

변압기 예방진단을 위한 IEC61850 객체모델에 관한 연구

황보승욱, 오의석, 김병진, 김형성, 이정복, 박귀철
현대중공업(주)

The Study of IEC61850 Object Models for Transformer Preventive Diagnosis

Sung-Wook Hwangbo, Eui-Suk Oh, Beung-Jin Kim, Hyun-Sung Kim, Jung-Buk Lee, Gui-Chul Park
Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd.

Abstract - Since the first proposition of IEC61850 object model at 1993, many questions about making a seamless model have been issued. the reason which they have worry about is that the functions of the equipment are supposed to be changed properly and new equipment and scheme are need to be introduced according to user's application. To handle those issues, TC57 which is a IEC committee for power control and communication has continuously updated the object model. Nowadays along with the new object model involving power quality, distribution resource and wind power, the committee has a plan to announce the revision of IEC61850-7-4.

In the study, authors will present the prediction and diagnosis object models for transformer. Transformer models for protection and control have already been dealt with in the international standard but the models for prediction and diagnosis have never mentioned until now. Designing the prediction and diagnosis functions with the existing IEC61850-7-4, it'll be shown what is a proper object model for prediction and diagnosis.

1. 서 론

사회가 고도화됨에 따라 전력 인프라에 대한 의존도가 높아지면서 전력 설비 사고에 의한 피해는 더욱 광범위해지고 심각해져가고 있다. 또한 화학 에너지 고갈에 따른 운전 효율성증대에 대한 요구도 증가함에 따라 설비의 사고를 예방하고 수명을 예측하여 경제성을 증대하기 위한 예방진단에 대한 관심이 늘고 있다.

현재 경제성 증대에 대한 광범한 만한 또 하나의 성과가 변전소 자동화 국제표준 프로토콜인 IEC61850에서 이뤄지고 있다. IEC61850기반 변전소 자동화 시스템은 표준화된 객체 모델을 기반으로 이뤄진다. 객체 모델들은 전력 시스템 정보 교환에 이용되는 공통 데이터 포맷을 표현하기 위해서 기본적인 데이터 타입을 혼합하여 구성한다. 더 나아가 객체 모델은 자체정의의(self-defining)가 가능하므로 소프트웨어나 프로토콜 변경 없이 확장이 가능하다. 표준화된 객체 모델들의 채택은 IED 제조사에 무관하게 제품간의 상호운용을 증대시켜 변전소 자동화 시스템을 구축에 소요되는 엔지니어링 시간을 줄여줬고, 어플리케이션 개발을 단순화 할 수 있도록 하였다.

본 연구에서는 이러한 시대적인 요구를 만족하기 위해 IEC61850에 적용할 수 있는 변압기 예방진단 객체모델을 제시하였다. 먼저 변압기 예방진단에 필요한 다양한 기능을 정의한 후에 IEC61850에서 정의되어 있는 객체 모델들을 기반으로 모델을 제시한다. 다양한 센서와 관측기를 이용하여 변압기의 사고를 예방하고 진단하는 IED는 IEC61850 객체 모델 중에서 측정 및 계측에 관련된 모델을 이용하여 구성한다[2].

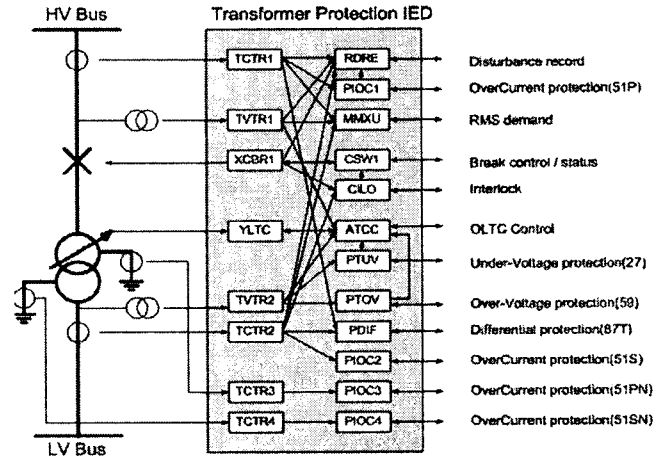
그러나 IEC61850은 예방진단에 관련된 전문화된 객체 모델이 정의되어 있지 않으며 또한 수행할 모델들도 제시하고 있지 않다. 예방진단에 대한 국내 기술은 이미 세계수준이며 국내 변전소의 변압기와 GIS에 활발히 적용되고 있는 실정이다. 본 논문에서 제시한 객체 모델이 IEC 국제 표준이 되어 국내기술의 높은 위상을 알리는 계기가 되길 바란다.

