있다. 한전 전력연구원은 2017년부터 효성중공업 및 현대일렉트릭과의 공동연구를 통해 C₄F₇N와 CO₂를 혼합한 Eco GIS를 제작하고 인정시험을 진행하고 있다. 이들 Eco GIS는 기존 SF₆ GIS 동등 절연 및 차단 성능(차단전류 50kA, 정격전

류 3,150A)을 확보하고, 대체 가능한 크기로 개발되었으며, 장기적인 운영 신뢰성 확보를 위해 가스품질관리기준, 부분방전 진단 기술, 가스열화 분석기술, 누기 측정기술 등을 확보하였다. 이로써 2024년부터는 확대적용이 가능할 것으로 예상된다. 362kV GIS는 170kV Eco GIS와 동일한 가스 조성비를 적용한 Eco GIB(차단부가 없는 모선)을 2017년에 개발하고, 2020년에는 고령변전소 실증적용을 통해 조성비 변화, 열화가스 및 부분방전 발생 등의 분석하여 안정성을 확보하였다.



그림 1 왕곡변전소에서 실증중인 170kV Eco GIS(좌)와 고령변전소에 설치된 362kV GIB(우)

변압기 분야에서 SF₆를 사용하는 국가는 한국, 일본, 싱가포르 등 극소수에 불과하므로, 기술개발 수요가 상대적으로 적어 현재까지 154kV급에서 불연성을 유지하면서 SF₆를 대체하는 변압기는 존재하지 않으며, 해외 연구개발 사례도 없는 실정이다. 그러나 2021년 7월 한전 전력연구원은 효성중공업, 현대일렉트릭과 공동으로 C₄F₇N 또는 C₅F₁₀O에 CO₂를 혼합한 절연물질을 사용하는 154kV 친환경 가스 변압기에 대한 연구개발을 세계 최초로 착수하였다. 신규개발 예정인 이 변압기는 지구온난화지수를 기존 23,500(SF₆)에서 956수준까지 96% 저감하고, 효율도 99.639%로 상향하여 기존 154kV SF₆ 가스절연 변압기 대비 19%의 전력손실 저감을 목표로 하고 있다. 2022년까지 신규 절연물질의 특성을 분석하고, 2023년까지 변압기 규격 및 설계를 완료할 전망이다. 이에 따라 25년 이후에는 세계 최초의 “154kV 친환경 가스 변압기”가 개발될 것으로 전망된다.

향후에는 기존 SF₆ 전력설비(GIS, 변압기) 수준의 운영환경 구축을 위하여 설비개발 중심의 연구개발에서 절연가스 통합품질 측정, 절연가스 열화 상시감시, 불소계 혼합가스 주입회수, 혼합가스 분리·정제 등의 운영기술 중심의 연구개발이 진행될 전망

이다.

2) 전력설비 효율 향상 기술

전력설비의 효율을 향상시키면 에너지 손실을 최소화하여 탄소배출 저감을 기대할 수 있다. 따라서 송전선로는 저손실, 대용량 전력전송이 가능한 고용량 고탄소강심 전선(HCSC/TW, High Carbon Steel Core Trapezoidal Wire) 기술이 있으며, 전력설비는 변압기의 고효율을 극대화하여 전력손실을 최소화하는 기술이 있다.

송전선으로 1970년 이전부터 사용한 강심 알루미늄 전선(ACSR, Aluminum Conductor Steel Reinforced)의 교체주기가 도래함에 따라 이를 대체하기 위한 새로운 전선의 개발 필요성이 대두되었다. 기존 보다 경제적이고, 낮은 손실, 높은 송전용량을 확보하기 위해 한전 전력연구원은 LS전선, 포스코 등과 2016년 신전선 개발에 착수하였다. 이를 통해 경알루미늄을 연알루미늄으로 교체하여 손실을 7% 저감하였으며, 원형 소선을 사다리꼴 소선으로 개선하고 기존 강선을 고탄소강선으로 교체하여 용량을 150% 증가시킨 고탄소강심 차세대주력전선 개발을 2019년 완료하였다. 향후 그래핀 소재를 적용한 전선(GCGR, Graphene Conductor Graphene-fiber Reinforced)까지 개발되면 강심 알루미늄 전선 대비 200%의 용량증대 효과가 있을 것으로 전망된다.

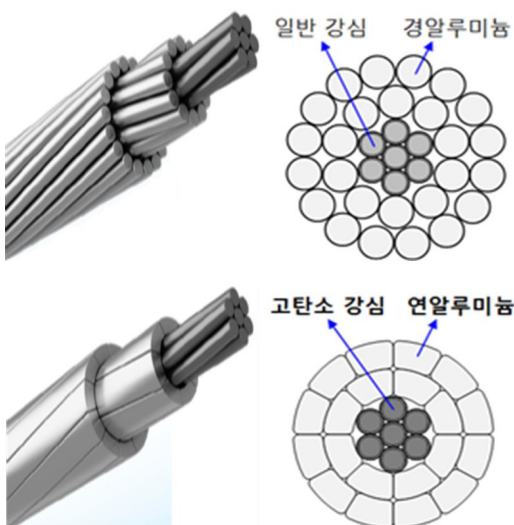


그림 2 강심 알루미늄 전선(위) 및 고탄소강심 전선(아래) 구조

기존 변압기 분야는 수송중량 제한을 해소하기 위한 상분리형 변압기, 화재안전성 확보를 위한 가스절연 변압기, 소음민원을 해결하기 위한 저소음 변압기 등 현안문제 해결을 위해 기술개발이 이루어져 왔다. 최근 탄소중립 및 EERS(에너지공급자 효율향상 의무화 제도) 등의 시대적인 요구에 따라 한전 전력연구원은 2017년 국내 4개 변압기 제작사와 공동연구를 시작하여 2019년에는 1단계로 기존 변압기 대비 23%의 전력손실을 저감한 154kV 저손실 변압기를 개발하였고, 2020년에는 2단계로 손실을 효율 47% 이상 저감한 154kV 고효율 변압기를 개발하였다. 이들 변압기는 고효율 자구미세화 전기강판 적용, 자속밀도 감소 등을 통해 철손을 저감시키고, 전류밀도 감소, 연속전위권선(CTC) 적용, 자기 차폐기술 등을 통해 동손을 저감시켜 고효율화를 실현하였다. 신규 개발된 변압기는 한전의 표준모델로 채택되어 2021년부터 154kV 고효율 변압기가 활용되고 있다. 향후 154kV급 변압기의 효율 향상의 영향으로 345kV, 765kV 변압기까지 고효율화 연구개발이 이어질 것으로 기대된다.



