

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES
**POWER TECHNOLOGY
MAGAZINE**

효성중공업 전력기술 매거진
2024년 VOL.4



효성중공업 전력기술 매거진

2024년 VOL.4

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

HYOSUNG
HEAVY INDUSTRIES

목차

- 3 **전력기술 매거진을 펴내며**
효성중공업(주) 부사장 요코타 타케시

- 4 **준비된 효성중공업에 찾아온 기회**
유럽 시장 성과 창출의 교두보가 된 초고압변압기 기술력

- 8 **VI + Dry Air 적용한 GWP 0의 해상풍력 연계 SF₆ Free 72.5kV GIS 국내 최초 개발**
GWP 0를 구현한 SF₆ Free 72.5kV GIS 개발

- 10 **온실가스 감축과 지속 가능한 지구를 만들기 위한 효성중공업의 DAIS**
SF₆ Free MV GIS

- 12 **전력수급 안정화와 재생에너지원 연계를 위한 송전 기술 HVDC**
국내 최초 국산 HVDC-양주 200MW BTB 전압형 HVDC

- 16 **전력계통의 신재생에너지 수용성 향상을 위한 하이브리드 스테콤(Hybrid STATCOM)**
동기조상기와 스테콤을 결합한 다기능(무효전력+관성) 솔루션

- 18 **ESS의 새로운 트렌드 ‘장주기 솔루션과 플로우 배터리’**
태양광 발전 전기를 밤새 활용할 수 있는 장시간 운전 시스템

- 22 **칠레 AIS 변전소를 GIS 변전소로 업그레이드 프로젝트**
AIS 시장에서의 GIS 제안 솔루션

- 24 **해상풍력 시대의 신뢰성을 갖춘 전력 기자재 Supply Chain**
효성중공업의 해상풍력 솔루션

- 28 **AR 기반 비전검사 시스템 도입 및 활용을 통한 지능형 품질검사 체계 구축**
차세대 장비 도입을 통한 품질향상 및 생산효율 극대화

전력기술 매거진을 펴내며

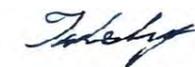
효성중공업 전력기술 매거진 4호를 발간하게 되었습니다. 효성중공업은 매년 전력기술 매거진을 통해 고객 여러분께 전력시장의 트렌드를 선도하는 효성의 솔루션을 소개하고 있습니다.

올해 전세계는 AI가 화두입니다. 종래의 디지털 처리에 비해 AI 데이터 센터는 4~5배 가까운 전력 소비량이 필요하기 때문에 AI를 활용한 디지털 전환에 따라, 종래 에너지 절약화와 도시화의 흐름으로 서서히 확대되던 전력 수요가 향후 선진국 중심으로 대폭적으로 증가할 것으로 전망됩니다. 전력 인프라는 준비하고 구축하는데 상당한 시간이 소요됩니다. 그 동안 업계 관계자 이외에는 관심이 부족하였던 인프라 구축에 대해 급증하는 전력 수요 전망이 이슈가 되면서 인프라 확충이 필요하다는 사회적 관심이 높아지고 있습니다. 지금까지 탄소중립 달성을 위한 핵심 수단으로 재생발전원으로서의 에너지 전환이 중심 화제였다면, 이제는 전력에너지 기반인 전력망(Grid) 보강이 매우 중요한 화두로 떠오르고 있습니다.

대한민국 중전기산업의 산역사라고 할 수 있는 효성중공업은 송변전설비 글로벌 제조역량을 강화 육성하고, 연구개발에 투자하며, 오래 동안 이런 시장상황에 대응하고자 준비해왔습니다. 세계 각지의 우리 고객들은 유래가 없는 신재생발전원 증가와 전력소비 증가라는 변화 속에서 안정적으로 전력망을 운영해야하는 과업에 직면해 있으며, 효성중공업은 고객니즈에 맞추어 전력망 증강과 안정성 강화를 위해 적극적으로 지원하고 있습니다. 효성중공업은 에너지저장시스템(ESS)을 비롯해 무효전력 보상장치(STATCOM), 직류 송배전 시스템(HVDC/MVDC/LVDC), IT기반 전력설비 자산관리 솔루션(ARMOUR) 사업을 필두로 고도화되는 전력산업에서 다양한 신기술을 바탕으로 고객에게 필요한 솔루션을 공급하고 있습니다. 더욱 높은 고객가치를 위해 다양한 엔지니어링 솔루션(Engineering Solution)을 통해 고객의 전력운영시스템 혁신이 가능할 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

효성중공업의 강점은 무엇보다도 고객의 목소리(VOC)에 집중하여 고객이 진정으로 필요로 하는 니즈를 만족시키는 DNA가 있다는 것입니다. 품질과 기술경쟁력을 바탕으로 글로벌 주요 국가의 전력회사와 상호 신뢰를 구축하고 협력 중에 있습니다. 고객과의 긴밀한 소통과 현지 대응력 향상을 위해 미국, 중국, 인도 생산거점 및 지역별 현지화된 조직을 확대하여 외부 환경 변화에 유연하게 대응하고 고객 편에서 교류할 수 있도록 노력하겠습니다. 앞으로도 고객과 함께 새로운 기회를 포착하고, 끊임없는 혁신을 통해 고객만족을 최우선으로 고객의 곁에서 든든한 동행자가 되도록 하겠습니다.

효성중공업(주)
부사장 요코타 타케시



준비된 효성중공업에 찾아온 기회

유럽 시장 성과 창출의 교두보가 된 초고압변압기 기술력

코로나 사태 이후, 전력 시장의 회복 및 신재생에너지 발전 확대로 전력 기자재 수요가 급격히 증가한 유럽 시장 상황에 우크라이나 위기 사태까지 겹쳐 유럽 내 공급망 이슈가 발생하였고, 이는 심각한 초고압변압기 공급 부족 현상을 야기하였습니다. 이를 해소하기 위해 유럽 고객들은 유럽 외 다른 지역 제조사로 눈을 돌리게 되고, 유럽 지역 내에서만 초고압변압기를 구매했었던 그들의 시야를 바꾸는 계기가 되었습니다. 이로 인해 유럽 고객의 기술 눈높이를 맞출 수 있는 유럽지역 외 제조사에게 기회가 생기기 시작했으며, 효성중공업의 글로벌 최고 수준의 높은 초고압변압기 설계 제작 기술과 유연한 고객 대응력은 유럽 고객이 효성중공업을 찾게 되는 충분한 이유가 되고 있고, 이미 준비가 되어 있던 효성중공업은 그 진가를 발휘하고 있습니다.



| 생분해성 에스테르유 변압기 개발 |

전세계적인 온실가스 규제로 친환경에 대한 요구가 변압기 산업에도 큰 영향을 끼치고 있으며, 최근 유럽은 환경 문제로 친환경 절연유 변압기, 러시아-우크라이나 전쟁 이슈로 자기 소화 능력을 갖춘 초고압변압기가 필요하게 되었습니다. 효성중공업은 이미 저 전압급 생분해성 에스테르유 변압기의 기술은 2015년부터 기술력을 확보하여 많은 납품 실적을 확보하고 있고, 2022년 400kV급 생분해성 에스테르유 변압기를 국내 최초 개발하고 상용품을 제작하여 고객에게 납품한 실적까지 확보하고 있습니다. 또한 기존 독점 업체의 생분해성 에스테르유 외에 여러 생분해성 에스테르유 업체의 제품 특성 검증을 완료하고 확보하여, 고객에게 여러 가지 옵션을 제공할 수 있는 기반을 마련하여 운영 중입니다.

| 방폭 해석 기술 확보 |

전력 제품의 품질 문제는 발생하지 않아야 하며, 이를 위해 여러 가지 방안이 고려됩니다. 하지만, 안전과 환경을 중시하는 유럽 고객 특성상, 사고 발생 시 이를 최소화할 수 있는 Plan B, Plan C 이상이 존재해야 하며, 그중 하나가 방폭 기술입니다. 내부 고장으로 인해 변압기 내부 아크 폭발 시 외부 파손으로 인한 누유가 발생하고, 이는 화재 및 2차 폭발 사고의 원인이 되어 환경오염의 주요 원인이 될 수 있습니다. 효성중공업은 정적 해석뿐만 아니라 동적 방폭 설계 기술의 정확도를 높여 변압기 탱크에 대한 취약부 검증을 통해 안정성 확보 및 외함의 과설계를 막아 유럽의 운송 제약 조건에 부합하는 제품을 납품하고 있습니다. 추가로 광유 및 생분해성 에스테르유에 대한 변압기 탱크 실증시험을 진행 중이며, 이를 통해 방폭 설계, 해석 기술 검증 및 제품에 대한 신뢰성을 확보할 것입니다. 최종적으로는 일반 광유, 생분해성 에스테르유 변압기의 방폭 안정성을 확보하여 고객의 요구를 충족하는 제품을 납품하는 것입니다.

| 다양한 저소음 기술 확보 |

상대적으로 공간 확보가 자유로운 미국, 중동, 호주 지역과 달리 유럽 지역은 발전소, 변전소가 도심지 근처에 많이 위치하고 있어 소음에 민감합니다. 유럽의 경우 변전소 설계 시 환경영향평가를 하여 이를 고려한 변압기 소음값을 보증치로 제한하는 경우가 늘어나고 있습니다. 효성중공업은 기존의 자속 밀도 제한, 소음을 차단하기 위한 이중탱크구조 등을 통한 수동적 소음 저감 기술이 아닌 초고압변압기의 내부 구조물 및 외부 탱크의 진동을 분석하고 보강 및 진동 절연을 하는 등의 소음의 발생원을 적극적으로 컨트롤하는 방법으로 저소음 변압기 설계 기술을 확보하였습니다. 또한 최근 일본 시장 방음실 구조의 변압기를 개발하여 45dB 이하 사양에도 대응할 수 있는 기술력을 확보하였습니다.



그림4 | 방음실 구조 실증 테스트



그림1 | 국내 최초 400kV 생분해성 에스테르유 변압기 개발



그림2 | 방폭 실증 시험, 광유와 생분해성 에스테르유의 각 에너지에 따른 버블 사이즈 확인

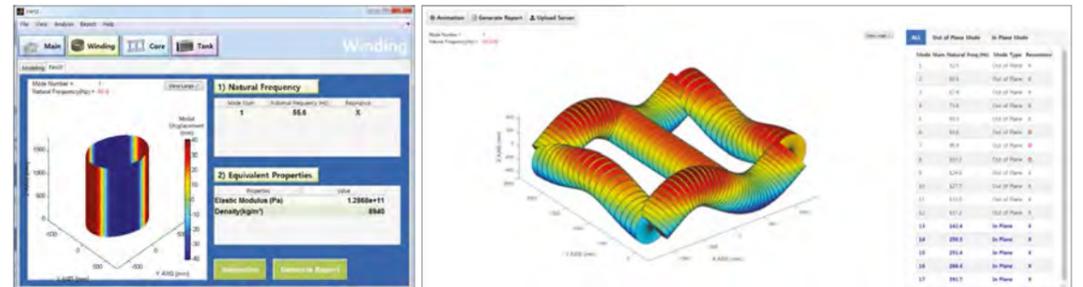


그림3 | 고유진동수 예측을 통한 공진 회피 설계

| GIC (지자기 유도 전류, Geomagnetically Induced Current) 해석 기술의 신뢰성 |

극지방에 가까운 북유럽 지역의 전력망은 GIC(Geomagnetically Induced Current)의 영향을 크게 받게 되고, 이는 전력망에 연결된 변압기에 유입되어 전력품질 및 변압기 자체의 건전성에 문제를 일으키게 됩니다. 특히 철심 포화 현상에 의해 누설된 자속이 철심 인근의 철 구조물에 입사 되어 과열을 일으키게 되고, 이는 내부 소손 및 가연성 가스를 발생시켜 심각한 변압기 손상을 발생시킵니다. 효성중공업은 등가자기회로 기반의 해석 기술 확보를 통해 각 고객의 GIC 사양에 맞춰 변압기 철심, 권선, 철 구조물에 대한 건전성 평가를 수행하고 있습니다. 효성중공업이 보유한 해석 기술은 목업 변압기를 이용한 DC 투입 실증 시험을 통해 그 신뢰성이 검증되었습니다.



그림5 | GIC Mock up Test

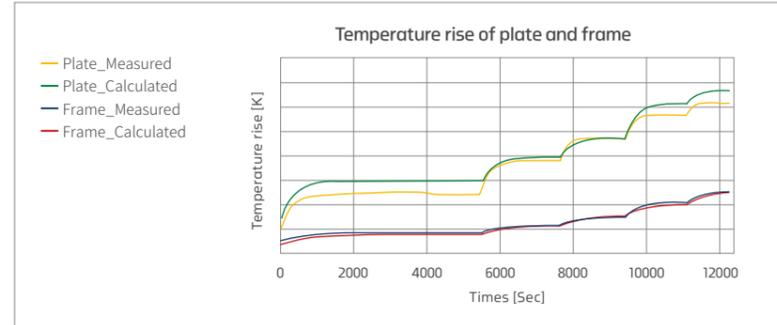


그림6 | GIC 영향 온도 해석 및 측정 결과 비교



그림7 | 노르웨이 Auto Transformer

| VSR (가변리액터, Variable Shunt Reactor) 기술 및 실적 확보 |

유럽은 신재생에너지 발전이 증가하고 있으며, 유럽 시장을 주도하고 있는 영국은 해상풍력 규모를 2030년까지 50GW로 확대하는 것을 목표로 하고 있어 무효 전력을 효과적으로 보상할 수 있는 가변리액터의 수요는 점점 더 증가할 것으로 예상됩니다. 가변리액터는 전력 생산량이 불규칙한 신재생 발전 계통 및 부하 조건 변동에 따라 무효전력 소모량이 변동되는 전력 라인에서도 자동으로 이를 조정하여 전력 계통의 전압 레벨을 항상 일정하게 유지할 수 있으며 차단기 스위칭 시 스트레스를 최소화할 수 있고 단계적 무효전력 보상이 가능하여 계통 신뢰도 향상 및 기기 고장률을 저감할 수 있습니다. 효성중공업은 한국전력공사에 345kV 표준 가변형 리액터를 국내 최초로 개발하여 납품, 운영하고 있으며 이미 미국, 호주, 사우디아라비아 등에 고품질, 저소음 가변리액터를 납품한 실적을 바탕으로 한 가변리액터 설계 기술에 대한 신뢰로 유럽 고객과 관련 사업을 지속 논의하고 있습니다.



