

가스절연개폐장치의 전위감지 시스템에 대한 연구

최승길*, 백승국**, 김광호**, 강형부***
 *한양대학교 전기공학과 ** (주)광명전기 ***한양대학교 전자전기공학부

A study on the potential Detection System of Gas Insulated Switchgear

Seung-Kil Choi*, Seung-Kook Baek**, Kwang-Ho Kim**, Hyung-Boo Kang***
 *Dept. Electrical Eng., Hanyang Univ. **Kwangmyung Electrical Eng. Co., Ltd.
 ***Div. Electrical & Computer Engineering, Hanyang University

Abstract - This paper describes the development of potential detection system in 22.9kV gas insulated switchgear. This system composed with main system and LPS can detect the source voltage by capacitive potential division which is accomplished by inserting signal electrode between main electrode and earthed metal enclosure of the switchgear. The appropriate position of signal electrode is achieved by numerical analysis using finite element method. The developed potential detection system is verified by several tests such as voltage test, swc test and others and by applicaion at site. From the results, it is concluded that potential detection system is very reliable and available to operate the switchgear safely.

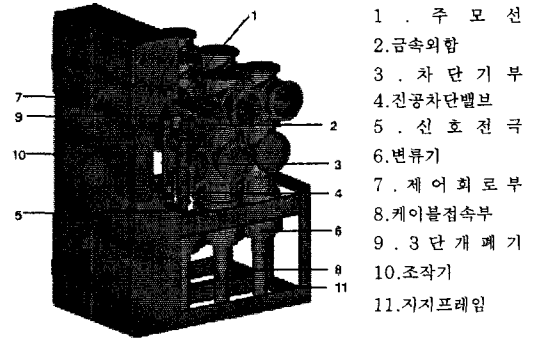


그림 1. 22.9kV 가스절연개폐장치
 Fig. 1. 22.9kV Gas Insulated Switchgear

1. 서 론

국내 전력 계통에서는 전력의 안정적 공급을 통한 신뢰성 확보와 자동화 운전을 통한 변전소의 무인화 운영을 위해 90년대 초반부터 22.9kV급 가스절연 개폐장치를 적용하고 있다. 22.9kV 가스절연 개폐장치는 정상 상태에서의 부하 개폐 및 지락, 단락등의 이상 상태 발생시 계통을 안전하게 차단, 분리하기 위해 사용되는 접단의 보호용 전력기기로서 주모선, 차단부, 단로기부 및 케이블 접속부를 비롯한 모든 구성 요소가 SF₆가스로 충전된 금속 탱크내에 수납되어 있는 구조로 되어 있다. 변전소의 안전한 무인화 운영을 위해서는 선로의 충전 여부의 확인을 통한 접지 개폐기 및 차단기의 오조작의 방지, 선로의 무단 재폐로 방지가 절대적으로 요구된다. 그러나 현재 가스절연 개폐장치는 구조상 선로측마다 별도의 계기용 변성기를 설치하는 것이 구조적, 경제적으로 어려워 선로측의 충전 여부는 정전 분압 원리가 적용된 특수 케이블 접속재의 2차 전압을 이용한 네온 램프 발광에 전적으로 의존하고 있는 상태이다. 따라서 선로의 충전 여부는 현장에서 육안 확인이 필요하여 무인 변전소의 효율적인 운전에서 육안 확인이 필요하며, 차단기 및 개폐기의 오조작 사고가 일어날 가능성이 있다. 따라서 변전소의 무인화 및 개폐기의 신뢰성 있는 운영을 위해서는 선로측의 충전 여부를 감시, 제어할 수 있는 전위 감지 시스템의 개발이 시급히 요구된다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 필요성에 따라 정전 분압을 이용하여 고전압 충전 여부를 감지할 수 있는 주회로 시스템과 충전 여부를 출력 점접점으로 변환시키는

LPS 장치를 개발, 적용하였다. 주회로 시스템은 가스절연 개폐장치의 차단기부 내부에 부유 상태의 환형 전극을 삽입하는 구조로 구성하여 별도의 설치 공간이 필요 없을 뿐만 아니라 정전용량의 확보가 용이하도록 하였다. LPS 장치는 고성능의 정류기, 정압검출용 IC, 트랜지스터, 증폭기등으로 구성되어 주회로 시스템에서 검출된 신호 전압을 정류 및 기준 전압과의 비교를 통해 충전 여부를 점접점으로 변환시키도록 설계하였다. 또한 본 연구에서는 유한 요소법을 이용하여 부유 상태의 신호 전극에 유기되는 전위 및 내부 전계를 계산하여 이를 전극 설계에 활용하였으며, 성능 실험 및 현장 적용을 통하여 개발된 전위감지 시스템의 성능을 검증하였다.

