

AE 검출기법을 이용한 전력용 변압기 on-line 진단 장비 개발

박현수, 이동준, 박정현, 이지철, 어수영, 권동진*, 구교선*
(주)태광ENC, 한국전력연구원*

Development of a Power Transformer On-Line Diagnosis Device using AE Detection Method

H.S. Park, D.Z. Lee, J.H. Park, J.C. Lee, S.Y. Eo, D.J. Kweon, K.S. Koo
TaeGwang ENC, KEPRI

Abstract - AE(Acoustic Emission) 검출기법을 이용한 새로운 방식의 변압기 on-line 진단 장비의 개발을 소개한다. 금번에 개발된 변압기 진단 장비(AMiD)는 다년간에 걸친 프로젝트 수행과 실 현장측정 결과를 토대로 축적된 경험과 기술력을 바탕으로 설계, 제작되었다. 본 장비는 국내 전력용 변압기의 운전 환경에 적합하며, 각 변압기의 운전 환경과 운전 조건에 따라 유동적으로 적용될 수 있다. 본문에서는 장비의 기본적인 사양 및 기술적 특징에 대해서 설명한다.

AE 센서를 부착하고 변압기 절연과외의 진구현상인 부분방전에 의한 AE 신호를 변압기 운전 중에 상시 측정, 부분방전의 진전과정을 상시 감시하여 변압기의 사고를 미연에 방지하기 위한 장비이다.

본 장비는 순수 국내기술로 개발된 고정도의 보드를 사용하였으며 AE 계수의 정도를 높이기 위한 실시간 신호처리 기법을 적용하였다. 이 장치는 변압기 내부의 부분방전으로 인해 발생한 충격신호를 정밀 취득하여 부분방전 Trend를 구하고, 취득 신호의 계산 결과를 원격의 변압기 예방진단시스템에 전송한다.

이 장치는 변압기 고유 진동 및 전기적인 잡음 등을 차단하기 위하여 70[kHz]~300[kHz] 대역의 AE 신호를 집중 관찰하도록 제작되었으며, 현장에서 자체적인 진단 기능 및 운용이 가능하도록 데이터 송수신 및 부분방전 신호의 측정, 분석, 감시 기능을 가진 소프트웨어를 개발 설치하였다. 그림 1에 AMiD의 외관과 센서를 나타내었으며 표 1에 AMiD의 기본 사양을 표시하였다.

1. 서 론

전력계통의 필수 구성요소인 전력용 변압기에 대한 예방진단기술은 변압기의 운전 상태에서 on-line으로 이상 징후를 상시 감시하여 급속히 진행되는 이상 징후에 대하여 경보를 발생함으로써, 불시정전을 방지하고 막대한 산업 손실 및 심리적 불안에 예방한다. 따라서 이러한 변압기 예방진단기술을 안정적으로 적용함으로써 설비의 신뢰도를 향상시켜 전력의 안정공급에 기여할 수 있으며, 감시의 자동화로 운영 및 유지보수 인력을 감소할 수 있으므로 변전소 종합 자동화시스템의 기반기술을 확보할 수 있다.^{[1]-[2]}

국내에서는 1997년부터 345kV 변전소에 예방진단시스템을 적용하여 현재 9개의 변전소 등에 약 150대 이상의 변압기에 진단을 목적으로 센서가 부착되어 있다. 하지만, 현재 설치되어 있는 온라인 진단 항목에 의한 측정 결과는 변압기 자체의 진단은 가능하지만, 변압기 내부 이상의 위치를 검출하는 것에는 한계가 있다. 따라서 현재 온라인 진단 항목에 의한 알람 발생 및 정기점검에 의한 다중류 가스 분석의 결과 이상 가스 발생의 경우 포터블 AE 진단 장비를 이용하여 내부에서 발생하는 AE(음향방출, Acoustic Emission) 신호를 검출함으로써 내부 결함의 위치를 판정하는 기법이 현재 적용중이다.

본 논문에서는 이러한 내부 결함의 위치 추정에 강점을 가지고 있으나 주로 on-site 정밀진단 방식으로만 사용되고 있는 AE 진단기법을 변압기 on-line 진단장비로 적용시켜 개발한 변압기 on-line 장비인 AMiD에 관하여 간략히 소개한다.

