전력 케이블 진단 시스템

1. 개요

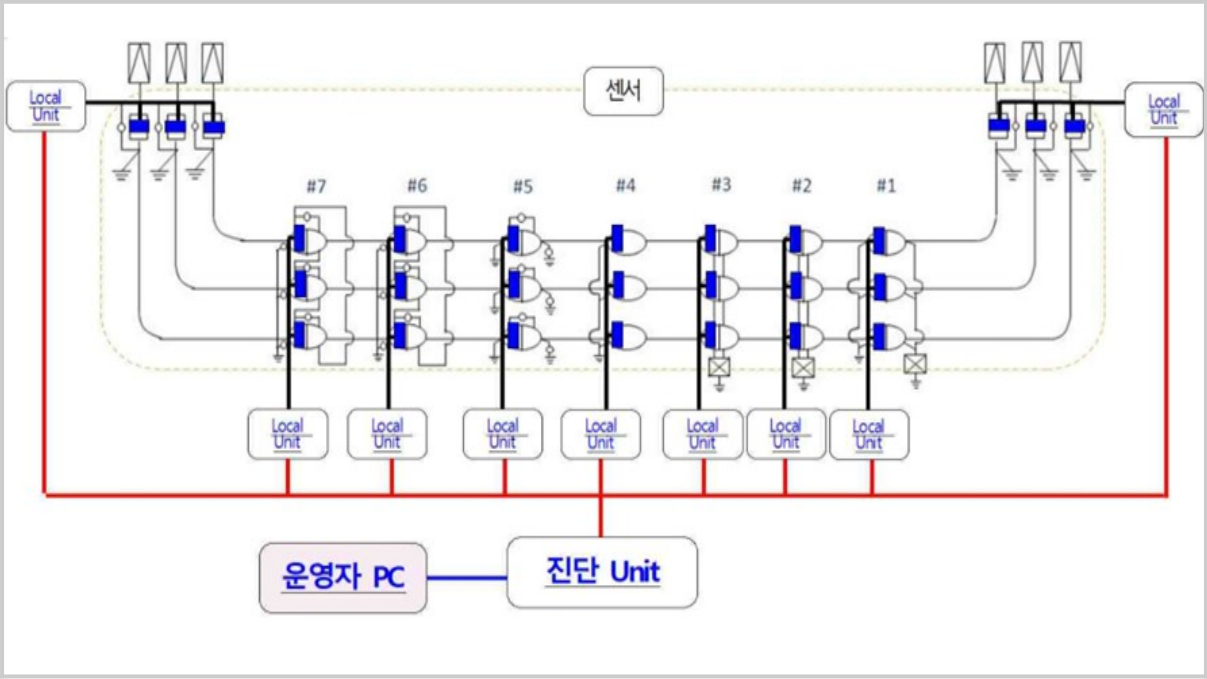
2. 시스템 구성

3. 성능

1. 개요

본 기술 규격은 활선상태의 지중송전선로 운전상태를 상시 감시하고 내부의 이상 유무를 검출하기 위한 지중 송전선로 On-Line 부분방전 시스템입니다.

지중송전 On-Line 시스템 구성 (예시)



1.1 지중송전선로 On-line 부분방전 진단시스템

지중송전선로 접속함 등 내부 이상 시 발생되는 부분방전 신호를 센서를 통해 취득하고, Local Unit을 통해 처리된 디지털 신호를 진단 Unit으로 전송하며, 부분방전을 실시간 감시. 분석.진단하고 이상 징후로 판단된 Data를 현장 또는 서버 등에서 확인할 수 있는 시스템으로 센서, Local Unit, 진단 Unit(진단 소프트웨어 포함), 운영자 PC로 구성됩니다.

1.2 운영자 PC

운영 및 관리 사업소별 통합관리 되도록 발주자가 지정한 곳에 설치하며, 운영자용 소프트웨어를 통하여 각 진단 Unit으로부터 이상 징후 신호를 모니터하고, 운영자에게 알람을 표시하며, 필요시 개별 진단 Unit의 데이터에 원격 접근할 수 있는 장치입니다.

1.3 진단 Unit

Local Unit에서 디지털 값으로 변환된 부분방전 신호를 진단 소프트웨어로 분석하여 진단결과를 도출하고, 부분방전 추정시 경보를 발생하여 운영자에게 제공하며, 원격지 운영자 PC에서 접근할 때 정보를 제공하는 역할을 하는 장비입니다.

1.4 Local Unit (LU)

센서에서 취득된 아날로그 부분방전 Data를 진단 Unit의 진단 소프트웨어에서 판정할 수 있는 Data로 변환하는 역할을 하는 장비로서, 데이터를 취득.처리하는 장치와 진단 Unit으로 데이터를 전달하는 장치를 포함 합니다.

1.5 부분방전 진단 소프트웨어 (Partial Discharge Diagnostic Software)

진단 Unit에서 이상 징후로 판단된 Data를 운영자에게 표시하며, 부분방전의 종류 및 크기와 노이즈를 유형별로 분석하여 진단하는 알고리즘이 적용되어 있는 소프트웨어입니다.

1.6 센서 (Sensor)

지중 송전선로에서 발생되는 부분방전 및 노이즈 신호를 검출하기 위한 장치입니다.

