2023년 VOL.3

POWER TECHNOLOGY MAGAZINE

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

효성중공업 전력기술 매거진

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

효성중공업 전력기술 매거진 2023년 VOL.3 HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

www.hyosungheavyindustries.com
서울시 마포구 마포대로 119
TEL 02-707-6000 I FAX 02-707-7799

목차

CEO 인사말 03

국내 최초 400kV급 친환경 절연유 변압기 개발 04
Global Top 수준의 효성중공업 친환경 절연유 변압기

저진동 지하변전소용 차단기 개발 06
진동저감 설계를 적용한 싱가포르 지하변전소용 차단기 개발 사례

아프리카 최대 규모의 에너지저장장치 (ESS) 구축 사업 08
효성중공업, 남아공 전력회사 1단계 사업의 Package-2, 3 수주

전력산업 헤게모니의 변화, 전력설비 자산관리 10
전력설비 자산관리(APM: Asset Performance Management) 기술 동향 및 ARMOUR

솔루션엔지니어링 기술 14
시스템 엔지니어링 기반의 고객 맞춤형 솔루션 제공

효성중공업의 Mobile 전력설비 Solution 16
친환경적 Compact한 구성의 High Quality를 갖춘 Mobile Solution을 제공합니다

FIT(Fast Innovation Team) 활동을 통한 품질경쟁력 확보 20
초일류 품질 달성을 위한 FIT팀 활동

디지털화를 통한 지능형 공장 구축 및 공장현황 실시간 가시화 22
공정 자동화를 통한 품질향상 및 생산효율 극대화

재생에너지 수용성 향상을 위한 MVDC 24
중압직류송전: MVDC (Medium-Voltage Direct Current)

편집후기 26

CEO 인사말

여러분 모두의 가정에 건강과 행복이 가득하길 진심으로 기원합니다.

지난 몇 년간 유례없는 COVID-19 시대를 지나 일상으로 다시 돌아가고 있으며, 급변하는 시장환경 속에서 효성중공업은 새로운 성장기회를 모색하고 있습니다. 지속가능한 미래를 위한 탄소중립 및 에너지 전환(Energy Transition)을 실현하는 데 전기화(Electrification)는 가장 핵심적인 수단입니다. 인류의 삶을 지탱하는 전력망은 그 어느 때보다 중요한 임무를 맡고 있습니다. 글로벌 전력산업을 선도하는 토탈 에너지솔루션 리더로서 효성중공업은 전력시스템 혁신을 통해 저탄소사회(Low Carbon Society)를 실현하는 미션을 향해 나아가고 있습니다.

효성중공업은 R&D를 통해 고객과 사회가 요구하는 미션에 집중하여 전력기기 탈탄소화와 유연하고 안정적인 전력망 혁신에 초점을 맞추고 있습니다. 효성중공업은 송배전망 주요기기인 변압기, 차단기 등을 전 세계에 공급함으로써 신뢰성 있고, 효율적인 송배전망 구축에 기여하고 있습니다. 또한, 전력망 공급 유연성과 효율성을 높이는 BESS, STATCOM, DC 솔루션 등 차세대 기술로 전 세계 에너지 전환에 핵심역할을 수행하고 있습니다.

그리고 국내 최초로 서비스를 제공한 전력설비 자산관리 솔루션(ARMOUR)으로 디지털 기반으로 전력설비운영 수명을 개선하고 있습니다. 다음 세대를 위한 친환경 절연유 변압기, 친환경가스, 건조공기를 활용한 친환경 가스절연개폐장치를 성공적으로 개발하여 친환경 전력기기 전환을 추진하고 있습니다.

무엇보다도 효성중공업은 과거부터 중시해 온 'VOC(Voice of Customer)'를 더욱 경청하기 위해 더 현지화된 조직으로 고객이 원하는 솔루션을 제공하는 데 집중하며 고객에게 더 가까이 다가가겠습니다.

Total Energy Solution Leader for Tomorrow, 효성중공업!

효성중공업㈜
대표이사 **요코타 타케시**

“

글로벌 전력산업을 선도하는 토탈 에너지솔루션 리더로서 효성중공업은 지속가능한 미래를 위한 탄소중립 및 에너지 전환을 실현하기 위해 지속적인 R&D와 VOC 경청을 통해 고객과 사회가 요구하는 미션에 집중하고 있습니다.

국내 최초 400kV급 친환경 절연유 변압기 개발

Global Top 수준의 효성중공업 친환경 절연유 변압기

오늘날 전 세계적으로 Green-Energy에 대한 수요가 증가하고 있으며 친환경 전력기기 또한 필수적인 환경이 되었습니다. 변압기 부문에서는 고전적으로 사용되던 Mineral Oil의 유출에 따른 토양 및 수질의 오염 및 화재 발생의 문제를 해결하기 위한 대체 절연유로 에스테르 기반의 절연유를 사용한 변압기 개발이 추진되고 있습니다. 지난 수십 년간 154kV급 이하의 다소 낮은 전압 Class에서의 변압기 개발이 주도 되었던 반면에, 최근 몇 년간은 345kV~500kV급의 초고압 변압기로의 적용이 확대되고 있습니다. 효성중공업은 이러한 시장 요구 사항을 충족시키기 위해 환경친화적인 생분해성 에스테르유 변압기 개발을 위한 연구활동을 추진하였으며, 이번 국내 최초로 최대 전압인 400kV급 친환경 합성유 변압기의 성공적인 개발을 통해 Global Top 수준의 기술경쟁력을 확보하였습니다.

친환경 절연유 변압기 수주 및 개발

효성중공업은 180여 대의 154kV급 이하의 친환경 식물유 변압기와 친환경 합성유 변압기를 국내 및 미국, 프랑스, 중동 등의 시장에 공급하였고, 2019년 영국 전력청인 National Grid에 33kV 60MVA 친환경 합성유 변압기를 성공적으로 설치/운영 중에 있습니다. 영국 National Grid의 400kV 친환경 합성유 변압기는 모의 권선 모델을 이용한 절연 시험 및 변압기 냉각 검증 시험 등을 토대로 기존 S사/오스트리아가 선점하고 있는 영국 시장에 진출하여 효성중공업의 기술 경쟁력과 가격 경쟁력을 인증받아 33kV 60MVA 변압기와 400kV 240MVA 변압기를 수주하여 국내 최초로 400kV 친환경 합성유 변압기를 실패 없이 한 번에 성공적으로 개발 완료하였습니다.

그림1 | 400kV 240MVA 친환경 절연유 변압기

그림2 | 33kV 60MVA 친환경 절연유 변압기

친환경 절연유의 특성

친환경 절연유는 합성 에스테르유와 식물 에스테르유로 구분되며, 특성은 표1과 같습니다.

친환경 절연유의 주요 특징

- 높은 연소점 및 낮은 순발열량에 따른 화재 안전성 → 설치 면적 축소에 따른 비용 절감
- OECD 301에 따른 생분해성 우수 → 누유 발생 시 환경친화적
- 광유와 혼유 시 Fire Point 저하로 K-Class(300°C) 특성을 유지하지 못함 → 전용 설비 구축이 필요
- 식물유의 경우, 유동점이 높아 경우에 따라 Cold Start가 필요

표1 | 절연유별 특성 비교표

항목	광유 (Mineral Oil)	합성유(Syntheric Ester Oil)	식물유(Natural Ester Oil)
연소점 (Fire point)	170°C	315 °C (Min. 300°C)	310 °C (Min. 30°C)
순발열량 (Net Cal.Value)	46 MJ/kg	30.8MJ/kg	40.5MJ/kg
인화점 (Flash point)	160°C (Min.135°C)	275 °C (Min.250°C)	315 °C (Min.275°C)
유동점 (Pour point)	-60°C	-56°C	-18 ~ -23°C
생분해성(28일)	9.7%	89%	94%
절연내력 (2.5mm gap)	70kV	>75kV	>73kV
수분 포화도(20°C)	55ppm	2700ppm	1100ppm
점도(40°C)	7.7mm²/s	29mm²/s	33mm²/s
유전율	2.2	3.2	3.2
산화안정도	Good	Excellent	Poor

친환경 절연유 변압기의 기술적 차이

1) 절연 특성의 차이

친환경 절연유는 기존에 사용되던 광유와 비교하여 절연유(Fluid) 및 절연유에 함침된 절연물(Impregnated Cellulose)의 상대 유전율(Relative Permittivity)의 차이는 표2와 같습니다. 유전율 차이에 의해 변압기 권선 내부 구조에서의 절연 Stress 분포가 달라집니다. 그림3은 유전율 차이에 따른 Field Stress 분포를 보여줍니다. 친환경 절연유 변압기 설계 시, 이러한 차이점에 대해 명확히 인지하고 설계에 반영하는 것이 중요합니다. 효성중공업은 권선 모델을 이용한 실증 시험을 수행하여 400kV 친환경 절연유 변압기 수주 활동에 활용함으로써 높은 기술 평가 점수를 취득하였습니다.

표2 | 절연유별 상대 유전율

항목	Synthetic Ester	Natural Ester	Mineral Oil
Fluid	3.2	3.2	2.2
Impregnated Cellulose	4.7	4.5	4.4

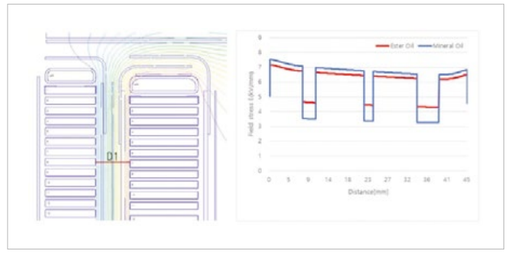


그림3 | 유전율에 따른 Field Stress 분포

2) 냉각 특성의 차이

그림4와 같이 친환경 절연유는 광유에 비해 점도가 높은 특성이 있습니다. 점도가 높으면 절연유의 흐름을 느리게 하여 냉각 성능을 떨어뜨리게 됩니다. 효성중공업은 친환경 절연유의 냉각 성능을 확인하는 시험을 진행하였고, 이를 바탕으로 냉각 효율을 높일 수 있는 설계 기준을 수립하였고, 내재화된 냉각 설계 프로그램 보유하고 있습니다.

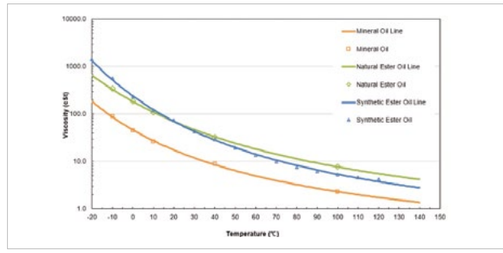


그림4 | 절연유별 점도 그래프

친환경 변압기의 시장

친환경 절연유 변압기는 신재생 에너지 정책과 더불어 계속 증가할 것입니다. 국내의 경우 한국전력공사를 중심으로 환경친화적인 변전소 운영이 요구되는 도심지 변전소, 지하 변전소 등으로 확대할 것으로 예상하며, 신재생 에너지 발전의 중추적 역할을 기대하는 해상 풍력 발전 단지의 해상 변전소 및 풍력 터빈용 변압기 등은 운전 환경을 고려한 친환경 합성유 변압기의 적용이 예상됩니다. 해외는 유럽을 중심으로 친환경 합성유 변압기 시장이 크게 성장하였고, 북미를 중심으로 친환경 식물유 변압기 시장이 크게 성장하였습니다. 또한 해외 각 나라의 주요 전력청에서 친환경 절연유 변압기에 대한 관심이 증대되고 있어 향후 친환경 절연유 변압기 시장이 크게 증가할 것으로 기대합니다.

> 효성중공업은 지난 몇 년간 친환경 절연유 변압기 시장에 대한 높은 관심에 대응하여 중남미, 중동, 아시아, 호주 등 해외 전력청 대상으로 효성중공업의 친환경 절연유 변압기 확보 기술 세미나를 실시하고 있으며, 400kV급 초고압 친환경 절연유 변압기의 성공적인 수주 및 개발을 통해 Global Top 수준의 기술 경쟁력을 확보하고 있습니다. 또한 친환경 절연유 변압기 흐름 생산을 위한 전용 설비를 구축하여 광유와 혼유 시 발생되는 연소점 저하를 근본적으로 방지할 수 있도록 생산 체계를 구축하였습니다. 이를 바탕으로 국내 해상풍력 발전 단지의 성공적인 프로젝트 수행을 위해 적용 예정인 345kV급 친환경 절연유 변압기에 대해 추가 개발 없이 성공적으로 수행 가능할 것으로 기대하고 있으며 유럽, 미주 및 해외 친환경 절연유 변압기 시장에서도 수주 확대를 기대하고 있습니다.