2. 기본 이론

2.1 주회로 시스템

22.9kV 가스절연개폐장치는 그림 1과 같이 접지된 금속 외함내에 차단기, 단로기, 주모선등을 수납한 구조로 되어 있다. 금속 외함 내부는 뛰어난 절연 특성을 갖는 SF₆ 가스로 충전되어 있으며, 사고 전류 차단은 진공 차단 밸브에 의해 이루어진다. 전위 감지시스템의 주회로 시스템은 정전 용량 분배에 의한 전위 계측을 이용하기 위해 그림 1과 같이 주전극부와 접지 외함 사이에 부유 상태의 신호 전극을 삽입하는 구조로 구성하였다. 그림 2는 정전 용량에 의한 분압의 원리를 나타낸 것으로, 여기서 C₁은 주전극부와 신호전극간의 정전용량이며, C₂는 신호전극과 접지외함간의 정전 용량이다. 일반적인 용량성 분압의 경우 C₁이 작을 경우에는 표류

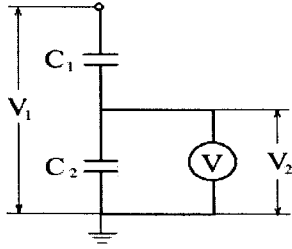


그림 2. 용량성 분압
Fig.2 Capacitive potential division

정전용량의 영향이 커져 주변의 도체류에 의한 영향에 의해 변압비가 변화하여 일정한 2차 전압 V_2 를 얻기가 쉽지 않다. 그러나 가스 절연 개폐장치와 같이 C_1 이 정전적으로 차폐되어 있는 경우에는 C_1 의 크기에 상관없이 정확한 변압비를 얻는 것이 가능하다.

2.2 신호 전극의 전위 해석 이론

본 전위 감지 시스템의 신호 전극에 유기되는 전위 해석을 위한 지배 방정식은 Maxwell 방정식 및 보조 방정식으로부터 식(1)와 같이 유도된다.

$$\nabla \cdot \epsilon \nabla \phi = 0 \quad (1)$$

식(1)에 1차 시험함수를 사용하여 유한요소 정식화 과정을 적용하면 식(2)과 같은 전위 ϕ 에 대한 대칭행렬 방정식이 얻을 수 있다[1,2,3].

$$[K]\{\phi\} = \{0\} \quad (2)$$

여기서 [K]는 시스템 계수 행렬이다.

이때 경계 조건은 아래의 식(3), 식(4) 및 식(5)로 주어진다[4].

$$\phi = \phi_i \quad (3)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0 \quad (4)$$

$$\phi_f = \phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = \dots = \phi_k \quad (5)$$

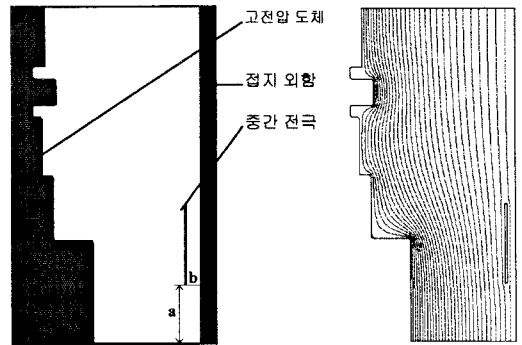
여기서 ϕ_i 는 부유 상태에 있는 신호 전극의 전위로 미지값이며, $\phi_1 \sim \phi_k$ 는 신호 전극에 위치한 모든 유한요소 절점의 전위값이다. 즉 부유 도체에 위치한 미지 절점 k 개 존재하지만 동일한 하나의 전위값만을 가지므로 계 방정식의 해를 구할 때 부유 도체에 대해서는 k 개의 방정식을 유도하는 대신 한 개의 식만을 적용시켜야 한다.

3. 전위 감지 시스템의 설계 및 시험

3.1 신호 전극의 전위 및 전계 해석

그림 3(a)은 전위 감지 시스템의 유기 전위를 해석하기 위한 모델로 고전압측인 주도체, 접지 외함, 신호 전극으로 구성되어 있다.