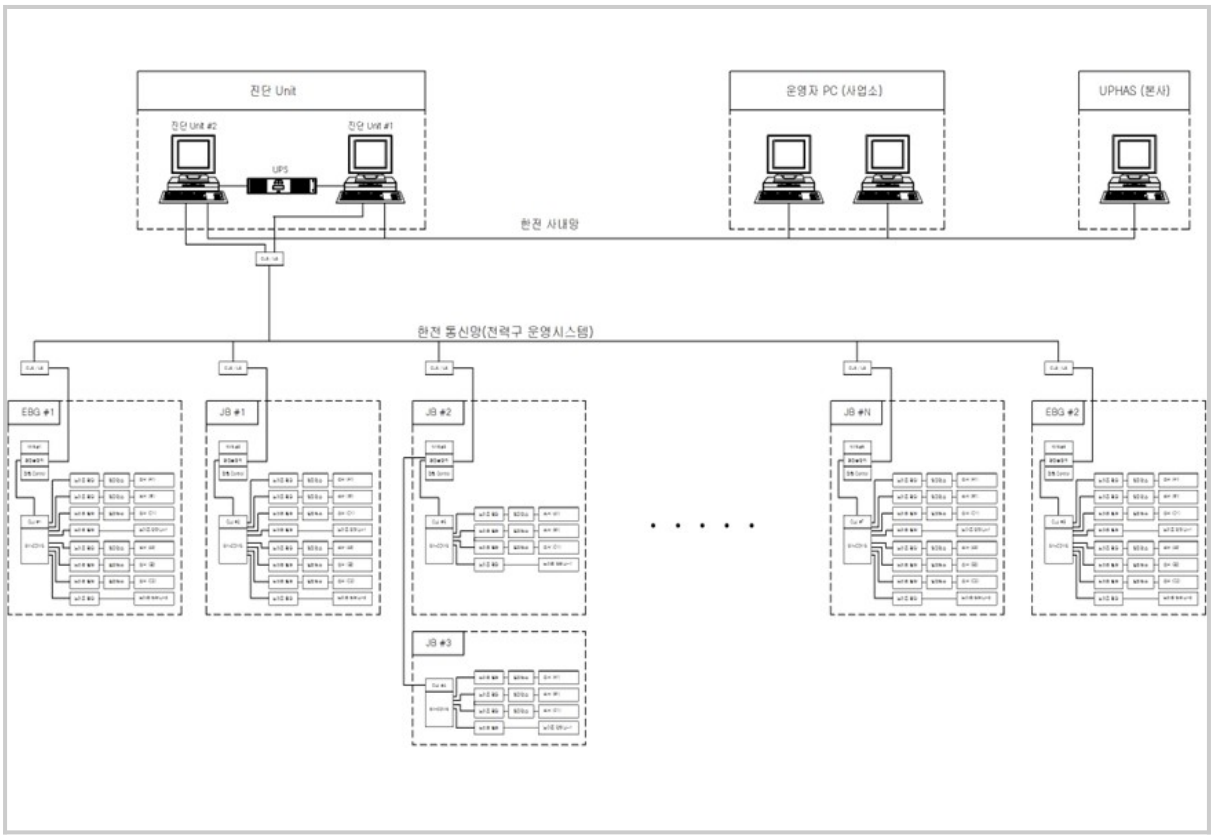
2. 시스템 구성

지중송전 On-Line 부분방전 진단시스템 성능을 충족하는 센서를 지중 송전선로 접속함 접지케이블에 부착하며, 센서로부터 취득된 신호를 Local Unit를 통해 진단 Unit로 데이터 전송이 가능합니다.

2.1 시스템 구성

2.1.1 시스템 구성도

시스템 구성도 (현장 설비의 현황에 따라 변경될 수 있음)



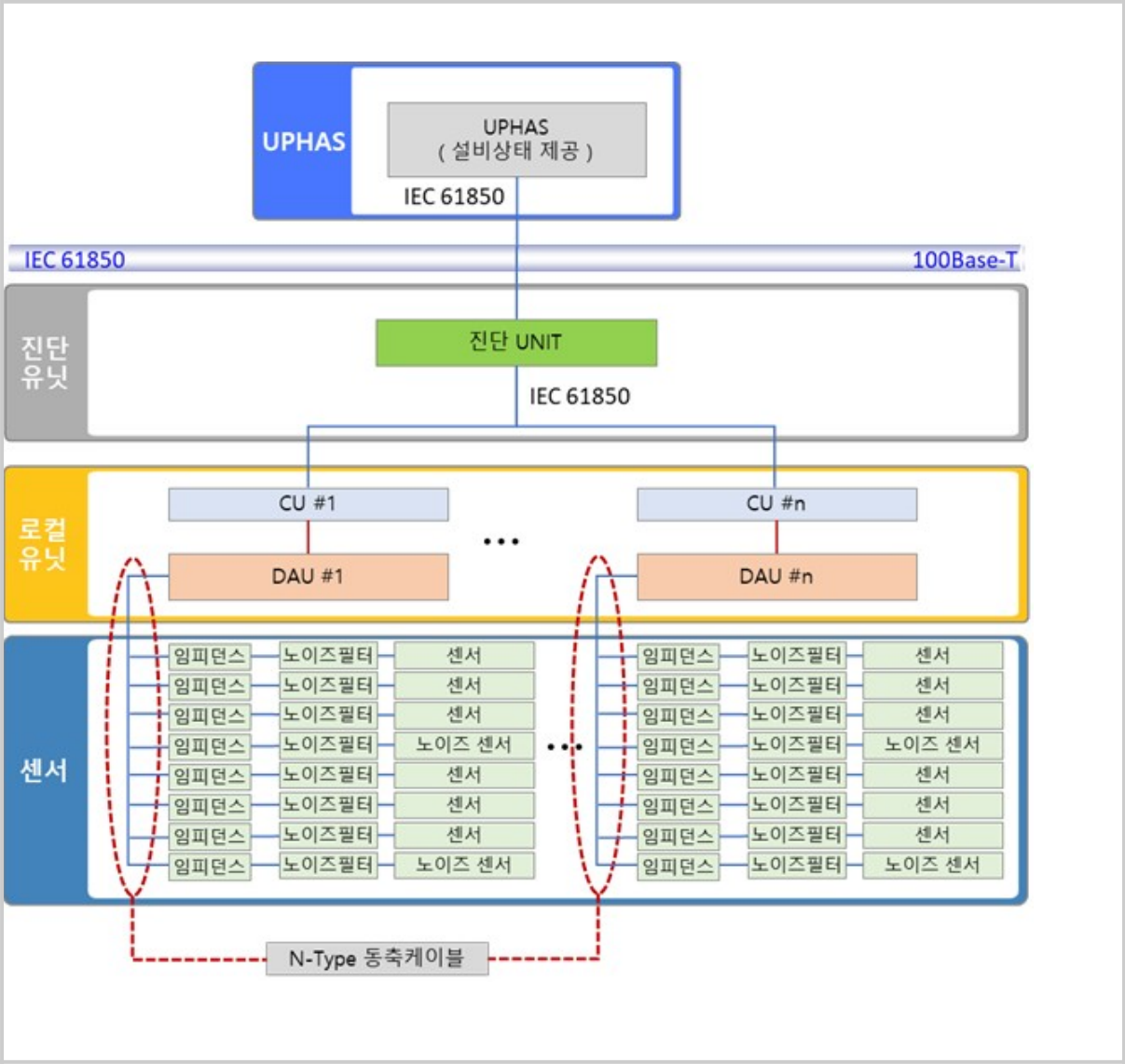
2.1.2 시스템 구성 내역

항 목	세부내용
센서부	데이터 취득 ○ 검출범위 : Local Unit의 성능을 만족하는 주파수 대역범위 이상 ○ 검출센서 : HFCT(High Frequency Current Transfomer) 센서, UWB센서, 금속박 센서 등 : PD신호 검출용 ○ 노이즈 센서 : 공중파 노이즈 및 코로나 검출용

검출부 (Local Unit)	PD 신호 처리 (아날로그 → 디지털) ○ DAU(Data Acquisition Unit) - Sampling Rate : 100MS/s 이상 - 검출주파수 대역 : 1~50MHz 이상 - 주파수 및 펄스 동시 측정, 분석 - 노이즈 게이팅용 채널 (3채널당 1개) ○ CU(Communication Unit : IEC 61850 기반) - IEC 61850 표준 Protocol 지원 - IEC 61850 Server 소프트웨어 포함
분석부 (진단 Unit)	PD신호 결함판정 분석, DB저장, 감시 모니터링 ○ IEC 61850 표준 Protocol 지원 ○ IEC 61850 Server / Client 소프트웨어 포함 ○ 감시/분석/진단/운영 소프트웨어 포함 ○ DBMS(Data Base Management System)
운영자 PC	○ 진단 Unit 통합 화면 Display 및 이벤트·경보 확인
기타	○ 광케이블, 센서류 연결용 동축케이블 등 ○ 주파수 대역 필터, 서지 보호용 임피던스 등

2.2 시스템 블록 다이어그램

시스템 블록 다이어그램



3. 성능

3.1 일반사항

3.1.1 본 시스템은 규정된 성능을 만족하는 센서를 지중송전선로 접속개소에 장착하여, 센서의 신호를 취득·처리하는 Local Unit을 통해 진단 Unit으로 데이터 전송하며 IEC61850 기반 표준 Data Format"을 준수합니다.

3.1.2 본 시스템은 부분방전을 진단하고자 하는 주파수 대역에서 2pC 이하의 방전신호를 검출 및 감시가 가능합니다. 또한 측정된 방전 신호는 진단 프로그램을 통해 저장되어 운영자가 알수 있도록 Display 합니다.