2. 본 문

2.1 Acoustic Emission

AE는 「재료 내부의 미소한 파괴 또는 이것과 동일한 에너지 해방과정 에 의해 발생하는 탄성파동 현상」이라고 정의할 수 있다. 즉 AE 검출이란 물체가 파괴되거나 변형되거나 하는 것에 의해 방출되는 음향을 검출하는 것이라 할 수 있다. 현재 AE를 연구하는 분야에서는 인간의 귀로 검출할 수 있는 가청음(20kHz 이하)을 대상으로 하지 않으며 가청음에서는 없는 미소한 신호를 일반적으로 AE라고 생각할 수 있다.^[3]

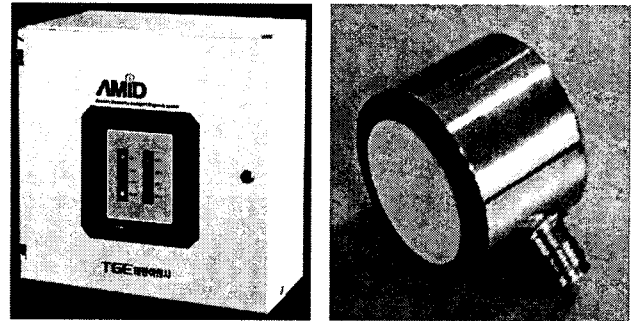
AE의 발생 원인은 크랙이라고 부르는 균열이 가는 현상은 물론이고, 그 외에 결정물질에서의 전위, 변태 등도 포함하고 있다. 정의에 따르면 매질 내부에서 탄성파동을 발생시키게 하는 현상 모두가 AE의 발생 원인이 되며, 유입식 변압기의 경우 내부 부분방전 또는 아크에 의해 AE 신호가 발생하게 된다.

유입식 변압기 내부에서 부분방전이 발생하면 그 부위에는 국부적인 발열이 동반되며 그 발열에 의해 주변의 절연유가 급격한 압축을 받아 충격파로 유중에 전달되는 펄스형태의 AE 신호가 수반된다. 이 AE 신호는 변압기내의 매질(절연유 등)을 통해서 방사형으로 퍼져나가게 되며 이 신호는 변압기 외벽에 부착한 AE 센서로 입력되고, 입력된 신호는 전기적인 신호로 변환, AE 신호 측정시스템으로 전송되어 측정·분석되게 된다.

부분방전 또는 아크에 의한 AE 신호를 사용하여 변압기의 상태를 진단할 경우, 다른 부분방전 진단법과 비교하여 가장 큰 장점은 내부 부분방전 또는 아크의 발생 위치를 추정할 수 있다는 점이다. 변압기 외벽에 다수의 AE 센서를 부착하여 각 센서에서 검출된 신호들 간의 도달 시간 차이를 비교, 계산하여 결함의 위치를 추정하게 된다. 이러한 내부 결함의 위치추정은 변압기 보수에 드는 시간과 경비를 크게 절감할 수 있도록 도와준다.^[4]

2.2 AMiD

AMiD(Acoustic Measurement intelligent Device)는 10여년에 걸쳐 수행된 AE 측정기법을 이용한 변압기 예방진단에 관한 연구 결과를 적용시킨 장비로 변압기의 열화 진단을 위하여 전력용 변압기의 사방에 최대 8개의



〈그림 1〉 AMiD의 외관과 AE 센서

〈표 1〉 Specification of AMiD

	Specification	Manufacturer
AMiD	MAx 8 Channels of AE Sensors	(주) 태광이엔시
	-20 ~ 60dB Gain (20dB step selectable)	
	70 ~ 300 kHz Analog Filter	
	16bit / 1.2Ms/s A/D Converting / Each Channel	
	RS485 Communication	
AE Sensor	40/60dB internal preamplifier	(주) 태광이엔시, 전력연구원
	150kHz Resonance Type	
	Normal / Noise Reduction Type	

2.2.1 Hardware

AMiD의 Hardware는 크게 AE 센서, 신호처리보드, 메인보드의 3파트로 이루어지며, AE 센서는 신호의 측정과 1차 증폭과 필터링을, 신호처리보드는 AE 센서로부터 AMiD 본체로 입력되는 신호의 프로세싱, 그리고 메인 보드는 HMI와의 통신과 AMiD 본체와 AE 센서의 전력공급을 담당한다.

AMiD에 사용되는 AE 센서는 자체개발품으로, 변압기 AE 진단시 유입 변압기 내부에서 발생하는 부분방전 측정에 가장 감도가 좋은 것으로 알려진 150kHz 공진형 압전소자를 사용하고, 40dB 또는 60dB 증폭률을 갖는 프리앰프를 내장하고 있으며, 기존 방식의 AE 센서를 업그레이드하여 우천시 변압기 외함 등으로부터 유입될 수 있는 전기 노이즈를 최소화시켜 전력용 변압기 on-line 진단에 최적화된 AE 센서이다.