신호 전극의 위치에 따른 신호 전극에 유기되는 전위



(a)해석모델 (b)등전위분포도(a=35mm,b=5mm)

그림 3. 전위 해석 모델 및 등전위 분포도

Fig. 3. Model and equipotential Distribution

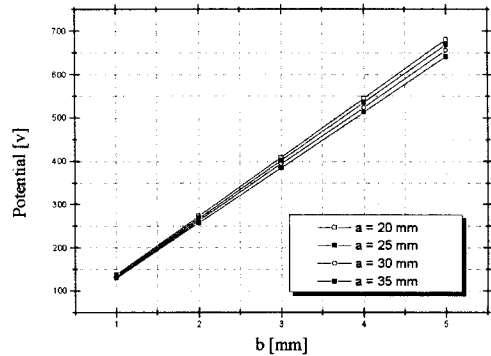


그림 4. 신호 전극의 유기 전위

Fig. 4. Induced potential of signal electrode

를 해석하기 위해 고전압측에 $22900/\sqrt{3}V$ 를 인가하고, 금속 외함은 접지 상태로 경계 조건을 부여하였다. 신호 전극은 폭 48mm, 두께 1.6mm를 기준으로 하였으며, 신호 전극의 위치 a는 1mm에서 5mm까지 1mm 단위로, b는 20mm에서 35mm까지 5mm 단위로 변화시키면서 정전용량의 분배에 의해 신호 전극에 유기되는 전위값을 해석하였다.

그림 3(b)는 a=35mm, b=5mm일때의 등전위 분포도이며, 그림 4는 신호 전극의 위치 a, b를 변화시켰을 때 신호전극에 유기되는 전위를 나타낸 것이다. 그림을 보면 신호 전극에는 위치에 따라 130V에서 680V 정도의 전위가 유기되고 있음을 알 수 있다. 실제의 경우에 있어 신호 전압은 신호 전극과 LPS 장치간을 연결하는 케이블의 정전용량에 의해 저감됨을 감안하고, 신호 전압의 금속 외함을 통한 외부 인출 구조의 편의를 위해 본 연구에서는 약 400V의 신호 전압을 얻을 수 있는 a = 25mm, b=3mm의 위치를 기준으로 주회로 시스템을 구성하였다.

3.2 LPS장치(Line Potential Signaller)의 설계

그림 5.과 그림 6은 각각 전위감지시스템의 원리 및 LPS 장치의 회로도이다.

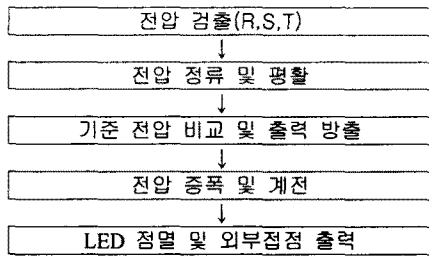


그림 5. 전위감지시스템의 원리
Fig. 5. Principle of Potential Detection System

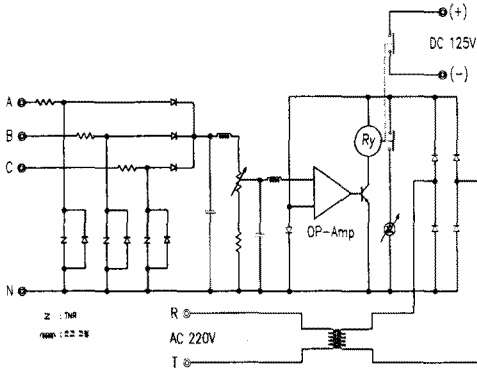


그림 6. LPS 장치의 회로도
Fig. 6. Circuit Diagram of LPS

전위 감지시스템의 주회로부인 신호전극으로부터 LPS 장치로 유입되는 전류는 수 μA 정도로 미세하므로 OP-Amp에 전달하기 위해서는 무엇보다도 먼저 고저항을 통한 matching을 알맞게 선택하는 것이 요구된다. 또한 입력단에는 서지에 의한 LPS의 내부 회로 보호를 위하여 TNR을 사용하였다. 3상 정류보다는 각상을 clamping 정류하는 것이 각상에 대한 미소전류를 최대한 이용할 수 있어서 입력단으로 단상 회로를 선정, 적용하였다[5].