그림 3 안면변전소에 설치된 1단계 154kV 저손실 변압기(좌)와 2단계 154kV 고효율 변압기 시제품(우)

3) SF₆ 회수/정제 및 무해화 기술

SF₆가 절연물질로 사용되는 전력설비는 운전중에 불순물 등의 생성으로 절연능력이 저하되어 회수/정제하고, 최종적으로는 SF₆를 환경에 무해한 물질로 분해하는 무해화 기술이 필요하다. 따라서 한전 전력연구원에서는 2016년부터 2019년까지 연구개발을 통하여 SF₆를 고순도로 정제하여 재사용할 수 있는 정밀 분석설비가 구축하고, 분석법을 정립하여 SF₆를 재사용할 수 있도록 표준 품질절차서를 제정하고, SF₆ 가스를 고순도로 정제하여 재사용할 수 있도록 삼냉식 기반 정제기술을 개발하였다. SF₆ 분해 및 무해화 기술은 SF₆를 1,200 ℃ 이상의 고온에서 열분해 후, 분해

가스(HF, SO₃ 등)를 중화하여 무해화하는 기술로, 현재 소용량의 파일럿 실험을 수행하는 단계지만 2021년까지는 상용급 설비에 대한 설계 최적화를 통해 하루에 100 kg의 SF₆ 분해 및 무해화가 가능한 시스템을 현장에 구축할 예정이다. 또한 2023년까지 전력설비 맞춤형 SF₆ 분해 패키지를 개발하고 2025년부터 현장 근무자가 직접 활용이 가능해 질 것으로 전망된다. 향후 SF₆ 회수/정제 및 무해화 기술뿐만 아니라, 앞서 언급한 SF₆ 대체 물질인 C₄F₇N와 CO₂를 혼합한 절연물질에 대한 회수 및 정제기술 개발이 추진될 것으로 예상된다.



그림 4 파일럿급(10kg/일) SF₆ 분해 및 무해화 시스템

4. 향후 연구개발 전망

현재까지 탄소중립을 실현하기 위한 연구개발은 송변전 분야에서 설비개선 효과가 큰 154kV급의 전력설비를 중심으로 연구개발이 수행되어 왔으나, 345kV와 765kV까지 적용전압의 상승과 세부 부속설비 단위까지 확대될 것으로 예상된다. 또한 탄소중립을 위한 신규 전력설비 개발 중심에서 장기적인 신뢰성 확보를 위한 운영기술 중심으로 연구개발의 목표가 전환되고, 단편적인 친환경 현안 해결(친환경 물질, 고효율, 대용량, 저소음 등)을 위한 기술들이 복합적으로 융합된 형태로 발전될 전망이다.

이에 따라 과거 전력회사 또는 전력설비 제작사가 개별적으로 수행했던 기술개발이 기초/기반 기술, 설계/제작 기술, 운영/관리 기술이 상호연계된 종합적인 기술개발 형태로 변화됨에 따라 공

동연구가 활발히 진행되고, 산학연의 유기적인 연구개발 상생 협력체계 구축 및 친환경 기술, 인력, 인프라 등의 자원이 원활하게 선순환되는 생태계가 조성될 것으로 기대되고 있다.

앞으로도 정부의 탄소중립 정책의 가속화와 친환경 요구증대에 따라 산학연 협력을 통한 구체화된 친환경 기술개발 로드맵이 제시되고, 송변전 분야의 탄소중립 기술뿐만 아니라 CO₂ 포집/활용, 탈황/탈질, 미세먼지 저감 등 포괄적인 친환경 이슈가 주목받으며, 탄소중립(Net-Zero) 전력망이 구축될 때까지 지속적인 연구개발 투자확대가 전망된다.

[참고문헌]

- [1] 지구 기후보고서(The Global Climate in 2015-2019), 세계기상기구, 2019.9
- [2] 2030 국가온실가스 감축 목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안, 정부부처 합동, 2018.7
- [3] IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change), UN 산하 기후변화 정부간위원회, 2018.10
- [4] 한국전력통계 제90호(2020년), 한국전력공사, 2021.5

저자소개

구교선(Koo Kyosun)

2001년 숭실대학교 전기공학과 졸업
2003년 동 대학교 대학원 졸업(공학석사)
2005년~현재 한전 전력연구원 책임연구원
현재 당 학회 전기의 세계 편집위원
주 연구분야: 송변전분야 친환경 설비개발



도서지역 방파제 연계형 파력에너지 변환장치용 발전기의 연구 동향

Research trend of Generators for Wave Energy Converters Applicable to Breakwater

신경훈 교수 | 전남대학교

Kyung-Hun Shin | Chonnam National University



요 약

본 고에서는 삼면이 바다로 둘러싸인 국내 실정에 적합한 방파제 연계형 파력에너지 변환장치를 소개한다. 국내외 진동수주형 파력발전장치의 연구 및 개발에 적용된 발전기의 종류들을 조사하고 도서지역 방파제 연계형 파력에너지 변환용 시스템에 적합한 발전기 타입을 제안한다. 선행 연구된 발전기들의 구조를 분석함으로써 시스템의 제한 조건 및 요구 조건들을 만족시킬 수 있는 최적의 발전기 형상을 도출한다. 제시된 발전기 종류 및 형상은 다양한 도서 지역에서의 방파제 연계형 파력에너지 변환장치용 발전기로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Abstract

This paper introduces an wave energy converters applicable to breakwater suitable for South Korea, which is surrounded by the sea on three sides. The types of generators applied to research and development for oscillating water column wave energy converters are investigated, and generator types suitable for wave energy converters applicable to breakwater in the island area are proposed. By analyzing the structures of the generators studied previously published in many literatures, the optimal generator structure that can satisfy the requirements and limitations of the wave energy conversion system is derived. The study on the proposed type and structure of the generator can be utilized in the wave energy converters applicable to breakwater in various island areas.