2. 본 론

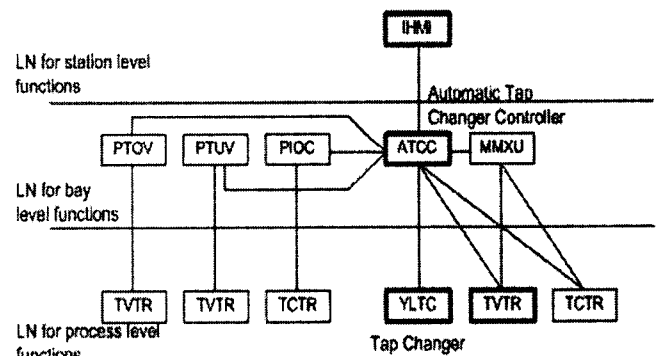
2.1 변압기 보호 IED 모델링

변압기 보호를 위해서는 변전소의 변압기에 관련된 제어용 구성이 필요하다. 그림1에서는 변압기와 더불어 차단기, CT, PT 그리고 OLTC를 나타내었다. 이 변압기는 하나의 IED에 내장된 다수의 보호 계전요소와 제어 기능으로 보호된다. 논리적 노드(logical node), 물리적 장치 그리고 상호연결(interconnection)을 그림 1과 같이 구성할 수 있다.

그림 2는 전압조정기(voltage regulator)를 위한 논리 노드를 보여주고 있다. "IHMI"는 운영자용 PC를 나타낸다. 버스전압이 ATCC에서 설정한 값 이하로 떨어지면 탭을 변환시킨다. 이러한 동작은 보호요소와 전력흐름을 감안해서 이뤄진다. 먼저 변환시킬 탭의 크기를 먼저 계산하고 이 명령을 YLTC에 인가한다. YLTC는 탭 위치가 변경되었음을 알리기 위해 위치정보를 펄스로 ATCC에게 보고한다. 이러한 동작은 500m초 정도의 저속의 데이터 전송으로도 충분이 이루어진다[1].



〈그림 1〉 변압기보호 IED의 논리적 노드



〈그림 2〉 전압제어기를 위한 논리적 노드 연결

2.2 변압기 예방진단 IED의 모델링

변압기예방진단시스템 진단알고리즘 항목으로는 유증가스, 열열화율 및 변압기 잔여수명 예측 알고리즘이 있으며 변압기의 운전의 효율성을 높이기 위한 냉각팬 제어 로직과 과거의 운전조건을 통해 향후의 권선온도를 예측하여 절연유를 냉각시키기 위한 권선온도 예측알고리즘과 과부하 내량 계산 알고리즘 등의 변압기 운전성능 향상을 위해 알고리즘들이 있다.

본 연구에서는 변압기 예방진단 항목에 대한 IEC61850의 객체모델을 제시하였다. 먼저 IEC354, IEEE C57-91의 온도 관련 알고리즘에 대한 객체 모델을 표1과 같이 정의하였다. 또한 IEC60599를 기반으로 하는 유증가스 알고리즘 객체모델은 표2에서 정의하였고 예방진단 관련 중요 객체모델도 제시하였다.

1) IEC354, IEEE C57-91 적용

변압기의 운전은 IEC 354 (loading guide for oil-immersed power transformer)나 유입변압기 운전지침에 기초해서 실시되고 있다. 상기의 운전지침 및 IEC 규격을 통해 변압기의 온도관련 진단알고리즘을 구현하기 위해서는 권선최고점 온도, 권선온도, 열열화율, 잔여수명, 과부하내량 정보가 필요하다. 권선의 온도는 절연지의 열화와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 이는 변압기의 절연수명을 좌우하며, 권선최고점 온도는 권선부의 온도에서 변압의 자장에 의해 발생하는 와전류에 의한 온도상승분이 포함된 값을 의미하는 것으로 IEC61850 7-4에 정의가 되어 있다.

