

비접촉 전압위상 검출 기술을 이용한 무정전 절연저항 측정 방법에 관한 연구

A Study on Measurement Technique of Insulation Resistance for Non-interrupting Inspection Using Non-contact Voltage Phase Detection Technology

이 기 연* · 문 현 욱* · 김 동 우* · 임 용 배* · 최 동 환* · 김 용 혁*

(Ki-Yeon Lee · Hyun-Wook Moon · Dong-Woo Kim · Young-Bae Lim · Dong-Hwan Choi · Yong-Hyeok Kim)

Abstract - In this paper, measurement techniques are presented to test the performance of insulation without interruption if it is difficult to measure insulation resistance. Especially, non-contact voltage phase detection techniques have been developed that can be applied in environments where it is difficult to find voltage measurement locations such as component receptors. The performance verification of the non-interrupting insulation resistance measuring devices has been tested against existing products using standard calibration equipment and test jigs. The validation confirmed performance within 2% for direct contact type and within 10% for non-contact type. In addition, the procedure to make continuous insulation test using the equipment was proposed.

Key Words : Electrical safety, Insulation resistance, Non-interrupting inspection, Voltage phase detection, Effective leakage current, Non-contact technique

1. 서 론

일반용 전기설비는 전기사업법 제67조에 따라 전기설비기술기준에 대한 적합여부를 설비별로 일정 주기로 정기점검을 실시하고 있다. 일반용 전기설비의 점검범위는 전력공급자(KEPCO)의 전선로 또는 인입선과 전기사용자의 전기설비 연결점부터 분전반 분기회로 2차측 전기설비까지 점검하고 있으며, 정기점검 항목으로는 절연저항, 인입구배선, 옥내배선, 누전차단기, 개폐기 등이다[1].

일반용 전기설비의 점검항목 중 하나인 절연저항 측정은 전로의 상태 감시를 통하여 전기화재와 감전사고를 예방하기 위한 점검 항목이다. 절연저항 측정은 전기사업법, 전기설비 기술기준 및 판단기준에서 전로의 절연에 관하여 명시하고 있다. 절연저항은 일반적으로 주택에서 많이 사용하고 있는 전압 범위인 대지전압 150[V] 초과 300[V] 이하인 경우 주회로 및 분기회로 배선과 대지간의 절연저항은 0.2[MΩ] 이상으로 규정하고 있다[2-3].

일반적인 절연저항 측정 방법은 측정하고자 하는 전로에 대하여 개폐기를 개방한 후 전로 상호간 또는 전로와 대지간을 측정한다. 따라서 절연저항을 측정하기 위해서는 분전반 등에서 부하의 전원이 차단된 정전상태에서 측정하기 때문에 세대 또는 옥내

에서 세대 구성원이나 관리자 입회하에 측정해야 한다. 이와 같이 기존에 사용하는 정전 방식의 절연저항 측정 방법에 따라 부재수용가나 정전이 불가능한 수용가에서 전기안전 미점검이 증가하고 있다. 2015년 전체 처리호수 9,168,471호 중 미점검 호수가 전체의 3.2%인 295,369호로 현대 사회에서 1인 가구와 여성의 경제 활동 증가 등으로 부재 수용가 증가로 전기안전 미점검 수용가가 매년 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

또한, 전기설비기술기준의 판단기준 제13조(전로의 절연저항 및 절연내력) ①항에서 사용전압이 저압인 전로에서 정전이 어려운 경우 등 절연저항 측정이 곤란한 경우에는 누설전류를 1[mA] 이하로 유지하여야 한다고 규정하고 있다. 이와 같이 관련 법규에서 절연 성능 측정이 불가능한 경우에는 누설전류를 측정으로 대체가 가능하도록 규정하고 있어 현장 상황에 적용 가능한 누설전류 검출기술 개발이 필요하다. 이러한 규정을 근거로 한국전기안전공사에서는 부재 수용가에 대한 최소한의 안전 확보를 위하여 누설전류 측정제도를 시행하여 1[mA] 이하인 경우 적합, 초과하는 경우 고객에게 통보하여 확인하도록 하고 있다[4].

하지만, 일반적인 누설전류 검출 기술은 합성누설전류 검출 기술로 선로와 대지간 분포용량(Capacitance)에 의해 발생하는 용량성 누설전류가 포함되어 있어 측정오차로 작용하기 때문에 절연과피로 인하여 전로에서 대지로 흐르는 저항성분의 유효 누설전류를 검출하여 규정에 적용하는 기술이 필요하다[5].

따라서, 본 연구에서는 옥내 배선 등의 절연저항 측정이 곤란한 경우 정전시키지 않고 절연성능을 판정하는 유효누설전류 검출기술에 관하여 나타내었다. 또한, 부재수용가와 같이 절연성능 측정 환경에 대한 문제를 해결하기 위하여 비접촉 전압 위상검

† Corresponding Author : Electrical Safety Research Institute, a subsidiary of KESCO, Korea.
E-mail: lkycj@kesco.or.kr

* Electrical Safety Research Institute, a subsidiary of KESCO, Korea.

Received : May 21, 2018; Accepted : June 30, 2018

출기술을 적용한 무정전 절연저항 측정기 개발에 대하여 나타내었다.

