변압기용 Local Unit의 진단알고리즘 개발

최인선, 김명회, 이준철
(주)효성 중공업연구소

A development of Local Unit's diagnosis algorithm for power transformer

IS Choi, MH Kim, JC Leei
Power & Industrial Systems R&D Center, Hyosung Corporation

Abstract - 송변전기기는 고압 대용량화로 진행되어, 기기의 고장 발생 시 그 파급효과는 엄청나다. 이에 전력설비들은 매우 높은 신뢰성이 요구되며 특히 기기의 고장을 예측 진단하여 신뢰성을 높이는 부분은 필수 불가결한 부분이 되었다. 이에 (주)효성에서는 변압기 진단을 위한 센서 및 IED가 포함된 지능형 변압기(Intelligent Power Transformer)용 Local Unit을 개발하였다. 본 논문은 (주)효성에서 개발한 Local Unit의 진단 알고리즘에 대해 기술하였다.

1. 서 론

자연재해 및 전력 시스템의 복잡성, 외부 노출 등으로 인해 전력 설비는 언제나 고장에 노출되어 있다. 이에 전력의 안정적 공급 및 신뢰도확보를 위해 전력회사는 꾸준히 노력하고 있으나 전력설비의 이상이 발생하면 산업에 미치는 경제적인 손실이 크고 인적 재해 가능성도 크다. 이에 전력설비의 고장 방지를 위한 유지보수기술은 계속 관심의 대상이었으며, 많은 기술 개발이 이뤄지고 있다.

전력설비의 유지보수기술은 과거 Off-line상태 및 수리위주의 기술에서 "계획기반의 유지보수"를 거쳐 "조건(Condition)기반의 유지보수"에 이르렀다. 각 설비의 특성파악과 운용환경에 따른 설비의 중요도 및 파급효과 분석(Failure Modes, Effects & Analysis)등의 신뢰성 공학을 통해 가장 효율적이고 경제적인 유지 보수 방안을 전략적으로 운영, 관리할 수 있는 첨단의 신뢰성 기반의 예방진단(RCM : Reliability Centered Maintenance)기술과 시스템, 인프라를 개발할 필요도 커지고 있다. 또한 현재 디지털 기반의 변전자동화 시스템이 개발 중에 있으며, 설비에 대한 진단 IED(Intelligent Electronic Devices)도 개발 항목에 있다. 이러한 진단 IED에서 보다 데이터를 효율적으로 처리하기 위하여, 전력설비의 전기, 기계적 보호장치들에 대한 정보를 디지털화 시키는 것은 매우 중요하며, 해외 선진사의 경우 몇 가지 보호장치들에 대한 정보를 디지털화하여 예방진단 시스템을 개발하고 있다.

현재 국내에서는 초고압 GCB/GIS, 초고압 전력용 변압기, 차단기, 개폐장치 및 케이블 등 개별 전력기기의 생산/개발 수준은 세계적인 수준에 근접하고 있으나 변전소 운영에 필요한 감시, 보호 및 제어 시스템 분야의 기술적 수준은 물론 설비에 대한 진단 분야 및 개별 전력기기의 디지털화에 있어서는 아직 세계적 수준과 비교할 때 미흡한 수준이다. 특히 변압기의 경우 사고의 파급효과가 크며, 이에 따라 변압기에 대하여 전기적, 기계적 보호 장치들을 20여개 설치하여 감시하고 있으나, 이러한 보호 장치들은 기계적으로 구성되어 있으며, 환경에 따라 빈번하게 오동작을 발생하고 있어, 신뢰성 있게 변압기를 관리하는데 어려움이 있다.

이에 (주)효성은 예방진단 시스템의 디지털화를 위해 변압기 진단을 위한 센서 및 IED가 포함된 지능형 변압기(Intelligent Power Transformer)용 Local Unit을 개발하였다. 본 논문은 이 Local Unit의 예방진단 알고리즘에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 예방진단의 필요성

송전용량의 증가로 기기의 고장 시 파급효과는 엄청날 것으로 예측되어 전력설비들은 매우 높은 신뢰성이 요구되며 특히 기기의 고장을 예측 진단하여 신뢰성을 높이는 부분이 필수 불가결한 분야가 되었다. CIGRE 및 각종 단체에서 보고되는 변전기기의 사고원인은 GIS의 경우, 절연파괴, 기계 메카니즘의 이상, 가스누기, 피뢰기의 열화 등이며, 변압기의 경우는 자연열화, OLTC의 이상, 권선이상, 과열 등으로 보고되고 있다. 따라서, 현재 운전 중인 전력기기의 주요상태 중 상기의 부분에 대해 중점적으로 이상 유무를 확인해야 할 필요가 있다.

