

25.8kV급 N₂ 절연 지중다회로 개폐기 진단알고리즘 개발

Development of Diagnosis Algorithm for 25.8kV N₂ insulated Pad-mounted Switchgear

김 춘 원* 장 성 일** 최 정 환*** 김 광 호†
Kim, Chun-Won Jang, Sung-Il Choi, Jung-Hwan Kim, Kwang-Ho

Abstract

In this paper, we propose a diagnosis algorithm for 25.8kV N₂ insulated Pad-mounted Switchgear in order to improve reliability by preventing of fault in advance. The proposed algorithm can diagnose the problems of Pad-mounted Switchgear such as gas leakage and VI(Vacuum Interrupter) trouble (contact abrasion, coil aging etc.) by using pressure sensor, stroke sensor and coil current sensor.

키워드 : N₂, 가스절연개폐기, 지중다회로 개폐기
Keywords : N₂, Pad S/W, GIS

1. 서론

인구 및 건물의 증가로 인해 배전선이 점차 지중화 되고 있고 부하가 밀집되어 있는 도심지에 다회선 구성이 가능한 지중 배선 선로용 다회로 개폐기가 설치되어 사용되고 있다. 이 지중다회로 개폐기는 부하와 직접적으로 연결이 되어 있기 때문에 고장이 발생할 경우 수용가의 정전을 유발하여 공급 신뢰도를 저하시키고 산업설비 및 의료설비의 정지를 초래하여 인명 피해, 경제적 손실 등의 피해를 줄 수 있다[1].

대다수의 가스절연개폐기의 절연물로 쓰이고 있

는 SF₆가스는 대기 중으로 방출될 경우 온실효과를 야기시키는 문제가 있고 온실가스에 대한 규제에 따라 교토의정서가 발효됨에 따라 SF₆가스를 대체하기 위한 친환경 가스절연개폐기가 개발 및 상용화 되고 있다. 친환경 가스로 Dry-Air, N₂ 등 사용이 되고 있으나 친환경 가스인 N₂같은 경우 SF₆가스에 비해 절연과파괴전압이 낮아 SF₆가스 절연 압력의 약 7배 정도로 개폐기 내함에 충전된다. 이런 이유로 개폐기가 고장이 나게 될 경우 기존 SF₆가스를 이용한 개폐기에 비해 파급 영향이 매우 크다. 그렇기 때문에 N₂를 절연물로 사용하는 친환경 전력기기에 대해 상시 감시 진단이 필요하다. 이에 본 논문에서는 N₂ 절연 지중다회로 개폐기에서 발생 가능한 고장을 사전에 예방하고, 운전 신뢰도를 향상시킬 수 있도록 하기 위해 구동부 및 절연가스 압력의 상태를 감시 진단하는 알고리즘을 개발하였다. 또한 진단 결과를 육안으로 쉽게 알아 볼 수 있도록 Labview를 이용하여 HMI (Human Machine Interface)를 구현하였다.

* 강원대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정
** ㈜ 시티이텍, 공학박사
*** ㈜ 채움시스템, 공학박사
† 강원대학교 IT대학 전기전자공학부 교수, 교신저자

2. 본론

2.1 지중다회로 개폐기

지중다회로 개폐기는 복잡하게 시설되어 있는 가공선로의 정비를 위해 선로의 지중화 사업이 시작되면서 가공선로 구성이 기술적으로 어렵고 유지보수가 힘든 지역이나 부하 밀도가 높은 도심지 등에 설치되어 전력을 공급하는 선로의 분기, 구분하는 개폐장치이며 고장 구간의 분리와 사고범위의 최소화토록 하는 신뢰성이 우수한 기기이다. 대부분 절연성능과 소호능력이 뛰어난 SF₆ 가스를 사용하고 있으나 브라질의 리우 UN 환경회의, 교토의정서가 실효됨으로서 글로벌 온실가스를 규제하고 있기 때문에 온실가스인 SF₆가스를 대체하기 위한 친환경 가스 Dry-Air나 N₂를 이용한 전력기기들이 개발되어 상용화 되고 있다. 회로 수에 따라 3회로-3스위치, 4회로-4스위치 등이 있으며 조작방식에 따라 수동형과 자동형 개폐기로 구분된다. 자동형 개폐기는 원격 제어 단말장치가 내장되어 원격 제어가 가능하다[2].