손명공 Performance Manager
변압기기술개발팀

윤태진 Performance Manager
초고압변압기사양설계팀

저진동 지하변전소용 차단기 개발

진동저감 설계를 적용한 싱가포르 지하변전소용 차단기 개발 사례

현대 사회의 급격한 발전으로 인한 거대 소비도시의 확장으로 전력계통의 용량증대에 대한 니즈와 이에 대한 비즈니스가 새롭게 형성되고 있습니다. 이미 형성된 복잡하고 좁은 도심에 변전소를 신규로 건설하기 위해서는 여러 문제점이 존재합니다. 그래서 다수의 국가에서는 기존에 있던 공원의 지하공간을 새로 조성하거나 신규 건설되는 주상복합, 대규모 쇼핑문화 시설의 지하공간을 활용한 옥내설치, 지하화를 통하여 공간의 효율성을 높이고 도심친화적인 변전소를 건설하고 있습니다.
그러나 이러한 설치 환경은 차단기 동작 중 필연적으로 발생하는 동작 진동으로 인하여 건물에 손상을 줄 수 있으며, 건물에 거주하는 사람들에게 불안감을 줄 수 있어 이를 경감시킬 수 있는 보완 대책이 필요합니다. 효성중공업은 이러한 문제점을 해결하기 위해 시장에서 요구하는 사양/규격을 면밀히 분석하여 독자적인 기술력을 바탕으로 진동저감설계를 성공적으로 개발하였으며, 이러한 기술력을 고객으로부터 인정받아 수주에 성공한 사례를 소개합니다.

차단기는 차단, 투입 및 차단-투입 연속동작 등의 동작에 의해 충격과 같은 큰 하중이 발생하게 되며, 이때 발생한 하중은 구조물(GIS)을 진동시키고, 시스템의 동작 특성에 의해 발생되는 진동이 외부 구조물(건물)로 전달됩니다. 에너지 저장방식에 따라 수 톤에서 수십 톤에 달하는 충격하중을 최소화하기 위해 차단기와 설치면 사이의 프레임을 용접 및 볼트 체결을 통해 매우 강하게 지지합니다. 하지만, 이러한 설치방법을 이용할 경우, 차단기 동작 시 발생한 진동이 건물로 대부분 전달되어 고객 불만의 원인이 됩니다.

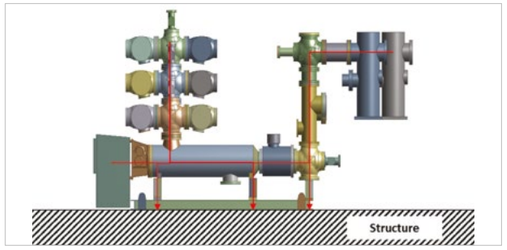


그림1 | 진동전달 경로

따라서 건물에 전달되는 진동을 저감하기 위해서는 차단기 동작시 기기 자체에서 발생하는 진동을 줄이거나, 기초부(건물)로 전달되는 진동을 줄이는 진동저감 설계가 매우 중요하며, 진동에 대한 기준은 아래 규격과 같이 인체 감각 척도로 제한 하고 있습니다.

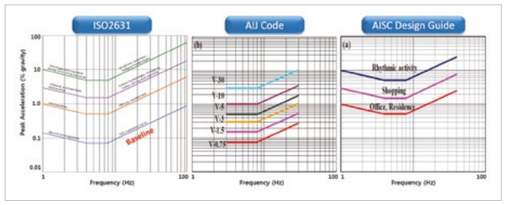


그림2 | 진동규격 및 마이스터 곡선

고객이 요구하는 스펙은 일본건축협회(AIJ Code)의 Classification 1 Rank-1에 해당하는 진동수준으로 이는 침실, 거실과 같은 주거환경의 연속적인 진동에 해당하는 기준(V-0.75)으로 매우 가혹한 진동 기준입니다.

고객요구 진동기준

Classification & Rank		Residential	Office	
		Living Room & Bed Room	Conference Room	Office Room
Classification 1	Rank 1	v - 0.75	v - 1.5	v - 3
	Rank 2	v - 1.5	v - 3	v - 5
	Rank 3	v - 3	v - 5	v - 5
Classification 2	Rank 3	v - 5	v - 10	v - 10
Classification 3	Rank 3	v - 10	v - 10	v - 10

효성은 이러한 가혹한 고객 요구조건을 만족하기 위한 사전작업으로 ISO 2631-1에 준한 시험을 통해 GIS제품 진동 특성을 파악하고 바닥 진동 저감을 위한 GIS 충격가진 주파수를 확인하였습니다.

초기 설계 시 측정된 진동 특성은 기준을 초과하는 값으로, 진동 저감을 위한 댐퍼 적용이 필요하였으며, 적절한 댐퍼 선정을 위해 시스템이 가져야 하는 고유진동수와 댐퍼의 강성을 정의하였습니다.

$$a_w(t_0) = \left\{ \frac{1}{\tau} \int_{t_0-\tau}^{t_0} [a_w(t)]^2 dt \right\}^{\frac{1}{2}}$$

where,
$a_w(t)$ is the instantaneous frequency-weighted acceleration
τ is the integration time for running average
t is the time (integration variable)
t_0 is the time of observation (instantaneous time)

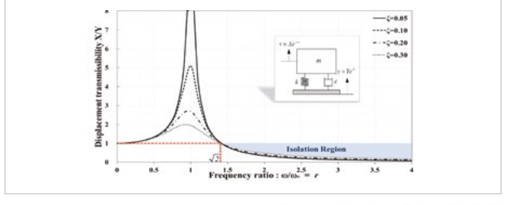


그림3 | 시험절차 및 이론적 진동전달율

앞서 정의된 GIS 고유진동수와 강성을 토대로 최적 댐퍼를 도출하기 위해 소재, 사이즈 및 두께별 강성을 평가하여 설계 고유진동수를 만족시키는 적절한 댐퍼 강성 및 패턴을 결정하였습니다.

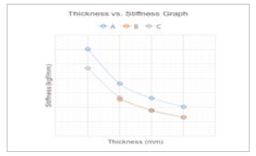


그림4 | 댐퍼 강성 및 고유진동수 시험결과

댐퍼로 적용된 고무패드는 선형 특성을 갖는 정적 하중 구간이 존재합니다. 패드에 가해지는 하중이 너무 작거나 너무 크면 적정 하중을 가했을 때보다 바닥 진동 및 GIS의 진동이 커질 수 있습니다. GIS 무게에 따른 댐퍼의 분담하중이 앞서 정의되었던 강성 및 고유진동수를 초과할 경우 적절한 진동저감이 되지 않습니다. 시스템 고유진동수 설계 및 패드의 적정하중 고려를 통해 패드 설치 개수를 선정한 후, 패드의 설치 위치를 설계하여야 합니다. 패드의 설치 위치를 선정할 때는 GIS의 무게중심 그리고 패드가 설치될 프레임의 사이즈를 같이 고려하여야 하며, 앞서 언급된 설계 고려사항을 반영하여 진동저감설계를 진행하였습니다.

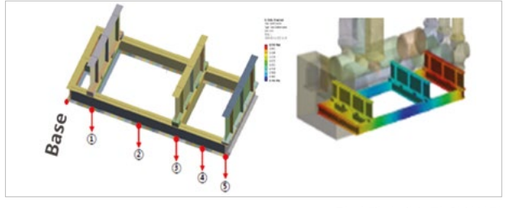
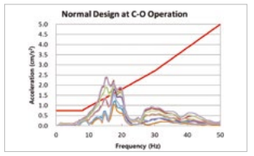


그림5 | 댐퍼 개수 및 위치선정

진동저감설계를 검증하기 위해 변전소 설치 조건과 동일하게 구성된 GIS에 ISO 2631-1에 따른 시험결과 댐퍼 적용 전, 후 비교 시 75%의 진동저감 효과를 확인할 수 있었습니다. 또한 설치 및 운송을 위한 다양한 관리기준 및 잭업 방안에 대한 노하우를 확보하였습니다.



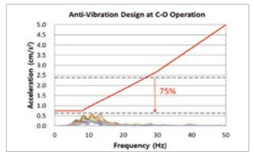


그림6 | 진동저감 설계 전, 후 충격진동특성 비교, 75% 저감

“

효성중공업은 갈수록 커져가는 고객의 저소음, 저진동 차단기 개발에 대한 요구사항에 적극적으로 대응하기 위하여 차단기 동작시 발생하는 충격에 의해 나타나는 바닥진동을 저감하는 동시에 GIS 자체의 진동을 최소화하는 연구를 수행하였습니다.
먼저, 진동저감 기술을 적용하지 않은 상태에서 바닥진동 평가를 통해 저감해야 하는 진동 크기와 주파수 영역을 확인하였고 댐퍼 설치 시 시스템이 가져야 하는 고유진동수와 댐퍼의 강성을 선정하였습니다. 다음으로 댐퍼의 타입별 진동응답 분석을 통해 GIS 자체 진동을 최소화할 수 있는 댐퍼를 선정하였습니다. 마지막으로 GIS를 강체로 가정한 수학 모델을 수립하여 댐퍼 설치 시 최적의 설치 위치를 선정하고 실증 실험을 통하여 검증함 결과 목표했던 AIJ V-0.75 기준을 모두 만족함을 검증할 수 있었다.
이러한 연구를 바탕으로 2021년 싱가포르 LABRADOR 지하변전소 수주에 성공하였으며 시장의 요구에 맞춘 진동 저감 연구활동을 지속적으로 수행하고 있습니다.

이성호 Performance Manager
가스차단기개발팀

아프리카 최대 규모의 에너지저장장치 (ESS) 구축 사업

효성중공업, 남아공 전력회사 1단계 사업의 Package-2, 3 수주

효성중공업이 남아프리카공화국 국영전력회사 에스콤(Eskom Holdings SOC Limited)에서 발주하는 Phase-1 사업 가운데 총 68MW 292MWh 규모의 ESS(Energy Storage System, 에너지저장장치)를 공급, 설치 및 공사를 Full-turnkey 형태로 수주하였으며, 계약에는 기존 변전소 증설 공사와 함께 준공 후 5년간 유지보수(O&M) 서비스가 포함되어 있습니다. 본 ESS 시스템은 기존 변전소 인근 부지에 설치되어 Off-peak 시간대에 4~5시간 분량의 전력을 저장하였다가 Peak shaving, Ancillary service, Energy support 등의 용도로 사용되며, 남아공의 지속가능한 신재생에너지 전환을 지원하기 위한 전력계통의 안정성 및 유연성 제공 목적으로 사용될 예정입니다.

현지에서 성공적인 공사 수행을 위해서는 각 현장이 위치한 지역 이해를 바탕으로 인근 Local Community와의 소통과 협력이 중요한데, 특히 남아공의 경우 현지 진출 기업과 지역 공동체 간 소통 및 교류를 중요시하고 이를 통해 지역 경제 활성화(Economic Empowerment)에 기여할 수 있도록 독려하고 있습니다. 이에 효성중공업은 해당 지역 이해도가 높고 리더십을 갖춘 인사를 CLO(Community Liaison Officer)로 채용함을 시작으로 현지 지역민과 소통 및 협력을 강화해 나가고 있으며, 발주처 담당인사가 포함된 협의체 구성을 통해 현지 공헌 활동(Supplier Development, Localization & Industrialization, SDL&I) 의무를 적극 수행하고 있습니다.