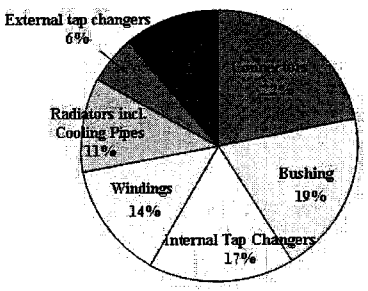

그림 1 변압기 사고 분포율

특히 변압기의 경우 사고의 파급효과가 크며, 이에 따라 변압기에 대하여 전기적, 기계적 보호 장치들을 20여개 설치하여 감시하고 있다. 하지만 이러한 보호 장치들은 기계적으로 구성되어 있으며, 환경에 따라 빈번하게 오동작을 발생하고 있어, 신뢰성 있게 변압기를 관리하는데 어려움이 있다.

2.2 지능형 변압기

기존의 변압기는 설비 고장을 통한 계통 고장을 방지하기 위해 전기적, 기계적 보호 장치들을 20여개 설치하여 감시하고 있다. 하지만 이러한 보호 장치들은 기계적으로 구성되어 있으며, 환경에 따라 빈번하게 오동작을 발생하고 있어, 신뢰성 있게 변압기를 관리하는데 어려움이 있다. 이에 변압기 감시진단에 필요한 데이터를 측정하기 위한 센서를 변압기에 설치하여 제작된 지능형 변압기(Intelligent Power Transformer)를 개발하였다[1].

2.3 Local Unit

Local Unit은 변압기로부터 취득되는 데이터를 디지털화 하였으며, 각종 센서 및 IED를 변압기에 내장하여 예방진단 및 수명 평가 기능이 추가되었다.

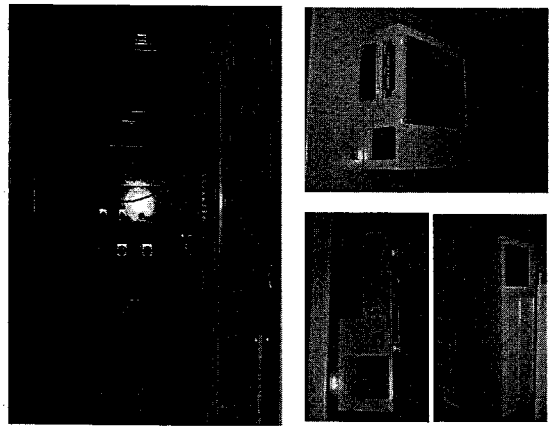

그림 2 Local Unit 설치 사진

2.4 Local Unit의 진단 알고리즘

Local Unit은 변압기의 1차적인 진단기능을 수행하기 위해 기존 수행하던 변압기 감시항목 및 선진사의 자표를 바탕으로 주요 감시 항목 및 센서를 선정하였다. 표 1은 선정된 Local Unit의 감시 항목 및 주요 기능을 정리하였다.

표 1 Local Unit의 감시 항목 및 주요기능

[illegible]		측정방법	감시 및 주요기능
상태	유면	유면게이지	콘서베이터 및 본체 유면 레벨 검사
	전류	붓싱CT	변압기 운전전류 감시 및 권선온도 계산
온도	주위온도	온도센서	변압기 주위온도 감시 및 트랜드 표시
	유온도	RTD취부	절연유 온도 감시 및 권선온도 계산
	권선온도	광센서	권선온도 감시 및 트랜드 표시
		권선온도계	
절연유	유중가스분석	유중가스센서	유중 발생 가스량 감시 및 트랜드 표시
	수분	습도센서	유중 수분 함유량 감시 및 트랜드 표시
OLTC	동작전류	CT전류	OLTC 동작전류 감시
	탭위치	탭위치표시기	탭위치 감시
	동작회수	카운터	부하전류가 흐를 때 동작누적회수 감시
	활선정유장치	압력센서	활선 정유 장치 내 오일 압력상승 감지
기계장치	충격압력계전기	SPR	변압기내 이상 압력 상승 감지
	가스침출계전기	GDR	변압기내 이상 가스발생량 감시 및 트랜드 표시
팬	동작전류	CT전류	냉각팬 동작전류 감시, 제어