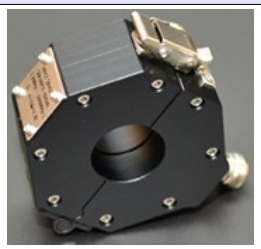
3.2 센서부

센서는 지중 송전선로 접속함 구조를 고려하여 취부 또는 부착 등이 용이한 크기와 규격으로 제작하였습니다.

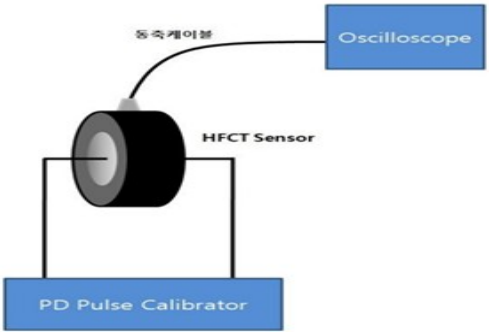
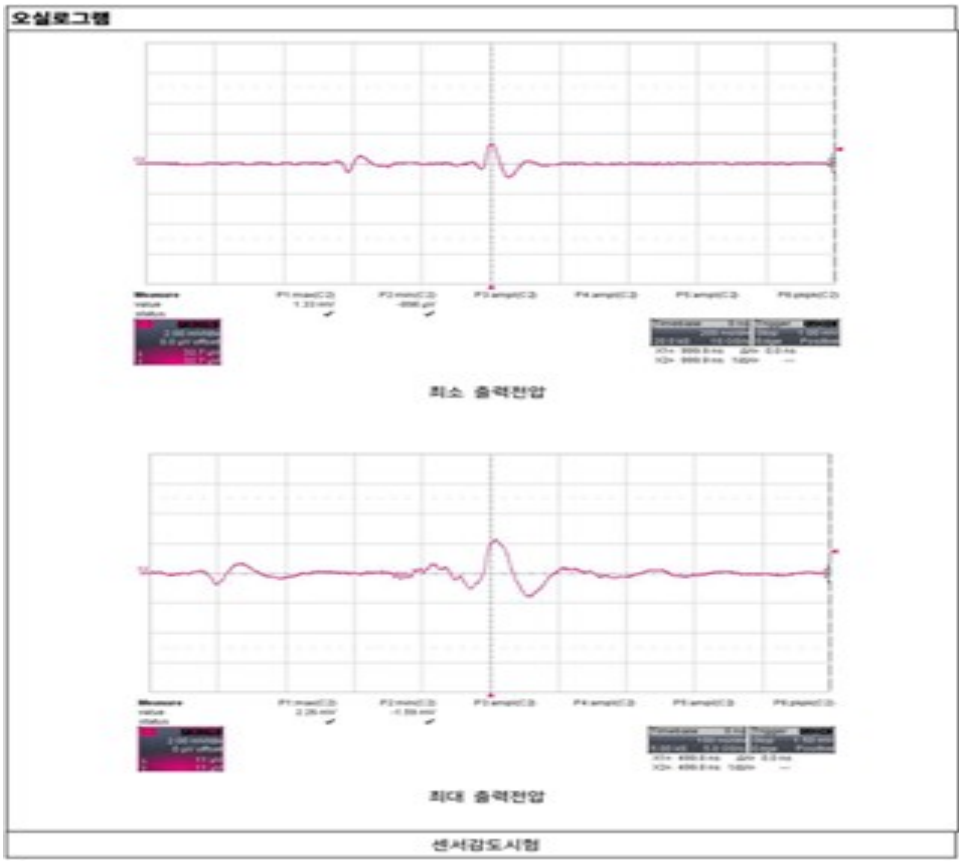
3.2.1 센서의 종류

HFCT 센서, 금속박 센서, 노이즈 센서등을 목적에 부합하도록 아래 항목의 센서를 추가 설치하거나 교체가 가능한 구조이며, Local Unit의 성능을 만족하는 주파수 대역을 포함합니다.

가. HFCT 센서

구 분	내 용	비 고
Feature		3D500
주파수 검출대역	2MHz ~ 500 MHz	-15dB 기준
센서 감도	IEC60270에 의한 겉보기방전 크기 2pC 이하 신호 검출	
센서 내경	내경 30Φ	
커넥터 Type	N형 커넥터 (IEC 61169-16)	
특 징	클램프 타입으로 설치 및 유지보수가 용이함	

HFCT(3D500) 센서 감도시험

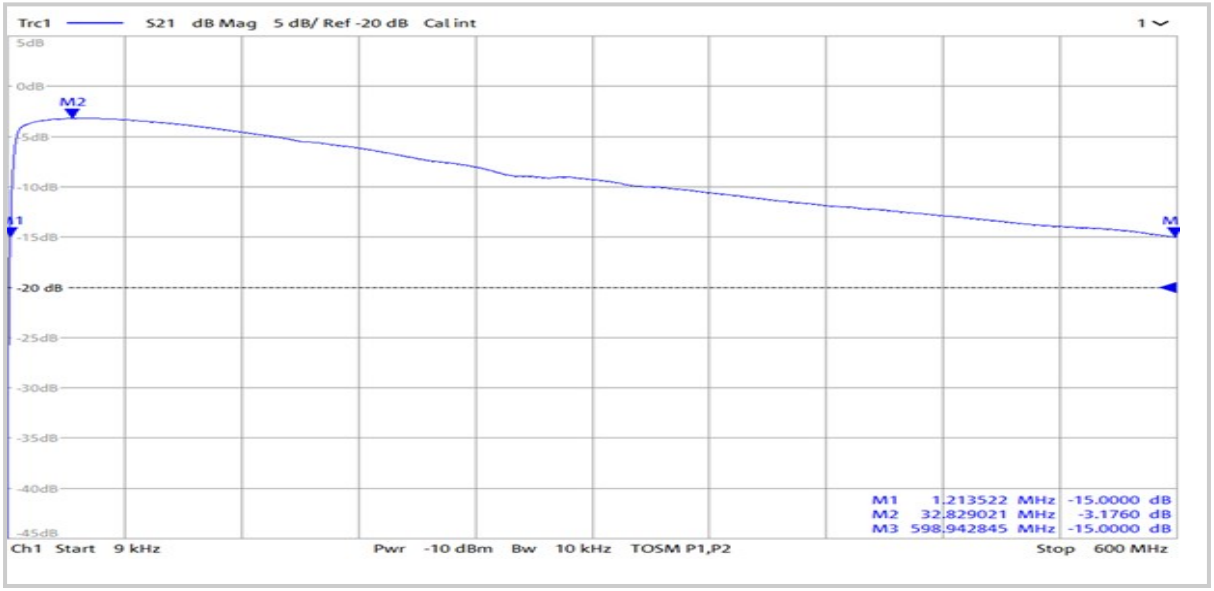
감도 시험 조건	시험일자 2021-02-18 **시험조건** 제조번호 SM-HFCT-21001 시험방법 PD pulse calibrator를 이용하여 2 pC의 부분방전신호를 인가한 후 센서의 출력전압을 측정한다. 대기조건 4.6 °C, 24.4 % R.H., 1 017 hPa 
시험 결과	**시험결과** 최소 출력전압 mV: 1.33 최대 출력전압 mV: 2.26 오실로그램 

나. 임피던스

지중 송전선로 현장의 유도 서지 및 이상 전압으로부터 DAU장비를 보호하기 위하여 센서와 Local Unit 사이에 설치 합니다.