남아공 KwaZulu-Natal (KZN) 지역 Elandskop에서 '22년 12월 진행된 착공식 장면 (출처: Eskom)

남아프리카공화국의 전력 현황과 배터리저장장치 도입

아프리카 대륙의 절반가량인 총 52GW의 발전설비를 보유하고 있는 남아프리카공화국(이하, 남아공)은 현재 전 세계적인 탄소중립 정책에 부합하기 위해 2020년 2월 저탄소개발전략(Low Emission Development Strategy, LEDS)을 통해 2050년까지 탄소중립 달성을 선언하고, 현재 화석 연료 위주의 에너지원을 다변화하는 노력의 일환으로 강도 높은 에너지 전환 프로그램(Just Energy Transition, JET)을 시행 중입니다. 특히 '22년 1GW 규모의 Komati 석탄화력발전소 퇴역을 시작으로 '25년까지 6GW, 앞으로 15년 동안 총 22GW 규모의 석탄화력발전소를 폐쇄하는 계획을 추진 중이며, 이를 대체하기 위해 태양광/풍력 중심 신재생에너지 기반의 분산형 전원(Dispersed generation)과 함께 안정적 전력 계통 운영을 위한 솔루션으로 배터리에너지저장장치(BESS) 도입을 함께 계획하고 있습니다.

남아공 Eskom 사업 수주 추진 4년의 결실

남아공 에스콤은 국제 금융 기관인 World Bank(WB), African Development Bank(AfDB), New Development Bank(NDB)와 금융 협약을 맺고 아프리카 최초의 Utility Scale급 BESS 360MW 1,440MWh를 총 2단계에 걸쳐 도입하는 계획을 2018년 발표하였으며, 효성중공업은 초기부터 고객 요구사항 파악과 철저한 시장 환경 분석 등을 통해 수주 전략을 차츰 쌓아갔습니다.

고객 청취(Voice of Customer, VOC) 활동을 통해 적정 기술을 보유한 것 못지않게 프로젝트 수행에 있어 안전, 보건, 환경, 품질(Safety Health Environment Quality, SHEQ) 관리 역량 또한 매우 중대한 고려사항임을 사전에 확인할 수 있었습니다. 이에 고객 대상 기술세미나 개최(2018.11), BESS 백서 발행(2018.12) 등의 활동을 통해 기술 신뢰성을 확보하고자 하였고 더불어 당시 다소 생소할 수 있는 BESS에 대한 안전보건경영시스템 ISO45001 인증 취득(2020.02), 외부 전문가의 컨설팅을 통해 환경위험물 처리절차 수립 등의 활동을 통해 고객 요구에 더 가까이 도달하고자 노력하였습니다.

또한 고객과 끊임없는 소통을 바탕으로 현지 환경에 맞는 제품 변화 및 현지화를 이룬 것도 성공 요인 중 하나라고 할 수 있습니다. 아프리카 지역이 상대적으로 사후관리(A/S)가 어려운 점을 고려하여, 주요 부품인 인버터(Power Control System, PCS)를 당사가 주력하던 집중형(Central type) 제품이 아닌 문제 발생 시 초기 조치가 용이한 이동식 제품(Modular type) 제안으로 고객 신뢰와 만족감을 높였으며, 또한 5년간 유지보수(O&M) 수행에 필요한 엔지니어를 당사의 현지 남아공법인을 통해 직접 채용/교육하여 직접 수행하는 보다 적극적인 방안을 검토해 제시하였습니다.

입찰 준비하던 당시가 전 세계적인 코로나 대유행(COVID-19 Pandemic) 기간이었음에도 당사의 토건/전기 엔지니어를 비롯한 영업 담당자 등 총 6명 실무자가 남아공 현지에 수개월 상주하며 직접 눈으로 확인하고 현지 발굴한 업체들과 협력을 바탕으로 시장/고객 현지 실정이 반영된 가장 경쟁력 있는 제안(Bidding Proposals)을 하였고 그 결과 고객으로부터 가장 높은 평가 점수를 얻어 우선협상 자격을 획득, 최종 계약까지 완료할 수 있었습니다.

남아공 전력회사가 운영 중인 Sere Wind Farm (출처: Eskom)

단납기 공사 수행을 위한 선행 설계, 그리고 Localization

본 프로젝트 6개월 납기 달성을 위해서는 설계 기간 단축이 필수적이라는 판단하에, 우선협상 자격 획득 이후 최종 계약 전까지 선행 설계를 추진하였습니다. 연초 설계 조직을 조기 구축하여 4월부터 당사의 설계 역량을 집중한 결과, 9월 발주처 대상으로 설계 검토(Design Review Team Presentation)를 성공적으로 진행하였고, 10월 시공을 위한 최종도면(Issued for Construction, IFC) 승인을 받아 결과적으로 계약 후 3개월 내에 주요 설계 완료해 후속 공정을 앞당길 수 있었습니다.

그리고 납기 내에 기존 변전소의 주변압기 2대 전량 교체를 병행해야 하는 이슈를 해결하기 위해 이동식 변압기(Mobile Transformer)를 활용한 병렬 정전 공사 진행을 추진하였고, 이를 통해 기존의 순차적 변압기 교체 기간보다 약 3개월의 공사 기간 단축을 계획할 수 있었습니다. 또한 현지 공사 수행조직의 적극적 현지화(Localization)를 통해 고객/협력사들과 소통 및 협력을 강화하는 한편, 현지 채용한 엔지니어들이 각기 보유한 현지 경험과 노하우(Know-how)를 바탕으로 엔지니어링 병목(Bottle-neck) 요소 사전 해소 및 CP(Critical Path) 판단 등 전반적인 프로젝트 관리를 효과적으로 지속해가고 있습니다.

공기 단축을 위해 현장에 투입된 이동식 변압기 (Mobile Transformer)

"

남아공 Eskom 프로젝트는 '23년 상반기 내에 완공을 목표하고 있으며, 단기적으로 현지에 빈번한 순환정전(Load Shedding: 지역별, 시간별로 전력 공급을 강제로 차단) 등 열악한 전력 상황을 개선하고 중장기적으로 에스콤이 운영하는 전력 계통에 운영 보조서비스(Ancillary Service) 등의 역할로 전력망 안정성에 기여할 것으로 기대됩니다.
향후 아프리카 지역은 태양광/풍력의 신재생에너지원의 확대와 BESS 등 관련 인프라 기반 구축이 활발히 계획되고 있는 단계로 향후 매력적인 시장이 될 것으로 전망하고 있습니다. 효성중공업은 전력계통 핵심기기인 초고압변압기, 차단기 등 전력설비 기술 및 노하우를 바탕으로 전력계통 안정화와 신재생에너지 확대에 기여하는 Total Solution Provider로서 시장에 적극 참여할 것입니다.

최대희 Performance Leader
ESS사업 담당

이은성 Performance Manager
글로벌ESS사업팀 팀장

김재곤 Performance Manager
글로벌ESS사업팀

전력산업 헤게모니의 변화, 전력설비 자산관리

전력설비 자산관리(APM: Asset Performance Management) 기술 동향 및 ARMOUR

*ARMOUR(Asset Remote Management system for Operational Utility's Reliability)

빅데이터, 인공지능, 블록체인, 클라우드, 사물인터넷 등 4차 산업혁명 기반 기술들이 발전함에 따라 전력산업 분야에서도 새로운 변화를 가져오고 있습니다. 이러한 변화는 전력산업의 헤게모니를 바꾸고 새로운 시장, 새로운 서비스 및 새로운 가치를 창출할 것이며, 이러한 전력산업 헤게모니 변화 중 하나가 전력설비 자산관리입니다.

전력설비 자산관리 개요

국내외적으로 1970년대 급격한 산업화로 인해 전력설비가 급격히 증가하였으며, 설비의 현재 상태 확인을 위한 시간기준 유지보수(TBM: Time Based Maintenance)를 주로 수행하였습니다. 전력설비 상태 센서의 개발로 인해 2000년대 이후부터 전력설비에 센서를 설치하여 상태를 온라인으로 모니터링하고 설비에서 이상 징후가 발생하면 설비의 상태에 따라 유지보수를 수행하는 상태기반 유지보수(CBM: Condition Based Maintenance)가 점진적으로 적용이 되고 있습니다.

전력설비가 노후화됨에 따라 전력설비의 고장 위험이 증가하며, 전력 설비의 고장은 막대한 생산 손실로 연결되므로, 점차 전력설비에 대한 신뢰도 및 안정적인 전력공급이 요구되고 있습니다. 이에 고객(자산소유자, 자산관리자)들은 제조사(서비스제공자)에서 전력설비에 대한 정확한 상태평가, 잔여수명 예측 및 유지보수 방침을 체계적이고 경제적으로 지원해주길 기대하고 있습니다.

이와 더불어, 4차 산업의 발전에 따라 빅데이터 분석, 인공지능 및 사물인터넷 기술이 전력기술 분야에서도 새로운 변화를 가져왔으며, 이러한 4차 산업 기술을 기반으로 한 설비의 실시간 운전 데이터, 상태 데이터 분석을 통한 고장 발생 예측, 설비의 정확한 상태 평가에 기반한 최적의 유지보수 전략, 신규 설비 투자에 대한 의사결정 등 제품/서비스/운영시스템을 결합하여 전력설비 자산의 전 생애주기 동안에 체계적인 관리 서비스를 제공하는 전력설비 자산관리 솔루션을 필요로 하고 있습니다.

전력설비 자산관리는 전력설비의 전 생애주기 동안 전력설비와 관련된 offline 데이터(제작, 운전, 점검, 고장 이력 등) 및 online 데이터(DGA, PD 등)를 이용하여 설비의 건전도, 고장률 잔여 수명 등 기술적 평가와 유지보수 및 고장, 사회적 비용 등 경제적 평가를 기반으로 전력설비의 최적 유지보수 및 투자계획을 수립하는 것을 의미합니다.

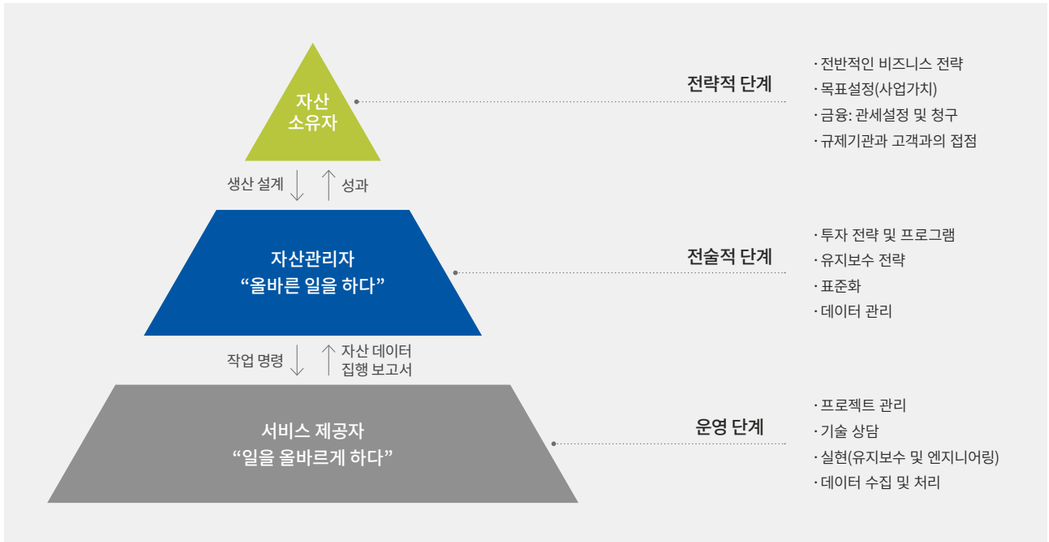
해외 전력설비 자산관리 기술동향

세계적으로 2000년 이후 전력설비의 노후화에 따른 최적 유지보수 및 투자계획 수립에 대한 연구가 활발해졌으며, 그 결과 2004년 영국 표준협회에서 전력 및 수자원, 항공, 철도 등의 설비에 대한 자산관리의 사양 및 가이드라인인 PAS(Publicly Available Specification) 55를 제정하였습니다. 이를 기반으로 2014년에 ISO(국제표준화기구)에서 자산관리에 대한 국제 표준인 ISO 55000 제정하였으며, 이후 전력설비에 대한 자산관리 국제 표준 제정을 위해 2015년 White Paper인 「Strategic asset management of power networks」를 발간하였습니다.