그림9 | 345kV 가변리액터

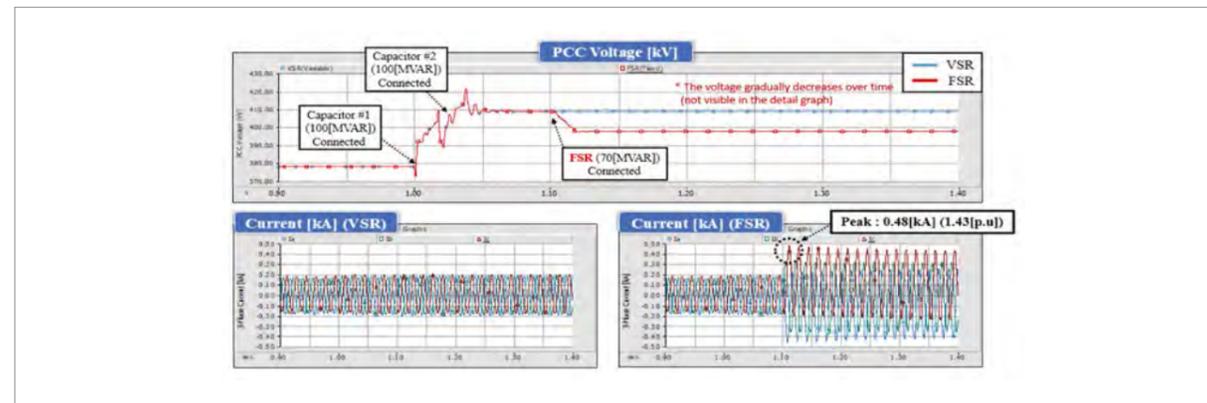


그림8 | FSR & VSR 계통 해석 결과

| PST (위상조정변압기, Phase Shifting Transformer) 기술 및 실적 확보 |

PST는 송전 선로에 직렬로 연결되어 양단의 전압 위상을 조정함으로써 선로를 흐르는 유효전력(전력조류)을 제어할 수 있는 변압기입니다. 발전 전력의 변동성이 큰 풍력, 태양광 등과 같은 신재생에너지를 사용하는 발전설비의 증가와 전기차 충전 등과 같은 전력 수요가 증가함에 따라 송전 전력의 변동성 또한 증가되어 이를 제어할 수 있는 PST의 수요가 증가하고 있습니다. PST는 전력 조류 제어가 가능한 다른 설비(HVDC)에 비해 설치 공간이 작고 구조가 단순하여 송전망 운용의 안정성과 효율성을 더욱 경제적으로 확보할 수 있는 장점이 있습니다. 효성중공업은 330kV 급 PST를 개발하여 호주 시장에 납품하였고, 미주, 중동을 포함한 유럽 시장에서도 PST 적용과 관련하여 PST 도입 검토 단계에서부터 고객과 협력하고 있습니다.



그림10 | 330kV Phase Shifting Transformer

| 안전을 중요시하는 외형 구조 및 유니버설 기능의 변압기 |

유럽 고객의 경우 건물 구조만 한 초고압변압기를 현장에서 운전, 유지 보수하는 데 있어 특별히 플랫폼이나 계단 등을 통해 다양한 구조물로 안전한 접근성을 확보해 주기를 원하고 있습니다. 이미 효성중공업은 영국 및 프랑스의 특정 고객 요청에 따라 건물 구조물과 같은 형태로 납품한 실적이 많고, 관련 구조물에 대한 안전 규격에 대한 학습을 통해 고객 요구를 만족시키고 있습니다. 또한 전력 소비의 변동이 많은 유럽 지역 특성상 변압기의 이동을 통해 이를 해소하는데, 실제 전압이 다르고, 전력 계통 연결 방식이 다르며, 설치 위치의 구조가 다른 부분을 모두 맞출 수 있도록 유니버설 기능의 구조 구현이 가능하도록 하여 고객의 특수한 요구 사항에 대해 유연하게 대응하여 고객 만족도를 높여가고 있습니다.



그림11 | 안전 구조물



그림12 | 현장 조건에 따른 전압 및 구조 변경 설치



홍의진 팀장
초고압변압기사업설계팀

효성중공업은 철저한 사전 준비로 초고압변압기 분야에 대한 다양한 설계 기술을 확보하고 이를 이용한 제품을 제작하여 납품한 실적을 보유하고 있으며, 개발을 위한 실제 테스트 등을 통해 획득한 데이터를 기반으로 유럽 고객과 여러 가지 타입의 초고압변압기에 대해 논의하고 협의하고 있습니다. 이렇게 준비되어 있는 다양한 기술에 대한 유럽 고객들의 신뢰가 2022년부터 효성중공업 창원공장에서 증가하고 있는 초고압변압기 유럽 오더의 증가세로 증명되고 있습니다. 더욱 다양하고 새로운 유럽 시장에 대한 경험을 통해 효성중공업의 기술을 추가 발전시키고, 한 걸음 더 나아가 지속적인 고객과의 소통을 통해 유럽 내 초고압변압기 주요 납품 제조사로서 입지를 확고히 하는 효성중공업의 모습을 기대해 주시기 바랍니다.

VI + Dry Air 적용한 GWP 0의 해상풍력 연계 SF₆ Free 72.5kV GIS 국내 최초 개발

GWP 0를 구현한 SF₆ Free 72.5kV GIS 개발

전 세계적으로 지구 온난화 위기에 대응하고자 탄소 중립을 목표로 다양한 정책을 펼치고 있습니다. 한국, EU, 미국 등에선 SF₆ 제품에 대한 단계적 규제를 적용하여 낮은 GWP*를 가지는 SF₆ Free GIS를 요구하고 있습니다. 또한, 신재생에너지 발전 비중이 높아지면서 풍력터빈의 발전 경제성을 높이기 위해 발전 용량이 대용량화되고 있으며 풍력타워 내부 및 연계 계통(해상변전소, 육상변전소 등)에 대한 안정적 운영 및 보호를 위한 GIS의 요구 정격도 높아지고 있어, 풍력발전 분야가 High Voltage로 구분되는 72.5kV 이상 정격전압을 가진 GIS 제품의 새로운 시장으로 대두되고 있습니다. 이러한 시장의 요구에 대응하고자 효성중공업이 국내 최초로 개발에 성공한 GWP 0를 구현한 SF₆ Free 72.5kV GIS를 소개합니다.

* GWP (Global Warming Potential): CO₂ 가 지구온난화에 기여하는 영향도를 기준으로 온실가스의 지구온난화 영향도를 지수화한 값 (CO₂의 GWP=1)



그림1 | 변전소 Layout 1Bay



그림2 | 풍력타워용 Layout 1Bay

| 국내 최초로 GWP 0를 구현한 SF₆ Free 72.5kV GIS를 개발 |

GIS 부문에서는 일반적으로 절연 및 차단 성능이 우수한 SF₆ 가스를 사용해 왔으나 SF₆ 가스는 6대 지구온난화 가스 중 하나이며 GWP가 23,500 수준으로 규제 가스에 해당합니다. GWP 값이 낮은 GIS를 요구하는 시장이 점차 확대되고 있으며, 효성중공업은 VI(Vacuum Interrupter, 진공차단기)와 Dry Air를 적용하여 국내 최초로 GWP 0를 구현한 SF₆ Free 72.5kV GIS를 개발하였습니다.

Dry Air는 N₂와 O₂로만 구성되어 있어 온난화가스가 없는 GWP 0의 대표적 친환경 대체 가스입니다. 하지만 SF₆ 대비 낮은 차단 및 절연 성능으로 인해 일반적인 가스분사방식의 차단부로는 차단 성능 확보가 어렵습니다. 따라서, 진공

특성을 이용한 VI(Vacuum Interrupter)를 적용하였습니다. VI는 36kV 이하의 정격에서 주로 사용하던 차단방식이지만 지구 온난화 이슈로 인해 High Voltage 영역으로 확대를 가속하고 있습니다. 효성중공업은 절연, 통전, 차단 성능을 시뮬레이션과 사내와 외부 시험소를 활용한 실제 시험을 통해 독자기술로 72.5kV VI를 개발하였고, 본 72.5kV VI는 30,000회 이상의 동작 내구성과 30년간 유지보수 없이 사용 가능한 전기적 접점 내구성 등급인 E2 Class를 만족합니다.

또한 Dry Air는 SF₆ 대비 낮은 차단 및 절연 성능을 가지므로 GIS의 구성요소 중 스위칭 기능을 가진 단로기와 접지개폐기에 다양한 개선을 시도하여 규격을 만족하는 성능을 확보할 수 있었습니다.

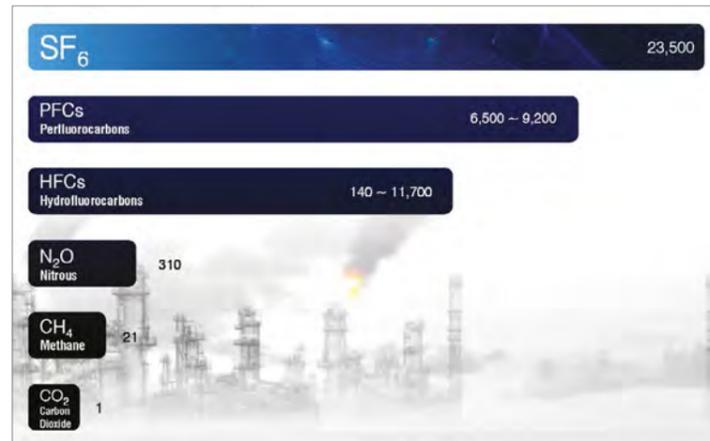


그림3 | SF₆ 가스의 GWP 지수

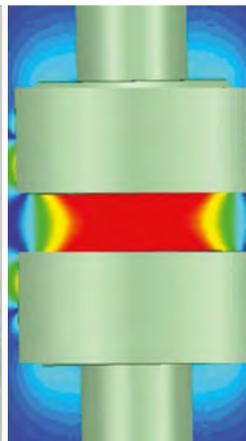


그림4 | VI극간 자속밀도시뮬레이션

| 해상풍력연계 SF₆ Free 72.5kV GIS |

해상 환경은 염해에 의한 부식과 운전 및 운송 과정에서 발생하는 진동, 충격으로 인해 육상 환경 대비 가혹한 사용조건을 가지고 있습니다. 따라서 성능평가 시험을 통해 적합성을 확인하는 등 해상 환경을 고려해 제품을 개발했습니다. 그중 진동 시험은 선박용 기기와 기계 부품에 대한 운전, 운송 조건에 대한 시험으로 효성중공업은 IEC 규격에 규정되어 있는 조건인 Category 1,2보다 가혹한 조건으로 시험 진행하여 이상이 없음을 최종 확인하였습니다.



그림5 | 진동 시험 사진

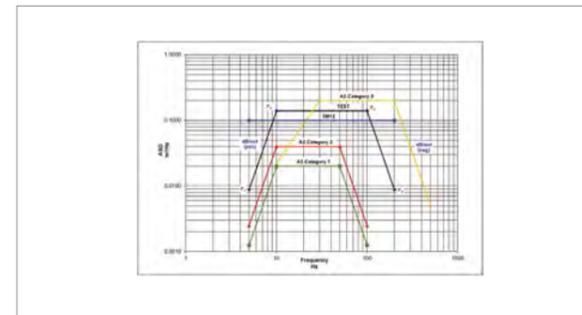


그림6 | 시험 조건

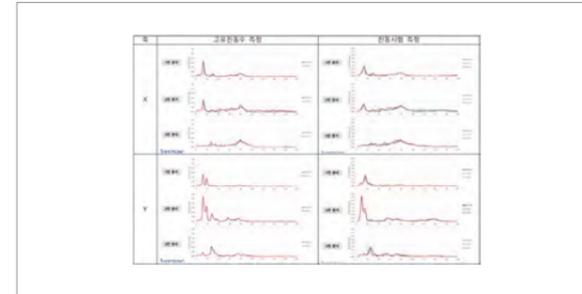


그림7 | 공진주파수 측정 그래프

GIS는 요구 기능에 따라 차단기(Circuit Breaker), 단로기(Disconnecter), 접지개폐기(Earthing Switch), 모선(Bus), 변류기(Current Transformer), 변성기(Voltage Transformer), 케이블 인입부(Cable Head) 등으로 구성됩니다. 효성중공업의 SF₆ Free 72.5kV GIS는 모듈 조합형 GIS 제품을 개발하여 다양한 고객별 요구 Layout을 유연하게 구성할 수 있습니다.



Rated Voltage [kV]	72.5
Phase Configuration	3Phase common
Frequency [Hz]	50/60Hz
Short Circuit Withstand duration [s]	3
CB Mechanism type	Spring
Basic Impulse Level [kVp]	325
Insulation media	VI+Dry Air
Applied Standard	IEC/IEEE

그림8 | SF₆ Free 72.5kV GIS Spec

변전소용 GIS의 경우 일반적인 Bay 단선도 구성이 정형화되어 있으나, 풍력타워 내 GIS의 경우 타워 상단에 위치한 터빈으로부터 전력을 케이블을 통해 받아들이고 GIS 보호 계통을 거쳐 다시 케이블을 통해 인접한 풍력 발전기 또는 해상 및 육상 변전소 등으로 송전하기 위한 다른 형태의 단선도 구성을 요구하고 있습니다.

효성중공업에선 SF₆ Free 72.5kV GIS 제품개발 기획 당시 이러한 점을 고려하여 제품 컨셉을 기능 모듈 조합형 GIS로 선정하여 개발을 완료함으로써 풍력 타워의 단선도 구성뿐만 아니라 풍력발전과 연계된 해상, 육상 변전소 등에서 적용 가능한 제품으로 탄생하였습니다.



손승완 팀장
차단기개발팀



김준호 Performance Manager
차단기개발팀

효성중공업은 지구 온난화에 따른 전력기자재 시장에서 요구하는 니즈를 만족하기 위해 SF₆ Free GIS 및 해상풍력타워 및 연계 변전소에 적용 가능한 GWP 0의 SF₆ Free 72.5kV GIS를 개발하였습니다.

독자 기술을 통해 개발한 SF₆ Free 72.5kV GIS는 국내 풍력 시장에서 전력기자재 국산화 비중을 기여할 수 있으며, IEC/IEEE 규격을 모두 만족하는 제품인증으로 미국, 유럽 등 글로벌 시장에도 적용 가능합니다. 이러한 개발을 바탕으로 유럽에 Pilot Project를 수주하였으며, 앞으로도 SF₆ Free GIS를 전 세계 시장에 확장 보급하여 지구 환경보호에 동참하고자 합니다.

SF₆ Free 170kV 50kA GIS를 이미 보유하고 있으며, 국내 전력망에 적용되어 국내 탄소중립을 위한 노력에 기여하고 있습니다. 효성중공업은 지속가능한 제품 개발을 위한 기초기술 연구 및 성능시험 등을 지속하고 있으며 모든 전력 계통에 SF₆ Free GIS를 공급할 수 있도록 연구개발 중입니다.