2.4.1 SPR 오동작 방지 알고리즘

유입변압기의 내부에서 arc를 수반한 절연고장이 발생하면, 절연물 탄화 및 절연유 분해에 따른 가스가 발생하여 변압기 내부 압력은 급격히 상승하게 되는데, 이러한 비정상적인 압력상승 을 감지하여 사고 변압기를 계통에서 분리할 목적으로 사용하는 계전기를 SPR(Sudden Pressure Relay ; 충격압력계전기)이라고 한다. SPR은 그 원리상 변압기 내부사고시의 충격압력에 의해 동작할 뿐만 아니라, 변압기 2차측 부하의 사고전류로 인한 충격파에도 동작할 수 있다. 즉, 2차측의 사고전류가 변압기 권선에 흐르면, 권선에는 순간적으로 과도한 전자기계력이 발생하여 권선이 요동하게 되고, 이 때 절연유의 유동으로 발생한 충격파가 일정수준 이상의 크기를 갖는다면 SPR이 동작하게 된다. 이러한 SPR의 동작은 때로 변압기가 감당할 수 있는 2차측 고장전류 이하에서도 일어남으로써 불필요한 Trip 동작을 유발시키는데, 변압기 사용자의 입장에서 볼 때 이러한 SPR의 동작은 오동작으로 인식되며, 이의 방지대책 회로를 구성 함.외부 고장 전류에 의한 SPR(Sudden Pressure Relay)의 오동작 방지를 위해 SPR Trip 접점과 OCR(Over Current Relay), OCGR(Over Current Ground Relay) 등을 연계하여 동작시키는 기능을 추가하였다. 즉 Local Unit은 SPR이 발생시 외부고장 전류의 크기를 확인하여 선택적으로 Trip을 내보내게 된다.

2.4.2 권선온도, 상대수명 및 과부하 계산 알고리즘

권선 절연의 특정 부분에서 나타난 최고 온도를 Hot-Spot(최고온부) 온도라고 부른다. Hot-Spot 온도는 변압기의 부하에 가장 결정적인 제한 역할을 한다. 이 온도가 변압기 운전의 열적 한도를 나타내며, 열적 열화율의 상대값 평가에 결과적으로 사용된다. 권선의 Hot-Spot 온도 계산 알고리즘은 IEC 60354, IEC 60076 및 ANSI C57.92의 규격을 검토하여 각 냉각방식(ON, OF, OD)에 따라 설계하였다. Hot-Spot 온도 계산을 하기 위해서는 다음과 같이 3가지를 가정이 존재한다.

① 권선내 Oil 온도는 하부에서 상부까지 선형적이다.
② 권선의 어떤 위치에서도 도체와 Oil의 온도상승은 두 직선(권선온도와 Oil온도의 직선)의 사이의 온도차 g를 따라서 선형적으로 증가한다.
③ hot-spot 온도상승은 권선상부의 도체의 온도상승보다 항상 높다.

이와 같은 가정을 통해 냉각 방식에 따른 온도 계산을 수행한다. 변압기의 정상적인 수명은 정격 운전 조건과 정상 주위 온도 하에서 연속 운전하는 경우에 대한 예상값이다. 그러나 과부하 또는 높은 권선 온도로 운전하는 것은 수명 감소와 열화 가속을 수반한다. 열화율 및 상대수명 계산 알고리즘은 IEC 60354에 따라 설계하였다. 표 는 Hot-Spot 온도에 따른 상대 열화율을 표기하였다.

표 1 hot-spot 온도에 따른 상대열화율

η	Relative ageing rate
80	0.125
86	0.25
92	0.5
98	1.0
104	2.0
110	4.0
116	8.0
122	16.0
128	32.0
134	64.0
140	128.0

변압기의 과부하 내량이란 절연물 손상없이 운전 가능한 과부하 운전량을 의미하는 것이다. 과부하 내량 알고리즘은 IEC 60354 및 IEEE std. C57.91 규격을 검토하여 설계하였다.

2.4.3 냉각기 최적 제어 알고리즘

과부하 운전이나 급격한 부하 변동과 같은 조건에서 온도의 급상승으로 유입 변압기의 절연물의 열화 현상이 발생할 수 있다. 이와 같은 현상을 방지하기 위해 변압기의 온도 예측을 통한 냉각기기 자동 제어 시스템을 제공함으로써 변압기의 고장 원인을 크게 감소시키고, 냉각팬의 효율성을 높여 수명을 연장시킬 수 있다.

변압기에 설치된 센서를 통해 변압기 운전조건에 따른 부하전류, 대기온도, 절연유 온도, 권선온도를 측정하여 Hot-Spot 온도를 계산하여 냉각기기를 필요에 따라 제어한다. 냉각 팬은 3개의 그룹으로 나누어 기준 온도값과 각 그룹 별 누적동작시간에 따라 동작 우선순위가 결정되어 제어된다.