검출된 신호전압은 다이오드 및 콘덴서에 의해 정류 및 평활 과정을 거쳐 직류 전압으로 변환되며, 변환된 전압은 다시 한번 평활 과정을 거쳐 OP-Amp의 입력단으로 들어간다. OP-Amp는 입력된 전압과 기준 전압을 비교하여 입력 전압이 OP-Amp의 기준 전압보다 클 경우 OP-Amp의 동작에 의해 출력 전압이 방출된다. OP-Amp의 출력은 Transistor를 turn-on하여 LPS의 내부 계전기(Relay)가 구동된다. LPS의 내부 계전기의 접점중 1개는 LPS장치의 LED를 점등시켜 선로가 충전 상태임을 표시하며, 또 다른 한 개의 접점은 외부 계전기 구동용으로 사용된다.

3.3 시험 및 고찰

전위 감지 시스템의 성능 검증을 위하여 동작 시험, 내전압 시험, 임펄스 내전압 시험, SWC 시험등을 실시하였다. 내전압 시험기를 사용하여 전압을 상승시키면서 측정된 결과 동작 전압은 주회로 전압의 약 60%인 8kV 정도였다. 임펄스 내압 시험은 5kV, $1.2 \times 50 \mu\text{sec}$ 의 파형

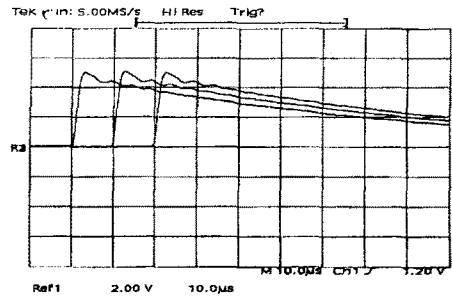


그림 7. SWC 시험 파형
Fig. 7. Wave shape of SWC test

의 임펄스 전압을 LPS 장치에 정극성 및 부극성으로 각각 15회 인가하여 이상이 없음을 확인하였다. 또한 서지 특성을 검증하고자 SWC (Surge Withstand Capability) 시험을 실시하였다. 그림 7은 초과도 SWC 시험 파형이다. SWC 시험은 ANSI C37.90.1 규격에 준하여 5kV의 시험 전압의 초과도시험(Fast transient test)을 실시하였고, 1MHz, $\pm 2.5\text{kV}$ 의 진동 전압을 1초간 연속해서 인가하는 진동서지시험(Oscillation surge test)을 수행하였다. LPS는 국내 변전소에 설치된 3개사의 가스절연 개폐장치에 대한 현장 적용시험을 무난히 통과하여 성능을 검증받아 현재 수개의 변전소에 설치되어 활용되고 있으며, 또한 한전의 방침에 따라 향후 국내의 모든 가스절연 개폐장치에 확대 적용될 예정으로 있다.

4. 결과 및 토의

본 연구에서는 정전 분압의 원리를 이용한 전위감지 시스템을 설계, 제작하여, 고전압 감지용 시스템으로서의 적용 가능성 및 성능을 확인하였다. 신호전극은 정전적으로 차폐된 접지 외함 내부에 환형 전극을 삽입하는 구조로 구성하여 별도의 외부 장치 없이 신뢰성 있는 전위 감지를 가능하도록 하였다. 시험 및 현장적용을 통해 전위감지 시스템의 성능을 검증하였으며, 전위 감지 시스템의 외부 출력 접점을 이용하면 변전소의 무인화 및 안전한 개폐 제어를 위해 아래와 같이 다양하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

- 1) 선로측의 역가압시 차단기의 조작을 방지하여 전력 계통의 안정운전 도모
- 2) 무인 변전소의 원방 감시
- 3) 원방에서 접지개폐기의 안전한 조작
- 4) 선로측 PT의 대체로 경제적 효과
- 5) 유사 전력기기의 전위감지 시스템으로의 확대 적용

참고 문헌

- [1] N. O. Sadiku, "Numerical techniques in electromagnetics", CRC Press, pp.407-428, 1992
- [2] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사, pp.175-179, 1986
- [3] J. JIN, "The finite element method in electromagnetics", JOHN WILLEY & SONS, pp.72-135, 1993
- [4] 최승길, 강형부, "진공 인터럽터의 차폐판이 전계 분포에 미치는 영향의 유한요소해석", 전기전자재료학회논문지, 제12권, 제2호, pp.182-187, 1999
- [5] David. a. Bell, "Solid State Pulse Circuits", RESTON, pp.5.7-1~5-18, 1992