구 분	내 용	비 고
Feature		
주파수 검출대역	2MHz ~ 500 MHz	-15dB 기준
커넥터 Type	N형 커넥터 (IEC 61169-16)	
특 징	외부 유도 Surge 및 이상전압 유입 차단	

임피던스 삽입손실



다. 노이즈 필터

구 분	내 용	비 고
Feature		
주파수 검출대역	15MHz HPF, 20MHz HPF, 25MHz 5, 30MHz HPF	Surge Protect

	현장상황에 맞게 환경조사 후 필터 제작 필요	회로 내장
커넥터 Type	N형 커넥터	

(1) 스펙트럼 아날라이져로 지중 송전선로 현장의 노이즈를 측정하여 외부에서 발생되는 코로나 및 기타 현장 노이즈가 발생할 경우 노이즈 필터에 노이즈 대역을 추가 반영하여 제작 및 설치합니다.

(2) 외부에서 발생되어 HFCT 센서로 유도되어 들어오는 서지 및 이상전압을 보호하기 위한 보호소자가 내장되어 있어 Local Unit의 입력채널로 이상전압이 유입되지 않도록 보호합니다.

3.2.2 노이즈 센서

(1) 지중 송전선로 현장 노이즈 환경을 측정하기 위하여 1MHz ~ 300MHz대역의 노이즈 센서를 제작 설치합니다.

(2) 노이즈 검출을 위해 안테나, 전자파 센서 등을 종단 접속개소 3상당 1개를 설치하며 그 외 개소는 필요시 발주자와 협의하여 설치 개소를 결정하겠습니다.

구 분	내 용	비 고
Feature		
주파수 검출대역	1 MHz ~ 300 MHz	
커넥터 Type	N형 커넥터	
특 징	자석 부착식으로 설치 및 유지보수 용이함	

3.3 Local Unit (이하 LU)

3.3.1 개요

센서에서 취득된 아날로그 부분방전 Data를 진단 Unit의 진단 소프트웨어에서 판정할 수 있는 Digital Data로 변환하는 역할을 하는 장비로서, 데이터를 취득·처리하는 장치와 취득한 정보를 IEC61850 표준 프로토콜 방식의 데이터로 변환하여 진단 Unit으로 데이터를 전달하는 장치(CU)를 포함합니다.

3.3.2 LU 및 NMS 구성

LU는 DAU와 CU는 하나의 LU함체에 통합 설치되며, DAU와 CU는 분리형 구조로 설치 됩니다. LU는 전력구순시 환경을 고려하여 함체를 제작 합니다.

LU 구성

품명	규격	비 고
LU 외함 재질	STS 304, 1.5mm, IP65 방수 구조	
DAU	1~50MHz, 50Ω, 8채널(PD 6CH, Noise 2CH) 4채널(PD 3CH, Noise 1CH)	현장 설비에따라 8CH/4CH DAU 설치
CU	IEC 61850 통신	
소화기	열기류 자동감지	자가발전 작동

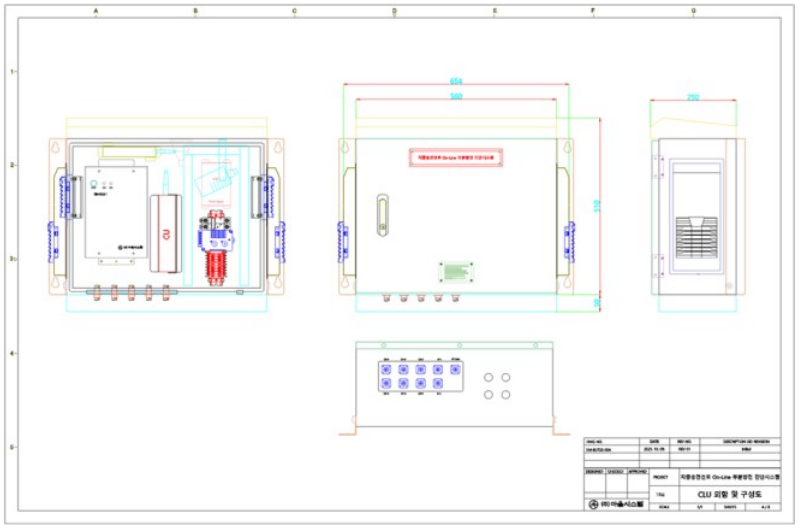
Block Diagram (8채널 LU)



Block Diagram (4채널 LU)