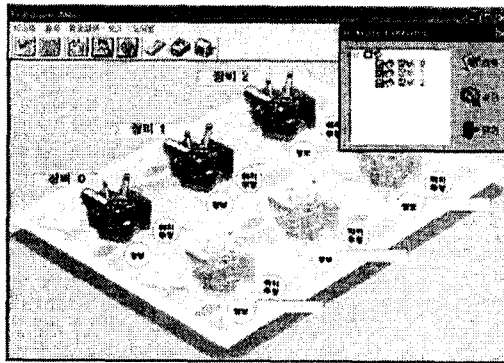
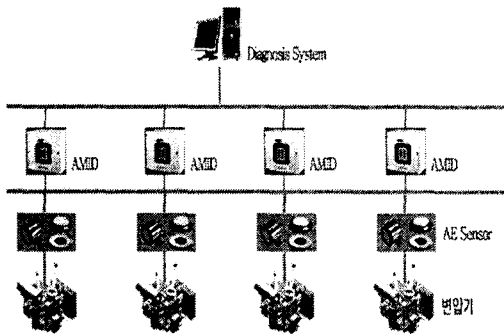
신호처리보드는 크게 아날로그 파트와 디지털 파트의 두 부분으로 이루어진다. 아날로그 파트에서는 AE 센서의 동작에 필요한 전원을 공급해주고, AE 센서로부터 신호를 입력받아 신호의 증폭, 필터링을 수행한다. 증폭률은 -20 ~ 60dB이며 20dB 단위로 증폭률을 설정 가능하도록 되어 있고, 필터의 대역폭은 70 ~ 300kHz이다. 디지털 파트에서는 신호의 A/D 변환,

신호의 분석을 담당한다. 채널별로 각각 16bit / 1.2 Ms/s의 A/D 컨버터를 사용하고 있으며 신호의 분석은 부분방전 분석 알고리즘이 내장된 고성능 FPGA를 적용하였다. 실 부분방전에 의한 신호만을 검출할 수 있도록 자체 개발한 알고리즘이 FPGA에 내장되어 있으며, 내장된 알고리즘은 실 부분방전과 노이즈 신호를 구분하여 부분방전 신호로 판단될 경우 부분방전에 의한 AE 신호의 크기, 펄스 카운트, 각 신호간의 도달시간차(Δt) 등을 계산한다.

메인보드는 신호처리보드와 상태표시 LED 등에 전원을 공급하고, 각각 4 채널의 AE 센서를 연결할 수 있는 신호처리보드를 최대 2장까지 인스톨하도록 설계되었다. 통신 방식은 Modbus 프로토콜 방식을 사용, RS485 Serial 통신방식을 채용하였으며 통신제어 및 데이터 전송은 FPGA 통해 이루어지고 있다.

2.2.2 Software - PDSee

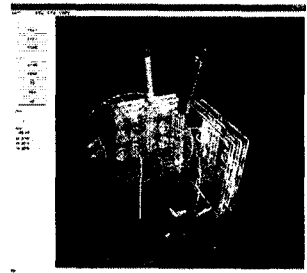
AMiD의 소프트웨어는 한 개의 예방진단 시스템 HMI를 사용하여 한 변전소 내에 설치된 모든 AMiD 장비를 제어하고, AMiD가 설치된 모든 변압기들을 감시할 수 있도록 구성되어 있다. AMiD 시스템의 구성도를 그림 2에 나타내었다.



HMI의 기본 화면 구성은 그림 3과 같으며, 그림 3의 화면에서 현재 이상 신호가 발생하고 있는 변압기를 확인할 수 있도록 되어있고, 변압기 정보와 이상 발생의 정도를 수치로 확인할 수 있도록 되어있다. 화면의 변압기를 선택할 경우 각 변압기별 상세 진단 정보로 들어가게 된다.

각 변압기별 상세 진단 정보에서는 실 부분방전에 의한 AE 신호의 계수 값을 표시하여 부분방전 추이를 확인할 수 있도록 되어있다. 추이 분석에 사용되는 부분방전 계수 값은 신호의 크기와 신호의 펄스 카운트를 사용한다. 소프트웨어는 이러한 트렌드를 지속적으로 축적, 분석하여 일정 범위를 초과할 경우 사용자에게 경보를 알리도록 되어있으며, 경보 설정 값은 변환 가능하도록 하였다.