1. 서 론

석유자원 고갈 및 환경 문제로 인하여 전 세계적으로 탈탄소에 대한 요구가 심화되어 이에 대한 대응으로 신재생에너지에 관한 관심이 급증하고 있다. 국내에서도 기후변화 대응을 강화하고 친환경 경제 구현을 위한 그린 뉴딜을 발표하였으며, 이중 신재생 에너지 분야에 대한 집중적인 육성을 포함한다. 다양한 신재생 에너지 분야 중 높은 에너지 밀도를 갖는 해양 에너지가 주목받고 있으며, 그중 파력에너지는 가장 높은 에너지 밀도와 근해 및

연안 모두에서 활용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 해양이라는 환경의 가혹성 때문에 다른 신재생에너지 시스템보다 상대적으로 개발이 늦어졌다. 이러한 문제는 조선해양플랜트 기술의 발전으로 극복되고 있으며, 파력에너지로부터 전력을 얻기 위한 다양한 시스템에 관한 연구개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있다. 유럽과 미국을 중심으로 해양에너지 발전장치에 대한 실험역 실증시험이 수행되었으며, 연구개발에 대한 투자가 증가하는 추세이다 [1]. 유럽은 2000년 초부터 해양에너지 연구개발에 투자하고 있으며, 가장 먼저 해양에너지 실험역 시험장을 구축하였

고, Horizon 2020와 같은 프로그램으로 해양에너지의 연구개발에 대한 투자를 지속하고 있다. 특히, 민간기업이 해양에너지 시험장 활용을 지원해주는 MaRINET 프로젝트를 운용하여 학계와 산업계 간의 지식 공유 및 EU 표준 개발 등을 수행하고 있다 [2], [3]. 그림 1과 같이, 파력에너지 변환장치는 에너지 변환 원리에 따라 진동수주형, 월파형, 가동물체형 방식이 적용되고 있으며, 설치 형태에 따라서 착저식과 부유식으로 구분되는 파력에너지 변환장치를 나타낸다.

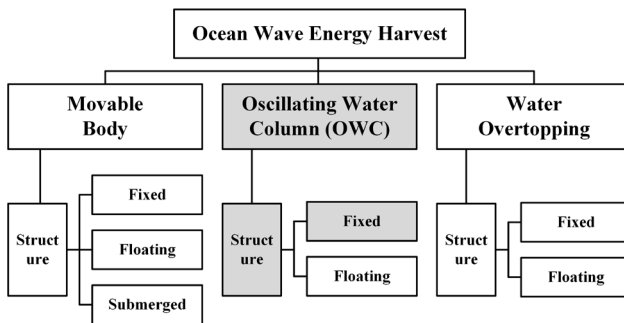


그림 1 파력에너지 변환장치의 종류

현재 진동수주 형태인 Mutriku OWC(Oscillating water column)가 가장 높은 기술성숙도에 도달하였다. 미국 에너지부(DOE)는 최근 Wave Energy Prize를 통하여 신개념의 파력발전장치 도출을 위한 컨테스트를 진행하였으며, 국제공동연구, 국제 기술 표준화, 시험장 구축을 지원하며 파력발전 연구개발을 활성화 중이다.

표1은 국내의 진동수주형 파력발전장치의 개발 현황을 나타

내고 있으며, 전 세계적으로 다양한 형태의 파력발전장치가 개발되고 실험역에서 시험되고 있으나 여전히 상용화 단계에는 이르지 못하고 있다 [3].

삼면이 바다로 둘러싸인 국내의 연안은 개발 가능한 에너지 자원이 풍부하고 다양하게 분포해 있으며, 개발 가능한 해역도 넓어서 많은 해양 에너지를 얻을 수 있다. 연안 및 도서 지역의 경우 방파제와 연계된 파력에너지 변환 방식을 이용하여 안정적인 보조 혹은 독립 전력망을 구축할 수 있어서 국내 보급뿐만 아니라 해외시장을 선점할 수 있는 기술로 판단된다. 방파제 연계형 파력에너지 변환장치에 적합한 진동수주형의 경우 파랑에너지를 공기의 흐름으로 변환하고, 발생한 공기의 흐름을 터빈의 회전운동으로 변환시켜 발전기로부터 전기를 얻는 방식으로 그림 2와 같은 구조를 갖는다. 진동수주형 파력발전장치는 1차 에너지 변환장치인 공기실의 효율과 2차 에너지 변환장치인 공기터빈 효율, 3차 에너지 변환장치인 발전기와 전력변환기로 구성되어 있다.

기존의 파력 에너지 변환장치의 연구 및 개발은 거친 해양환경에 의한 시스템의 안정성 확보와 파랑에너지의 변동성 극복뿐만 아니라 1차 동력인출장치(Power Take-Off: PTO) 메커니즘 구현에 초점을 맞추고 있다. 이는 시스템의 비용과 전체 에너지 효율성에 가장 큰 영향을 미치는 구성 요소이기 때문에 초기 연구개발단계에서 필수적이다. 그러나 앞서 언급된 기술 외에도 전기를 생산, 변환, 저장하는 전기 시스템의 연구개발은 전체 시스템 측면에서 매우 중요하다.