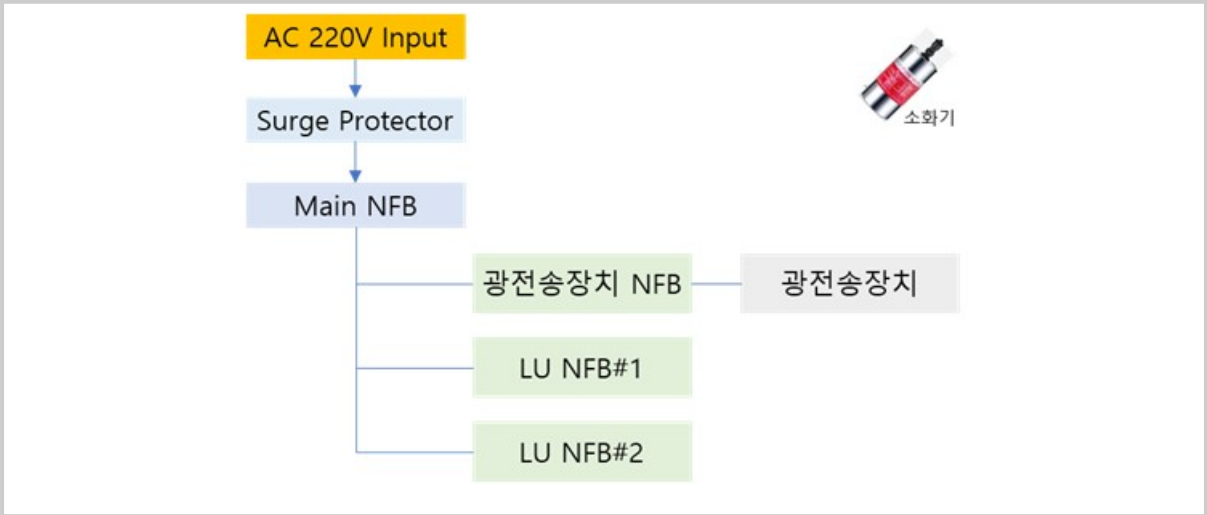
LU 외함 구성도



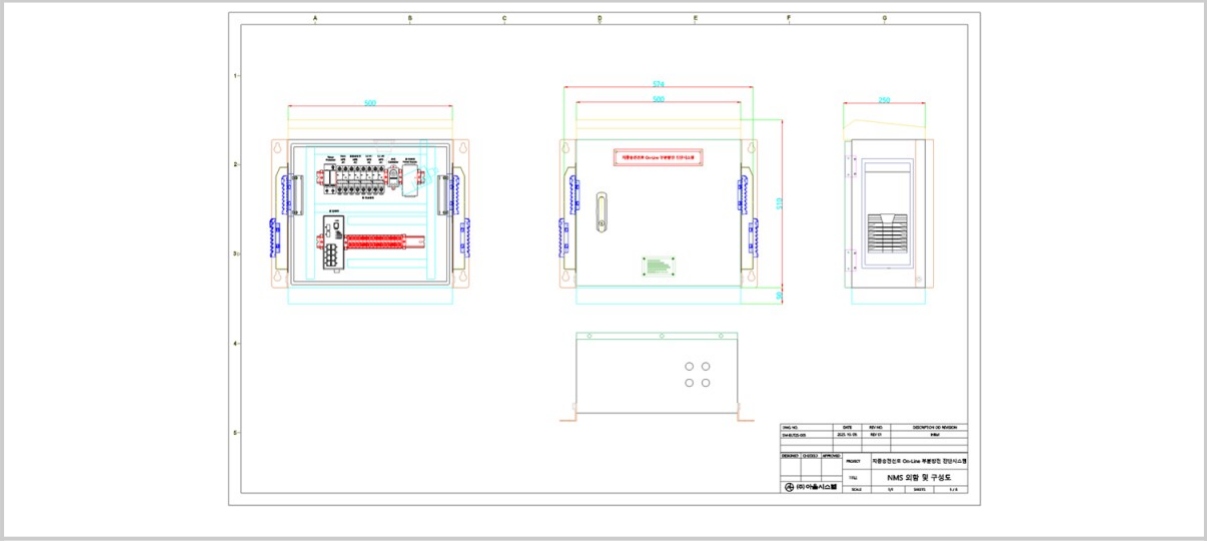
NMS 구성

품명	규격	비 고
LU 외함 재질	STS 304, 1.5mm, IP65 방수 구조	
광통신	Digital 광통신 변환(광전송장치포함)	
MCCB	MCCB 회로 포함	
소화기	열기류 자동감지	자가발전 작동

Block Diagram (NMS)



NMS 외함 구성도



3.3.3 DAU (Data Acquisition Unit)

가. DAU 세부 규격

공급전원은 AC 220V, 60Hz이고, 검출 주파수 대역(Frequency Range)은 하드웨어의 성능에 적합하도록 1MHz ~ 50MHz 이상 대역을 포함 합니다.

나. DAU에 연결된 모든 센서에서 취득한 신호는 위상에 동기되어 동시에 처리 가능합니다.

다. 최대 PD센서 6개 채널 및 노이즈센서 2개 채널이 동시 연속 측정이 가능합니다. 현장 여건에 따라 PD센서 3개 채널 및 노이즈센서 1개 채널 사용이 가능합니다.

라. DAU는 LED 램프로 전원, 통신, Data 취득 기능의 정상 동작 유무를 확인할 수 있습니다.

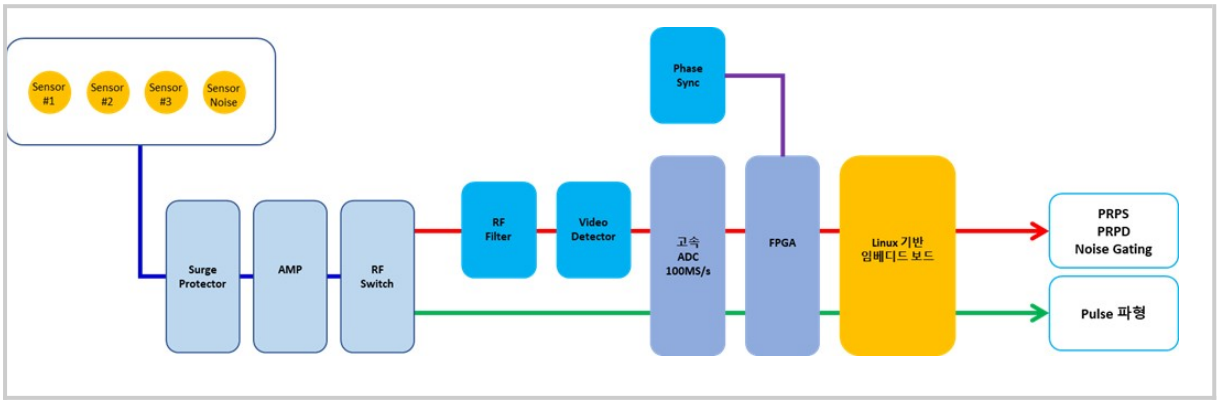
마. 신호 케이블로부터 유입되는 유도, 써지 및 이상전압에 대비하여 보드내 보호회로를 설계하여 제작하였습니다.

바. 상세규격 및 성능

항 목	내 용	비 고
Feature		
Sampling Rate	100MS/s 이상(채널별)	
검출 주파수 대역	1MHz ~ 50MHz 이상의 대역을 포함	
입력채널	8채널 : 신호채널 6 / 노이즈채널 2 4채널 : 신호채널 3 / 노이즈채널 1	3상/ 6상 동시 측정
주파수 분석	협대역 주파수 분석을 위한 중심 주파수 선택 가능	주파수 범위 조절 가능
노이즈 게이팅	노이즈 센서를 활용한 노이즈 게이팅	
트리거	광대역 펄스 펄스 분석을 위한 펄스 트리거 검출 기능	멀티 트리거
동시측정	중심주파수 선택(협대역 주파수 분석) 및 펄스 트리거(광대역 펄스 분석) 동시 측정 기능	트리거 신호에 의한 3상

		동시측정
Sync 채널	전원 Sync / 입력 또는 외부 Sync 中 선택 가능	
측정 임피던스	50Ω	
네트워크 전송속도	100/1000Base-T	
사용 전원	AC220V, 60Hz	

Local Unit 데이터 취득장치(DAU) 구조도



(1) DAU는 4채널 또는 8채널로 구성이 되며, 4번, 8번 채널은 PD 채널에서 Noise 채널로 변경하여 데이터를 취득할 수 있습니다.

(2) 부분방전 신호를 검출하기 위하여 Sensor, Surge Protector(외부 유도 Surge 및 이상전압 유입 차단 회로 내장), SNR을 높이기 위한 앰프, 노이즈 제거를 위한 필터와 100MS/s 이상의 고속 아날로그 디지털 신호 변환기(ADC)를 거쳐 전반적인 신호를 제어 및 저장하는 FPGA와 Linux 기반 임베디드 보드로 연결 됩니다.

(3) 각 채널은 위상 동기 신호를 내부전원 또는 외부동기 신호를 받아 동기되어 부분방전 신호를 측정 합니다.

(4) PD 측정모드에서는 Video Detector 동작방식으로 구현되어 1MHz ~ 50MHz의 신호중 중심주파수를 기준으로를 협대역(Bandwidth 3MHz이상)으로 측정할 수 있으며(PRPS/PRPD), Pulse Mode에서는 오실로스코프처럼(1MHz ~ 50MHz) Pulse Data를 취득하여 정밀 진단을 수행할 수 있습니다.

(5) 신호검출

- 신호처리 프로세서부는 센서에서 입력된 아날로그 신호를 Surge Protector(외부 유도 Surge 및 이상전압 유입 차단 회로 내장)와 앰프, 필터 회로로 구성된 RF 모듈에서 검출된 부분방전 펄스 신호에 대하여 고속 ADC 회로를 통해 디지털 데이터로 변환한 후 FPGA/ARM 회로로 연결되며, 상위 서버로부터 전송된 각종 제어 신호를 각각의 부가 장치에 할당하여 설정치에 따른 동작을 수행하도록 신호처리 프로세서가 동작합니다.

- 4채널 또는 8채널 동시 측정을 위해서 RF 입력, Surge Protector(외부 유도 Surge 및 이상전압 유입 차단 회로 내장), ADC, FPGA/ARM 회로는 각 채널별로 구성 됩니다.