2.2 지중다회로 개폐기 진단 알고리즘

현재 지중다회로 개폐기의 진단은 육안 및 수동 조작 방식으로 개폐횟수 측정, 투입, 개방 조작상태 불량, 파손 및 변형 등 각 항목들에 대해 주기적인 점검 및 보수교체를 통한 진단이 이루어지고 있다. 그렇기 때문에 신속한 사고대응이 어렵고, 사고 후 보수로 인한 경제적 손실이 발생 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 진단 알고리즘은 개폐기의 개폐 동작 시 구동부의 스트로크 및 코일전류 데이터를 바탕으로 구동부의 상태를 진단하고 충전부의 절연가스 압력에 대한 데이터를 상시 분석하여 충전부의 상태 진단하여 신속한 감시 및 분석이 가능하도록 한다.

2.2.1 구동부

구동부에서 스트로크의 진단은 개폐기의 투입 및 트립 시 필요한 VI(Vacuum Interrupter)의 가동접점과 고정접점간의 거리 및 동작 속도 측정을 통해 이루어진다. 스트로크의 고장판단 기준은 IEC 62271-100에 권고된 차단기 동작 특성 관리 기준에 따라 정상 동작 하는 스트로크의 파형을 기준으로 크기 및 기울기(동작속도)가 기준대비 ±5% 이상 차이가 발생할 경우 진단이 필요한 것으로 판단한다[3]. 이에 본 논문에서는 스트로크의 고장 범위를 기준치에 벗어나는 정도를 오차율로 나타내어 그림1에 나타난 진단기준에 맞추어 정상과 진단이 필요한 알람으로 나누었다. 식 (1), (2)는 오차율에 대한 식을 나타낸다. 이를 통하여 VI의 접점부 마모 상태, 개폐 동작에 필요한 스프링의 상태의 상태를 진단한다.

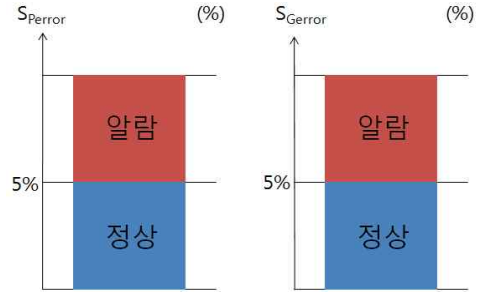


그림 1 스트로크 진단기준

$$S_{Perror} = (S_{P,n} - 1) \times 100[\%] \quad (1)$$

$$S_{Gerror} = \frac{|S_{G,n} - S_{Gref}|}{S_{Gref}} \times 100[\%] \quad (2)$$

여기서,

- S_{Gerror} : 스트로크 기울기 오차율[%]
- S_{Perror} : 스트로크 크기 오차율[%]
- S_{Pref} : 기준 스트로크 크기[PU]
- S_{Gref} : 기준 스트로크 기울기[PU/msec]
- S_{P,1} : 1회로의 스트로크 크기[PU]
- S_{P,n} : n회로의 스트로크 크기[PU]
- S_{G,1} : 1회로의 스트로크 기울기[PU/msec]
- S_{G,n} : n회로의 스트로크 기울기[PU/msec]

코일전류는 투입코일 및 트립코일에 흐르는 전류로 코일에 전류가 흐름으로 구동부내 기계적 동작으로 개폐 동작이 이루어 질 수 있도록 한다.

코일전류에 따른 고장판단 기준은 현재 존재하지 않으므로, 전문가의 조언을 참고하여 기준을 정하였다. 코일전류의 고장판단 범위는 그림 2에 나타난 진단기준에 맞추어 정상 및 진단이 필요한 알람으로 나누었다. 그리고 식 (3), (4)는 오차율에 대한 식을 나타낸다. 코일전류의 측정을 통해 코일 및 부품들의 결합 등을 진단한다.

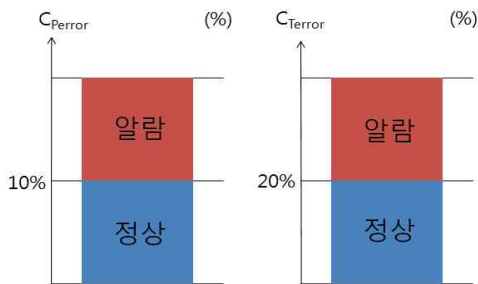


그림 2 코일전류 진단기준

$$C_{Perror} = (C_{P,n} - 1) \times 100[\%] \quad (3)$$

$$C_{Terror} = \frac{C_{T,n} - C_{T,ref}}{C_{T,ref}} \times 100[\%] \quad (4)$$

여기서,

- C_{Perror} : 코일전류 크기 오차율[%]
- C_{Terror} : 코일전류 도통시간 오차율[%]
- C_{Pref} : 기준 코일전류 크기[PU]
- C_{Tref} : 기준 코일전류 도통시간[msec]
- C_{P,1} : 1회로의 코일전류 크기[PU]
- C_{P,n} : n회로의 코일전류 크기[PU]
- C_{T,1} : 1회로의 코일전류 도통시간[PU]
- C_{T,n} : n회로의 코일전류 도통시간[msec]