「Strategic asset management of power networks」에 따르면 자산관리 조직의 구성 및 핵심 기능은 그림1과 같습니다. 자산소유자는 회사 전체의 가치를 확대하도록 목표를 설정하는 사람이며, 서비스 제공자는 자산의 데이터 수집과 유지보수와 같은 현장을 운영 제공하는 사람입니다. 자산관리자는 위 2개의 그룹을 총괄하는 역할을 수행하는 사람입니다.

2004년 PAS 55가 제정된 이후 미국 AEP(American Electric Power), 캐나다 Hydro-Quebac, 영국 National Grid, 프랑스 EDF(Électricité de France) 등의 전력회사에서 자산관리시스템을 운영하고 있으며, DNV GL(Det Norske Veritas and Germanischer Lloyd), ABB, GE, Alstom, Doble 등에서 자산관리 시스템을 개발하여 서비스를 하고 있습니다. 국내 중전기기 업체 중 효성중공업은 ARMOUR라는 이름으로 2016년부터 개발하여, 2021년부터 모잠비크전력청(EDM: Electricidade de Moçambique) 산하 변전소를 대상으로 서비스를 하고 있습니다.

그림1 | 자산관리 조직의 구성 및 핵심 기능



국내 전력설비 자산관리 기술동향

2014년에 ISO(국제표준화기구)에서 자산관리에 대한 국제 표준인 ISO 55000이 제정됨에 따라, 국내에서도 전력설비 자산관리에 대한 연구 및 개발이 진행되고 있습니다. 한국전력공사의 경우 2020년 한국전력공사가 보유한 전력설비 운영 관련 빅데이터를 기반으로 전력설비 자산관리를 최적으로 할 수 있는 자산관리시스템인 AMS(Asset Management System) 개발을 시작하여 2023년 상반기에 구축을 목표로 개발 중에 있습니다.

효성중공업은 ARMOUR라는 이름으로 2016년에 개발하여, SK 계열사 및 POSCO, GS 칼텍스 등에 솔루션을 구축하여 서비스를 하고 있습니다. 효성중공업은 2022년 6월 한국전력공사와 예방진단·자산관리 분야 사업 협력 MOU를 맺었습니다. 양사의 솔루션을 통합하여 보다 Powerful한 비즈니스 모델 구현을 추진 중이며, 올해 하반기부터 본격적인 서비스가 가능해질 것으로 예상합니다.

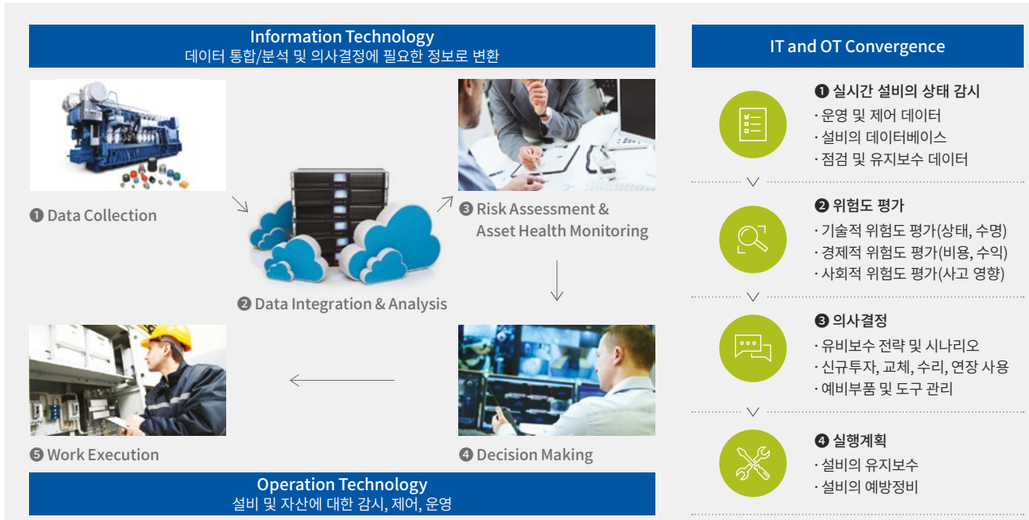
효성 전력설비 자산관리 솔루션(ARMOUR)

1) ARMOUR Process

ARMOUR는 기존 변전소를 관리, 운영하면서 확보된 설비 및 자산에 대한 감시, 제어, 운영 데이터를 종합적으로 취득하고, 데이터의 전산화, 통신, 분석 등을 통해 고객의 유지보수 의사결정을 지원하는 종합 솔루션으로 아래 그림2과 같이 4단계로 구성됩니다.

❶ 실시간 설비의 상태 감시에 의한 온라인, 오프라인 데이터들을 전산화 및 디지털화하여 Cloud 기반의 데이터 센터에서 모든 데이터를 저장, 관리
❷ 데이터 센터의 데이터 분석을 통해 설비의 상태와 수명에 관한 기술적 위험도 분석, 비용과 수익 관점의 경제적 위험도 평가, 사고의 영향과 환경적 분석을 통한 사회적 위험도 평가를 수행하는 위험도 평가를 수행
❸ 위험도 평가 결과를 바탕으로 설비의 신규 투자, 교체, 수리, 개조 통한 연장 사용 등에 관한 유지보수 전략을 수립하고 의사결정 시나리오를 도출
❹ 의사결정을 통한 설비의 유지보수, 예방정비의 실제 수행 및 수행 결과 관련 데이터를 저장 및 갱신

그림2 | ARMOUR Process



2) ARMOUR 알고리즘

전력설비의 전 생애주기 동안에 체계적인 관리를 위해서는 각 전력설비의 수명모델을 기반으로 기술적, 경제적 위험도 분석을 통해 설비의 고장 및 잔여수명 예측, 최적화된 유지보수 및 교체 전략수립이 수행되어야 합니다. 특히, 규모가 크고 중요도가 높은 초고압 송변전 설비는 각 설비를 구성하는 하위 시스템(sub-system) 단위로 평가되어야 합니다. 그림3에는 ARMOUR 알고리즘의 기본 구성도를 나타내었으며, 크게 4단계로 구분할 수 있습니다.

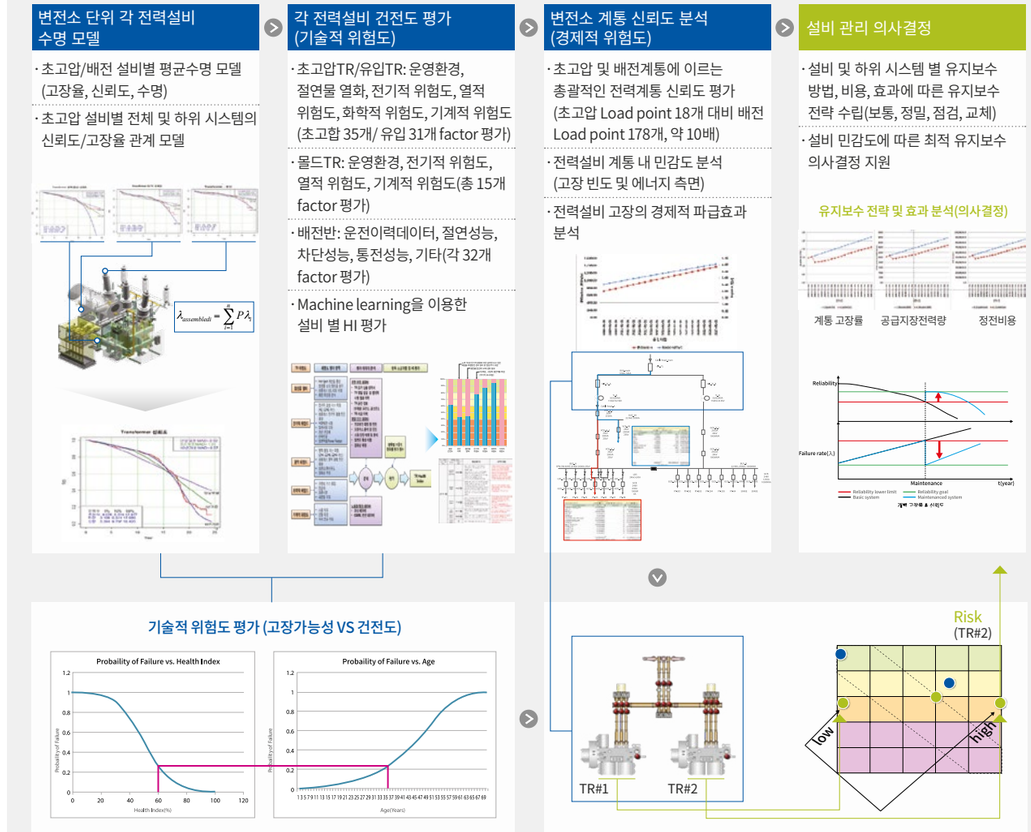
❶ 수명 모델 및 이력 DataBase
설비의 수명 모델링 단계는 전력설비 제조사로서 보유하고 있는 약 37년 간 고장, 유지보수 데이터 및 핵심 부품의 신뢰성 데이터 분석을 통해 도출하였으며, 설비의 이력데이터는 설비의 사양, 생산과 관련된 기본정보와 실제 운영을 통해 취득된 고장/점검 데이터 등이 포함됩니다.

❷ 각 설비의 건전도(Health Index) 평가
건전도 평가 알고리즘은 전력설비의 설계, 제작, 진단기술을 기반으로 사고 발생의 위험도 및 각 요구기능에 대하여 약 30개 이상의 Factor와 100가지 이상의 data를 통해 평가됩니다. 인공지능 기반의 건전도 평가 모델을 적용하여, 기존 가중평균 방식이 가지고 있던 소수의 평가점수가 낮은 경우, 정확한 Risk를 반영 못하여 점검 필요 기기를 정상으로 평가할 수 있는 단점을 보완하였습니다.

❸ 변전소 신뢰도 및 각 설비별 중요도 평가
수명모델과 건전도 평가 결과를 반영한 고장확률평가(PoF: Probability of Failure) 및 전체 변전소 관점의 고장율, 신뢰도, 공급지장 전력량, 정전비용, 고장복구 비용 등의 분석에 의한 고장영향평가(CoF: Consequence of Failure)를 통해 Risk Matrix를 구현합니다.

❹ 의사결정
각 전력설비의 유지보수 전략 및 전력설비 교체에 따른 변전소 신뢰도 개선효과를 정량적으로 평가하고, 개선효과에 따라 우선순위를 부여합니다. 제한된 예산과 우선순위를 고려하여 유지보수 전략을 수립하고 전략 수행 후의 변전소 신뢰도 개선효과 추정 및 향후 유지보수 도래 시점을 평가하며 유지보수 전략 수립 시 최적화 알고리즘을 적용하여, 수많은 시나리오 중 가장 목표 관리치(비용, 성능)에 만족하는 최적 투자 시나리오 산출하게 됩니다.

그림3 | ARMOUR 알고리즘



> 효성중공업은 지난 반세기 동안 국내외 초고압 전력설비 제조사의 경험을 바탕으로 끊임없는 기술개발을 통해 최근 Industry 4.0을 지향하는 Smart 변전소 구현이 가능한 빅데이터 기반의 IoT 및 ICT를 접목한 전력설비 자산관리 솔루션 ARMOUR를 2016년에 개발하고, 국내외 초고압 변전소에 구축하여 서비스를 지속하고 있습니다. 효성중공업은 전력설비 자산관리와 관련하여 9개 국내 특허 및 6개의 해외 특허를 보유하고 있으며, 2017년 철도 10대 기술상 수상을 시작으로 2020년 IR52 장영실상 수상, 2021년 스마트건설챌린지 철도공단 이사장상 수상, 2022년 제6회 4차 산업혁명페스티벌 한국전자통신연구원 원장상 수상 등 기술력을 인정받고 있습니다.