- 각 PD 채널에 설정된 Threshold 값을 기준보다 큰 값이 발생한 경우 해당 채널을 기준으로 나머지 3개(또는 7개) 채널에서 측정된 데이터를 동시에 저장 하여, 4개의(또는 8개) 채널을 하나의 그룹으로 신호를 묶어서 데이터를 전송 합니다.

3.3.4 CU (Communication Unit)

가. DAU에서 취득한 데이터를 IEC 61850 표준 Protocol 방식 데이터로 변환 후 진단 Unit에 해당 정보를 전송하는 기능을 수행합니다.

나. CU 전면부에서 데이터 취득 및 통신 상태 등이 확인 가능합니다.

다. 부분방전 측정 데이터의 연속적인 전송이 가능하고, 원활한 데이터 교환이 이루어질 수 있도록 CU와 진단 Unit간에는 별도의 100/1000Base-T 이상의 광전송장치를 이용해서 연결 합니다.

구 분	내 용	비 고
Feature		
OS	Windows® 11 IoT Enterprise	
CPU	Intel® Core™ i5-1235U	
Memory	16 GB	
HDD	500GB SSD	
LAN	Intel® LAN, 10/100/1000 Mbps	

3.4 진단 Unit

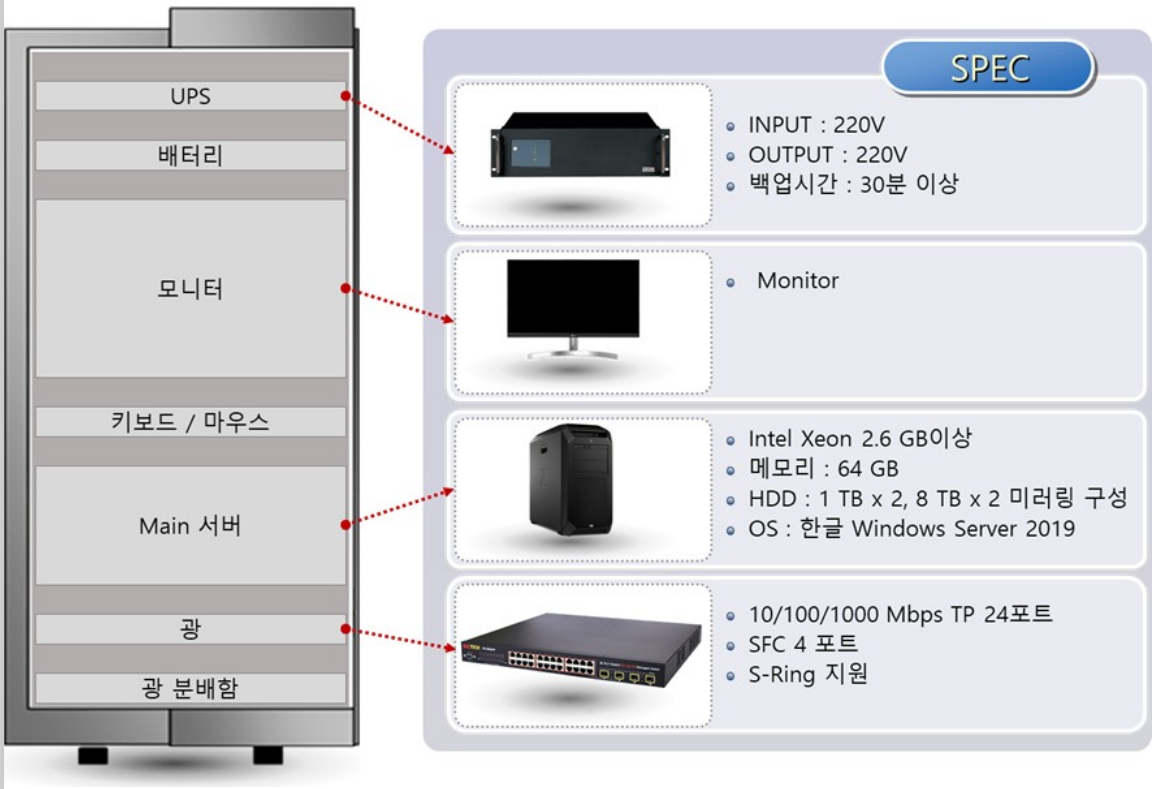
3.4.1 개요

Local Unit에서 디지털 값으로 변환된 부분방전신호를 진단 소프트웨어로 분석하여 진단결과를 도출하고, 부분방전 이상신호 발생시 아람을 발생하여 운영자에게 제공하며, 원격지 운영자 PC에서 접근할 때 정보를 제공하는 장비입니다.

3.4.2 진단 Unit 구성

진단 Unit의 구성은 운영프로그램과 웹서비스를 지원하는 Main Server와 전원을 공급하는 UPS, 통신과 관련된 광 허브 등으로 구성되어 있으며, 모든 장비는 외함에 설치하여 운영합니다.

진단 Unit 구성



가. Maint 서버 (모니터 포함)

구 분	내 용	비 고
제 품		HP Z8
CPU	Intel Xeon 6542Y 2.9GHz 24 cores 250W CPU	
Memory	64GB	

HDD	1TB x 2EA 8TB x 2EA	미러링 구성
그래픽	NVIDA A400	
운영체제	Window Server 2019	
DBMS	Windows Server 2025 Standard	
Report Tool	Office 2024	
백신	V3 Windows Server 9.0	
모니터	17.3인치, 모니터/키보드 일체형	

나. UPS

구 분		내 용	비 고
제 품			
INPUT	Voltage	AC 220 ~ 240V, +/-25% at line input	
	Freqenscy	50 or 60 Hz +/-10% (auto sensing)	
OUTPUT	Voltage	220V/230V/240V +/-5%	
	Freqenscy	50 or 60 Hz +/-0.5%	
배터리		Typical Recharge Time : 1 hours (to 90% of full capacity) Back-up Time : 95 - 105 minutes	배터리용량 변경가능
INTERFACE		RS-232C Bi-directional communication port	

다. 광허브

구 분	내 용	비 고

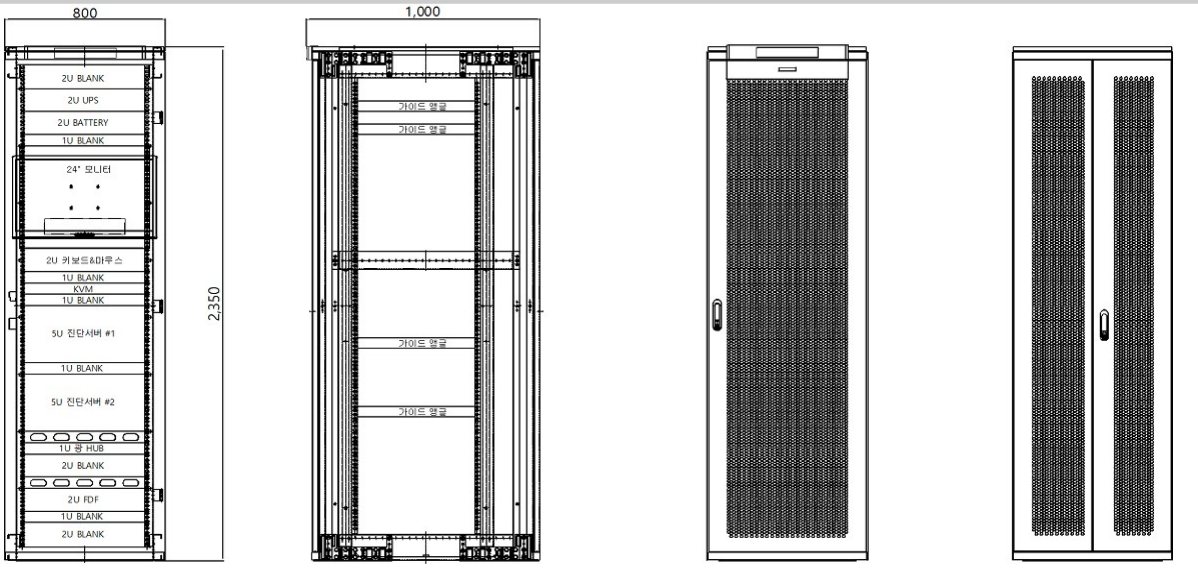
제 품			
인터페이스	RJ45	POE 10/100/1000Mbps TP 24포트 (콤보 포트: 23, 24), Auto-Negotiation, Auto MDI-X	
	광포트	SFP 4슬롯(콤보 포트 : 23, 24) 1000Mbps-SX/LX SFP 지원, 100Mbps-FX SFP 지원	
입력전원		100~240VAC, 50/60Hz	