2.2.2 절연가스 압력

절연 가스는 개폐기를 트립시킬 경우 VI의 고정 접점과 가동접점이 떨어질 때, 고전압과 대전류에 의해 접점 간 발생하는 아크를 소호하는 역할을 하며 지중다회로 개폐기 내함(tank)의 내구성을 고려하여 최적의 절연능력을 갖도록 적합한 압력으로 충전이 된다.

만약 내함내 충전되어 있는 절연가스의 누수 발생으로 압력저하로 인한 절연능력이 감소하게 되면 아크로 인해 VI의 접점부에 손상을 야기시켜 차단 능력을 저하시킬 수가 있다. 또한 여름철에는 지중다회로 개폐기의 주변온도 상승으로 인해 내함에 충전되어 있는 절연가스의 압력이 상승하게 되는데 특히 N₂가스 같은 경우 SF₆가스 대비 약 7 배의 압력으로 충전이 되기 때문에 내함의 내구성 및 안정성 부분에서 문제를 야기시킬 수 있는 위험 요소가 된다. 따라서 본 논문에서는 그림 3에 나타난 것처럼 측정된 N₂가스의 압력에 따라 정상, 경보, 경고로 나누어 지중다회로 개폐기의 절연가스 압력을 진단 한다.

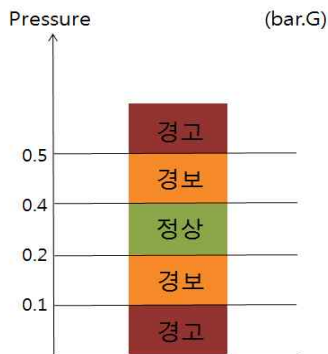


그림 3 압력 진단기준

3. 진단시스템 구성

3.1 시스템 구성도

그림 4는 지중다회로 개폐기 진단시스템의 구성도를 나타낸다. 개폐기내 코일전류 센서, 스트로크 센서 그리고 압력 센서를 내장하여 진단 알고리즘에 필요한 데이터를 취득하고, 진단 장치에서 진단한 결과를 IEC 6180 통신을 이용하여 상위 HMI에 전송한다.

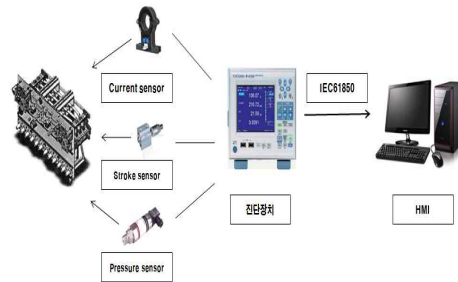


그림 4 시스템 구성도

3.2 가상 지중다회로 개폐기

진단 알고리즘의 테스트 및 검증은 실제 지중다회로 개폐기와 연계되어 이루어져야 하지만 지중다회로 개폐기에서 원하는 고장을 임의로 일으켜 고장상황을 모의하는 것이 용이 하지 않으며, 또한 많은 시간을 필요로 한다. 이에 본 논문에서는 진단알고리즘을 테스트하기 위해 NI사의 임출력 모듈과 실제 운영되는 지중다회로 개폐기의 운영 데이터를 기반으로 각 고장별 데이터를 출력 할 수 있는 가상의 지중다회로 개폐기를 구현하였다.

3.3 HMI

아래 그림 5는 지중다회로 개폐기의 구동부와 절연가스 압력에 대한 진단 결과를 나타내는 HMI이다.

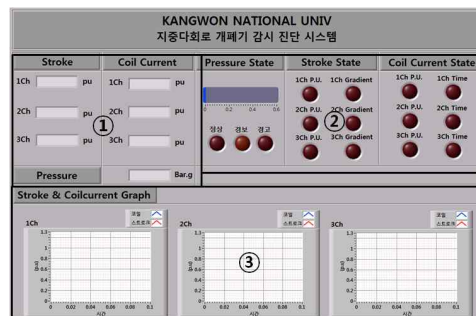


그림 5 지중다회로 개폐기의 HMI 화면

①부분은 개폐기에 내장한 센서로부터 각 회로별 트립 시 스트로크 및 코일전류 데이터를 취득하여 나타내고 충전부의 절연가스 압력을 확인 할 수 있다.