온실가스 감축과 지속 가능한 지구를 만들기 위한 효성중공업의 DAIS

SF₆ Free MV GIS

MV GIS(Medium Voltage Gas Insulated Switchgear) 제품은 산업환경 변화에 대한 시대적 요구와 친환경 기술 발전의 급속한 성장에 따라 빠르게 변화하고 있습니다. 효성중공업은 탄소배출 제로와 그린 환경을 위한 혁신적인 제품 개발에 최선을 다하고 있습니다. 기존 절연 매질인 SF₆ 가스를 대체할 지구 온난화 지수(GWP, Global Warming Potential) "0"인 Dry Air를 적용하여, SF₆ Free 기술인 MV GIS 제품을 개발하여 고객에게 제공하고 있습니다. 효성중공업의 SF₆ Free MV GIS 제품인 DAIS(Dry Air Insulated Switchgear)는 사용자 맞춤 설계로 고객의 다양한 요구를 만족할 수 있는 최적의 솔루션을 제공할 수 있습니다. 또한, 다양한 사양(Ratings)의 DAIS 제품과 38kV 40kA 3150A 최대 용량의 제품 개발로 세계 최고 수준의 기술 경쟁력을 보유하고 있습니다.

| 탄소발자국을 줄이는 효성중공업의 노력 |

Medium Voltage 분야에서 SF₆ 가스를 대체할 최적의 절연 매질인 Dry Air는 기존 SF₆ 대비 절연 성능 30~40%, 통전 성능 60~70% 수준으로 콤팩트 설계의 어려움을 겪고 있었지만, 효성중공업은 탈탄소화 실현의 핵심인 전력 분야의 지속가능한 기술 적용을 위해 다양한 노력을 지속적으로 실천하고 있습니다. 효성중공업은 전력 설비의 지속가능한 솔루션 제공을 위해 MV GIS 절연 매질인 SF₆ 가스를 대체하는 Dry Air를 적용한 개폐장치인 DAIS를 독자적으로 개발하여, 온실가스 발생 감축에 기여하였습니다. 기후변화 위기를 극복하기 위해 GWP "0"인 가스를 적용한 MV GIS의 보급이 점차 확대되어 가고 있는 모습에서, 효성중공업의 탄소발자국을 줄이기 위한 노력이 결실을 맺어가고 있는 상황입니다.



| SF₆ Free MV GIS 개발 |

효성중공업은 MV GIS에 Dry Air 적용을 위한 연구를 위해 압력에 따른 가스 절연 및 통전 특성에 대해 수많은 시험과 분석을 수행하였고, DAIS 제품에 대한 최적 설계 기준을 수립하였습니다. Dry Air를 적용하면서도 최적의 절연 설계 기술을 통해 기존 SF₆ 가스를 적용한 MV GIS와 유사한 크기 및 성능을 보유한 DAIS 제품을 구현하는 데 성공하였습니다. 효성중공업은 2013년에 국내 최초로 25.8kV 25kA DAIS 제품을 개발하여, 높은 신뢰성과 안전성이 요구되는 한국전력공사에 현재까지 약 1,000 Bay 이상의 제품을 납품하여 안정적으로 운영하고 있습니다. 이러한 기술을 바탕으로 2021년에는 Dry Air를 절연 매질로 하는 최대 용량의 제품인 38kV 40kA 3150A DAIS를 세계 최초로 개발하였습니다.

Model	D242	D252	D272	D384
Insulation Medium	Dry Air (GWP=0) & V.I			
Rated Voltage (kV)	24	25.8	27	38
Rated Normal current (A)	Up to 1250	Up to 2000	Up to 2000	Up to 3150
Rated Short time current (kA)	25	25	25	40
Gas Pressure (MPa)	0.1	0.2	0.13	0.17

표1 | 효성중공업 SF₆ Free MV GIS(Fro series D) Line up



그림1 | 변전소에 설치된 DAIS 제품

만들 수 있는 효성중공업 SF₆ Free MV GIS




국제규격을 통해 신뢰성과 안전성, 운용성을 검증 받은 효성중공업은 언제나 고객 안전과 환경보호를 위한 최적의 제품 솔루션을 제공합니다.

A부터 Z까지 친환경적인 DAIS

DAIS 강점 4가지

정상운전 및 안전한 유지보수

높은 내구성, 제품 성능 유지

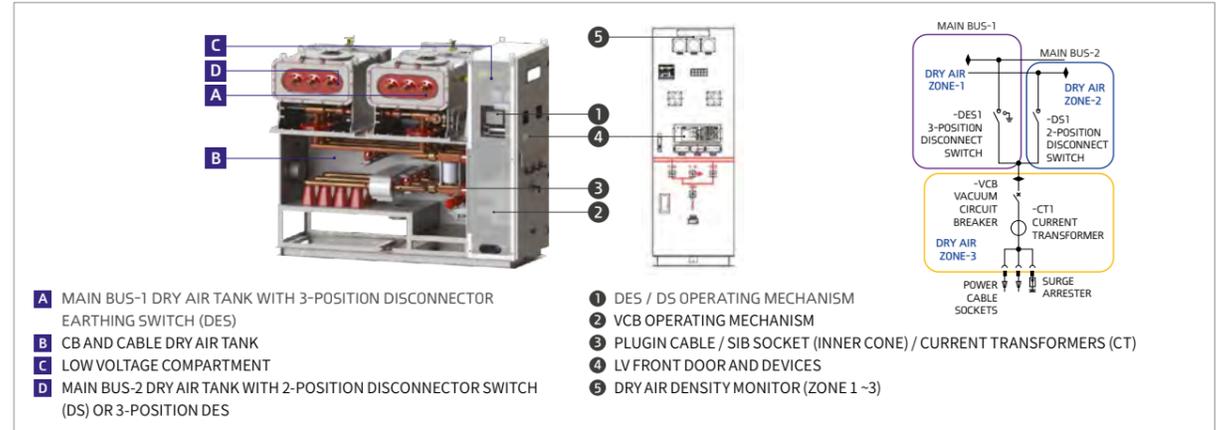
수명 30년 이상 보증, 신뢰성 검증

국제 규격인증 획득

이렇게 탄생한 DAIS(Dry Air Insulated Switchgear)는 기존 SF₆가스 GIS만큼 뛰어난 성능은 물론, 콤팩트한 사이즈로 개발하였습니다.

그림2 | 효성중공업 SF₆ Free MV GIS 장점

| SF₆ Free MV GIS 특징 |



효성중공업의 SF₆ Free MV GIS 제품은 고객의 모든 요구를 만족시킬 수 있는 최적의 솔루션을 제공하고 있습니다. 각 변전소 별 계통에 맞추어 최적화 설계가 가능하고, 안전한 유지보수, 인입/인출이 가능한 VCB 적용 등 다양한 기술 요구에 대해 성능 및 구조를 만족할 수 있는 사용자 맞춤 설계가 가능합니다. 효성중공업의 SF₆ Free MV GIS 제품은 오랜 설계 경험과 노하우를 바탕으로 다음과 같은 장점을 가지고 있습니다.

① STL(Short-circuit Testing Liaison)을 통한 제품 인증

고객이 요구하는 사양에 맞추어, 국제규격(IEC & IEEE/ANSI)에 따라 제품 개발을 완료하였습니다.

② 내아크(Internal Arc) 설계 및 성능 인증

마크 시뮬레이션 기술을 활용하여 가스 구획 별 최적의 아크 flow에 대한 연구와 아크 방출 압력에 따른 효율적인 설계를 적용하였고, 국제 규격에 따라 성능 검증을 완료하였습니다.

- IEC 622271-200: Max. AFLR 40kA 1s
- IEEE C37.20.7: Max. Type 2B 40kA 1s

③ 고성능 절연 재료 적용

내트래킹 및 유리전이온도(Tg 120 °C 이상) 등 전기적, 화학적 특성이 우수한 절연 재료를 사용하여, 장기간 사용에도 제품 성능이 저하되지 않는 절연물을 적용하였습니다.

④ 신뢰성이 뛰어난 고성능 VCB

고객 니즈에 맞는 Spring 및 PMA(Permanent Magnet Actuator) 메커니즘을 적용한 조작기 선택 적용이 가능하고, E2, M2, C2 등급의 고성능 VCB를 제공할 수 있습니다.

⑤ 모듈 및 규비를 타입 외함

가스 구획 별 모듈화 설계로 사고 부위 파급 제한 및 신속 교체가 가능하고, 인입/인출이 가능한 VCB 적용하여 쉬운 유지보수의 장점을 보유하고 있습니다.

⑥ 고객의 다양한 솔루션을 제공할 수 있는 사양

부분 방전 검출 센서를 적용한 예방진단 시스템, Mechanism(VBC/DES) 오동작 방지를 위한 인터락 시스템, DES 조작기 상태 및 위치 확인용 viewport 카메라 시스템 등 다양한 기능을 적용할 수 있습니다.



장윤기 Performance Manager
전장개발팀



이승찬 Performance Manager
전장개발팀

효성중공업의 SF₆ Free MV GIS 제품인 DAIS는 높은 신뢰성과 안전성이 요구되는 국영전력 청 시장 등 다양한 곳에 납품되어 품질을 인정받고 있습니다. 지속적인 연구개발과 고객 요구를 반영하여 개발된 콤팩트 사이즈의 DAIS 제품은 국제 규격인증(IEC, IEEE 등)을 획득하였으며, 고객 안전을 최우선의 가치로 하여 다양한 기술적 요구 사양을 만족하는 사용자 맞춤 설계가 가능한 장점이 있습니다.

효성중공업은 삶을 풍요롭게 하는 기술이 지구의 미래를 황폐하게 만들지 않도록, 기술의 발전과 환경 보존을 모두 이룰 수 있는 최적의 제품 솔루션을 제공할 것입니다.

전력수급 안정화와 재생에너지원 연계를 위한 송전 기술 HVDC

국내 최초 국산 HVDC-양주 200MW BTB 전압형 HVDC

HVDC(High Voltage Direct Current, 초고압직류송전, 100kV 이상) 시스템은 교류 전력을 직류로 변환하여 전력을 효율적이고 안전하게 송전하는 전력 시스템입니다. 높은 투자비에도 불구하고 교류 송전에 비해 장거리 송전 시 송전 손실이 적으며 송전 첩합 면적과 수량이 줄어들고 전자파가 없어 주민 수용성을 높일 수 있는 장점이 있습니다. 최근 2050 탄소 중립 달성을 위해 원거리 재생에너지 발전원과 수요지 연계, 국가 간 계통연계 등으로 대규모 장거리 송전 수요 증가와 더불어 기존 AC 계통의 불안전성을 보완하고 능동적인 송전계통 운영을 위하여 HVDC 도입이 필수 불가결이 되어 가고 있습니다.



Ⅰ HVDC 시장 및 개발 동향 Ⅰ

산업의 전기화와 신흥국의 경제 발전에 따른 에너지 수요를 충족하기 위해 전 세계 연간 발전량은 2020년 27,000TWh에서 2050년 70,000TWh로 2배 이상 증가할 것으로 예상됩니다. 특히, 재생 에너지원의 기여도는 전체 발전량의 22%에서 2040년까지 72%에 근접할 것으로 전망됩니다. (출처, Enerdata 에너지전망 2023년판)

따라서 효율적인 에너지 생산, 전송 및 분배를 위해 대규모 투자와 함께 지속적인 전력망 인프라 개발이 요구됩니다. 대규모 발전소가 주요 수요 중심지에서 멀리 떨어져 있어 효율적인 장거리 대량 에너지 전송이 필요합니다. 또한 대부분의 재생에너지는 기존 발전소와 달리 출력변동성이 높아 발전소의 출력 조절 역할을 송전기에서 수행할 필요성이 생겼으며 지역 및 국가간 전력 시장의 상호 연계에 따른 에너지 안보의 중요성이 증가하고 있습니다.

HVAC(High Voltage Alternating Current, 초고압교류송전) 및 HVDC(High Voltage Direct Current, 초고압직류송전) 링크를 모두 사용하여 대량 에너지 전송/상호 연결이 가능하나 장거리 연계의 효율성, 능동적 제어성, 에너지 안보에서 HVDC가 HVAC 대비 우월한 기능을 바탕으로 시장이 확대되고 있습니다.

HVDC는 1954년 첫 상업운전 이후 현재까지 170여 개 프로젝트, 300GW 이상 용량이 건설되어 운영 중으로 시장규모는 2023년 120억 달러에서 2030년 190억 달러로 6.9% 성장률이 전망되고 있습니다. (Research and Market, 2024)

HVDC는 기술적으로 Thyristor 소자 기반의 전류형 HVDC와 IGBT기반의 전압형 HVDC로 나뉘는데 2015년까지는 누적설치용량의 90%가 전류형 HVDC였으나 전압형 HVDC에 멀티레벨 컨버터 기술이 적용되면서 시장이 빠르게 성장하여 2019년 이후 연간 설치 용량이 전류형 HVDC를 역전하였습니다.

지역별 시장 동향을 살펴보면 전세계 HVDC 누적 설치용량의 59%를 차지하는 중국은 석탄 및 재생에너지 발전량이 풍부한 중국 서북부에서 전력수요가 높은 중국 동남부 지역으로의 장거리 대용량의 전력전송을 위해 HVDC가 적용되고 있으며 자국 업체 위주 발주가 이뤄지고 있습니다. 미주 지역은 장거리 전력망 연계, 전력망 안정화 및 재생에너지 수용을 위해 HVDC 시스템을 적용하고 있습니다. 유럽은 재생에너지 연계와 더불어 국가 간 계통연계를

위해 HVDC를 계획하고 있으며 국가 간 연계를 위해 다양한 제작사의 전압형 HVDC를 MTDC(Multi-terminal HVDC, 3개 이상의 HVDC 컨버터 연계 기술)로 연결하기 위한 기술 표준 제정 InterOPERA(Enabling interoperability of multi-vendor HVDC grids)프로젝트를 진행하고 있으며 효성중공업도 중공업연구소에서 참여하고 있습니다.

국내에 전류형 HVDC를 1998년 제주-해남 #1에 도입 이후 제주-진도 #2, 북당진-고덕, 양주BTB까지 3.9GW가 설치 운영 중이고 동해안-신가평(EP1) 등 4.7GW가 건설 중입니다. 제 10차 전력수급기본계획에서는 원전 및 재생에너지 발전 확대에 맞추어 10GW 전압형 HVDC 신설 계획이 추가되면서 2028년 이후 5조원 이상의 시장이 예상되고 있습니다. 이 중 서해안 백본망은 재생에너지 및 국가간 연계를 대비한 MTDC방식으로 계획되고 있습니다.