라. FDF

구 분	내 용	비 고
제 품		
인터페이스	LC 24C, 1U	

마. 외함

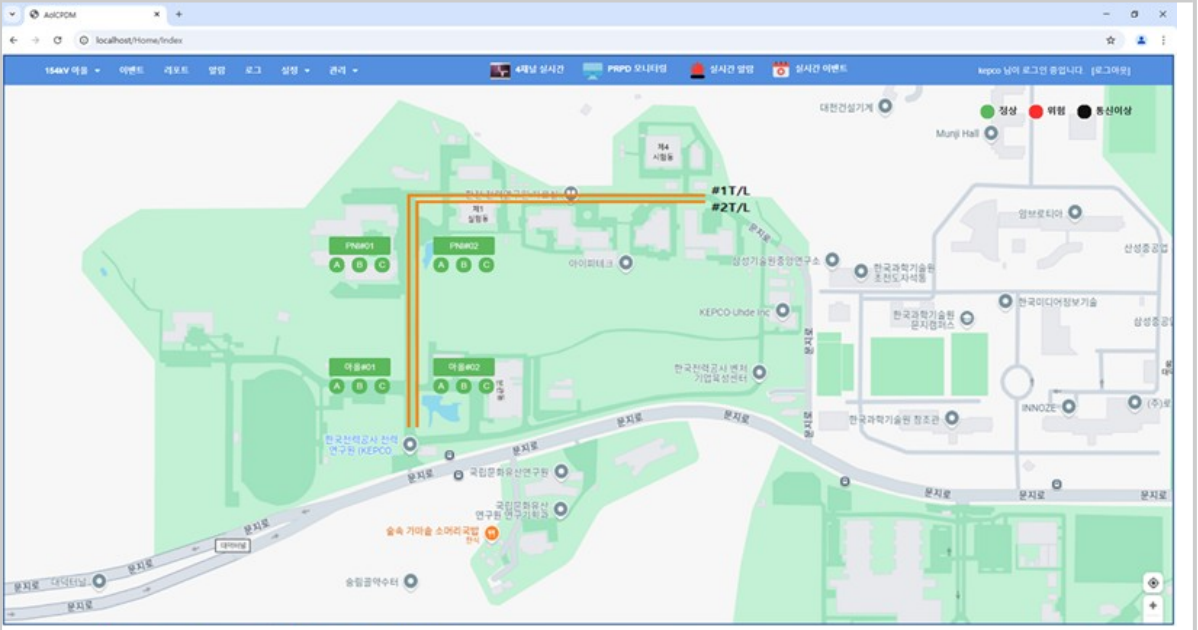
진단 Unit 외함 구성도 (예시)



3.4.3 성능

가. 진단 Unit은 Local Unit에서 전송되는 데이터를 저장 · 분석 · 판정하는 장치로, 부분방전 진단 소프트웨어가 설치되어 안정적인 운영이 가능합니다.

진단 소프트웨어



- 메인 화면 : 선로 정보(경과지, 접속함등)를 GIS 도면에 단선도 형태로 표시하여 감시

나. 진단 Unit은 본부 통신실에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 수용 가능한 센서 수량초과 등

사유발생시 발주처와 협의하여 전력지사, 변전소 등의 통신실에 추가 설치하여 운영할 수 있습니다.

다. 진단 Unit에는 안정적으로 전원을 공급할 수 있도록 백업시간 30분 이상의 무정전전원장치(UPS)를 설치하여 운영하며, 진단 Unit의 소비전력은 다음과 같습니다.

항 목	상용전원	소비전력 (max)	수량	소비전력 합계
서버	AC220V, 60Hz	1,450 W	1	1,450 W
모니터	AC220V, 60Hz	55 W	1	55 W
광허브	AC220V, 60Hz	380 W	1	380 W
합 계				1,885 W

3.4.4 진단 Unit은 부분방전이 발생한 경우 또는 LU 이상 등 비정상적 상황이 발생한 경우 감지할 수 있으며, 운영자가 알 수 있도록 경보를 발생합니다.

3.4.5 지중송전선로 증설 등으로 LU가 증가될 경우, 진단 Unit에서 LU를 추가 연계할 수 있는 DB 구조로 설계하였으며, 단일 진단 Unit은 최소 200개 이상 센서(노이즈 포함) 데이터를 저장·분석·판정 할 수 있습니다.

3.4.6 진단 Unit의 부분방전 진단 소프트웨어는 운영자에게 친숙하고 사용에 편리한 최신의 한글 Windows Server 2019를 사용합니다.

3.4.7 시스템 보안성 확보를 위해 진단 Unit의 서버 PC에는 백신 프로그램(V3)를 설치하여 운영합니다.

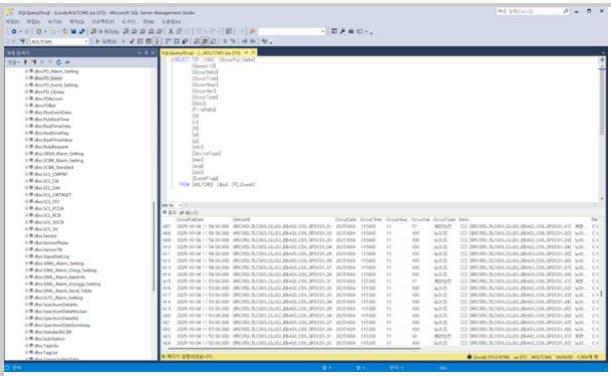
3.4.8 진단 Unit의 세부규격은 각 사업소 운영/설치 환경을 고려하여 설계 과정에서 수량 및 사양을 정하도록 하겠습니다.

3.5 부분방전 진단 소프트웨어

3.5.1 각각의 LU에서 전송된 데이터를 진단Unit의 서버PC DB(Database)에 저장할 수 있어야 하고, 운영자에게 주파수 스펙트럼, 펄스 파형 등의 분석 결과를 보여주어야 한다. 또한 PD 신호 검출 시 경보신호를 운영자에게 전송 하는 소프트웨어입니다.