②부분은 개폐기가 트립된 경우 각 회로별 스트로크 및 코일전류에 대한 이상 유무를 표시등을 이용하여 이상이 있을 경우 빨간색으로 바뀌며, 압력은 정상, 경고, 경고로 표시등을 나누어 정상 범위를 벗어나는 수준에 따라 각 표시등이 밝혀져 이상 유무를 확인할 수 있도록 되어 있다.

③부분은 각 회로별 스트로크 및 코일전류의 데이터를 그래프로 표시하도록 하였다.

4. 모의실험

제안된 알고리즘의 검증을 위해 실제 운영되고 있는 지중다회로 개폐기의 데이터를 바탕으로 3가지 고장 사례에 진단 알고리즘을 적용시켜 실험해 보았고 아래 그림에 결과를 나타냈다.

4.1 CASE1 - 구동부 및 압력 정상

아래의 그림 6은 1회로 트립동작 시 구동부 및 절연가스 압력이 정상상태인 경우에 대한 결과를 보여준다.

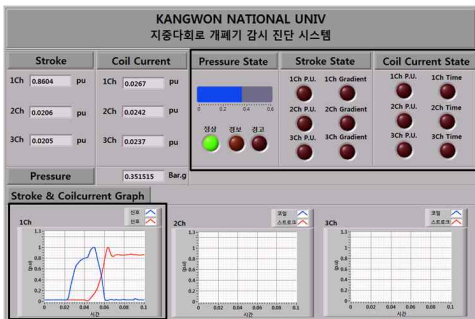


그림 6 구동부 및 절연가스 압력 정상

4.2 CASE2 - 구동부 이상 및 압력 정상

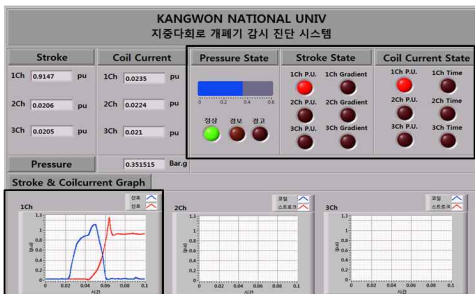


그림 7 구동부 이상 및 절연가스 압력 정상

위의 그림 7은 지중다회로 개폐기의 1회로를 트립하였을 때 스트로크 및 코일 전류 크기가 증가한 경우에 대한 결과를 보여준다.

4.3 CASE3 - 구동부 및 압력 이상

아래의 그림 8은 지중다회로 개폐기의 2회로에서의 트립 동작 시 스트로크의 기울기 및 코일전류의 도통시간이 증가한 경우 그리고 절연가스 압력의 이상상태에 대한 결과를 보여준다.

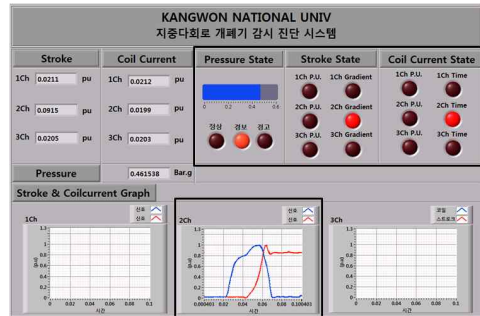


그림 8 구동부 및 절연가스 압력 이상

5. 결론

본 논문에서는 친환경 가스 N_2 를 절연물로 사용하는 지중다회로 개폐기의 구동부 및 절연가스 압력에 대한 진단 알고리즘을 개발하였으며 알고리즘의 검증을 위해 실제 운영되고 있는 지중다회로 개폐기의 센서 데이터를 기반으로 가상의 지중다회로 개폐기를 구현하였다. 또한 HMI를 통하여 진단 결과를 쉽게 육안으로 확인할 수 있었다.

여러 고장 CASE별로 진단 알고리즘을 모의 실험 하였으며 각 고장에 대해 신속하고 정확하게 진단하는 것을 확인 하였다. 추후 제안된 진단 알고리즘 외 고장 원인에 대한 연구를 진행하여 지중다회로 개폐기의 신뢰도를 향상 시킬 수 있도록 하는 진단 알고리즘을 개발할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 권태호, 김동명, "25.8kV SF₆가스개폐기의 고장분석", *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp.2069-2079, 2008.
- [2] 한진표준규격, "25.8kV 가스절연부하개폐(지중용)", *ES-5925-002*, 2012.
- [3] IEC International Standard, "High-voltage switchgear and controlgear-part 100 : High-voltage alternating-current circuit-breakers", *IEC 62271-100*, 2008.