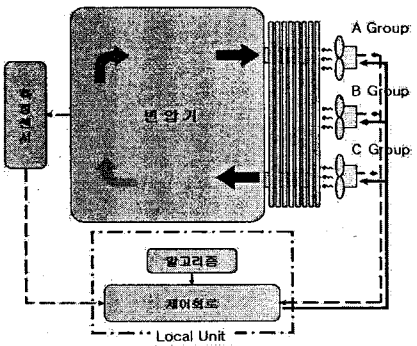

그림 3 냉각기 제어 시스템 구성도

시스템의 구성으로는 변압기의 부하전류, 절연유 온도, 권선 온도, 대기 온도 및 팬 구동 전류를 측정하여 4~20mA의 출력 신호를 보내는 센서부와 센서부에 의해 출력된 신호는 Local Unit 내의 제어 알고리즘을 통해 임의의 시간 후 상승하는 절연유 온도 및 권선의 Hot-Spot 온도를 계산하고 제어 회로는 그 계산된 온도에 따라 냉각기기의 동작 유무를 결정하게 된다. 냉각팬은 변압기 좌우측에 총 3개의 그룹으로 구성되며 기준 온도값과 각 그룹별 누적 동작 시간에 따라 동작 우선순위가 결정된다.

2.5 변압기의 센서 적용

Local Unit은 진단 알고리즘을 수행하기 위해 변압기에 변압기 유중가스 감시 장치, 변압기 붓싱 감시 장치, 온도 감시 장치 등의 각종 센서를 그림 4와 같이 취부하였다.

3. 결 론

㈜효성에서 개발한 Intelligent Power Transformer (지능형 변압기)용Local Unit은 기존의 Hardwiring되어 접점 처리되던 데이터를 디지털화하였으며, 변압기에 각종 센서 및 감시진단장치를 취부하여, 진단이 가능한 Intelligent Power Transformer(지능형 변압기)를 실현하였다. 이로부터 취득되는 변압기의 상태 및 각종 주요 진단 데이터들은 Local Unit에서 실시간으로 감시, 취합한다. 또한 자체 진단 알고리즘을 통해 변압기의 이상상태를 파악하고 이를 운영자에게 통보한다. 본 논문은 이 진단알고리즘에 대해 기술하였다. 개발된 지능형 변압기와 Local Unit는 현재로 만족할 것이 아니라 앞으로도 끊임없는 연구개발을 통해 계속 진보하는 지능화 전력설비가 될 수 있기를 기대한다.

[참 고 문 헌]

[1] 최인선외, "Intelligent Power Transformer용 Local Unit 개발 사례", 대한전기학회 추계학술대회 논문집, p.220~222, 2007

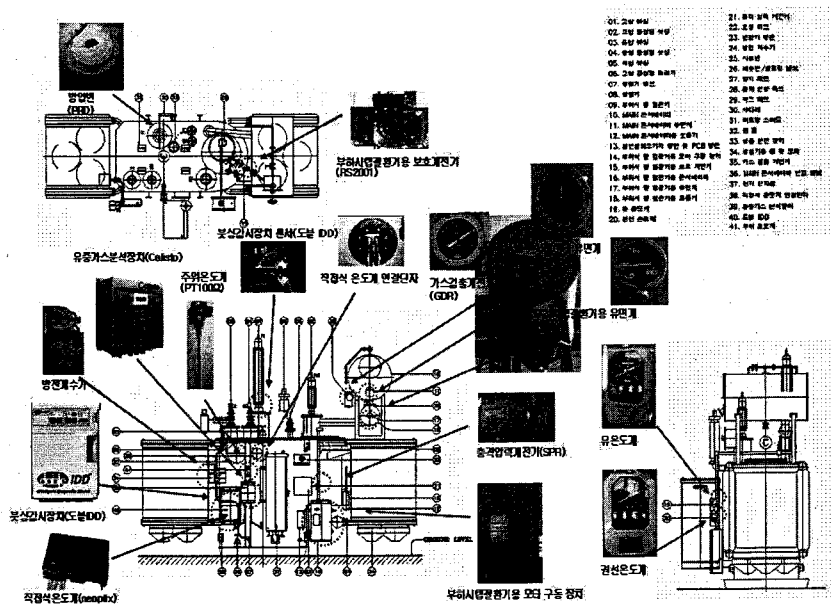

그림 4 지능형 변압기 외형도 및 보호계기