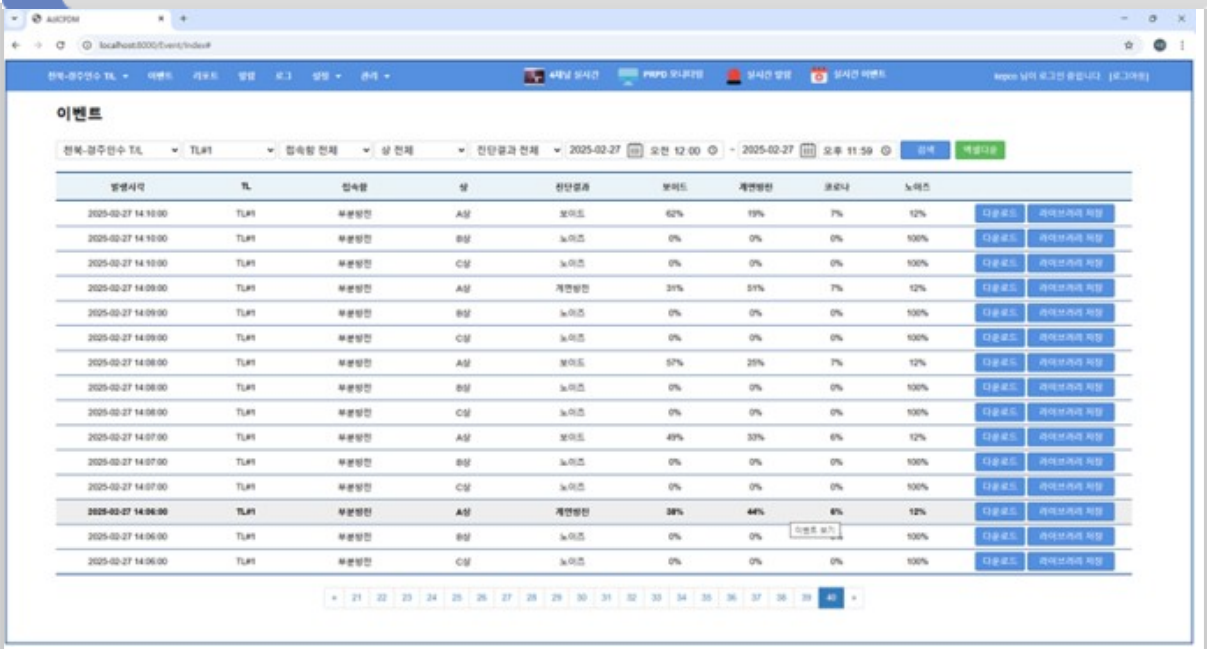


이벤트 데이터베이스 저장

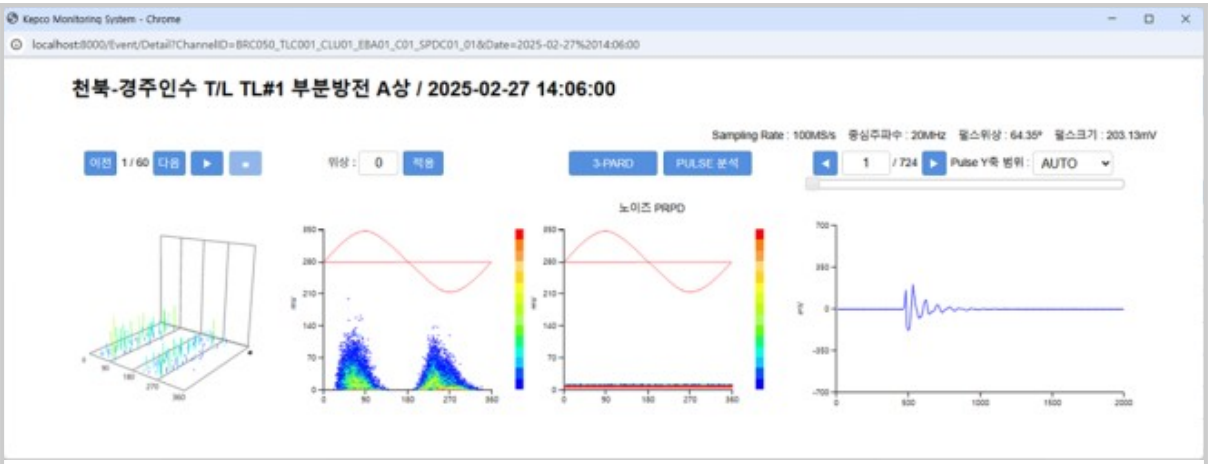


- PD 이벤트 파일은 진단 알고리즘에 의하여 등록된 라이브러리와 비교하여 자동 패턴 분류 결과를 실시간으로 DB 저장

데이터베이스 저장 이벤트 검색화면



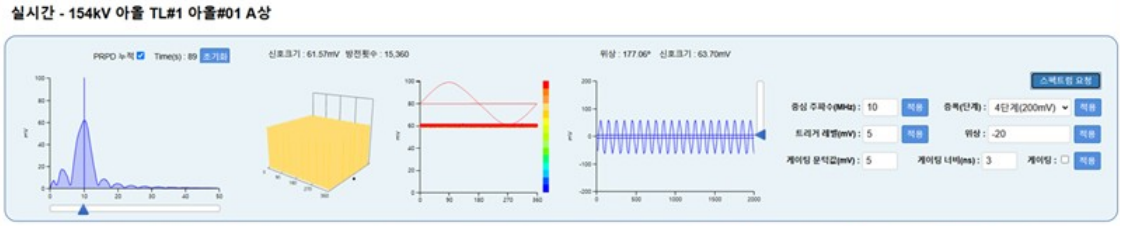
[이벤트 검색]



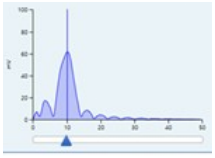
[이벤트 리스트 클릭하여 저장된 부분방전 패턴 Diplay]

- DB에 저장된 PD 이벤트 판정 데이터는 “이벤트”검색을 하여 PD 신호를 재 분석 할 수 있습니다.

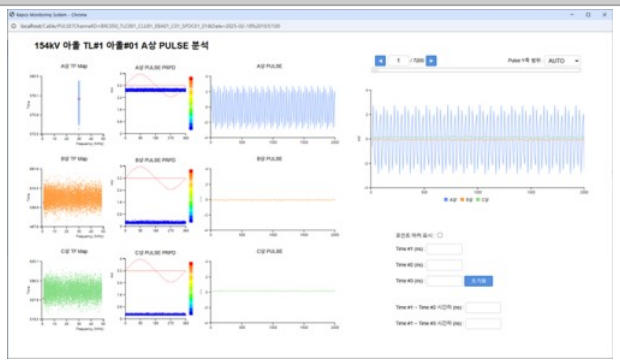
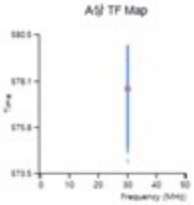
부분방전 이벤트 분석 (주파수, 스펙트럼)



- 실시간 검색화면의 주파수 스펙트럼 데이터의 S/N비를 보면서 중심 주파수를 1 ~ 50MHz 변경하여 PD 검출 주파수 선택 분석 합니다.

주파수 스펙트럼 분석	

부분방전 이벤트 분석 (펄스 파형)

스형태 분석	 - 1분 이벤트 파일과 동시 저장된 Pulse 파형을 분석 - 시간-주파수 분석, PRPD, Pulse Wave 확대 분석, 시간차 분석
펄스 시간차 분석	 [X축-주파수, Y축-시간]

실시간 경보 알람



- PD 알람조건을 만족하면 실시간으로 경보 알람 팝업창이 뜨며, 해당 포인트에서 적색으로 블링킹 합니다.

- 사용자가 인지하기전까지 경보알람을 유지하며, 데이터베이스에 저장된 파일은 “알람” 검색 가능합니다.