표 1 국내외 진동수주형 파력발전장치 개발 현황 [3], [4]

파력발전장치	국가	형태	용량	개발단계	비고
Mutriku OWC	스페인	진동수주	300kW (18.5kW×16기)	TRL 8	· 8년째 운용 중 · 1.6GWh 발전, C.F 7.7% · 준상용화에 근접한 발전시설
Civitavecchia OWC	이탈리아	진동수주	20kW	TRL 7	· 로마 근처 항구에 136개 진동수주 건설 · 1기 실증 운용 중
용수시험 파력발전소	한국	진동수주	500kW	TRL 7	· 대형 케이슨 방파제 적용 가능 · 국내최초 진동수주형 파력발전 · 시험 운용 중
ESS 연계 도서파력	한국	진동수주	30kW	TRL 6	· ESS 연계형 발전장치 · 연구개발 진행 중

TRL(Technology Readiness Level, 기술성숙도): TRL 4 시험 샘플제작, TRL 5 실험실 시제품 제작, TRL 6 시제품 제작, TRL 7 신뢰성 평가, TRL 8은 표준화, TRL 9은 사업화 단계

따라서 파력에너지 변환장치의 직접적인 기반 시설 구축 비용과 전력의 생산 및 저장 측면에서 설치 및 운영 비용에 영향을 미치는 전기 시스템의 견고한 설계와 성능 개선은 매우 중요하다. 풍력 발전 시스템과 비교하여 파력발전 시스템은 가혹한 환경 조건을 고려해야 하므로 풍력 발전 기술을 참고하되 해양환경을 고려하여 시스템 설계가 이루어져야 한다.

본 고에서는 접근성이 매우 떨어지며 염도와 습도가 높아 유지보수에 대단히 취약한 환경 조건을 갖는 도서지역의 파력 에너지 변환 시스템에서 3차 에너지 변환장치인 발전기 기술 개발을 위해 연구 동향을 분석하여 시스템 전체의 출력밀도 및 효율의 개선과 강건한 설계가 가능한 발전기 모델을 선행 연구를 비교·분석하여 제시한다.

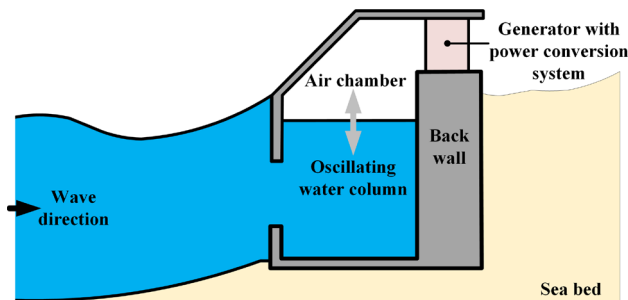


그림 2 진동수주형 파력에너지 변환장치의 구조

2. 발전기 타입별 특징 및 적용사례 분석

도서지역의 진동수주형 파력에너지 변환장치용 발전기와 관련된 연구들은 제한적이기 때문에 풍력발전 및 기존 진동수주형 파력에너지 변환장치에 적용된 발전기 타입들을 바탕으로 비교·분석을 수행하였다. 진동수주형 파력에너지 변환장치는 태풍 혹은 해일과 같은 환경적 요인에 의해 발전기 시스템의 보호 및 전력반도체 기술의 향상에 따른 전력 수급을 최대화하기 위해 가변 속도에 따른 시스템 설계가 요구된다. 특히, 풍력발전시스템과는 다르게 진동수주형 파력에너지 변환장치는 터빈의 속도가 10~3000 rpm으로 넓은 운전 범위를 갖는다 [5-7]. 선행 연구결과들을 참고하여 발전기 시스템은 계통으로부터 직접 여자전류를 취하는 유도발전기, 여자기로부터 계자권선에 전류를 인가하는 권선형 동기발전기, 영구자석을 계자로 사용하는 영구자석 동

기발전기가 사용된다 [8-16]. 진동수주형 파력에너지 변환장치용 발전기는 환경에 대한 적합성, 그리드 코드 준수, 제작 및 운영 가격, 운전 조건에 대한 에너지효율을 비교하여 선정되어야 한다. 표 2는 발전기의 종류 및 특징에 대해 나타내었다.

표 2 발전기의 종류 및 특징

종류	장점	단점
농형 유도발전기	· 저렴한 제작 단가 · 견고한 구조 · 낮은 유지보수 비용	· 심각한 전기적 리플 · 무효전력 소비 · 기어박스 필요
이중여자 권선형 유도발전기	· 회전자와 그리드 사이에 인버터와 컨버터가 사용 · 가변속 운전 가능	· 고성능 제어 시스템 필요 · 기어박스 필요 · 브러시-슬립링 필요
권선형 동기발전기	· 계자 전류를 가변 · 감자 특성이 없음 · 유효 및 무효 전력 조절 · 우수한 동특성	· 유지 보수 불리 · 복잡한 구조 · 긴 축방향 길이
영구자석 동기발전기	· 높은 에너지 밀도 · 넓은 운전 영역 · 단순한 구조 · 고효율	· 코강토크 발생 · 제작 단가 증가

이중여자 권선형 유도발전기는 큰 출력 및 고전력응용에의 우수성과 전력변환기의 규모를 감소시킬 수 있는 장점이 있지만, 해양의 환경조건을 고려할 때 회전자에 전력을 제어하는 슬립링-브러시 구조를 포함하므로 적합하지 않다. 마찬가지로 권선형 동기발전기도 유효 및 무효전력을 독립적으로 제어할 수 있지만 브러시-슬립링 구조로 인하여 유지보수의 단점이 존재한다. 최근에 연구되고 있는 브러시리스 구조의 경우 높은 고조파 전류를 포함하기 때문에 진동 소음이 크다는 단점이 존재한다. 전자기 가진원으로부터 발생하는 진동은 베어링 파손에 직접적인 영향을 미치기 때문에 파력에너지 변환장치용 발전기로서 적합하지 않다. 농형 유도발전기는 비교적 저가, 견고하고 낮은 유지보수비 등의 장점이 있지만, 그리드로부터 외부 무효전력이 요구되어 전력변환기의 크기 증가 및 에너지 출력의 감소로 성능이 측면에서 단점이 존재한다. 영구자석 동기발전기는 고비용의 영구자석을 사용하여 제작 비용 측면에서 단점을 갖지만 높은 전력변환 효율과 인버터의 점화각 및 DC 링크 전압을 통한 터빈의 속도 조절로 시스템 효율을 최적화한다. 특히, 브러시 구조를 포함하지 않기 때문에 구조적으로 견고할 뿐만 아니라 설계 단계에서 전자기 가진원을 감소시킬 수 있으므로 장기적으로 유지보수 측면에서 유리하다. 따

라서 방과제 연계형 과력에너지 변환장치용 발전기에서는 영구자석 동기발전기가 타당함을 알 수 있다.