열열화율은 권선온도와 절연지의 열화특성에 따른 열화정도를 제시해주는 진단기법이다. 이것은 IEEE C57-91.1995에 규정된 열화가속인자(Aging acceleration factor)를 근거로 하여 권선 최고점 온도가 110℃일 때를 기준으로 정의 하였다. 변압기의 일반적인 절연수명인 135,000(IEEE C57-91.1995 참조)시간을 기준으로 했을 때 열열화율을 적산하여 비교하면 잔여수명율을 산출할 수 있다[3].

표1은 진단알고리즘에 대한 논리 노드(Logical Node) 이름과 설명을 도식화 한 것이다. 여기서 세로계 제한하는 객체모델로 열열화율, 잔여수명 예측, 과부하내량이 있으며 논리 노드 이름은 표1과 같다.

〈표 1〉 온도관련 진단로직의 논리적 노드

LN	Description
YPTR	권선최고점 온도정보(Hot Spot Temperature Information)
	권선온도 정보(Winding Temperature Information)
SDAG	열열화율 정보(Ageing Rate Information)
SDLC	잔여수명 예측정보(Loss of Lifetime Information)
SDOC	과부하내량 정보(Overload Capability Information)

2) IEC60599 적용

변압기의 이상진단 항목들 중에서 유증 잔존가스 분석에 의한 진단기술은 변압기 진단기술 중 가장 오래되고 신뢰성이 입증된 기술로써 주류를 점하고 있다. 유입변압기에 아크 또는 부분방전과 같은 국부적인 과열현상이 발생하면 이 열원과 접촉하고 있는 절연유나 절연지 등의 절연물은 열에 의해 열분해된다. 절연물의 열열화 현상은 화학반응에 의해 가스를 발생시키며, 이 가스는 중의 일부는 유면상의 공간에 방출되기도 하지만 대부분은 절연유 중에 용해된다. 일반적으로 열분해 가스는 수소, 탄화수소(CH4, C2H6, C3H8, C2H4, C3H6, C2H2)가스, CO, CO2 등 10여종에 이르며, 이상의 종류에 따라 발생가스가 다른 것은 이상 발생부의 재료 및 과열에 의한 온도가 상이한 데 기인한다. 또한 부분방전에 의한 열분해가스의 특징은 국부적인 높은 온도 때문에 다량의 수소가스와 아세틸렌 및 기타 탄화수소가스를 함유하며, 아크에 의한 열분해 가스는 다량의 아세틸렌가스를 함유하는 것이 특징이다[4].

표 2에서 흰색으로 표시된 부분은 이미 SIML 그룹 논리적 노드에 정의가 되어있지만, 회색으로 표시된 가스들은 SIML 논리적 노드에 정의되어 있지 않기 때문에 아래와 같이 속성이름을 정의하여 제시하였다.

〈표 2〉 유증가스관련 논리적 노드

LN	Attribute Name	Description
SIML	H2O	수분 정보(Moisture in Oil Information)
	H2	수소 정보(Hydrogen in Oil Information)
	CH2	메탄 정보(Methane in Oil Information)
	C2H2	아세틸렌 정보(Acetylene in Oil Information)
	C2H4	에틸렌 정보(Ethylene in Oil Information)
	C2H6	에탄 정보(Ethan in Oil Information)
	CO	일산화탄소 정보(Moisture in Oil Information)
	CO2	이산화탄소 정보(Moisture in Oil Information)
	O2	산소 정보(Oxygen in Oil Information)