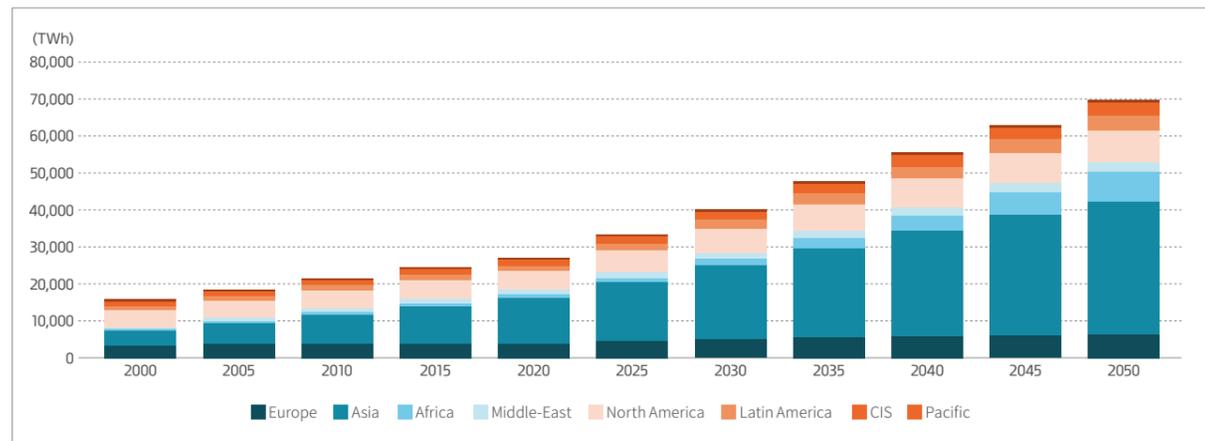


그림1 | 글로벌 발전량 (출처: Enerdata)

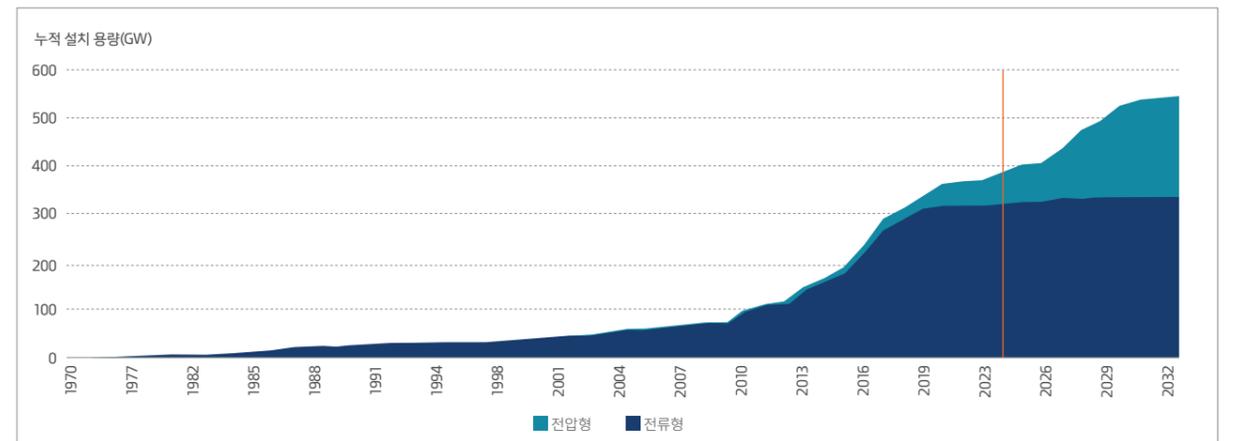


그림2 | HVDC 누적 설치 용량 (출처: DNV)

I 양주 ±120kV 200MW HVDC Project 소개 I

HVDC는 계통연계기술, 컨버터 기술, 제어 기술, 냉각 기술 등 복합 기술이 융합된 시스템으로 기술장벽이 매우 높고 공급자 우위 시장이 형성되어 있으며 H사, S사, G사와 중국업체들이 시장을 선점하고 있습니다.

현재 국내 전압형 HVDC는 H사가 제주와 완도를 연계하는 200MW PTP(Point to Point) HVDC, G사가 신부평 변전소에 500MW BTB HVDC를 건설 중이며 효성중공업도 양주 변전소에 200MW BTB(Back to Back) HVDC를 설치하고 실증평가 중에 있습니다.

HVDC 시스템은 접속 선로 구성에 따라 BTB(Back to Back), PTP(Point to Point) 방식과 MT(Multi Terminal) 방식으로 나누어질 수 있는데, 본 프로젝트(양주, ±120kV/200MW)는 1개의 Station(AC를 DC로 변환하기 위한 Rectifier와 DC를 AC로 변환하기 위한 Inverter)으로 구성된 BTB 방식의 HVDC 시스템입니다.

HVDC의 변전소는 크게 전력 변환을 위한 컨버터 밸브와 컨버터 제어 및 보호 기능을 수행하기 위한 C&P System(Control and Protection System) 그리고 변압기, 냉각시스템을 포함한 다양한 종류의 야드 기기들로 구성됩니다. (그림3) 한국전력공사가 토목 및 건축을 담당하고 효성중공업은 HVDC 시스템 설계, 컨버터/제어기 설계 및 제작, Yard 시스템 설계 및 조달, 설치, 시험을 담당하여 100% 국산화 개발하였습니다.

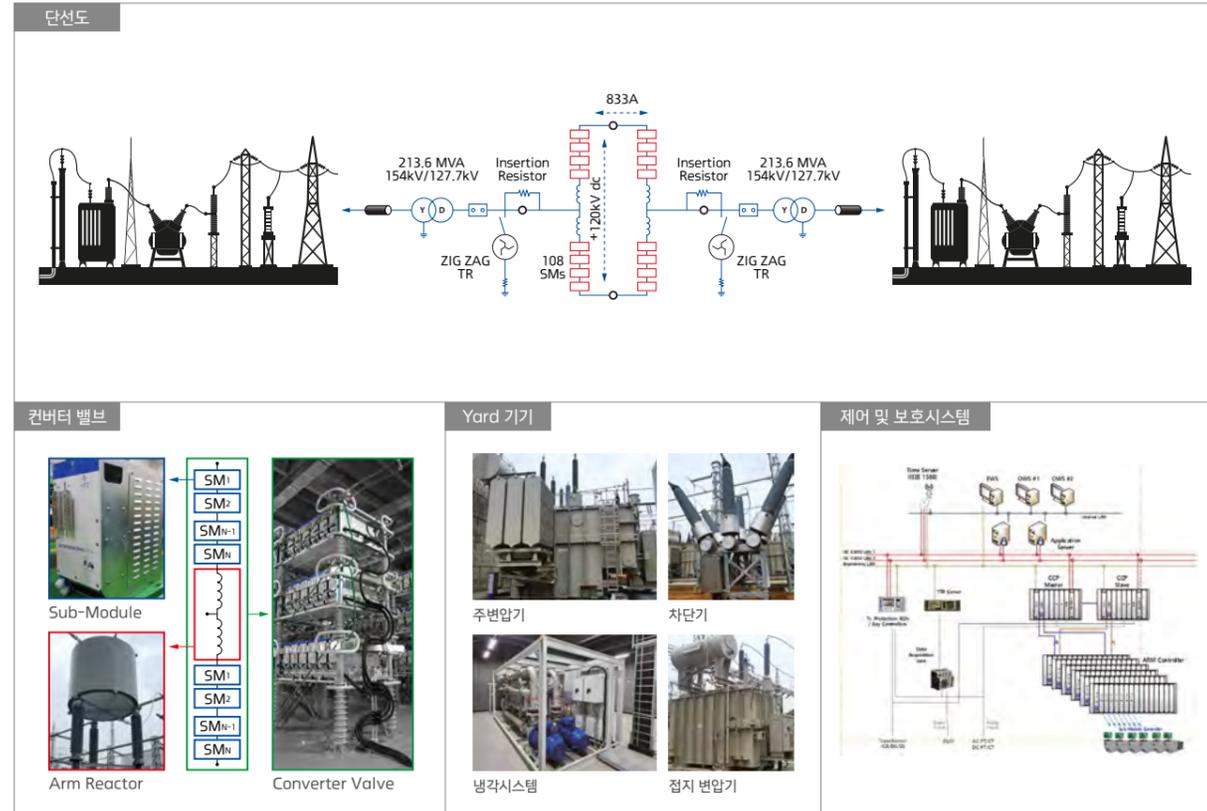


그림3 | 양주 HVDC 시스템 구성

참원공장 내 컨버터 밸브의 Type Test 및 Routine Test를 위해 컨버터 밸브 시험 규격(IEC62501)에 따른 절연시험 및 운전시험이 가능하도록 설비 구축을 완료하여 2022년 MMC HVDC 전압형 밸브 Type Test 인증서를 획득(전기연구원)하였습니다. 컨버터 밸브는 108개의 서브 모듈로 구성된 ARM을 하나의 3층 구조물로 구성, 변전소 당 6개의 Arm으로 구성되어 밸브룸에 설치하였습니다. 각 밸브룸 내부 구성은 [그림4]와 같이 6개 서브 모듈로 구성된 Valve Section 6개를 직렬연결하고 이를 3층으로 적재하는 방식을 채택하였습니다.

제어 및 보호(C&P system)는 크게 Operator와 Interface 기능을 수행하는 운영시스템, Operator의 운전 지령에 따라 Converter 제어와 보호기능을 수행하는 Converter 제어시스템 그리고 AC선로 보호 및 CB/DS/ES 조작을 수행하는 보호시스템으로 구성됩니다. 1GW까지 확장 가능하도록 개발된 제어기는 PSCAD 모의, PSSE 모의, RTDS HILS, 대규모 계통연계 DPS 시험 등 제어기 관련 4종의 시험을 통하여 교차 검증하였습니다. 또한 154kV급 메인 변압기와 127.7kV 접지변압기를 자체 개발하여 적용 중입니다.

2023년 말 단위기기 시험, Subsystem 시험을 완료하였으며 올해 3월까지 온라인 시험을 완료하여 실증 시운전 중인 양주 HVDC는 국내 최초의 전압형 HVDC 설치 사례이자 국내 기술로 개발한 첫 HVDC입니다.

양주 HVDC가 100% 국내기술로 개발한 전압형 HVDC로서 BTB 운전을 시작하게 되면 고객인 한국전력공사는 과부하 해소, 고장전류저감, 전압 안정도 향상으로 경기북부지역 계통 안정화에 785억원의 경제적 효과와 연간 181억원의 전력구입비 절감 효과를 얻을 수 있을 것입니다. 또한 국내 전압형 HVDC 수요 증가에 대비한 기술 자립과 더불어 해외사업을 위한 기반을 확보할 것으로 기대됩니다.



그림4 | 양주 컨버터 밸브 사진



그림5 | 제어실 사진



그림6 | 양주 컨버터 밸브 근접 사진



유원호 Performance Leader
D1 TFT



함미숙 Performance Manager
D1 TFT

해상풍력을 필두로 비동기 계통연계 수요 증가, 송전 효율 및 시스템 안정성 요구 증가, 대용량 송전 수요 증가, 환경친화적 기술에 대한 요구 증가로 HVDC 시장은 지속적으로 증가가 전망되고 있으나 고도의 안정성과 신뢰성을 요구하며 중국을 제외하고 글로벌 3사(H사, S사, G사)가 시장을 선점하고 있으며 2020년대 후반까지 수주를 확보해 놓은 상태입니다. 효성중공업은 후발주자이지만 자체적인 HVDC 기술 보유와 한국전력공사 계통에서의 시운전 경험, 전 세계 전력 설비 구축 경험을 가지고 있어 신규 계획하고 있는 프로젝트의 긍정적 대안이 될 수 있을 것입니다. 이를 위해 효성중공업은 고객 니즈 파악을 통해 지속적인 시장 기회 발굴과 다양한 프로젝트에 대응 가능한 추가 기술 개발 및 상품화 노력으로 확대되는 전력산업 시장에서 DC 제품을 확대해 나갈 예정입니다.

전력계통의 신재생에너지 수용성 향상을 위한 하이브리드 스테콤(Hybrid STATCOM)

동기조상기와 스테콤을 결합한 다기능 (무효전력+관성) 솔루션

전 세계적으로 탈탄소화에 대한 필요성이 증가하고 있습니다. 이를 달성하기 위해 각국은 화석연료 기반의 발전기에서 인버터 기반의 재생에너지로의 전환을 시도하고 있습니다. 이러한 재생에너지의 증가로 인해 발생하는 전력 계통의 관성 감소, 낮은 단락 전류, 제한된 전압 제어의 문제점을 해결하기 위해 다양한 노력을 기울이고 있습니다. 하이브리드 스테콤은 스테콤의 빠른 전압 조정 능력과 동기조상기의 관성 보조 및 전압 조정 기능을 최적 제어를 통해 효과적으로 운전할 수 있는 시스템입니다. 동기조상기와 스테콤을 각개 제어할 경우에 발생할 수 있는 상호 간섭과 성능 저하를 방지하기 위하여 효성중공업의 하이브리드 스테콤 마스터 제어기는 두 장치에 상황별 무효전력과 관성 보조 역할 수행을 위한 출력을 능동적으로 제어하는 솔루션입니다.



국내 계통 망의 동향 |

에너지경제연구원의 '에너지통계월보(2024년 2월호)'에 따르면, 국내 신재생 발전설비는 2015년도 이후 연간 2~5GW 범위로 지속적으로 증가하고 있습니다. 2010년~2015년에 발생한 부하 증가를 대비하기 위하여 수도권 인근으로 복합화력 발전설비 용량이 증가하였고, 2017년 이후에는 세계적인 탈탄소화 움직임과 환경문제의 영향으로 화력 발전설비는 유지되고 신재생 발전원이 꾸준히 증가하고 있습니다. 기존의 동기 발전기 기반의 발전원이 인버터 기반의 발전원으로 변경됨에 따라 계통의 관성 부족 현상이 발생할 수 있습니다. 관성이 부족하면 부하 변동 또는 발전원의 갑작스런 탈락 시 주파수가 급격하게 변동할 수 있기 때문에 최근에는 동기조상기를 연계하여 계통에 최소 관성을 유지하고자 하는 노력을 하고 있습니다.

한편, '에너지통계연보(2022년호)'에 따르면 국내 송변전 손실 값은 2021년 기준 8,651GWh로 매년 막대한 에너지가 손실의 형태로 낭비되고 있습니다. 우리나라는 발전과 수요의 위치적 편차가 크기 때문에 비 수도권 지역에서 생산된 전력이 수도권으로 대규모 송전되는 구조를 갖습니다. 이와 같은 구조는 송전 제약에 따른 송전 손실이 커질 수 있고, 전압 안정도 문제가 발생할 수 있습니다. 스테콤은 이러한 송전 제약을 해소하고 전압 안정도를 가장 빠른 속도로 보상할 수 있는 장치입니다. 하이브리드 스테콤은 대규모 신재생에너지가 설치된 장거리 AC 망으로 구성된 계통에서 향후 발생할 수 있는 주파수와 전압 문제를 감감할 수 있는 다기능 솔루션이 될 것으로 예상됩니다.