도서지역 방과제에 설치되는 진동수주형 과력 발전기는 대용량 발전을 위한 형태보다 소용량이며 유지보수가 쉬운 영구자석 발전기가 효율적이며 이러한 영구자석 발전기는 별도의 여자가 없이 발전시스템 구성이 가능하므로 슬립링, 브러시가 필요하지 않아 시스템 효율, 사이즈, 유지·보수 측면에서 우수하다고 판단된다.

3. 영구자석 발전기의 구조 및 형상에 따른 특징

다음은 미국전기전자기술자협회(IEEE)와 미국물리학회(AIP) 등의 문헌 조사를 통해 영구자석 발전기의 10년간의 사례들을 분석하여 정리하였다 [17-35]. 도서 지역 방과제 연계형 과력에너지 변환장치에서 요구되는 정격 출력 (0~60 kW) 및 속도 범위 (10~1400 rpm)을 만족시키는 선행 연구된 소용량 영구자석 발전기의 용량 분포는 그림 3과 같다.

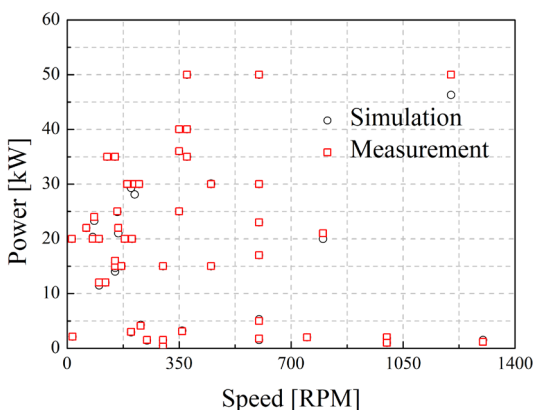


그림 3 선행 연구된 영구자석 발전기의 용량-속도 분포

전자장 설계 기법인 장하분배 기법이나 TRV(Torque per Rotor Volume) 기법을 이용하여 발전기를 초기 설계할 때 선행 연구들을 분석하여 설계된 발전기의 사이즈의 타당성을 검증하는 것이 바람직하다. 참고문헌들로부터 정격 출력 및 속도 범위에서 영구자석 발전기는 적층 길이 100 mm~625 mm, 외경 540 mm~2000 mm의 사이즈 범위를 가지며, 진동수주형 과력에너지 변환 장치의 경우 축방향 길이에 상대적으로 여유를 갖기 때문에 축방향 길이를 증가시키는 방향으로 설계 방향을 선택하는 것이 합리적이다.

그림 4는 앞서 언급된 10년간의 사례들을 바탕으로 정격 출력 및 속도를 만족하는 범위에서 영구자석 발전기의 형상 및 구조를 분류하였다. 높은 출력밀도를 확보하기 위하여 축방향 자속 영구자석 발전기가 연구되고 있지만, 구조적 안정성과 진동 소음 측면에서 불리함을 가지고 있다. 반면에 반경방향 자속을 갖는 내측 회전형 영구자석 발전기는 높은 출력밀도, 제작의 용이성, 구조적 안정성을 갖기 때문에 발전기 시스템에서 주로 연구·개발되고 있다.

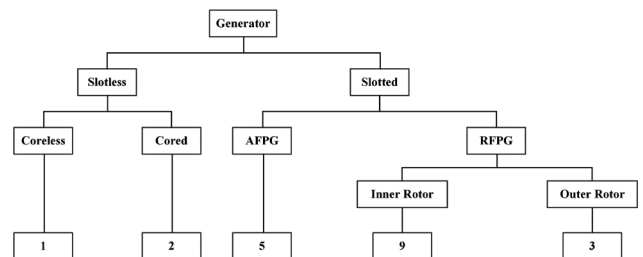


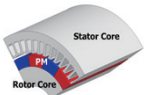
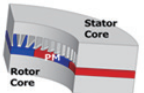
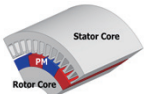
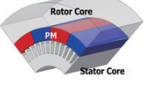
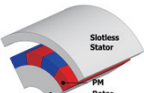
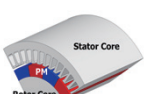
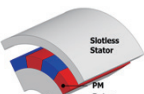
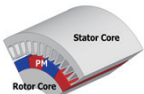
그림 4 선행 연구된 소용량 영구자석 발전기의 형상분포

표 3은 영구자석 발전기의 형상에 자속방향, 회전자 위치, 슬롯 유무 및 회전자 구조에 따른 장단점 및 고성능 설계 방법을 제시하였다. 도서지역 방과제 연계 진동수주형 과력발전시스템은 유지보수를 위한 접근성이 나쁘므로 높은 출력밀도 및 효율뿐만 아니라 구조적 안정성을 최우선으로 고려해야 한다. 발전기의 고장 사례들은 베어링 고장, 고정자 권선, 영구자석 감자 등으로 조사되었으며 이중 베어링 고장이 주로 발생함을 확인할 수 있다 [36], [37]. 영구자석 사용량 감소 및 정현적인 기전력 파형을 가지며 유지보수가 용이한 분포권 권선을 갖는 슬롯티드 고정자와 반경 방향 자화된 영구자석이 내측에 있는 발전기가 진동수주형 과력발전장치에 적합한 발전기임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 고에서는 도서지역 진동수주형 과력에너지 변환장치에 적용될 발전기 모델을 선행 연구들을 분석하여 적합한 형상 및 타입을 제시하였다. 국내외 진동수주형 과력발전장치에 대한 분석을 바탕으로 발전기의 후보군을 도출하였으며, 시스템 측면에서 유지보수를 위한 접근성의 한계로 인하여 진동을 최소화하고 구조적으로 견고한 발전기의 필요성에 대해 중점적으로 다루었다.