3) CMD기능 적용

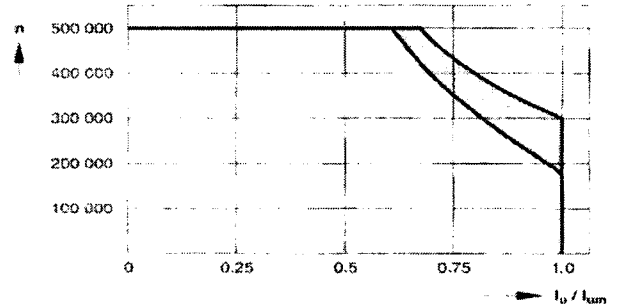
과부하운전 중에는 권선온도 및 절연유온도가 증가추세에 있게 되며, 권선온도가 임의의 기준 값을 넘게 되면 냉각fan을 동작시켜 절연유를 냉각시키게 된다. 그러나 절연유온도는 부하에 따라 다른 시정수를 갖고 온도가 변화되며, 급격한 부하의 변화에 대하여 반응은 수 시간 후에 나타난다. 그러므로 과부하 조건이 임의의 시간동안 지속될 경우에 절연유온도를 계산하여 그 값을 이용하면 임의의 시간 후의 권선최고점온도를 계산할 수 있다. 계산된 권선최고점온도가 설정된 기준 값을 상회할 때 fan을 미리 동작시켜 온도증가를 저감할 수 있는 기능이 냉각팬 예측제어 알고리즘이다.

점점마모율은 OLTC의 점점에 해당하는 점점의 마모율을 계산하는 기능으로 실제 운전에서 발생하는 점점의 마모율을 계산하여 운전자에게 OLTC의 유지보수 또는 교체 시점을 알려주는 정보이다. 이러한 점점마모율은 실제 동작 시점에서의 차단 전류, 동작횟수 및 OLTC의 고유 특성 등이 매우 중요한 인자가 된다. 표 3은 상기에서 기술한 OLTC 점점 마모율과 변압기 냉각팬 예측제어에 관한 논리적 노드를 제시하여 도식화 하였다.

〈표 3〉 변압기 중요 진단로직관련 논리적 노드

LN	Description
ATCC	OLTC 작동 횟수(OLTC Count)
	OLTC 제어(OLTC Control)
OCGR	TR Fan 제어(Transformer Fan Control)
ACLR	OLTC 점점 마모율(OLTC Contact Life Ratio)
OPFC	TR Fan 예측제어(Transformer Predicted Fan Control)

또한 그림 3은 당사에 OLTC를 공급하는 MR사에서 제공한 해당 기기의 점점마모율의 그래프이다.



Expected mean contact life under average load

- n - Number of operations
- I_u - Rated through-current
- I_{um} - Max. rated through-current

〈그림 3〉 OLTC 점점수명 그래프

3. 결 론

변전설비는 필요에 따라서 다양한 형태로 변형되거나 새로운 장비가 개발되어 부착되기 때문에 완벽한 객체모델은 불가능할 것으로 예상했다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 IEC61850의 TC57위원회에서는 그간 10여년 동안 지속적인 모델 수정 및 정비 작업을 수행하였으며 현재도 풍력발전이나 분산전원에 대한 논리적 노드가 추가되거나 기존의 IEC61850-7-4의 내용이 수정되고 있다.

따라서 본 연구에서는 변압기 예방진단에 대해 IEC61850기반의 객체모델을 제시하였다. 변압기 대부분의 객체모델들은 표준문서에 포함되어 있지만, 열열화율, 잔여수명율, 과부하내량등과 같은 논리적 노드는 현재 표준에서 제외된 상태여서 완벽한 객체모델을 정의할 수가 없었다. 이와 같이 변전설비 자동화에는 필요하지만 IEC TC57에서 표준화되지 못하고 있는 감시진단용 설비에 대한 객체모델을 본 논문에서 제시하였다.

본 논문은 산업자원부 전력산업연구개발사업인 전력IT 기술개발사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

〈참 고 문 헌〉

[1] T.S. Sidhu and Pradeep K Gangadharan, 'Control and Automation of Power System Substation using IEC61850 Communication', WA5.5, 2005 IEEE Conference on Control Applications.
 [2] IEC 61850-7-4: Communication Networks and System in Substations. Part 7-4: Basic communication structure for substations and feeder equipment - Compatible logical node classes and data classes.
 [3] J. P. van Bolhuis, et al., IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 17, No. 2, pp. 528-536, 2002.
 [4] I. E. Kunimov and V. M. Pak, IEEE Intern. Symp. on Electr. Insul., Anaheim, USA, April, pp. 532-534, 2000.