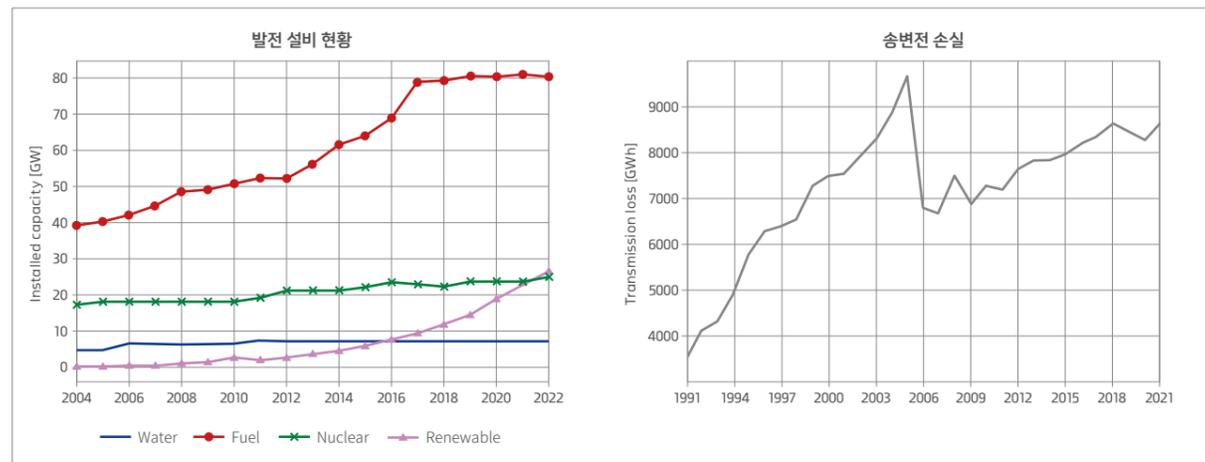


그림1 | 국내 발전설비 현황 및 송전 손실(에너지 경제 연구원 보고서)

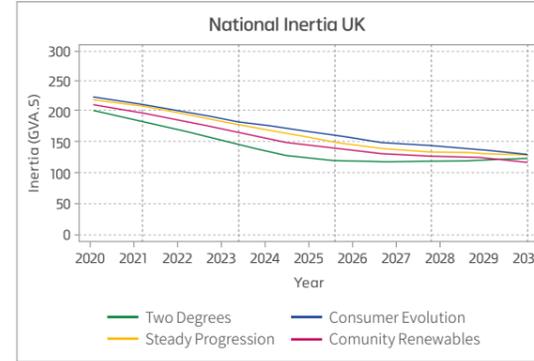


그림2 | 영국의 2030년까지 관성 감소 트렌드



그림3 | 하이브리드 스테콤 시스템 구성도

하이브리드 스테콤 솔루션 |

하이브리드 스테콤은 영국의 PHEONIX 프로젝트에서 최초 상용화 설치하였습니다. 영국은 계통 관성의 확보, 무효전력 공급, 전력전자 장치의 제어 성능 향상, 보호를 위한 고장전류의 확보 등의 목적으로 동기조상기와 스테콤을 결합한 하이브리드 형태의 프로젝트를 진행하였습니다. 특히 [그림2]와 같이 꾸준히 감소하고 있는 관성은 주파수 안정도 차원에서 해결해야 하는 최우선의 과제였습니다. 최근에는 국내와 미국에서도 관성 문제를 해소하기 위해 신규 동기조상기를 설치하거나 폐지되는 화력 발전기를 동기조상기로 변환하는 국가 차원의 연구개발이 진행되고 있고, 이것은 미래 계통에서 관성 제공이 가능한 하이브리드 형태의 솔루션의 필요성이 증가하고 있음을 시사합니다.

효성중공업 인도, 파나마, 사우디아라비아 등의 해외 계통과 국내 계통 여러 변전소에 납품 운영한 안정적인 스테콤 기술력과 플랫폼에 동기조상기를 결합하여 통합 협조 제어할 수 있는 마스터 제어기를 연구 개발 중에 있으며, 이를 통해 최종 하이브리드 스테콤 솔루션을 완성하여 미래 계통 변화에 선제적으로 대응하는 사업으로 추진하고자 합니다. [그림3]은 하이브리드 스테콤의 시스템 구성도이며, 본 시스템은 계통에 필요한 무효전력 및 전압을 조정하고 계통 변화에 따른 관성 에너지를 제공합니다.

하이브리드 스테콤은 전력 계통 운영자가 필요로 하는 다양한 제어 모드를 수행할 수 있습니다. 운영자의 제어 신호에 맞추어 특정 무효전력을 지속적으로 계통에 공급할 수 있으며, 급격한 전압 변화에 대하여 빠른 전압 제어를 통해 효과적으로 전압을 복구할 수 있습니다. 그리고, 주파수의 변동이 발생하면 동기조상기의 관성 보조 기능을 우선 수행하여 계통의 주파수 안정화에 도움이 될 수 있습니다. 마스터 제어기는 동기조상기와 스테콤의 서로 다른 응답 특성을 고려하여 상황에 맞추어 운전 상황을 제어합니다.

[그림4]는 하이브리드 스테콤이 제공할 수 있는 관성 보조에 따른 주파수 변화를 나타냅니다. 왼쪽 그림에서 하이브리드 스테콤을 사용할 경우 주파수 변화율이 완만해지고 주파수 하락 폭이 줄어들어 계통의 주파수 안정도를 향상할 수 있습니다. 이때, 우측 그림을 보면 주파수 변동 시점에 관성 보조를 위하여 유효전력 출력이 되는 것을 확인할 수 있으며, 이때 마스터 제어기는 동기조상기가 관성을 우선적으로 보조할 수 있도록 제어를 수행합니다.

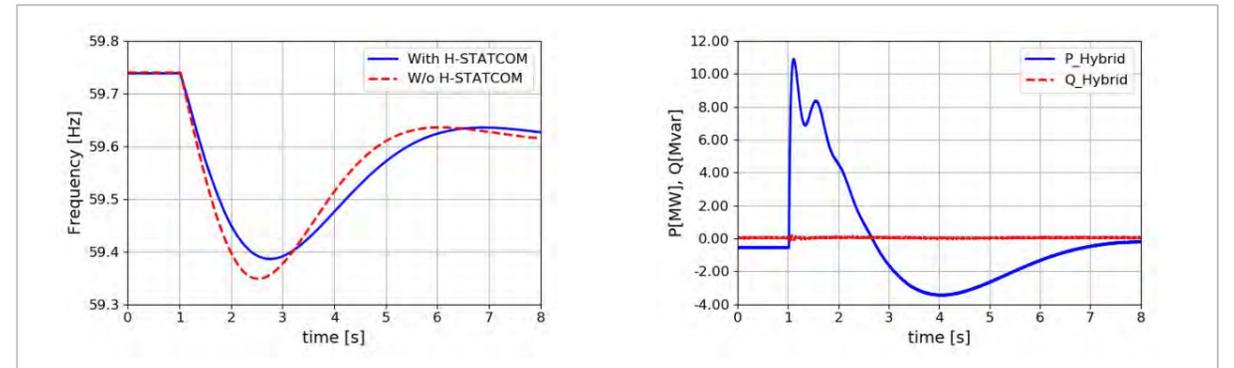


그림4 | Hybrid STATCOM의 계통 관성 제공 효과



정주용 Performance Manager
계통제어 기술팀



서우석 Performance Manager
계통제어 기술팀

재생 에너지의 증가에 따라서 송전망의 전압과 주파수 이슈가 발생하고 있으며, 향후 인버터 기반의 재생에너지의 증가에 따라 수용성과 안정성이 저하될 것으로 예상됩니다. 이를 해소하기 위한 솔루션으로 스테콤과 동기조상기를 이용하여 무효전력을 보상하고 관성을 제공하여 계통 신뢰도와 안정도를 향상할 수 있는 대안이 제안되고 있습니다. 효성중공업은 그동안 축적한 스테콤 제품과 기술을 바탕으로, 동기 발전기 제작사 또는 폐지 발전기 용도 변환 기술을 활용하여 미래 계통의 변동성과 안정도 향상에 기여하는 연구 개발과 사업화를 지속적으로 추진하고자 합니다.

ESS의 새로운 트렌드 '장주기 솔루션과 플로우 배터리'

태양광 발전 전기를 밤새 활용할 수 있는
장시간 운전 시스템

최근 글로벌 에너지저장시스템의 대표적인 동향은 1) 시스템의 대용량화, 2) 그리드 포밍 솔루션의 요구, 3) 마이크로그리드 및 가상발전소의 확대, 4) 장주기 에너지 저장장치의 요구입니다. 이중 장주기 에너지 저장장치는 충전 및 방전을 4시간 이상(특히, 10시간 정도)의 운전을 진행하는 시스템을 이야기하며 기존에 4시간 미만의 짧은 시간 동안 전력 시스템의 안정도 향상 중심의 운전을 하는 시스템(리튬이온 배터리를 주로 적용)과는 다른 특징을 가지고 있습니다. 효성중공업은 새로운 트렌드인 장주기 운전 솔루션으로 바나듐 플로우 배터리(흐름 전지)를 적용한 시스템을 구축하고, 장시간 운전의 신뢰성을 확보한 시스템 공급을 통해 급격한 성장이 예상되는 장주기 저장 장치 시장을 선도할 계획입니다. 플로우 배터리는 리튬이온 배터리와 다르게 화재가 없는 수계 전지로 열화가 없고 수명이 매우 긴 특성을 가지고 있어 전체 수명 기간 동안 에너지 출력이 큰 어플리케이션에 매우 유리한 특징이 있습니다.



| 에너지 저장 시스템(ESS, Energy Storage System) |

전력 계통은 운영 측면에서 소비가 발전을 이끈다는 말이 있습니다. 이는 “소비되는 전력만큼 발전이 된다”는 의미로 오랜 기간 동안 이 공식은 불변의 진리처럼 사용이 되었습니다. 전력전자 기술의 발전 및 임베디드 시스템 기술의 발전은 대형 배터리를 이용하여 이 불변의 진리를 변화시켰습니다. 발전된 전력은 에너지 저장장치라는 시스템을 통해 저장되고 다양한 요구를 반영한 시간에 자유롭게 전력 계통에 저장된 에너지를 주입할 수 있게 되었습니다. 이것은 “소비=발전”이라는 공식을 “소비=발전+저장”이라는 공식으로 바꾸었습니다. 이를 통해 발전은 매우 자유로운 형태로의 변화가 가능하며 간헐적인 또는 제어가 어려운 신재생이라는 발전을 규모 있게 계통에 반영시키는 기회를 제공합니다.

에너지 저장장치 시스템은 계통 연계를 위한 변압기, 전력 변환을 위한 PCS, 배터리로 구성되는 저압 시스템(~690Vac)이지만 배터리관리시스템(BMS), 에너지관리시스템(EMS) 등의 임베디드 시스템의 구성과 네트워크를 통한 빠른 속도의 데이터 공유를 필요로 합니다. 시스템 용량을 키우기 위해서 다수의 시스템을 병렬로 연계하며 하드웨어의 관점에서는 매우 단순한 시스템으로 보이지만 소프트웨어의 관점에서 다양한 요구에 대한 어플리케이션의 개발이나 동시에 다양한 요구를 반영해야 하고 고객의 수익을 안정적으로 보장하는 이용률(availability) 확보의 관점에서 꽤 복잡한 시스템입니다.

결국, 환경의 이슈로 인한 COP28, IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)의 요구에 대응하기 위한 신재생에너지의 급격한 증대는 지속적으로 에너지 저장 시스템의 필요성과 시장의 성장을 견인하고 있습니다.

| 장주기 에너지 저장장치(LDES, Long Duration Energy Storage) |

IEEE에서는 대략 20개가 넘는 에너지 저장 시스템의 운영 방식을 제안하고 있습니다. 국가별로 전력 계통의 구성이나 전기료에 따라서 다른 형태로 적용이 되고 있으나 기본적으로 전기료를 줄이기 위한 디맨드 요급 절감이나 전기료의 시간적 차이로 수익을 얻는 차익거래로 적용하였습니다. 신재생에너지의 비율에 따라서 전력 계통에서 요구하는 어플리케이션은 달라지며 근본적으로 해당 비율이 올라갈수록 장시간 운전되는 에너지 저장 시스템이 필요합니다. 40% 정도까지는 계통의 안정성 확보를 위한 4시간 미만의 시스템이 필요



하며, 60%까지는 계통의 유연성 확보를 위해 10시간 정도의 시스템이 필요합니다. 60% 이상의 경우에는 계통의 복원력을 확보할 수 있는 100시간 정도까지의 시스템이 필요하게 됩니다. 이때 대략 4시간 이상 12시간 이하 운영의 시스템을 장주기 시스템(LDES)이라고 이야기합니다. 태양광 발전 시스템의 잉여 발전량을 저녁 및 밤시간에 길게 방전해 주는 것을 대표적인 사용처로 볼 수 있으며 발전 피크 관리, 계통 혼잡도 관리, 기후 대응 복원력 등에 활용할 수 있습니다.

이러한 장주기용 시스템에서는 그에 적합한 저장장치가 필요하며 대표적인 것이 플로우 배터리, 양수발전시스템, 열저장장치, 수소저장장치, 압축공기 저장장치 등이 있습니다.