임봉철 Performance Manager
디지털시스템사업 팀장

임종빈 Performance Manager
디지털시스템사업팀

솔루션엔지니어링 기술

시스템 엔지니어링 기반의 고객 맞춤형 솔루션 제공

**전력산업은 환경에 대한 시대적 요구와 기술의 발전에 따라 빠르게 변화(transform)하고 있습니다.
변화의 주요 키워드는 모두 잘 알고 있듯이, 3D로 표현되는 Decentralization, Decarbonization, Digitalization과 Reliability, Efficiency라고 할 수 있습니다. 효성중공업은 이러한 트렌드에 맞추어 GIS, TR로 대표되는 기존 전력제품 이외에 Eco GIS, Eco TR, PST, VSR/STATCOM/DC 솔루션/ESS 등의 다양한 전력 제품군을 보유하고 있으며, 제품의 강점과 이해를 바탕으로 고객 맞춤형 시스템 컨설팅, 시스템 구축, O&M(Operation & Maintenance)까지 모든 솔루션을 제공하고 있습니다.**

글로컬리제이션 달성을 위한 솔루션 엔지니어링

효성중공업은 글로벌 시장에서 1988년부터 약 25개국 100개가 넘는 프로젝트를 수행하였으며, 배전급에서부터 800kV급 초고압까지 사업을 확대하여 아시아를 중심으로 미주, 유럽, 호주 등 거의 모든 지역에서 다양한 솔루션을 제공한 경험을 가지고 있습니다. 이러한 오랜 경험과 노하우를 바탕으로 다음과 같은 역량을 보유하고 있습니다.

- **첫째,** 고객의 VOC(Voice of Customer)를 기반으로 시스템에 대한 기본설계 제안
- **둘째,** ETAP, EMTP 등의 소프트웨어를 활용한 고장전류, 접지시스템, 피뢰시스템 등의 각종 계산서 제공
- **셋째,** 'Total Solution Provider'로 설계부터 구매, 공사, 시험 및 시운전까지의 서비스 제공
- **넷째,** 유지보수 기술지원 및 시스템 관리를 위한 컨설팅 지원하며, 사고 발생 시 신속한 대응체계 보유

고객이 요구하는 높은 수준의 엔지니어링과 신속한 고객 대응 서비스를 제공하기 위해 미국, 일본, 말레이시아 등 주요 시장에서 현지 엔지니어 및 영업인력 중심의 사업조직 구축을 통한 해외 주요시장 현지화로 고객이 설비를 최적 상태로 운영할 수 있도록 서비스를 제공하고 있습니다.

또한, 글로벌 전략 거점에 솔루션엔지니링 인력을 전진 배치하여 기술제안 역량강화, 현지 주도 시장 분석 체계화(마켓센싱 강화) 및 수행역량을 강화하였습니다.

사례1. 미국 HICO

효성중공업의 미국 판매법인인 HICO는 당사 보유 핵심 제품인 변압기, 차단기, STATCOM, ESS, DAIS(Dry Air Insulated Switchgear) 등의 판매 확대를 위해 고객이 필수적으로 요구하는 설계, 설치, 시험 및 운송까지 포함하는 EPC Scope 수행 역량을 보유하고 있으며, 프로젝트 규모에 따라 자체인력으로 수행하거나 전략적 아웃소싱 업체 및 검증된 EPC사를 활용 하고 있습니다. 제품의 경우 솔루션엔지니링, 프로젝트 매니지먼트 인력을 전진 배치하여 본사와 협업하여 진행하고 있으며, 이외 EPC 역무의 경우 HICO에서 입찰부터 수행까지 전담하여 담당하고 있습니다. 사업영역의 확대를 위해 고객/지역/EPC 분야별 보유 협력사 외에 추가업체 발굴 및 검증을 지속 진행 중에 있으며, 수행 중인 주요 프로젝트는 아래와 같습니다.

- [HV-GIS] Idylwood, Fern Road
- [MV-GIS] Crystal City
- [STATCOM] Glenbrook (完), McGrau Ford
- [Micro Grid] Locks Campus

GLENBROOK/
2x±75MVar STATCOM

Locks Campus Micro Grid/
Overall Site Plan

사례2. 말레이시아

1993년 GIS 최초 납품 이후 600Bay를 공급하였으며, 20여 개 변전소에 변압기 공급실적이 있습니다. 코로나 기간 중임에도 현지 영업력을 강화하고자 영업, 솔루션엔지니링, 설치수행 인력을 전진 배치하였습니다. 말레이시아 현지 거점은 유지보수 기술지원 및 시스템 관리를 위한 컨설팅을 지원하고 있으며 2022년 7월 말레이시아 전력청인 TNB와 기술 세미나를 실시하여 친환경 변압기, 친환경 차단기, Digital 변전소 등에 대해 심도 있는 기술 미팅을 진행하였습니다. 이를 통해 노후 GIS 교체, 망안정성 확보, 유지보수 및 자산운영 최적화에 대한 고객 관심사항을 확인하였습니다. 국내시장에서 한국전력공사와의 다년간의 경험을 바탕으로 사고 발생 시 신속한 대응체계를 보유하고 있는 효성중공업은 고객의 GIS 설비가 최적 상태로 운전할 수 있도록 서비스를 제공하고 있으며, 말레이시아 뿐만 아니라 인근 국가인 싱가포르까지 확대 운영을 계획하고 있습니다. 또한, 현재 구축된 조직을 바탕으로 변압기 유지보수사업, STATCOM, ESS 등의 제안까지 사업영역 확장을 검토하고 있습니다.

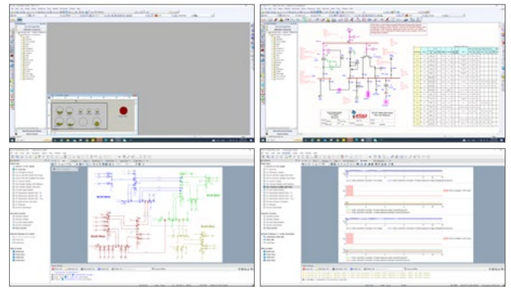
말레이시아 전력청(TNB)
기술세미나, 2022년 7월

사례3. 인도

지속적으로 증가하는 글로벌 프로젝트에 대응하기 위해 인도 푸네법인(Hyosung T&D India Pvt. Ltd.) 내 솔루션엔지니어링 설계 수행조직을 구축하였습니다. 솔루션사업에 대한 기본설계부터 각종계산서 작성 및 전기/토건 설계 승인의 서비스를 제공할 수 있습니다. 트렌드 변화에 따른 Eco GIS, Eco TR, PST, VSR/STATCOM/DC 솔루션/ESS 등의 제품에 대한 엔지니어 교육을 통해 기술역량을 향상시켜 글로벌 솔루션엔지니어링 사업에 기여하고 있으며, 수행실적은 아래와 같습니다.

입찰설계
- Kuwait/400kV 변전소 프로젝트, 132kV 변전소 프로젝트
- Ethiopia/400kV 변전소 프로젝트

수행설계
- Sri Lanka/STATCOM 프로젝트
- UAE/STATCOM 프로젝트
- Ethiopia/400kV 변전소 프로젝트



소프트웨어 활용 사례/ETAP, EMTP

"신기술 및 신재생의 증가와 같은 전력시스템의 진보와 함께 고객의 다양성은 더욱 증가하고 있으며, 전력시스템의 기획, 설계, 구축 및 운영과 관련한 상호 소통이 중요합니다. 효성중공업은 오랜 시간 축적된 기술 노하우를 바탕으로 고객의 VOC(Voice of Customer)에 항상 귀 기울이며, 현지화된 조직을 통해 글로벌 시장에서 거점별 사업영역을 확대하여 고객의 요구사항을 반영한 최적의 솔루션을 제공하고자 합니다.

권륜기 Performance Manager
글로벌 Solution Engineering팀

효성중공업의 Mobile 전력설비 Solution

친환경적 Compact한 구성의 High Quality를 갖춘 Mobile Solution을 제공합니다.

효성중공업에서 제안하는 모바일 변전소는 변압기, 차단기, 전장품 등 필요한 전력설비가 트레일러 위에 설치되어, 고객이 원하는 장소와 시간에 이동이 가능한 변전소입니다. 모바일 변전소는 신속성, 이동성, 컴팩트한 구성 등 장점을 활용하여 고장이 발생한 전력 설비를 대체하거나, 긴급하게 전력 계통에 연결해야 될 때, 장기간 전력설비의 정전이 필요할 때 그리고 광산, 유전같이 한시적으로 전력공급이 필요할 때 단기간에 쉽고 빠르게 변전소를 설치할 수 있습니다. 당사는 변전소 주요 설비를 제작하는 Total Solution Provider로서 모바일 변압기, GIS, ESS, 스태콤 등 다양한 모바일 솔루션 라인업을 보유하고 있습니다. 또한, 효성중공업은 에티오피아 전력청향 230kV급 모바일 변전소를 수주하여 공급 예정이며, 이는 짧은 공사기간을 통해 탄소배출량을 줄이고 SF_6 가스 및 광유 처리를 최소화하는 친환경 솔루션이 될 것입니다.

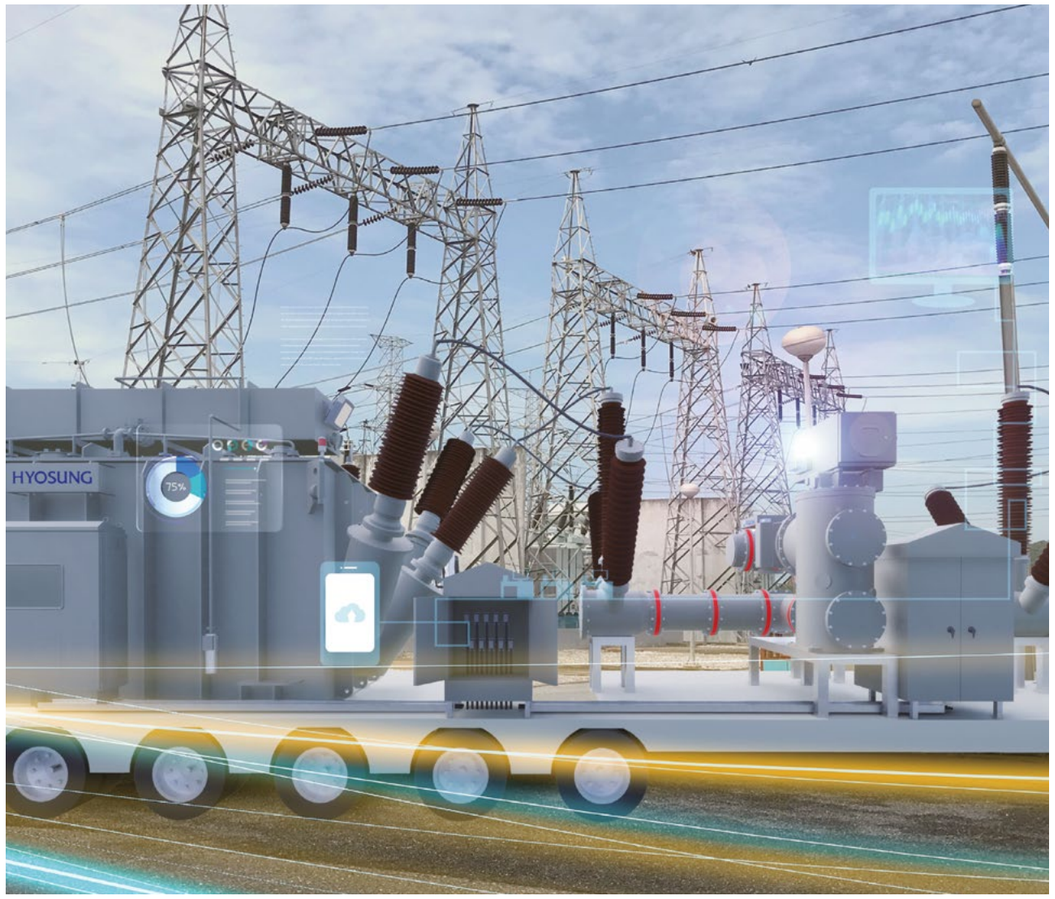


그림1 | Various mobile solutions of Hyosung Heavy Industries

모바일 변전소

Emergency Type 모바일 변전소는 2000년대 이전부터 전력시장에서 긴급사고 복구용으로 사용되고 있는 대표적인 모바일 변전소로 변압기 위주로 사용되고 있습니다. 사고 발생 후 수 시간 내에 빠르게 현장에 설치될 수 있는 응답속도가 매우 중요하기 때문에 적용 국가의 도로 운송 규정에 맞추어서 설계가 되어야 합니다. 특히 긴급 운송을 위해서는 변압기의 폭과 높이에 제한이 있으며 너무 긴 길이는 기존 도로의 곡률반경에 영향을 받기 때문에 설계 및 운영 시 주의가 필요합니다.