표 3 영구자석 발전기의 구조에 따른 특징

구분	형상	장/단점	고성능화
자속 방향	 반경방향	· 토크/질량 비가 높음 · 균일한 공극 유지가 쉬움 · 고정자 코어 적층이 쉬움 · 자석 사용량이 비교적 적음	반경방향 자속: 출력이 기기 외경의 제곱에 비례
	 축방향	· 고정자 권선 시행이 간단 · 토크/부피 비가 높음 · 균일한 공극 유지가 어려움 · 고정자 코어 적층 어려움 · 영구자석 사용량 많음	축방향 자속: 출력이 기기 외경의 세제곱에 비례 반경방향 자속 발전기: 제작성 및 진동 소음과 기계적 안정성이 우수함
회전 위치	 내전형	· 권선의 제작성 증가 · 권선 저항 및 인덕턴스 증가 · 제작 단가 우수	내전형 발전기: 진동 소음을 최소화하고 방열 측면에서 우수하며, 기계적으로 단순한 구조
	 외전형	· 단부 인덕턴스 및 저항의 감소 · 회전자 기계적 구조가 복잡 · 진동/소음이 심함	
슬롯 유무	 슬롯리스	· 코깅토크 존재하지 않음 · 자기적 공극이 늘어나 출력밀도 낮음 · 철손 감소 · 고속기의 경우 권선에 와전류 손실 발생 · 권선 시행이 어려움	슬롯리스 기기를 슬롯티드 구조로 변경하여, 영구자석 기기의 출력 밀도를 높일 수 있음 → 토크리플 저감 설계 필요
	 슬롯티드	· 코깅토크로 인한 진동/소음 영향 있음 · 자기적 공극이 작아 출력밀도를 높음 · 권선 시행이 비교적 간단	
회전자 구조	 편축식	· 외전형 혹은 내전형 구조 · 구조적으로 단순하여 제작 용이	유지 보수와 제작 측면에서 유리한 편축식 기기 채택
	 양축식	· 고정자를 중심으로 양방향으로 영구자석 회전자를 가지는 구조 · 회전자 기계적 구조가 복잡 · 출력밀도를 높이는데 용이함 · 할박배열 사용시 고정자를 사용하지 않아도 되므로, 철손 제거 가능	

고출력밀도, 고효율 및 견고성 등의 성능 지표를 바탕으로 선행 연구된 영구자석 발전기, 권선형 동기발전기, 농형 및 이중여자형 유도발전기를 비교하여 영구자석 발전기가 도서지역 진동수 주형 파력발전장치에 가장 적합한 발전기임을 도출하였다. 도서 지역 진동수주형 파력발전장치에 적용되는 영구자석 발전기 구

조를 선정하기 위하여 선행 연구된 영구자석 발전기들을 분석 및 비교하였다. 내전형 슬롯티드 영구자석 발전기는 견고한 구조와 낮은 진동/소음 특성을 갖기 때문에 가장 적합한 구조로 선정되었으며, 전체 시스템의 요구조건 및 제한조건을 반영하여 발전기의 설계 및 개발되었다. 현재까지 단품 상태의 성능 검증은 완료

되었으며 향후 연구에서는 시스템 측면 및 실운전을 통한 성능 검토 결과가 분석 및 제시될 예정이다. 이러한 연구결과는 향후 국내의 많은 도서지역에 과력발전시스템 구성에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

[참고문헌]

- [1] 최석우, 박예나, 이정민, 남정호, 박광서, "신재생에너지, 해양에서 답을 찾자", 한국해양수산개발원 KMI 동향분석, 2017. 08
- [2] MaRINET2(www.marinet2.eu)
- [3] 김경환, "에너지전환을 위한 해양재생에너지 기술개발 동향", KDB산업은행 미래전략연구소 산은조사월보, 2020. 11
- [4] 해양수산 기술수준 분석, 해양수산과학기술진흥원, 2017.4
- [5] V. Jayashankar, S. Anand, T. Geetha, S. Santhakumar, V. J. Kumar, M. Ravindran, T. Setoguchi, M. Takao, K. Toyota, and S. Nagata, "A twin unidirectional impulse turbine topology for OWC based wave energy plants," *Renew. Energy*, vol. 34, pp. 692-698, 2009.
- [6] S. Raghunathan, "Thewells air turbine for wave energy conversion," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 31, pp. 335-386, 1995.
- [7] R. Curran, T. J. T. Whittaker, and T. P. Stewart, "Aerodynamic conversion of ocean power from wave to wire," *Energy Convers. Manage.*, vol. 39, pp. 1919-1929, 1998.
- [8] V. Jayashankar, K. Udayakumar, B. Karthikeyan, K. Manivannan, N. Venkatraman, and S. Rangaprasad, "Maximizing power output from a wave energy plant," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting*, 2000, vol. 3, pp. 1796-1801.
- [9] D. R. Kiran, A. Palani, S. Muthukumar, and V. Jayashankar, "Steady grid power from wave energy," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 22, no. 2, pp. 539-540, Jun. 2007.
- [10] S. S. Y. Narayanan, B. K. Murthy, and G. S. Rao, "Dynamic analysis of a grid-connected induction generator driven by a wave-energy turbine through hunting networks," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 14, no. 1, pp. 115-120, Mar. 1999.
- [11] G. D. Marques, "Stability study of the slip power recovery generator applied to the sea wave energy extraction," in *Conf. Rec. 23rd Annu. IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, 1992, vol. 1, pp. 732-738.
- [12] T.-F. Chan and L. L. Lai, "Permanent-magnet machines for distributed power generation: A review," in *Proc. IEEE Power Eng. Soc. General Meeting*, 2007, pp. 1-6.
- [13] M. Jasinski, M. Malinowski, M. P. Kazmierkowski, H. C. Sorensen, E. Friis-Madsen, and D. Swierczynski, "Control of AC/DC/AC converter for multi MW wave dragon offshore energy conversion system," in *Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron.*, 2007, pp. 2685-2690.
- [14] R. Datta and V. T. Ranganathan, "Variable-speed wind power generation using a doubly fed wound rotor induction machine: A comparison with alternative schemes," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 22, no. 7, pp. 52-52, Jul. 2002.
- [15] L. H. Hansen, P. H. Madsen, F. Blaabjerg, H. C. Christensen, H. C. Christensen, U. Lindhard, and K. Eskildsen, "Generators and power electronics technology for wind turbines," in *Proc. 27th Annu. Conf. IEEE Ind. Electron. Soc.*, 2001, vol. 3, pp. 2000-2005.
- [16] D. L. O' Sullivan and A. W. Lewis, "Generator selection and comparative performance in offshore oscillating water column ocean wave energy converters," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 26, no. 2, pp. 603-614, Jun. 2011.
- [17] O. Keysan, A. S. McDonald, and M. Mueller, "A direct drive permanent magnet generator design for a tidal current turbine (SeaGen)," in *Proc. IEEE Int. Electrical Mach. Drives Conf.*, 2011, pp. 224-229.
- [18] L. Jian, K. T. Chau, and J. Z. Jiang, "A magnetic-g geared outer-rotor permanent-magnet brushless machine for wind power generation," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 45, no. 3, pp. 954-962, May./Jun. 2009.
- [19] N. Madani, A. Cosic, and C. Sadarangani, "A permanent magnet synchronous generator for a small scale vertical axis wind turbine," in *2015 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC)*. IEEE, 2015, pp. 48-52.
- [20] A. MacDonald, I. Portugal, M. Mueller, and J. Shek, "A time series approach to design of a permanent magnet synchronous generator for a direct drive wind turbine," in *Proc. ICEM, Villamoura*,