Long Duration Energy Storage families				
	Electrochemical 	Thermal 	Chemical 	Mechanical 
Description	Energy storage systems generating electrical energy from chemical reactions	Solutions stocking thermal energy by heating or cooling a storage medium	Systems that store electricity to drive a chemical reactor that produces liquid fuel	Solutions that store energy as a kinetic, gravitational potential or compression/pressure medium
Examples	<ul style="list-style-type: none"> Flow battery Metal anode Non-metal Chemical storage 	<ul style="list-style-type: none"> Sensible heat Latent heat Thermochemical 	<ul style="list-style-type: none"> Green hydrogen Methane Ammonia Methanol 	<ul style="list-style-type: none"> Compressed air energy storage Liquid air energy storage Pumped hydro storage Gravity based pumped storage Liquid CO2
Advantages	<ul style="list-style-type: none"> Flexibility Declining long-term costs Wide operating range 	<ul style="list-style-type: none"> No degradation Cycling throughout the day Modular options available Considered safe (low risk for inflammation) 	<ul style="list-style-type: none"> Potential range of footprint and RTE with relative higher C-rates Technology options either have inexpensive materials or require less expensive materials than LiB 	<ul style="list-style-type: none"> Proven via established technologies (pumped hydro) Considered safe Attractive economics

Source: LDES Council, Roland Berger

그림1 | 장주기용 저장장치의 종류 및 특징 (출처, LDES Council)

The technology readiness level of LDES technologies*

technology	technology	technology										
		Concept			Small to large prototype			Demonstration		Market uptake		Maure
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Electrochemical	VRFB											
	Na-S batteries											
	Iron flow batteries											
	Matal-air batteries											
Mechanical	Advanced-CAES											
	Gravity energy											
	LAES											
	Liquid CO ₂ storage											
Thermal	Sensible heat											
	Latent heat											

그림2 | 장주기용 저장장치의 기술발전 현황 (출처, Wood Mackenzie)

| 바나듐 플로우 배터리(VFB, Vanadium Flow Battery) |

플로우 배터리는 초기 투자비가 적게 들고 시스템의 설치와 운영이 매우 유연한 특징이 있으며 리튬이온배터리의 중요한 문제인 화재의 발생 가능성이 없다는 특징을 기반으로 현재 가장 유력한 솔루션으로 판단되고 있습니다. 양수 발전시스템은 적합한 설치 위치를 확보하는 것이 어렵고 발전설비를 포함한 비용이 커서 중/저용량 시스템에 적용하기 어려우며 수소저장장치는 전체 에너지 효율이 낮고 인프라 설비 투자가 크다는 단점이 있습니다.

대표적인 플로우 배터리는 바나듐, 아연-브롬, 철-공기 등이 있으며 이중 현재 기술의 발전 정도를 기준으로 볼 때 가장 상용화 되어있고 실적을 보유하고 있는 것은 바나듐을 이용한 플로우 배터리입니다. 따라서 효성중공업은 바나듐 플로우 배터리를 이용한 솔루션을 구축하고 계통연계 설비(BOP, Balance of Plant)를 포함한 표준화된 시스템(EMS/PCS/Battery)을 구축하여 고객에게 제안하고 있습니다.

바나듐 플로우 배터리는 양극/음극, 분리막, 카본펠트로 구성된 셀의 집합체인 셀스택을 중심으로 양극에 4~5개의 바나듐전해액, 음극에 2~3개의 전해액으로 흐름을 만들어 충전 및 방전을 진행하는 배터리입니다. 전해액의 흐름을 통해 충방전을 진행하므로 전해액을 담는 탱크 및 펌프를 가지고 있으며 전해액의 양을 조절하여 운전되는 시간을 자유롭게 조절할 수 있습니다. 운전 시간을 늘릴 때 배터리 제품 전체를 배수로 늘려야 하는 리튬이온배터리와 다르게 전해액을 늘리면 되므로 장시간의 시스템에 유리한 특징을 가지고 있습니다. 다만, 유지보수에 취약한 펌프를 적용하고 있으며 탱크 및 어셈블리가 필요하여 전체 시스템의 에너지 밀도가 떨어져 설치 면적을 많이 차지하는 단점이 있습니다. 지속적으로 운전이 되어야 하는 펌프와 직류전압을 승압하는 DC/DC 변환기에 의하여 효율이 낮아지는 단점도 존재합니다.

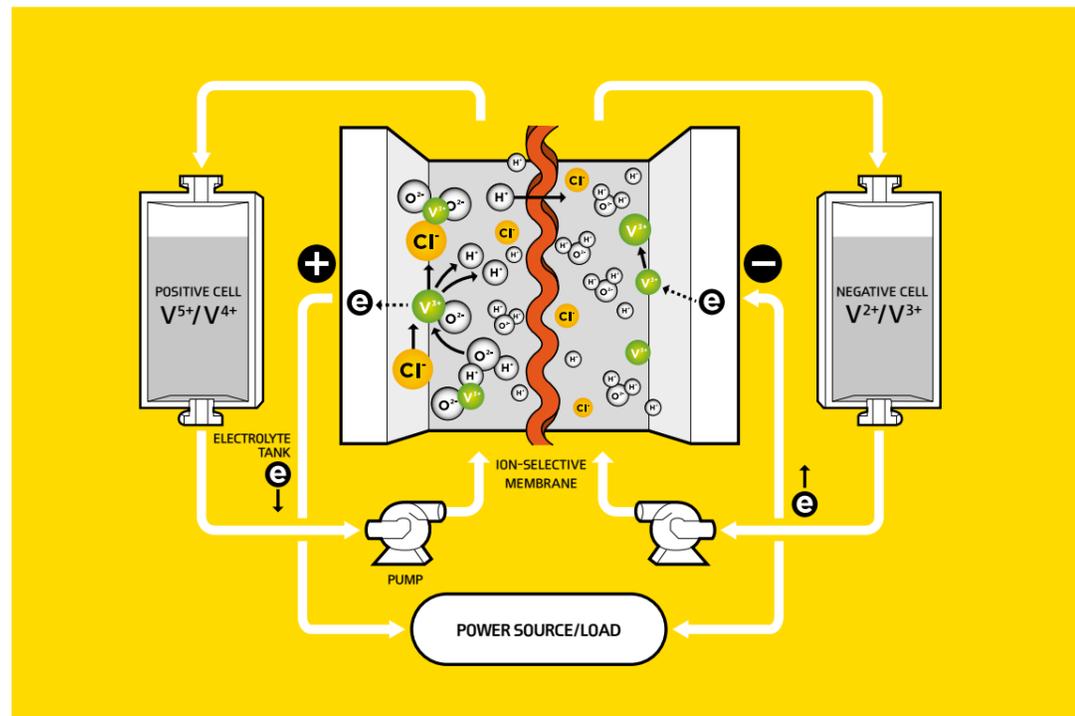


그림3 | 바나듐 플로우 배터리의 구조

효성중공업은 미국-영국을 기반으로 하는 인비티티 에너지 시스템즈(Invinity Energy Systems)와 협력을 진행하고 있으며 인비티티 에너지 시스템즈는 최근 20ft 컨테이너를 기반으로 셀스택 및 전해액을 모두 장착한 신제품 개발을 완료하였습니다. 해당 제품은 신뢰성 확보를 위하여 공장에서 모두 제작하여 운송이 되며 유지보수 방식을 단순화하여 설치 시 적층하여 에너지 밀도를 높이고 셀스택의 직렬연결을 늘려 DC/DC 변환기를 제거하여 시스템 효율을 향상시킵니다.

| 시스템 솔루션의 제안 |

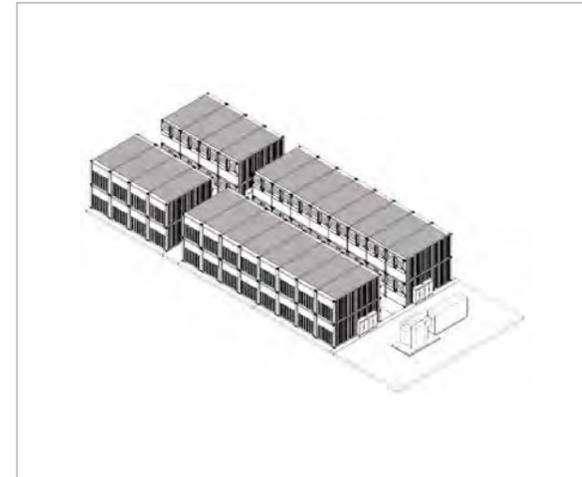


그림4 | 표준 시스템 제안 (출처, Invinity 3.6MW/14.4MWh)

바나듐 플로우 배터리를 이용한 시스템은 특히, 화재에 취약한 화학 플랜트와 같은 사이트에서 매우 필요한 시스템이며 표준 시스템의 구축을 통하여 신속한 고객 제안을 진행하고 고객의 요구사항을 반영하여 시스템의 운영 시간을 조절하여 최적화합니다. 플로우 배터리의 다른 경쟁사 대비 인비티티 에너지 시스템즈는 컨테이너를 적용하여 설치할 수 있으며 유지보수를 전면에서만 진행하므로 측면을 밀착하여 설치가 가능합니다. 이를 통해 설치 면적을 줄일 수 있으며 DC/DC 변환기를 제거하여 전체 시스템의 효율을 높였습니다. 표준 ISO 컨테이너를 사용하기 때문에 기술적으로는 7층까지 적층이 가능합니다. 다만 유지보수의 관점에서 2층~4층이 적절할 것으로 판단하며 배터리 업체는 2층 적층으로 일반적인 ESS PCS 용량인 3.6MW를 적용한 14.4MWh 시스템을 표준으로 제안(그림4)하고 있습니다.

하지만 효성중공업은 최근 고객의 요구를 반영하여 4층으로 적층된 시스템으로 동일한 공간에 7.2MW/28.8MWh 시스템을 구성하여 고객에게 제안하였습니다. 고객은 화재이슈에 대한 우려로 리튬이온배터리 외의 배터리의 적용을 희망하였으며 설치면적을 줄이기 위해서 4층을 적용한 제안을 진행하였습니다.

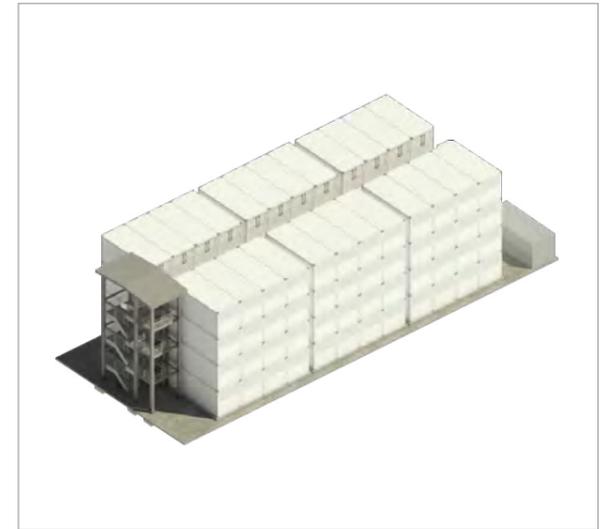
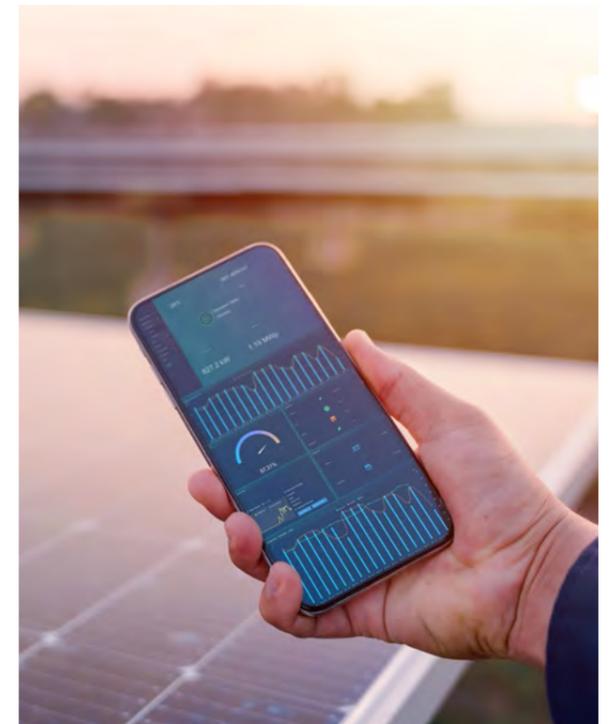


그림5 | 고객 시스템 제안(7.2MW/28.8MWh)



최대희 담당
ESS사업

신재생에너지 특히 태양광의 지속적인 성장은 에너지 저장시스템의 역할 중 장시간 운전을 필요로 하며 이는 기존 사용하는 리튬이온배터리와는 다른 특징의 배터리 시스템을 요구합니다. 다양한 저장장치 중 현재 가장 최적의 솔루션은 바나듐 플로우 배터리이며 이를 적용한 시스템 솔루션을 구축하여 고객에게 제공합니다. 큰 설치 면적과 낮은 효율의 근본적인 단점을 보완하는 플로우 배터리 제품의 확보와 효성중공업이 보유한 System Integration & EPC 역량 및 BOP 제품들을 적용하여 타사와 차별화된 장수명의 솔루션을 제공합니다. 장주기 에너지 저장시스템 시장은 급격한 성장이 예상되며 이러한 역량과 솔루션을 기반으로 효성중공업은 반드시 글로벌 시장을 리딩할 것입니다.

칠레 AIS 변전소를 GIS 변전소로 업그레이드 프로젝트

AIS 시장에서의 GIS 제안 솔루션

남미 전력 시장의 대부분은 BOT(Build-Operate-Transfer)와 같은 프로젝트 파이낸싱 형태의 사업으로 운용되고 있습니다. 이에 따라 초기 투자 비용이 낮은 AIS(Air insulated Switchgear)로 구성된 송변전 설비를 선호하였으나, 넓은 부지 면적을 사용함에 따른 부정적인 환경적 평가, 빈번한 유지 보수에 따른 관리 비용 상승, 상대적으로 높은 고장 확률에 의한 안정적인 전력 공급의 장애가 발생되어 왔습니다. 또한, 신재생에너지 증가에 따라 발전 사업자의 신뢰성 높은 기기 사용을 통한 안정적인 전기 공급에 대한 니즈가 지속적으로 증가하고 있습니다. 이에 따라 효성중공업은 풍부한 GIS(Gas insulated Switchgear) 납품 경험과 노하우를 기반으로 고객의 니즈에 부합할 수 있도록 변전소 초기 설계 단계부터 다양한 기술 지원을 통해 AIS 변전소를 신뢰성 높은 GIS 변전소로 전환하는 솔루션을 제공하고 있습니다.



칠레 AIS 변전소를 GIS 변전소로 업그레이드 프로젝트 |

칠레는 광물 산업의 활성화에 따라 전력 수요가 급격히 증가하고 있으며, 전력 확보를 위한 신재생(태양광) 발전과 이와 연계한 전력 산업이 지속 증가하고 있습니다. 효성중공업은 이러한 전력 시장에서 고객에게 변전소 설계 단계부터 신뢰성이 높은 GIS 기반의 변전소를 제안하는 솔루션을 제공하고 있으며, 고객과의 지속적인 협력을 통해서 변전소 설치 비용을 최소화하고, 보다 신뢰성 높은 전력 공급이 될 수 있도록 지원하고 있습니다.