변압기의 경우, Hybrid Insulation 시스템을 적용하여 온도상승치를 국제 규격보다 높게 적용하면서 크기 축소와 30% 정도의 무게 감소를 기대할 수 있습니다. 그리고 원통형 컨서베이터가 아닌 Flat Type 컨서베이터를 적용하면 변압기 전체 높이 감소에 도움이 되며, 냉각 시스템도 Fan보다는 효율이 높은 Pump가 적용된 Cooler를 적용하는 것이 일반적입니다.

일반적으로 Emergency Type 모바일 변전소는 230kV까지 상용화 되어 있으며 일부 국가에서 420kV까지 사용하고 있습니다.

HV GIS의 경우 Air Bushing의 상간 거리 이슈로 420kV 모바일 변전소를 사용하기 위해서는 효성중공업은 회전형 붓싱을 적용하여 붓싱을 제거하지 않고 운송이 가능한 제품 공급이 가능합니다.

그리고 국가 내 다양한 전압 대가 존재하는 변전소 또는 발전소의 경우 변압기에 여러 탭을 만들어 다양한 전압을 제공할 수 있으며 모바일 변전소 구매 비용을 최소화하고 운영을 효과적으로 할 수 있습니다. 표 1은 해외 전력청의 모바일 변전소 사용 예입니다. 그리고 변압기 1차/2차 전압 외 예상되는 부하량에 따라서 Protection Setting과 CT/VT Ratio 선정도 함께 고려해야 합니다.

표1 | 모바일 변전소 전압 구분 사례

Category	A Country	Muneral Oil
EHV Level	132kV, 110kV	230kV, 150kV
Distribution Voltage Level	33kV, 13.8kV	33kV
Proposed Mobile Substation	132-110kV/33-13.8kV	230-115kV/33kV

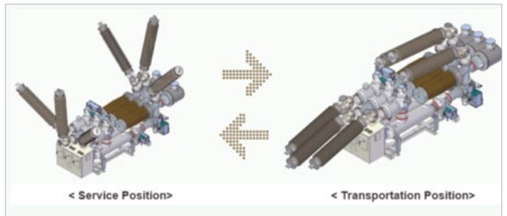


그림2 | Rotation Bushing View

모바일 GIS

Emergency Type 모바일 변전소에는 일반적으로 1 set의 초고압 CB만 요구되는 경우가 많기 때문에 AIS 또는 MTS 타입의 CB를 적용하는 경우가 많이 있습니다. 그러나 차단기의 조작기 기술 및 해석기술의 발달로 GIS는 더욱 Compact 해졌고 이러한 장점을 살려서 GIS를 모바일 변전소에 적용하면 그 활용도를 높일 수 있습니다.

아래 그림3은 145kV 3상 일괄형 GIS를 적용하여 설계한 145kV Mobile GIS입니다. 고객의 다양한 니즈에 맞추어서 외부 인터페이스는 Air Bushing 또는 Cable Head로 대응이 가능하며 최대 6Bay까지 일반적으로 내륙 운송이 가능한 트레일러 또는 Skid에 설치가 가능합니다.

그림3 | Mobile GIS View for Air bushing and Cable head

이러한 Mobile GIS를 활용하여 100~200MW급 중형 신재생 프로젝트에 연계되는 2TL+Section+2TR 구조를 가진 H형 Cluster변전소로 활용할 수 있으며 다음과 같은 장점이 있습니다.

- 계통 접속 용량 증대 및 접속 대기 시간 최소화
- 신재생 발전설비 Load Flow 개선 및 2회선 선로 연결로 계통신뢰도 증대
- 배전선로 공사 최소화를 통환 친환경 프로젝트 추진

모바일 GIS의 LCP는 BCU와 Protection Relay를 포함하여 E-House에 설치할 수 있습니다. 1개의 트레일러 또는 Skid에 GIS와 E-house를 함께 설치하여 공장에서 관련 Cabling 배선 시험까지 완료하여 검증 후 출하하기 때문에 현장에서 가압까지 시간을 크게 줄일 수 있습니다. 아래 표2는 일반적인 변전소와 모바일 변전소의 현장에서 설치/시험 기간에 대한 비교입니다.

표2 | 현장 설치/시험 시간 비교

Category	Conventional Substation	Mobile Substation
Design	6 month	1 month (Standard)
Manufacturing	6 month	6 month
Site Installation	3 month	0.5 month
Site Test	5 month	1 month
Total	18 month	Less than 8 month

또한 노후 변전소의 교체 또는 Overhaul 기간에도 Mobile GIS를 활용할 수 있습니다. 특히 노후 AIS 변전소의 남는 공간에 Mobile GIS와 신규 GIS를 먼저 설치하고 1 Bay씩 무정전으로 교체할 수 있습니다. Mobile GIS를 기존 AIS 변전소의 송전Line 과 Bus 그리고 TR feeder에 연결하여 정상 운전하고 분리된 AIS 전력제품 철거를 진행하여 신규 GIS에 필요한 Cable 또는 GIB 등 설치/시험 공사를 진행할 수 있습니다.

Mobile STATCOM for Grid Resilience

FACTS 설비의 일반적인 기능은 무효전력 보상을 통해서 전압 붕괴를 막아주는 역률 보상입니다. 신재생 발전설비의 접속으로 국가별 Grid Code에 대한 기준이 강화되고 있으며 전압 변동율 등을 준수하여야 합니다. 그러나 신재생 발전원은 Remote 지역에 설치가 증가하고 있으며 이로 인하여 새로운 송전선의 추가 건설이 증가하여 그 변화에 따라 Grid Code를 한시적으로 만족하지 못하는 기존 변전소가 생겨나고 있습니다. 그리고 지역에 따라서 Peak 부하 시점이 다르기 때문에 계절적으로 또는 특정 국가적 이벤트가 있을 때 한시적으로만 무효전력 보상이 필요한 변전소도 있습니다. 그러한 상황 때 Mobile STATCOM이 있으면 계통의 Resilience를 빠르게 확보할 수 있으며 보상설비 투자금액을 효율적으로 사용할 수 있습니다.

Mobile STATCOM은 다음과 같이 Coupling TR, Reactor 그리고 STATCOM Module 모듈로 구분이 됩니다.

그림4 | Overall View of Mobile STATCOM

STATCOM 모듈은 Valve Room에는 상별로 컨버터가 설치되고 초기충전 설비 및 CT/VT 등이 함께 구성되어 있습니다. Valve의 유지보수는 전면에 Door를 설치하여 별도의 Lifting 장비를 통해서 인출이 가능하며 기본적으로 최소 2개의 Redundancy 컨버터가 포함되기 때문에 고장이 발생해도 연속 운전이 가능합니다. 오른쪽에는 냉각설비가 있는데 건물형과 다르게 컨테이너의 협소한 공간 때문에 주변에서 유지보수가 어렵습니다. 그래서 내부에 별도 유지보수 공간을 확보하였고 천장에 크레인 Hoist와 Beam을 설치하여 중장비인 Pump 등 인양을 가능하게 준비하였습니다.

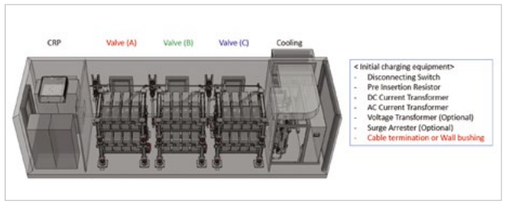


그림5 | Internal View of STATCOM Valve Module

Mobile MV Station for Fast Electrification

ESS와 PV용 MV Station은 Skid Type이라는 별도의 제품군 모델로 시장에서 적용되고 있습니다. 기본적으로 1개의 Skid 모듈 위에 PCS/Inverter TR/RMU로 구성되어 있으며 PCS와 Inverter TR의 연결 시 대전류로 인하여 Bus Duct를 일반적으로 적용하고 있으며 RMU와 연결은 MV Cable을 사용하고 있습니다. 그렇기 때문에 Compact한 Skid 설계를 위해서 Inverter TR 의 LV Bushing과 PCS Bushing과의 높이를 동일하게 하여 수평방향으로 직결할 수 있는 기계적 구조를 만드는 것이 중요합니다. 그리고 높이 차로 인한 Bus Duct의 설치 오류를 방지하기 위해서 Skid 및 Civil Base의 Vertical Tolerance 5mm 이하로 준수하여야 합니다.

그리고 배전계통과 연계를 위한 MV SWGR와 Battery 등 전원 설비는 별도의 E-House에 설치할 수도 있습니다. MV SWGR는 Arc 배출이 용이할 수 있고 해당국가의 소방설비 규정을 준수하여야 설계가 되어야 합니다.

신재생 설비는 Remote 지역에 위치한 경우가 많기 때문에 송변전 용량이 부족하여 접속 대기중인 발전소가 많이 있습니다. 태양광 발전설비의 경우 설치 기간이 매우 짧기 때문에 100MW급 발전설비는 1년 이내에 준비가 가능합니다. 그러나 초고압 레벨의 변전소에 연계가 필요하나 일반적인 변전소 납기는 24개월이기 때문에 모바일 솔루션을 도입하여 현장에서 설치/시험 시간을 크게 줄일 필요가 있습니다. 그리고 변압기와 GIS도 표준화된 모델을 개발하면 설계 및 제작 리드타임을 줄일 수 있습니다.

아래 그림6은 초고압 GIS, 변압기, MV 설비 및 PV/ESS에 대해서 모바일 솔루션을 적용한 레이아웃입니다.

그림6 | Overall View of Containerized MV Station

230kV Mobile Substation for Ethiopia Electric Power

효성중공업은 에티오피아 전력청 남부 전력망 확충 사업의 일환으로 230kV급 모바일 변전소를 공급 예정이며 엔지니어링 문서 표준화 및 당사 전력설비 선진 기술을 바탕으로 최적의 Compact한 구성의 친환경 모바일 변전소를 제공할 예정입니다. 향후 공급 되어질 모바일 변전소의 구성은 아래와 같습니다.

- 245kV GIS with LCP(1Bay)
- 230/33/15kV 50/50/50MVA Power TR(1Set)
- 33kV GIS (6 bay) in E-House
- 15kV GIS (6 bay) in E-House

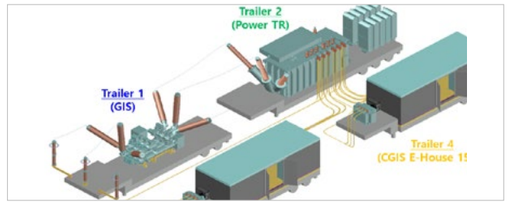


그림7 | Mobile Substation for EEP

> 급변하는 전력계통에 따라 모바일 변전소의 필요성이 증가하고 있으며 효성중공업은 기존 모바일 변전소의 용도인 사고복구 외에도 모바일 GIS, 모바일 STATCOM, ESS/PV용 MV Station 등 다양한 모바일 전력 제품의 공급이 가능합니다. 효성중공업이 제공하는 모바일 솔루션은 모듈식이며 상호 교환이 가능하므로 다양한 산업 분야(예: 석유, 가스 및 광산 등)에서 쉽게 확장하고 적용할 수 있습니다. 또한 현장으로의 이동이 용이하고 컴팩트한 디자인으로 설치 면적 및 공사비를 줄일 수 있는 것도 장점입니다. 그리고 전체 공사비를 절감할 수 있기 때문에 신재생에너지 사업 개발에 유리할 것입니다.