- Portugal, 2008, pp. 1-6.
- [21] B. Singh and S. Sharma, "An autonomous wind energy conversion system with permanent magnet synchronous generator," in Proc. IEEE Int. Conf. Energy, Autom. Signal, Bhubaneswar, India, 2011, pp. 1-6.
- [22] T. F. Chan and L. L. Lai, "An axial-flux permanent-magnet synchronous generator for a direct-coupled wind turbine system," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 22, no. 1, pp. 86-94, Mar. 2007.
- [23] M. J. Kamper, J. H. J. Potgieter, J. A. Stegmann, and P. Bouwer, "Comparison of air-cored and iron-cored non-overlap winding radial flux permanent magnet direct drive wind generators," in Proc. ECCE, AZ, USA, 2011, pp. 1620-1627.
- [24] N. A. Orlando, M. Liserre, V. G. Monopoli, R. A. Mastromauro, and A. Dell'Aquila, "Comparison of power converter topologies for permanent magnet small wind turbine system," in Proc. Int. Symp. Ind. Electron., Jun. 2008, pp. 2359-2364.
- [25] J. H. J. Potgieter and M. Kamper, "Design of new concept direct gridconnected slip-synchronous permanent-magnet wind generator," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 48, no. 3, pp. 913-922, May/Jun. 2012.
- [26] Y. Pei, F. Chai, J. Shi, and S. Cheng, "Design of the doublestator permanent magnet synchronous starter and generator used in electric vehicles," in Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on, 2011, pp. 1-4.
- [27] A. Daghighi, H. Javadi, and H. Torkaman, "Design optimization of directcoupled ironless axial flux permanent magnet synchronous wind generator with low cost and high annual energy yield," IEEE Trans. Magn., vol. 52, no. 9, pp. 1-11, Sep. 2016.
- [28] J. G. de la Bat, M. A. Khan, and P. Barendse, "Development of a system for testing grid-connected permanent magnet wind generators," in 2012 XXth International Conference on Electrical Machines, Sept 2012, pp. 2066-2071.
- [29] J. Xintong, Z. Bo, L. Yong, Z. Jibin and L. Yongping, "Experimental analysis and prediction of operating characteristics for multiunit propulsion permanent magnet synchronous motor," 2010 International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2010, pp. 951-954.
- [30] R. Liu, H. Zhao, C. Tong, G. Chen, P. Zheng, and G. Gu, "Experimental evaluation of a radial-radial-flux compound-structure," IEEE Trans. Magn., vol. 45, no. 1, pp. 645-649, Jan. 2009.
- [31] H. Xu, J. Hui, D. Wu, and W. Yan, "Implementation of MPPT for PMSGbased small-scale wind turbine," in Proc. Conf. Ind. Electron. Appl., Xi'an, China, May 25-27, 2009, pp. 1291-1295.
- [32] Z. Zhang, A. Matveev, R. Nilssen, and A. Nysveen, "Ironless permanentmagnet generators for offshore wind turbines," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 50, no. 3, pp. 1835-1846, May 2014.
- [33] Z. Mouton and J. Kamper, "Modeling and optimal design of an eddy current coupling for slip-synchronous permanent magnet wind generator," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 7, pp. 3367-3376, Jul. 2014.
- [34] A. Kilk and A. Kallaste, "Multipole surface-mounted permanent magnet synchronous generators for wind applications," 2008 Power Quality and Supply Reliability Conference, 2008, pp. 235-240.
- [35] J. H. J. Potgieter and M. J. Kamper, "Optimum design and technology evaluation of slip permanent magnet generators for wind energy applications," in Proc. IEEE ECCE, Raleigh, NC, USA, Sep. 15-20, 2012, pp. 2342-2349.
- [36] D. V. Spyropoulos and E. D. Mitronikas, "A Review on the Faults of Electric Machines Used in Electric Ships," Adv. Power Electron., vol. 2013, pp. 1-8, 2013.
- [37] D. Basak, A. Tiwari, and S. P. Das, "Fault diagnosis and condition monitoring of electrical machines—A review," in Proc. IEEE ICIT, Mumbai, India, Dec. 2006, pp. 3061-3066.