특히, 남미 지역의 경우 GIS 변전소의 적용 경험이 많지 않기 때문에 GIS 변전소 설계의 어려움이 있습니다. 이를 파악하여 칠레에서 초기 설계 단계부터 고객과 최적의 변전소 구성과 GIS 적용 사양 협의를 위한 지속적인 기술 미팅 등

다양한 기술 협력을 통해 CEN(National Electricity Coordinator of Chile)의 La-Ligua 및 Totiue 2개 AIS 변전소를 GIS 변전소로 변경하는 업그레이드 프로젝트가 최종 승인되어 현재 생산 및 납품을 대기하고 있습니다. 금번 GIS 변전소 업그레이드 프로젝트를 통해 부지 면적은 58% 이상 축소가 가능하였으며, 옥외형 GIS를 적용함으로써 초기 투자 비용도 AIS 대비 19% 절감할 수 있었습니다. 이는 일반적으로 GIS 변전소가 AIS 변전소보다 초기 투자 비용이 작게 들 수 있다는 것을 보여주는 사례이며, 향후 LCC(Life Cycle Cost)를 감안하면 더 경제적이고, 신뢰성 높은 GIS를 적용함에 따라 보다 안정적인 전력을 공급할 수 있게 되었습니다.

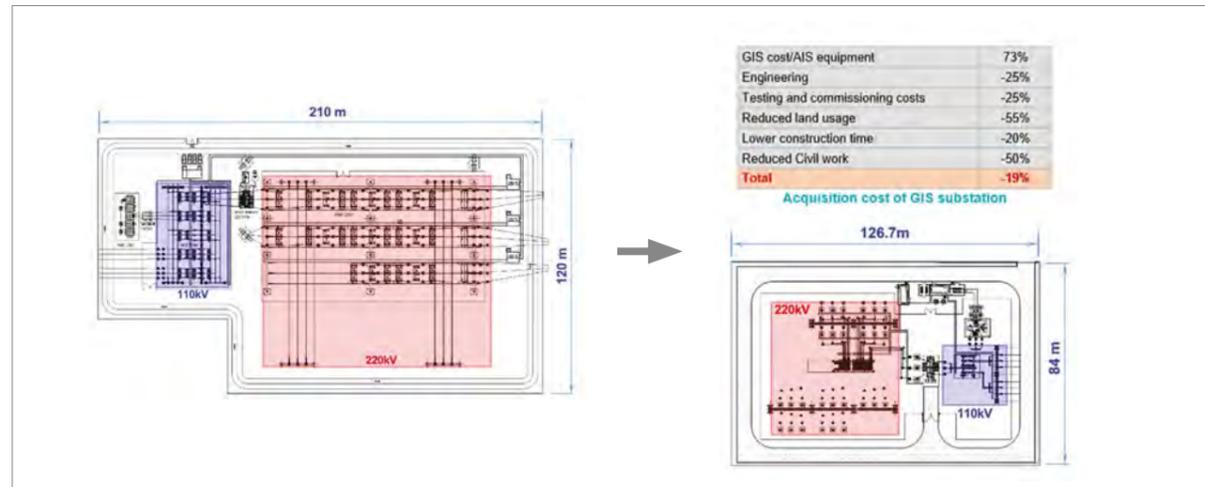


그림1 | 220/110/23kV GIS Substation in Chile (La-Ligua Substation)

옥외형 GIS 제안과 이에 따라 고려되어야 할 사항 |

옥외형 GIS 적용은 초기 투자 비용을 줄일 수 있으나, 다양한 환경 조건에 직접 노출되어 환경 조건에 맞게 설계되지 않은 GIS를 적용할 경우 품질 신뢰성을 저하시킬 수 있으며 기기 운영과 유지보수에 어려움을 겪을 수 있습니다. 또한, 이로 인해 안정적인 전력 공급을 저해할 수 있습니다. 따라서, 제조사의 옥외형 GIS에 대한 다년간의 운전 경험을 바탕으로 축적된 높은 수준의 기술력과 신뢰성이 확보되어 있어야만 옥외형 GIS 제안이 가능합니다. 이러한 점에서 효성중공업은 다양한 기후 조건과 환경 조건에서 최대 정격 전압인 800kV GIS까지 다양한 기종에서의 운전 실적과 30년 이상의 옥외형 GIS 운전 경험을 바탕으로 고객이 요구하는 사양에 맞는 최적의 GIS를 공급 가능합니다.

요소	문제점	해결 방안
강우(rain)	· 기밀면(플랜지) 부식 · SF ₆ 누기	· 이중 기밀 시스템 적용 · 방수 구조 제어/조작함 적용
저온 환경	· 절연물, 기밀부품 등의 특성 변화	· 저온 내력의 O-ring 및 윤활제 적용 · 외함 히터 적용(필요시) → SF ₆ 가스 액화 방지
염분 및 산업 공해	· 금속 재료의 부식 · 절연물 표면 오염 (크랙 발생)	· 비부식 도료 및 윤활제 적용 · 제어/조작함 기밀 구조 적용 · 절연물 및 기밀면 오염 방지
해충/곤충 침입	· 제어/조작함 내 곤충 침입 · 방압변 내부 새집(조류) 등 발생	· 제어 조작함 방진 구조 적용 · 방압변 보호 커버 설치
빙설(얼음/눈)	· 침투된 수분의 결빙에 균열 (기밀면)	· 적설에 대한 방지 커버 설치 · 이중 기밀 시스템 적용
태양열	· 추가적인 온도상승과 열수축 현상	· 온도 상승 방지 커버 설치 (필요시) · 자외선 차단 도료(색상/필름) 적용(필요시)
습도 및 결로	· 제어/조작함 내 결빙으로 인한 부식	· 히터 용량 및 개선품 적용 · 제어/조작함 기밀 구조 적용
고온 환경	· 외함의 열신축 및 온도상승 유발	· 열신축을 고려한 벨로우즈 설치 · 열용량을 고려한 GIS 적용

표1 | 옥외형 GIS 적용 시 고려되어야 할 주요 사항



그림2 | 효성중공업 옥외형 GIS 주요 실적

AIS 변전소에서 옥외형 GIS 변전소 업그레이드의 다양한 제한 솔루션 |

GIS는 신규 변전소 적용뿐만 아니라, 기존 AIS로 운영 중인 변전소에서의 다양한 요구 조건으로 인해 GIS로 대체하거나, AIS 증설을 위한 공간이 부족할 경우 GIS로 대체하여 설치가 가능합니다. 기존 AIS 변전소의 전력 수요 증가에 따른 변전 기기 용량 증대에 따른 변전 기기를 교체할 경우, 변전 기기 노후화에 따라 교체할 경우, 혹은 전력 수요 증가에 따라 전력 기기를 추가로 증설이 필요할 때 설치 공간 부족 할 경우 GIS 변전소를 적용하는 것이 최선의 해결 방법일 수 있습니다. 이는 GIS 변전소를 적용할 경우 전력 설비 교체 시 정전 시간을 최소화할 수 있는 최선의 방법일 수 있으며, 소형화된 GIS 적용으로 인해 추가적인 설치 공간 없이 설치가 가능할 수 있을 뿐만 아니라 보다 경제적이 될 수 있습니다.

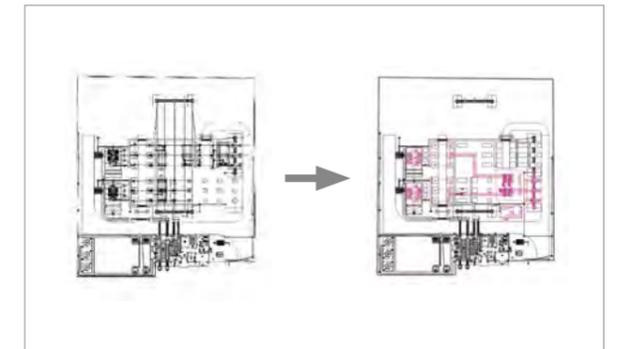


그림3 | 110kV AIS 변전소를 220kV GIS 변전소로 전력시스템 upgrade



노태성 Performance Leader

글로벌 Solution Engineering팀

전력 시장의 신재생에너지로의 변화로 인해 신규 변전 기기의 수요가 급격히 증가하고, 노후화된 AIS 변전 기기의 교체에 따라 소형화되고 신뢰성 높은 옥외형 GIS로의 적용은 최선의 대안일 수 있습니다. 효성중공업은 30년 이상의 풍부한 GIS 설계 및 운전 경험을 기반으로 오랜 기술 노하우를 통해 고객의 니즈에 맞춰 다양한 기술 제안이 가능합니다. 옥외형 GIS 변전소는 LCC를 고려할 경우 AIS 변전소 대비 더욱 경제적이 될 수 있으며, 신뢰성 높은 GIS 적용에 따른 안정적인 전력을 공급할 수 있습니다. 효성중공업은 변전소 설계 초기 단계부터 기술적 지원을 통해 성공적인 변전 설비가 운영될 수 있도록 최적의 솔루션을 제공합니다.

해상풍력 시대의 신뢰성을 갖춘 전력 기자재 Supply Chain

효성중공업의 해상풍력 솔루션

전기화가 탄소중립 달성에 핵심 수단으로 떠오르면서, 신재생 발전원으로서의 전환에 따른 발전 용량 증대가 전세계적으로 일어나고 있습니다. 이러한 트렌드에 따라 입지 선정이 자유롭고 대형화가 가능한 해상풍력 산업이 크게 성장할 것으로 전망됩니다. 효성중공업은 이러한 시장 변화에 맞추어 변압기, 차단기로 대표되는 기존 전력 제품의 강점과 해상풍력에 대한 이해를 바탕으로 SF₆ Free 차단기, 생분해성 에스테르유 변압기, 보상설비(분로리액터, STATCOM), BESS/PCS 등의 다양한 솔루션 공급이 가능한 안정적이고 신뢰성 높은 Supply Chain입니다.

| 해상풍력 글로벌 트렌드 |

친환경 에너지 시대를 맞이하여 대규모 에너지 발전과 높은 품질안정성을 가지는 해상풍력이 확대되고 있습니다. 해상풍력은 풍량 및 풍속과 바람의 연속성이 좋은 바다에 설치하여 입지 선정에 대한 제약이 줄어듭니다. 이러한 장점으로 인해 전세계적으로 해상풍력 신규 설치 및 투자가 활발하게 이루어지고 있습니다.

- 미국: 2030년까지 30GW, 2050년까지 110GW 용량 달성
- EU: 2030년까지 510GW의 풍력 용량 필요



Country	'23-'32 addition plan (MW)	Country	'23-'32 addition plan (MW)
Germany	31,688	Iceland	10,000
Netherlands	19,040	Vietnam	6,000
Poland	10,900	Ireland	4,975
Denmark	10,600	Belgium	2,917

표1 | 국가별 해상풍력 도입 계획(2023년~2032년)
Source: Global Electricity Transmission Report and Database, 2023-2032

| 해상풍력사업 개요 |

해상풍력단지의 용량이 작고 육상까지의 거리가 짧은 경우, Inter-array로 이루어진 내부 전력망을 계통(육상변전소)과 직접 연계하는 방식을 주로 사용합니다. 하지만 용량이 크고 먼바다에 설치된 경우, 선로에서 발생하는 전력손실을 줄이기 위해 전압을 높여 계통과 연계합니다. 이를 위해 해상변전소가 필요하며, 적용되는 변압기와 차단기는 적합한 용량과 해양 특수 환경에 견딜 수 있는 성능을 확보해야 합니다.

또한, 먼바다에 설치된 해상변전소와 육상변전소를 연결하는 장거리 해저케이블(Export Cable)의 Capacitive 성분으로 인해 전압 상승이 발생할 수 있습니다. 이는 계통 안정도에 악영향을 끼치므로 해상변전소에 분로리액터(Shunt Reactor, 이하 Sh.R)를 설치하여 계통 안정도를 높일 수 있습니다. 육상변전소에서는 변압기를 통해 계통 전압과 동일한 전압으로 승압 또는 강압하여 계통 연계를 완료합니다. 이와 더불어 계통 전압을 수용기까지 일정하게 유지하고 안정적으로 공급하기 위해 무효전력을 공급할 수 있는 가변리액터(VSR), STATCOM 등의 무효전력보상장치가 고려되어야 합니다.

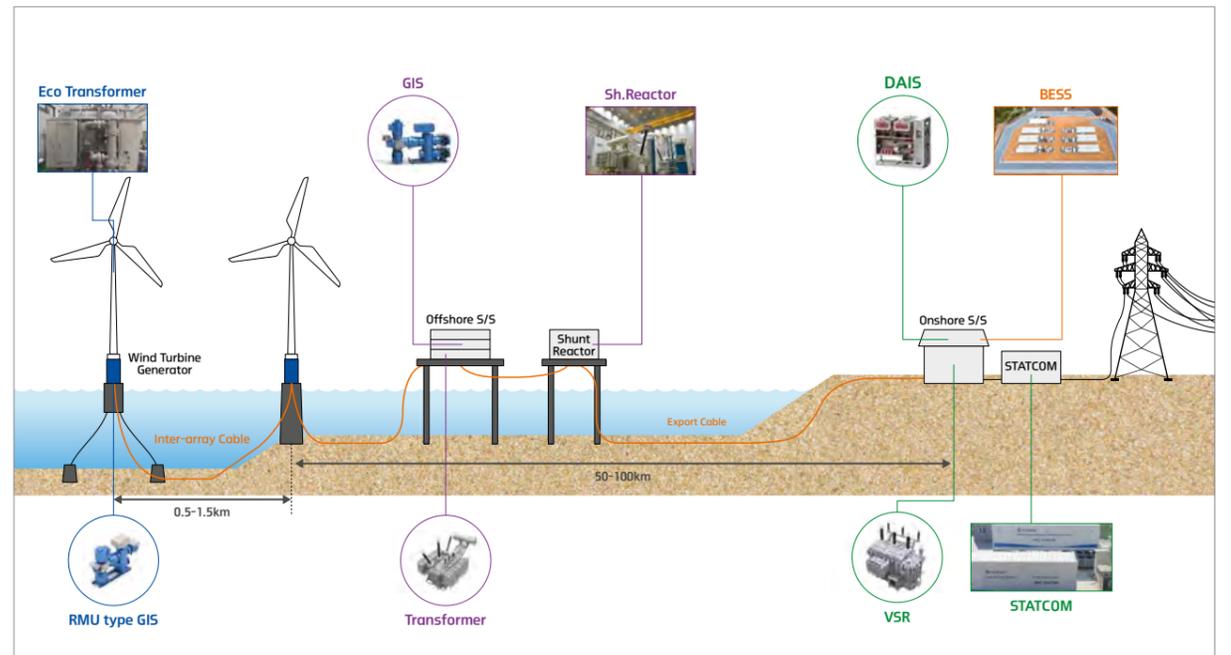


그림1 | 해상풍력단지 도식도



효성중공업 제품군 |

효성중공업은 해상풍력에 필수적으로 적용되는 [그림1] 해상풍력단지 도식도에 표시된 주요 전력 기기의 패키지 공급이 가능한 안정적이고 신뢰성 높은 Global Supply Chain입니다. 효성중공업이 공급 가능한 주요 제품군별 강점은 아래와 같습니다.