김민수 Performance Leader
글로벌 Solution Engineering팀

FIT(Fast Innovation Team) 활동을 통한 품질경쟁력 확보

초일류 품질 달성을 위한 FIT팀 활동

효성중공업은 중대·고질적인 품질문제의 근절을 통한 무결점 (ZD: Zero Defect) 품질 수준 달성을 목표로 FIT팀(신속개선팀: Fast Innovation Team) 활동을 의욕적으로 추진하고 있습니다. 고객만족이라는 가치가 달성되지 않으면 기업의 생존은 불가능합니다. 효성중공업이 제품 및 서비스 품질에 사활을 거는 것도 바로 초우량 품질을 통해 고객 만족 극대화를 실현하기 위함입니다. 그러한 노력의 선봉에 FIT팀 활동이 있습니다. FIT팀은 유사·동일 품질문제가 다발할 경우 해당 분야의 전문가를 현업에서 분리하여 별도로 마련된 공간(FIT Room)에서 해당 문제가 100% 해결될 때까지 집중 개선을 추진하는 활동입니다.

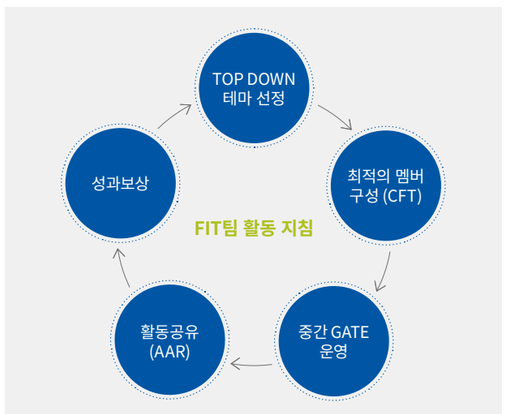
FIT(Fast Innovation Team)활동의 개요

FIT(Fast Innovation Team)팀 활동의 Slogan은 “즉시, 신속하게, 될 때까지”입니다. 품질문제는 초기에 그 근원을 밝혀 봉쇄하지 않으면 나중에는 걷잡을 수 없는 손실과 고객 피해로 발전하게 됩니다. FIT팀은 중대·고질적 품질문제를 초기에 근절하기 위해 관련된 모든 팀에서 전문가를 차출하여 단기간에 개선하는 일종의 CFT(Cross Functional Team)로, 문제가 해결되면 자연히 멤버들은 자신이 소속된 팀으로 다시 복귀하게 됩니다. 현업의 과정에서 추진하는 일상적 개선에 비해 신속성과 집중력이 배가됨으로써 문제의 핵심에 도달할 수 있고, 지속가능하고 근원적인 재발방지책을 마련하는 효과를 거두고 있습니다.

불량은 제품의 암(cancer)이며, FIT팀이라는 발 빠른 처방을 통해 효성중공업의 모든 제품은 다시 건강하던 상태로 회복하게 됩니다.

FIT 활동 지침

1. FIT 활동은 중요 문제에 대해 담당 임원이 Top-down 방식으로 테마와 멤버를 선정함. 품질경영에 있어 리더십은 승패를 가르는 중요한 핵심 요인임
2. 최적의 팀 구성을 위해 관련부서의 전문가를 차출함. 조직간 유연하고 협조적인 기반을 토대로 최적의 CFT(Cross Function Team)를 구성함
3. 활동단계(문제인식, 원인분석, 문제해결, 유지관리)에 Gate를 두어 Pass 여부를 임원이 심사함. 제품 및 프로세스 관점에서 각 활동단계에 적절한 조언과 지도가 승패의 관건임
4. 문제해결 능력 제고 및 활동내용 공유(전파)를 위해 모든 테마는 활동 종료 후 공유회 실시
5. ‘성과 있는 곳에 반드시 보상이 있다’는 당사의 경영철학에 따른 과감한 보상을 실시



1차 년도(2021년) 활동 테마

활동부문	활동테마	유형
초고압 변압기	절연불량 제로화를 위한 과거 불량 원인 및 대책 재검토	품질
	가스불량 제로화를 위한 과거 불량 원인 및 대책 재검토	품질
	운전 중 화재발생 제로화를 위한 불량 원인 및 대책 재검토	품질
	누유 제로화를 위한 과거 불량 원인 및 대책 재검토	품질
	녹발생 제로화를 위한 과거 불량 원인 및 대책 재검토	품질
차단기	현장작업 오류로 인한 작업불량 제로화	품질
	공장시험 검출력 향상을 통한 출하 후 품질문제 예방	품질
	245kV GIS 양산품 설계 표준화율 제고	종합
일반변압기	몰드 변압기 외관품질 향상을 통한 고객만족 실현	품질
전장	38kV 북미向 CGIS 가스누기 제로화	품질

2차 년도(2022년) 활동 테마

활동부문	활동테마	유형
초고압 변압기	변형·파손에 의한 설치 중 품질문제 제로화	품질
	탱크 부품 규격화·표준화	종합
차단기	550kV GIS 양산품 설계 표준화율 제고	종합
	170kV GIS 양산품 설계 표준화율 제고	종합
	공용부품 설계 표준화율 제고	종합
	조작기 품질 문제 제로화	품질
일반 변압기	일본向 유입 변압기 외관품질 향상을 통한 고객만족 실현	품질
전장	IPB 도장박리 제로화를 위한 과거 불량 원인 및 대책 재검토	품질
	구조설계 불량 방지를 위한 표준도면 확대	품질
구매	신규 제관업체 소싱기반 구축 시 불량제로화	품질
	용접외함, 주물품, 가공품 구매자재 Over Quality 개선	종합
물류	주요 고객 포장설계 프로그램 도입	종합

3차 년도(2023년) 활동 테마

활동부문	활동테마	유형
초고압 변압기	특수시험 입찰기준 수립을 통한 최종시험 시간 증가 억제	종합
	출하 이후 불량 다발 부품 품질개선	품질
	권선조립-본체조립 간 작업주체 명확화를 통한 품질개선	품질
차단기	푸네공장 조립 완제품 불량의 RCA를 통한 제품품질 향상	품질
	신개발 기종(246A1,175D) 설계 표준화율 제고	종합
	제품별 인양 기준수립을 통한 제품손상 방지 및 안전 확보	종합
	가대류(Support) 부품 표준화를 통한 조립 불량 제로화	종합
	설계 표준화 적용 제품의 정량적 원가평가 기준 수립	종합
	과거 설치결점 RCA를 통한 사외불량 감축	품질
일반 변압기	유입변압기 출하 후 부품 누락·파손 불량의 품질개선	품질
	몰드변압기 철심 도장품질 향상을 통한 고객만족 실현	품질
전장	ODM/OEM 배전반 판넬 외함 표준화 및 공급업체 발굴	종합
	부품 결점 RCA를 통한 부품품질 향상	품질
신송전	BPS 동작시간 이탈 문제에 대한 원인분석 및 대책 수립	품질
용접기	적응제어 스폿용접 제어장치 전압 검출신호 왜곡현상 개선	품질
	스타트 성능저하 개선 및 알고리즘 개발을 통한 품질 확보	품질
	Accessory 부품 공용화 설계 및 포장방법 개선	종합
	적응제어 스폿용접기 전압검출 신호 외란 문제 개선	품질
	용접중 성능저하 문제 개선 및 DB 성능 개선	품질
품질 (신재생)	계통안정화 PCS 시험방법 개선을 통한 시험 신뢰성 확보	품질
품질 (차단기)	차단부 동작시험 개선을 통한 시험 신뢰성 확보	품질
품질 (초고압 TR)	충격시험 문제 개선을 통한 시험 신뢰성 제고 및 시간 단축	품질
구매	불량 다발 사외협력사 불량 감축	품질
물류	주요 자재 포장방법 개선을 통한 포장품질 향상	품질

“

효성중공업의 FIT활동은 이제 3년차를 맞이하게 됩니다. 1년차와 2년차에 활동의 기반을 확실히 구축했다면 3년차에는 본격적인 정착과 이를 통한 실질적인 성과창출을 해나갈 것 입니다. 이를 위해 그간의 미비점을 반성하면서 활동체계 전반의 보완을 실시하였습니다. 특정 시기에만 시행하는 혁신(Innovation)은 지속가능한 성장을 보장하지 못합니다. 기업이 존재하는 한 변화와 혁신은 계속되어야 하며, FIT팀 활동은 이러한 맥락에서 ‘늘, 항상, 어떤 경우에도’ 존속함으로써 지속되는 효성중공업을 대표하는 품질혁신활동으로 우뚝 서갈 것을 확신합니다.

힐데브란트 클라우스 상무
품질 및 생산혁신 담당

김동우 Performance Manager
글로벌QA팀

디지털화를 통한 지능형 공장 구축 및 공장현황 실시간 가시화

공정 자동화를 통한 품질향상 및 생산효율 극대화

제어자동화, IoT/네트워크, 빅데이터, AI 등 4차 산업혁명과 더불어 우리의 일하는 방식도 과거의 수작업 형태에서 디지털/자동화로 점차 변화하고 있습니다. '철심자동 적층장비'는 변화하는 제조환경에 유연하게 대응하기 위해 개발된 장비로, 사람이 하는 일을 설비가 대신하여 품질과 생산효율을 향상시키는 장비입니다.

철심 자동 적층장비 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 제조환경이 빠르게 변화하고 있습니다. 주요 선진국은 정부 주도의 제조업 부흥전략을 수립하여 스마트 공장 확산 및 고도화를 추진중이며, 다품종 유연 생산 등 제조업 트렌드 변화에 적극 대응하고 있습니다. 이러한 환경변화에 뒤쳐지지 않기 위해 제조 경쟁력 강화 및 혁신의 도구로서 IT 기술을 활용한 스마트팩토리 구축은 4차 산업혁명시대의 기업 생존을 위한 필수 요소입니다.

효성중공업은 '고객중심경영 실현', '환경변화에 빠르게 대응 하는 조직', 'Database 경영을 위한 디지털 전환(DX) 가속화'를 실현하기 위해 노력하고 있습니다. 제품 설계부터 출하에 이르기까지 모든 영역에 디지털 기술이 접목된 DX 운영체제를 구축하고, 데이터의 전산화 및 공정 자동화 등을 통해 경쟁력을 높여 유연하고 효율이 높은 생산체계를 구축하기 위한 스마트팩토리 활동을 추진하고 있습니다.

스마트팩토리 활동의 일환으로 효성중공업 초고압변압기 부문은 생산성과 품질향상을 위해 '철심 자동 적층장비'를 도입하였습니다. 당사는 세계 최초로 대형변압기용 철심 적층장비를 도입하였으며, 길이 4M 이상의 철심 적층이 가능합니다. 글로벌 업체들은 소형변압기용 철심 적층 자동화 장비를 도입하고 있으며, 국내 경쟁사들은 과거 우리가 했던 것처럼 철심을 작업자가 수동으로 적층하고 있습니다.

변압기 1대의 철심 형상을 만들기 위하여 10,000번~14,000번의 적층 작업을 반복하고 있으며, 이로 인해 작업자 피로도 증가, 불량 발생 가능성, 작업자 실수에 의한 심각한 안전사고로 이어질 수 있습니다.

이러한 문제를 해결하기 위해 작업자가 수작업으로 적층하는 철심 공정을 자동화 장비를 사용하여 적층하는 방안을 수년간 고민해 왔습니다.

과거에는 기계가 철심을 놓을 위치를 인식하지 못하거나, 한 장의 코어만 이송할 수 없거나, 적층 품질이 좋지 않은 등 다양한 개발 문제가 발생하였습니다.

그러나, 4차 산업혁명과 더불어 자동화, 센서, IoT 등과 같은 기술에서 혁신적인 발전이 이루어지고 있습니다. 이러한 혁신적인 기술의 도움으로 과거의 실패경험을 보완하고 철심 적층공정의 자동화를 실현하였습니다.

철심 적층장비는 사전에 준비된 철심을 설계 사양에따라 자동으로 적층합니다. 이를 통해 공수를 줄이고 외부환경 변화에 따라 생산인력을 유연하게 조정할 수 있습니다. 그리고 철심 적층 제조공차를 자동으로 측정하여 인적오류를 사전에 방지하고, 정밀한 측정을 통해 제품의 신뢰성을 향상시킬 수 있습니다.

우리는 철심 공정을 자동화하여 생산성과 품질을 혁신적으로 향상시켰습니다. 향후에는 수집된 데이터를 분석하고 공정개선에 활용하여 비용을 절감함으로써 고객과 회사의 이익을 극대화할 계획입니다.