AMiD 소프트웨어는 부분방전의 발생 추이를 알려줄 뿐만 아니라 부분방전의 발생 위치를 알려주는 위치 추정 알고리즘이 내장되어 있어, 사용자에게 2차원 또는 3차원 그래프적으로 부분방전의 발생 위치를 알려주도록 하고 있다. 3차원 위치추정의 경우 3차원으로 위치한 센서 3개 이상에서 신호가 측정되어야 3D Location 알고리즘 적용이 가능하므로 기본적으로는 기존의 Zonal Location Method를 적용시킨 2차원 위치추정을 하고 있으며, 3차원 위치추정은 다수의 센서에서 신호가 입력되어 적용이 가능한 경우에만 행하고 있다. 부분방전의 위치추정은 각 채널별로 유입되는 신호들 간의 도달 시간 차(Δt)와 도달 순서를 사용하여 위치를 계산, 결과를 추정하게 된다. 그림 4와 그림 5에 부분방전 위치추정 결과 화면을 나타내었다.

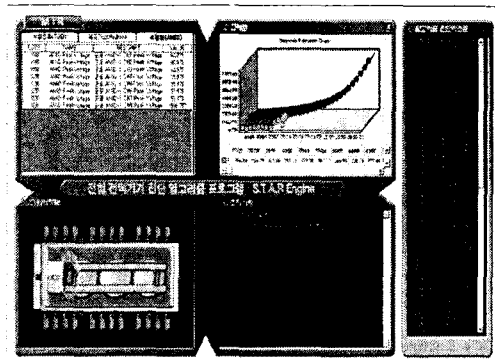


<그림 4> 2차원 위치추정

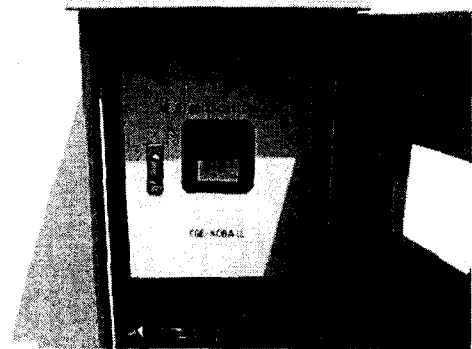
<그림 5> 3차원 위치추정

2.3 현장설치

현재 AMiD는 3기가 현장에 설치되어 있으며, 1기는 AMiD 단독으로, 2기는 철도청 군포변전소의 예방진단 시스템에 연계되어 있다. 군포변전소에 설치된 2기의 AMiD 중 1기는 소내 MTR 진단용으로 8채널의 AE 센서를 사용, 설치되어 있고 나머지 1기는 크기가 비교적 작은 변압기인 AT에 적용되어, 4채널 시스템 중 2채널만을 사용, 설치되어 있다. 그림 6은 군포변전소 내 예방진단 시스템에 연계되어 부분방전의 2차원 위치추정과 부분방전 발생 이력 및 추세를 표현하고 있는 화면이고, 그림 7은 현장에 설치된 AMiD의 사진이다.



<그림 6> 예방진단 시스템 HMI에 연계된 AMiD Software



<그림 7> 현장 설치된 AMiD 사진

3. 결 론

본 논문에서는 변압기 On-Line AE 진단장비인 AMiD의 개발을 소개하였다. AMiD는 부분방전의 추세를 분석하여, 예측이 가능하고 결함의 위치를 파악하여 변압기 보수에 드는 시간과 경비를 크게 절감할 수 있도록 도와준다. 현재 현장 설치를 통해 장비의 현장 테스트를 수행하고 있고, 발생한 문제점 등을 참고하여 양산형 개발이 진행 중에 있다.

AMiD는 국내 전력용 변압기의 운전 환경에 적합하며, 각 변압기의 운전 환경과 운전 조건에 따라 유동적으로 적용될 수 있으며, 이것은 예방진단시스템의 활용과 확대 적용에 크게 기여할 뿐만 아니라, 향후 변전소 무인화 시스템의 적용에도 기여할 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박희로 외, "전력기기 예방진단 기술 연구", 한국전력공사보고서, pp.19-115, 1988.
- [2] 변전기기 사고현황 분석, 한전 평생전문가그룹 자료집, 1999.
- [3] "초음파탐상 음향방출학 개론", 도서출판 골드, 2003.
- [4] 권동진, "초음파 경향분석에 의한 전력용 변압기의 예방진단에 관한 연구", 박사학위 논문, 1995.