차단기

효성중공업은 IEC, IEEE, KS 등의 국제규격 기준을 만족하는 GIS(Gas Insulated Switchgear)를 개발하여 유럽, 미국, 아시아 등의 국가에 1980년부터 16,000개 이상을 공급하였습니다. 전압은 72kV부터 800kV까지, 차단전류는 80kA까지의 다양한 라인업을 기반으로 고객의 요구사항에 적합한 신뢰성, 안정성, 경제성을 갖춘 제품을 공급할 수 있습니다.

특히, 145kV까지는 V.I(Vacuum Interrupter)와 Dry Air를 적용한 "GWP 0"의 SF₆ Free GIS를 개발하여 풍력터빈에 적용 가능한 RMU(Ring Main Unit) Type GIS 공급이 가능하며, 이를 확대 적용하여 해상변전소와 육상변전소에도 적합한 해상풍력 맞춤형 솔루션을 제안할 수 있습니다.

이와 더불어 디지털 전환에 맞추어 자체 개발한 LPIT(Low Power Instrument Transformers)와 MU(Merging Unit)를 통해 공간, 설치, 유지보수 등에 장점이 있는 디지털 솔루션을 공급할 수 있습니다.



그림2 | SF₆ Free GIS

초고압변압기

효성중공업은 60년 이상의 초고압변압기 공급 노하우를 통해 매우 신뢰성 높은 자체 설계 프로그램을 개발하였습니다. 이를 바탕으로 고객의 요구사항에 적합한 신뢰성 있는 설계를 제안할 수 있습니다. 기존의 광유변압기는 물론 식물성, 합성 절연유 변압기 모두 설계 및 제작이 가능하며, 생분해성 에스테르유 변압기의 경우 400kV 1,100MVA까지 공급 가능합니다. 생분해성 에스테르유 변압기는 생분해성 에스테르유의 적용으로 자기 소화성이 높아 화재에 안전적이며, 수분 포화도가 높아 광유 대비 긴 제품 기대수명을 실현할 수 있습니다. 특히, 생분해성이 높은 강점이 있어 환경 오염 문제에 민감한 해상변전소에 최적의 솔루션으로 고려될 수 있습니다.

리액터(Shunt Reactor)

풍력, 태양광과 같은 다양한 발전원에서 생산된 전력들이 케이블을 통해 계통에 연계될 때 계통 안정도에 악영향을 미칠 수 있습니다.

이를 극복하기 위해 해상변전소에는 해저케이블의 정전용량을 보상하기 위해 무효전력 값이 고정된 Fixed Shunt Reactor(FSR)가 주로 적용되며, 발전량에 따라 무효전력 보상량이 달라지는 육상변전소에는 Variable Shunt Reactor (가변리액터, VSR)가 적용되고 있습니다. Variable Shunt Reactor (VSR)은 탭(Tap)을 조정하여 리액터의 용량을 변경할 수 있기 때문에 이러한 상황에서 보다 경제적이고 높은 신뢰도로 대응할 수 있습니다.

효성중공업은 미국, 호주, 한국 등에 광범위한 전압 조정이 가능한 VSR을 공급하였습니다. 전압은 최대 765kV까지, 용량은 단상 110MVar, 3상 250MVar까지 공급 가능합니다.



그림3 | Variable Shunt Reactor



STATCOM (Static Synchronous Compensator)

스태콤은 풍력, 태양광과 같은 신재생에너지 발전원의 계통 연계 규정(Grid Code)을 만족시켜 계통 불안정을 방지하고 송전 용량을 극대화하는 역할을 합니다. 특히, MMC(Modular Multilevel Converter)의 전압원 컨버터 기술을 이용하여 기존 2-3레벨 컨버터보다 높은 성능, 낮은 손실 및 낮은 고조파 발생 등의 장점을 실현했습니다.

효성중공업은 자체 개발한 기술을 바탕으로 유럽, 미국, 중국 등의 국가에 신뢰성 있는 제품을 공급하고 있으며, VOC(Voice of Customer)와 시장 분석을 통해 개발한 이동성이 확보된 컨테이너형 모바일 스태콤으로 고객의 요구사항에 맞추어 경제적인 솔루션을 제안할 수 있습니다.

이러한 기술력을 바탕으로 글로벌 해상풍력 시장으로 더욱 활발하게 사업을 확장하고 있습니다.

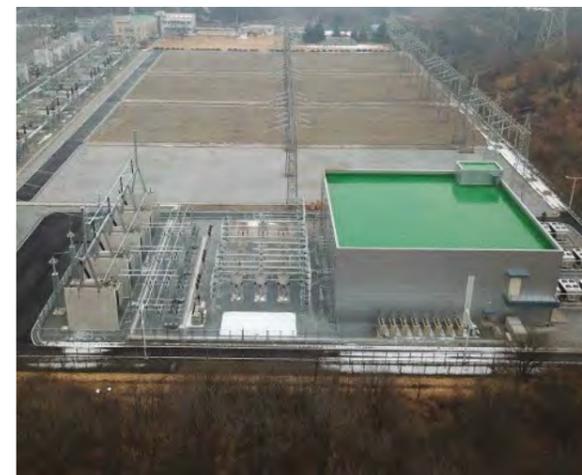


그림4 | Building Type



그림5 | Container/Mobile Type

BESS/ PCS

발전출력의 변동성이 큰 풍력발전전 BESS(배터리 에너지 저장장치, Battery Energy Storage System)를 연결하면 주파수 조정, 출력 안정화, 피크 전력 감소 등을 유도할 수 있습니다. 효성중공업은 CE/UL 인증을 완료한 BESS의 핵심부품인 PCS(Power Converter System)에 대하여 다양한 제품군을 보유하고 있습니다. 이를 바탕으로 국가별 계통 연계 규정(Grid Code)을 이해하고 계통 상황을 반영하여 고객의 만족도를 극대화하는 솔루션 제안이 가능합니다. 효성중공업은 미국, 영국을 포함하는 7개 이상의 나라에 총 2.7GWh의 BESS를 설치했으며, 특히 아프리카 최대 규모의 남아공 BESS 구축 프로젝트를 수행하였습니다.



그림6 | 남아공에 설치된 BESS 현장



권륜기 Performance Manager
글로벌 Solution Engineering팀



이지원 Professional
글로벌 Solution Engineering팀

지구 온난화의 위기의식에 따른 탈탄소화 흐름이 가속화되고, 신재생에너지에 대한 도입이 전 세계적으로 가속화되고 있습니다. 이러한 트렌드에 따라 대규모 에너지 발전과 품질 안정성이 높은 해상풍력에 대한 각국의 투자 및 프로젝트가 계획되고 있습니다.

해상풍력단지의 경우 주로 400-500MW의 규모이지만, 유럽 등에서는 1GW 이상의 프로젝트가 확대되고 있습니다. 이러한 해상풍력의 다양한 발전 규모에 따라 고객의 요구사항은 점점 다양해지고 있으며 효성중공업은 이러한 고객의 니즈에 맞춘 전력 제품의 제안이 가능합니다. 또한, 친환경 전력기기 개발을 통해 인간과 환경 모두를 위한 지속 가능한 친환경 인프라 구축을 지원하고 있습니다.

AR 기반 비전검사 시스템 도입 및 활용을 통한 지능형 품질검사 체계 구축

차세대 장비 도입을 통한 품질향상 및 생산효율 극대화

제어 자동화, IoT/ 네트워크, 빅데이터, AI 등 4차 산업혁명과 더불어 우리의 일하는 방식도 과거의 수작업 형태에서 디지털화, 자동화로 점차 변화하고 있습니다. 'AR 기반 비전검사 장비'는 변화하는 제조 환경에 유연하게 대응하기 위해 개발된 장비로, 사람이 하던 검사를 3D 모델링과 검사 장비가 대신하여 품질과 생산효율을 향상시키는 장비이며 효성중공업은 차세대 장비 도입을 통한 품질향상 및 생산효율 극대화를 추구하고 있습니다.



AR 기반 비전검사 장비 도입 배경

노동시간 제한으로 인한 경영환경 변화, 고령화로 인한 생산성 저하, 젊은 인재 부족과 인구감소, 글로벌 저성장 시대 진입, 코로나로 인한 비대면 및 원격 사회로의 전환 등 제조 환경이 빠르게 변화하고 있습니다. 주요 선진국은 정부 주도의 제조업 부흥 전략을 수립하여 스마트 공장 확산 및 고도화를 추진 중이며, 다품종 유연 생산 등 제조업 트렌드 변화에 적극 대응하고 있습니다. 이러한 환경변화에 뒤처지지 않기 위해 제조 경쟁력 강화 및 혁신의 도구로서 IT 기술을 활용한 스마트팩토리 구축은 4차 산업혁명 시대의 기업 생존을 위한 필수 요소입니다.

AS-IS: 기존 업무방식

- 직관성이 떨어지는 2D 도면 활용, 제한된 업무 효율
- 불량률 감소를 위해 더욱 많은 시간을 소모
- 개인 능력에 따라 달라지는 검사 품질

TO-BE: AR 기반 업무혁신

- 3D 설계 정보의 직관적 표출을 통해 작업자 시각 인지 강화
- 강화된 인지능력을 통해 외형 검사 신속 수행
- 수행 결과보고서 자동 추출
- 단축된 검사 시간을 더욱 중요한 검사 항목에 배분
- 설계 관련 커뮤니케이션 효율 강화



AR 기반 비전검사 장비: 혁신적 외형검사 도구

스마트팩토리 활동의 일환으로 효성중공업 품질관리팀은 생산성과 품질향상을 위해 혁신적 외형 검사 도구인 'AR 기반 비전 검사 장비'를 도입하였으며, 이 장비는 아래와 같은 특징을 가지고 있습니다.

- 유사하지만 다른 다양한 제품의 생산을 위해 개발되는 수많은 설계정보들의 현장 활용을 통해 생산 효율을 증대
- 제품의 품질 이슈를 3D 설계 정보를 기반으로 손쉽게 검사하고 사전에 인지 및 조치, 비용감소 및 고객만족도를 향상
- 3D 설계 정보 활용을 통해 신속하고 효율적인 외형 검사를 지원하며, 단축된 시간을 용접검사, 특성시험 등 더욱 중요한 부분의 검사에 활용
- 수행한 검사의 결과를 디지털화하여 손쉽게 보고서로 출력할 수 있으며, 중간 생산물 검사, 용접 방향 위치 확인 등 생산 과정 전반에 걸쳐 다양하게 활용 가능

AR 기반 비전검사 장비 구성요소

Twyn Studio	Twyn View	Twyn Documentation
데스크탑 소프트웨어 (Window OS)	모바일 App (iPad)	검사 결과보고서 생성 도구
<ul style="list-style-type: none"> • CAD 설계정보 기반 Digital Twin 생성 • Data 외부 기기로 전송 	<ul style="list-style-type: none"> • 3D 설계정보 시각화 및 검사도구 어플리케이션 • 자동화된 객체 지속 트래킹 	<ul style="list-style-type: none"> • 합부 결과보고서를 생성

AR 기반 비전검사 효과

- 검사 효과 증대: 외관·치수불량의 후공정 유출 방지
- 검사 효율 향상: 기존 검사방법 대비 평균 95% 절감

제품군	부품명	검사시간(분)		
		도입 전	도입 후	단축율
초고압변압기	탱크	180	6	97%
	탱크커버	60	6	90%
	콘서베이터	120	3	98%
배전변압기	탱크	120	6	95%
	탱크커버	60	6	90%
	콘서베이터	90	3	97%
AR 기반 비전검사		105	5	95%

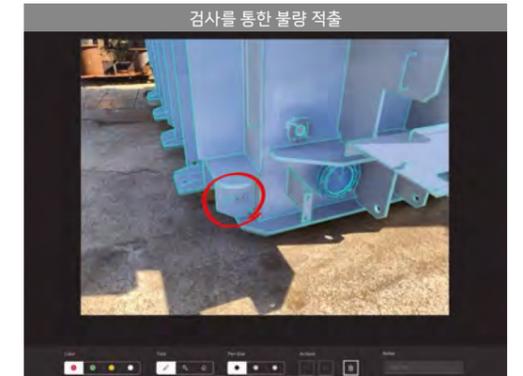
AR 기반 비전검사

스마트팩토리 활동의 일환으로 효성중공업 품질관리팀은 생산성과 품질향상을 위해 혁신적 외형 검사 도구인 'AR 기반 비전 검사 장비'를 도입하였으며, 이 장비는 아래와 같은 특징을 가지고 있습니다.

- 수입검사 활용: 부품



3D 모델링과 피검사품 오버랩



검사를 통한 불량 적출

- 최종검사 활용: 제품



3D 모델링과 피검사품 오버랩



백철우 Performance Manager
품질관리팀

효성중공업은 검사공정 자동화를 통해 생산성과 품질을 혁신적으로 향상시키고 있습니다. 나아가 수집된 데이터를 분석하고 제품 및 공정개선에 활용하여 비용을 절감함으로써 고객과 회사의 이익을 극대화할 계획입니다.

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES



전력PU

- 국내 전력공급에 필요한 핵심제품의 70% 생산
- 미국, 인도, 중국에 해외 생산거점 운영
- 전력설비 / 전력시스템 / 디지털솔루션 / 웰딩솔루션



기전PU

- 국내 1위 전동기 생산 판매 업체
- 폭넓은 산업제품 Line-up을 통한 시스템 엔지니어링 사업수행
- 전동기 / 발전기 / 산업기계 / 기어솔루션



풍력사업단

- 국내 최초 750kW / 2MW / 5.5MW급 풍력발전 시스템 개발
- 풍력 핵심부품, 풍력 터빈, EPC, O&M 등 풍력의 토탈 솔루션 제공



건설PU

- 국내 최초 빌라타입 주거 건물 도입
- 아파트, 오피스빌딩 등 다양한 건설분야 참여



효성중공업
홈페이지



효성중공업
YouTube



효성중공업
Instagram



효성중공업
Facebook



효성중공업
LinkedIn

발행책임자 | 요코타 타케시 부사장
 편집위원장 | 박정호 상무
 편집위원 | 권기영 전무, 박태영 전무, 연구찬 상무, 권순동 Performance Leader, 김진달래 Performance Leader, 조지 시가닉
 기술협조 | 한영성 상무, 장재성 상무, 신성철 상무, 최종락 Performance Leader
 편집부 | 류은지 Performance Manager
 발행처 | 효성중공업(주)

본 지에 실린 글과 사진은 무단 전재하여 사용할 수 없습니다.
 All right reserved by Hyosung Heavy Industries Corporation