그림1 | 철심 자동 적층장비

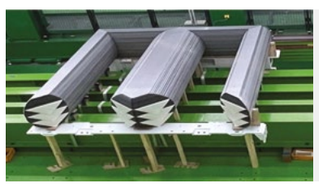


그림2 | 철심 적층완료 모습

철심 자동 적층장비 구성요소

철심 자동 적층장비는 설비 구동용 서보모터, 철심 흡착 및 이송을 위한 공압회로, 적층위치를 정밀하게 인식하고 제어하는 Visual Scanning 시스템, 제어판넬 총 4개의 유닛으로 구성되어 있습니다.

- 겐트리 시스템: 프레임 및 구동부 (서보모터, 감속기 등)
- 흡착시스템: 철심을 인양하기 위한 Bridge, Gripper 및 치수 제어장치 (높이 조절장치, visual control system)
- 제어부: 제어 판넬 및 프로그램
- 공압 장비: 진공 흡착용

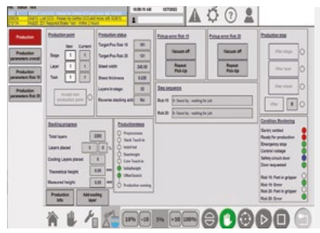


그림3 | 철심 자동 적층장비 UI

철심 자동 적층장비 효과

1) 자동화를 통한 생산성 향상

작업자가 수작업으로 철심을 낱장씩 반복해서 적층하는 방식이 아닌 설비가 자동으로 철심을 이송 및 적층하여 작업자 수를 줄였습니다.

2) 품질향상

제품 치수 측정 및 오차 조정 기능을 구현하여 장비를 정지하지 않고 자동으로 치수 측정이 가능하여 작업자의 측정 오차를 없앴습니다.

3) 장비와 MES 연계를 통한 작업현황 모니터링

장비와 MES(Manufacturing Execution System)간 연계를 통해 적층매수, 적층높이 등의 철심적층 데이터를 실시간으로 수집 및 모니터링하고 있습니다. 또한, 작업 진행현황, 진도율, 이상상태 등을 실시간으로 확인하여 문제 발생 시 즉각적인 대응이 가능합니다. 향후, 수집된 데이터의 분석을 통해 공정개선에 활용할 계획입니다.

4) 장비 유지보수 및 원격 진단

모터, 센서 등 설비 상태를 실시간으로 모니터링하고 이상 발생 시 즉각 대응하여 설비고장으로 인한 작업 중단을 최소화하고 있습니다. 또한, 갑작스러운 설비 고장 발생 시 제조사 엔지니어의 방문 없이 원격으로 장비 진단 및 수리 지원이 가능하도록 비상상황 대응시스템이 구축되어 있습니다.

"현 시대는 급박한 제조환경의 변화에 따라 과거의 수작업 방식에서 벗어나 디지털화, 자동화, Big Data 등 새로운 일하는 방식으로의 변화를 요구하고 있습니다. 철심 자동 적층장비의 도입으로 특정 공정의 자동화는 실현하였으나, 장비 보완/개선 및 효율성 향상을 통해 활용도를 높이고 전체 공정의 최적화를 위해 노력하겠습니다.
변화하는 환경에 적극 대응하고, 고객에게 최고의 가치를 제공하기 위해 스마트팩토리 활동의 중심인 DX 운영과 유연하고 효율이 높은 생산체계 구축을 지속적으로 추진하겠습니다. 나아가 우리 제품을 사용하는 고객에게 VIU(Value In Use)를 제공할 수 있도록 지속적으로 노력하겠습니다.

힐데브란트 클라우스 상무
품질 및 생산혁신 담당

김수용 Performance Manager
스마트팩토리 TFT

재생에너지 수용성 향상을 위한 MVDC

중압직류송전: MVDC (Medium-Voltage Direct Current)

MVDC(Medium Voltage Direct Current) 기술은 송전 계통에 적용되는 HVDC(High Voltage Direct Current, 초고압직류송전, 100kV 이상)와 배전 계통에 적용되는 LVDC(Low Voltage Direct Current, 저압직류배전, 1.5kV 미만) 사이의 전압 레벨과 송전 용량을 가진 고압 DC 배전기술입니다. 이러한 MVDC 기술은 선로 이용률을 향상시켜 신재생에너지원의 보급을 활성화 시킬 수 있고, 전력 흐름 제어를 통해 최대 허용 부하율을 향상시킬 수 있고, 전기차 충전소, ESS(Energy Storage System), IDC(Internet Data Center) 등과 같은 늘어나는 도심의 대규모 전력 부하 수요를 보다 효율적으로 충족시킬 수 있어 그 필요성이 부각되고 있습니다.

MVDC의 정책 및 개발 동향

정부의 재생에너지 확대 정책에 따라 기존 전력망에 연계하기 위한 MVDC 필요성이 커지고 있습니다. 특히, 제 4차 에너지 기술 개발 계획에 따르면 정부는 신재생 수용성 확보를 위해 MVDC 직류 배전 운영 시스템 기술 확보 및 AC/DC 혼용 운전을 목표로 제시하고 있고, 제9차 전력수급기본계획에서는 분산전원 확대에 따른 배전망 문제 해결을 위하여 MVDC를 적용하고 마이크로그리드 전력망 등을 단계적으로 도입 추진하는 것을 언급하고 있습니다. 현재 MVDC 국내 시장은 도입단계이지만 향후 확대될 것으로 전망됩니다. 효성중공업은 이러한 흐름에 맞춰, 2017년에 20MW급 MMC(Modular Multilevel Converter) HVDC(High Voltage Direct Current)를 연구개발하여 제주 실증단지에서 실증을 완료했습니다. 이를 통해 개발된 MMC 기술로 STATCOM 사업화에 성공하여 국내 및 해외에 설치/납품하여 운영중입니다. 또한 MVDC 영역으로 기술을 확대하여 녹색에너지연구원에서 추진한 한국 최초의 ±35kV/30MW급 MVDC 스테이션 개발 프로젝트에 참여하여 나주 사이트에 설치 완료하였고, 2023년 3월 통전식이 진행되어 현재 시운전 중입니다.

나주 ±35kV 30MW MVDC Project 소개

MVDC 시스템은 접속 선로 구성에 따라 PTP(Point to Point) 방식과 MT(Multi Terminal) 방식으로 나누어질 수 있는데, 본 프로젝트(나주 ±35kV/30MW급 MVDC 스테이션 개발)는 2개의 Station(AC를 DC로 변환하기 위한 Rectifier용 Station과 DC를 AC로 변환하기 위한 Inverter용 Station)으로 구성된 PTP방식의 MVDC 시스템입니다. MVDC의 Station은 크게 전력 변환을 위한 컨버터 밸브와 컨버터 제어 및 보호기능을 수행하기 위한 C&P System(Control and Protection System) 그리고 변압기, 냉각시스템을 포함한 다양한 종류의 야드 기기들로 구성됩니다. (그림1) 나주 ±35kV 30MW MVDC Station의 주요 장비인 컨버터 밸브와 C&P시스템 그리고 냉각시스템은 컨테이너에 탑재되도록 설계되어, 별도의 전용 건축물 없이 시스템을 빠르게 구축될 수 있도록 했습니다.(그림2)

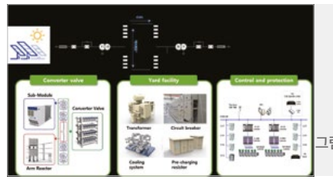


그림1 | 나주 ±35kV/30MW급 MVDC 시스템 구성도

그림2 | 나주 ±35kV/30MW급 MVDC Station 항공 사진

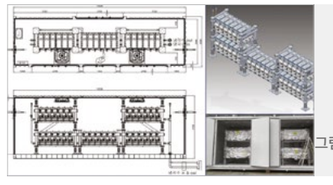


그림3 | 나주 ±35kV/30MW급 MVDC 컨버터 밸브

컨버터 밸브는 30개의 서브 모듈로 구성된 ARM을 하나의 컨테이너로 구성하여, Station 당 6대의 컨테이너로 이루어져 있습니다. 각 컨테이너 내부 구성은 그림3에서와 같이 총 6개의 서브 모듈로 구성된 Valve Section 5개를 적재하는 방식을 채택했습니다. C&P system은 그림4와 같이 크게 Operator와 Interface 기능을 수행하는 운영시스템, Operator의 운전 지령에 따라 Converter를 제어하고, 보호기능을 수행하는 Converter 제어시스템 그리고 AC선로 보호 및 CB/DS/ES 조작을 수행하는 보호시스템으로 구성됩니다. MVDC 시스템을 모의하기 위한 HILS(Hardware in the loop simulation)는 RTDS사의 제품 중 최신형 모델인 Nova Core 제품을 적용하였고, 시뮬레이션 Tool인 RSCAD로 전력계통과 컨버터 모듈, 그리고 Station 내의 스위치류(CB, DS, ES 등), 초기 충전 저항, phase reactor 및 Interface Transformer를 포함한 야드 기기 등을 모델링했습니다. RTDS HILS 시스템 연결 구성은 그림5와 같습니다.

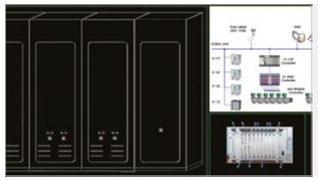


그림4 | C&P 시스템

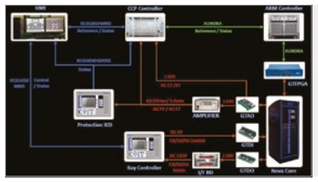


그림5 | RTDS HILS 시스템 연결 구성도

> 수용가에 효과적인 배전을 위한 LVDC, 재생발전원 증가에 따른 계통 접속을 위한 MVDC, 지역간 장거리 송전, 권역별 계통 연계를 위한 HVDC와 같이 전력계통에서 DC의 필요성이 점점 커지고 있습니다. 특히, MVDC는 LVDC와 HVDC 간 연계가 가능하고 증가하는 재생에너지를 기존 계통에 연계하는 중요한 시스템이 될 것으로 사료됩니다. 효성중공업은 국책과제로 진행중인 차세대 AC/DC Hybrid 배전 네트워크 기술개발 사업을 성공적으로 수행하여 경쟁력 있는 MVDC 기술을 성숙시키고 이를 바탕으로 국내/외 시장에 적극 진출하고자 합니다.

정홍주 Performance Leader
HVDC연구팀 팀장

류정곤 Performance Manager
HVDC연구팀

편집후기

**효성중공업은 시장변화를 고객과 사회로부터 먼저 감지하고,
혁신을 통해 새로운 기회를 발굴해 나가겠습니다.**

이번에 효성중공업 전력기술 매거진 3호를 발행하게 되었습니다.
효성중공업은 전력기술 매거진을 통해 고객 여러분께 전력시장의 트렌드를
선도하는 효성의 솔루션을 소개하고 있습니다. 올 한해 전력시장은
사회와 고객의 다양한 요구로 많은 변화가 예상됩니다. 효성중공업은
시장변화를 고객과 사회로부터 먼저 감지하고, 혁신을 통해
새로운 기회를 발굴해 나가겠습니다. 올 한해도 효성중공업의 활약과
성과를 기대해 주십시오. 이 글을 읽고 계시는 고객 여러분께
조금이라도 도움이 되었으면 좋겠습니다. 본지 기재 내용에 관하여,
혹은 그 이외라도 질문이 있으시면, 언제든지 문의해 주시기 바랍니다.
효성중공업 전력기술 매거진을 끝까지 읽어주셔서 감사합니다.

효성중공업㈜
부사장 **안성훈**

발행책임자 : 안성훈 부사장
편집위원장 : 핫토리 마코토 전무
편집위원 : 조현철 상무, 조영준 상무, 권순동 Performance Manager, 김진달래 Performance Leader, 조지 시가닉
기술협조 : 최원호 상무, 힐데브란트 클라우스 상무
편집부 : 류은지 Performance Manager, 김일두 Performance Leader
발행처 : 효성중공업(주)

문의 사항은 여기를 눌러주세요.

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

HYOSUNG HEAVY INDUSTRIES

저탄소 그린 라이프 시대를 선도하는 기업

BUSINESS AREAS

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