저자소개

신경훈(Shin, Kyung-Hun)

2014년 충남대학교 전기전자통신공학교육과 졸업

2016년 동 대학교 전기공학과 졸업(공학석사)

2019년 동 대학교 전기공학과 졸업(공학박사)

2020년~현재 전남대학교 기관시스템공학과 교수

2019년2월~2019년8월 MERL 인턴연구원

2019년10월~2020년7월 UIUC 박사후 연구원

주 연구분야 : 전기기기



학회 소식

2021년도 제9차 이사회

일 시 2021년 9월 10일(금) 17:00 ~ 18:30

장 소 대한전기학회 회의실 및 사이버회의

참석자 [대 면 회 의] 김철환, 김재언, 강승택, 박종배, 박철원, 차준민

[사이버회의] 김중겸(감사), 이병준, 노대석, 이준호, 심용식, 장창익, 김경호, 김광호, 김문겸, 김래영, 김효진, 박강서, 손진근, 송화창, 신윤용, 안상필, 이교범, 이정호, 이준신, 임용배, 장길수, 정상용, 정호성, 조현종, 한수희, 허 건, 허 진
(이상 33명 / 대면회의의 6명, 사이버회의의 27명)

주요 회의 내용

- 재무, 회원현황 및 5개 부문회, 편집, 학술, 각종 위원회 현황 및 발전방향, 윤리위원회, ICESI 2021 진행 사항 보고
- 신입회원 승인 : 원안대로 승인함.
2021.8.1~8.31 : 총 19명 [정회원 12명, 준회원(석사) 5명, 준회원(학부) 2명]
박철원 총무이사로부터 제안 설명을 듣고 원안대로 승인 함.
- ICEE 한국위원회 [ICEE 2022] 위원 인준
허건 국제이사로부터 제안 설명을 듣고 원안대로 인준 함.
- 전력 IoT 센서연구회 회칙 승인
박병석 위원장(한전 전력연구원)로부터 제안 설명을 듣고 전력기술부문회 노대석 회장과 전기물성 응용부문회 이준호 회장이 본 건에 대해서 논의 후 차기 이사회에 상정하기로 함.
- 발전연구회 회칙 개정의 건
박철원 총무이사로부터 발전연구회에서 2021년 9월 10자로 금번 상정되는 발전연구회 회칙 개정(안)에 대해 보류하고, 2021년 10월 8일 개최되는 본부 10차 이사회에 상정하여 줄 것에 대한 요청 사항을 보고 받고 본 건은 제10차 이사회에 다시 상정하기로 함.
- 2022년도 차기회장 및 부회장 선거 투표 방법에 대한 건
김철환 회장으로부터 사전에 공지되지 않은 본 안건에 대해 출석(화상회의 포함) 임원에게 상정에 대한 찬반을 물은 바 전원 찬성을 표함에 따라 상정하기로 함.
김재언 차기회장(선거관리위원장)으로부터 제안 설명을 듣고 2022년 차기회장 및 부회장 선거 투표를 전자투표와 현장투표로 나누어서 실행하기로 함.

학 회 일 지

2021.8.20~9.19

8.20(금)

C부문 임시 이사회 (온라인 화상회의)

8.26(목)

제6차 영문편집위원회 (온라인 화상회의)

제1차 산학협동위원회 (학회 회의실)

9.1(수)

회지 '전기의 세계' 70권 9호(9월호) 발간

전기학회 국문논문지 70권 9호(9월호) 발간

전기학회 국문논문지P 70권 3호(9월호) 발간

전기학회 영문논문지 16권 5호(9월호) 발간

9.2(목)

A부문 제5차 이사회 (학회 회의실+화상회의)

9.9(목)

전자자동차연구회 제6차 워크숍 (제주ICC, 8/9~10)

B부문 제5차 이사회 (온라인 화상회의)

9.10(금)

본부 제9차 이사회 (학회 회의실+화상회의)

제1차 선거관리위원회 (학회 회의실)

9.16(목)

D부문 제5차 이사회 (온라인 화상회의)

9.17(금)

E부문 제6차 이사회 (학회 회의실+화상회의)

대한전기학회의 가치를 보다 더 높이!

편집위원

강승택(편집위원장, 인천대학교)

한기진(동국대학교)

김광기(인하대학교)

유희덕(전기신문)

김홍준(경북대학교)

김재혁(원광대학교)

정구민(국민대학교)

이상현(선문대학교)

허 돈(광운대학교)

김대영(가천대학교)

임용배(한국전기연구원)

구교선(한전 전력연구원)

전진홍(한국전기연구원)

김명진(충북대학교)

안준호(서울대 전력연구소)

김재준(SJ엔지니어링)

이한상(세명대학교)

하민우(명지대학교)

이기범(경북테크노파크)

이학주(한전 전력연구원)

배진용(동신대학교)

이상문(경북대학교)

김재희(한국기술교육대학교)

정재성(아주대학교)





글로벌 엔지니어 양성을 위한 공학교육인증제도

I 공학교육인증이란?

공과대학 교육과정에 대한 평가를 통해 해당 과정을 이수한 졸업생이 산업체의 수요와 글로벌 스탠다드를 충족하는 역량을 갖추게 되는 것을 인정하는 제도

※ 업무협약 (MOU) 체결시 전국 140개 대학 입시자료에 홍보 / 우수공학인재 채용시 가점부여 (서류전형 우대, 입사지원서 표기) / 공학교육인증우대기업으로 지위 확보 (교육부지정 평가인증인증기관)

I 공학교육인증의 효과

학생	- 창의적 문제해결 능력 확보 - 취업경쟁력 우위 확보 - 국제적 엔지니어로서의 자격인정	대학	- 졸업생 역량 향상을 통한 대학 경쟁력 제고 - 우수신입생 유치에 유리 - 해외유학생 확보에 유리
산업체	- 인재채용을 통해 기업의 경쟁력 향상 - 신입사원 재교육을 위한 시간 및 경비 절감	국가 및 사회	- 국제경쟁력을 갖춘 다양한 인재양성 및 공급 - 인재 육성을 통해 국가 경쟁력 강화

I Washington Accord(WA) 정회원

4년제 공과대학(엔지니어) 졸업자 학력의 상호인정을 목표로 설립된 회원국 인증기구 간 다자간 국제협약체(1989년 설립)
-회원국 인증기구가 인증한 졸업생은 모든 정회원국에서 학력의 동등성을 상호 보장

※ 정회원국(21개국) : 미국, 영국, 호주, 캐나다, 아일랜드, 뉴질랜드, 남아공, 홍콩, 일본, 싱가포르, 한국, 대만, 말레이시아, 터키, 러시아, 인도, 스리랑카, 중국, 파키스탄, 페루, 코스타리카

※ 준회원국(7개국) : 방글라데시, 멕시코, 칠레, 필리핀, 미얀마, 태국, 인도네시아

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.

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

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES CORPORATION

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