2. 유효누설전류 검출기술의 유효성 분석

단상 전기설비에서 발생하는 영상전류는 합성누설전류(I_{go})로 절연저항 열화에 의한 유효 누설전류(I_{gr})와 대지정전용량에 의한 용량성 누설전류(I_{gc})의 벡터합으로 나타낼 수 있으며, 일반적으로 누설전류계에 의해 측정된 결과는 합성 누설전류의 크기를 측정된 결과이다.

그림 1은 단상 전기설비의 영상전류 해석을 나타낸 것으로 합성누설전류(I_{go})는 유효누설전류(I_{gr})와 용량성 누설전류(I_{gc})의 벡터합으로 나타낸다[6-7].

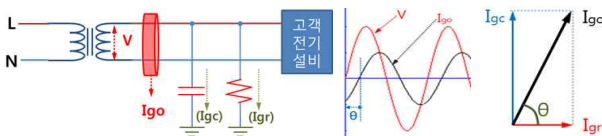


그림 1 단상 전기설비의 영상전류 해석
Fig. 1 Analysis of zero current for 1Φ electrical installation

단상 전기설비에서 영상전류 해석을 위하여 식 (1)에 나타난 것과 같이 전압을 기준으로 해석하였다. 기준이 되는 전압의 순시값(v)에 대하여 측정하고자 하는 전선로의 합성 누설전류(i_{go})가 정현파라면 합성 누설전류의 순시값(i_{go})는 식 (2)와 같다.

$$v = \sqrt{2} V \sin(\omega t) \tag{1}$$

V 는 전원전압의 실효값, $\omega = 2\pi f$, f 는 전원주파수이다.

$$i_{go} = \sqrt{2} I_{go} \sin(\omega t + \theta) \tag{2}$$

여기서 θ 는 기준전압(V)과 합성 누설전류(I_{gr})와의 위상차를 나타낸 것으로 합성 누설전류는 저항성분과 용량성분으로 구분되며, 각각의 벡터도로부터 저항성분과 용량성분의 벡터합이 합성 누설전류가 된다. 따라서 저항성분의 누설전류인 유효 누설전류와 용량성 누설전류는 식(3)과 같이 각각 구할 수 있다.

$$I_{gr} = I_{go} \times \cos \theta, \quad I_{gc} = I_{go} \times \sin \theta \tag{3}$$

또한, 절연저항은 기본적으로 정전 상태에서 DC 시험전압을 인가할 수 있는 절연저항계를 이용하여 측정한다. DC 시험전압을 인가하여 측정하면 주파수 성분에 영향을 받는 무효누설전류를 제외하고 실제 절연과에 영향을 받은 저항성분에 대한 절연값을 측정하기 때문에 순수 저항 성분만 측정된다.

하지만 누설전류는 전선로에 흐르는 전류를 측정하기 때문에 전선로에 흐르는 전류는 AC 성분으로 선로의 정전용량과 고조파 등에 의한 영향이 포함되어 있다. 따라서 무정전 절연저항을 측

정하기 위해서는 선로의 용량성분을 제외한 순수 저항성분의 누설전류를 측정해야 한다. 활성상태의 절연저항은 입력전압에 대하여 유효 누설전류로 나눈 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Live Megger} = V_{input} / I_{gr} \tag{4}$$

활성 상태의 절연측정은 기존의 정전상태의 절연저항계를 사용했을 때보다 실제 부하가 연결된 상태에서 측정하기 때문에 부하의 동작 상태가 포함된 전로의 절연상태 확인이 가능한 장점이 있다.

3. 무정전 절연저항 측정기 개발

무정전 절연저항 측정 기술은 유효 누설전류 검출 기반 기술로 전압의 기준위상에 대하여 영상전류의 위상차와 영상전류의 크기를 이용하여 검출한다. 영상전류의 크기와 위상은 영상변류기(ZCT) 또는 클램프 센서를 이용하여 위상과 크기를 검출할 수 있으며, 전압의 크기와 위상은 직접 접촉방식과 비접촉 방식을 이용한 검출 기술을 개발하였다.

3.1 접촉식 전압위상 검출 기술 개발

직접 접촉방식을 이용한 전압 위상 검출 기술은 그림 2에 나타난 것과 같이 전원 단자에 전압 프로브를 접촉시켜 측정하는 방식으로 전원 전압 측정 단자가 확보되어 있는 경우에 사용하며, 직접 측정하기 때문에 측정 전압의 크기(RMS)와 위상을 검출할 수 있다.

그림 2의 회로에서 입력전압은 1000:1 Isolation PT를 이용하여 전압의 크기를 검출하였으며, 기준 위상 검출을 위하여 Zero Crossing Detection 회로를 적용하였다. Zero Crossing Detection 회로는 AC 전압을 검출할 때 0V를 지나가는 시점을 검출하는 것으로 전압 검출 이후 회로에 비교기를 사용하였으며, 비교기의 + 단자에 입력전원을 연결하고, -단자에 영전위를 입력시키면 출력은 비교기의 제어전원에 해당하는 전압을 출력하여 펄스파형을 출력하기 때문에 펄스파형을 이용하여 입력전압의 Zero Crossing을 검출하였다.

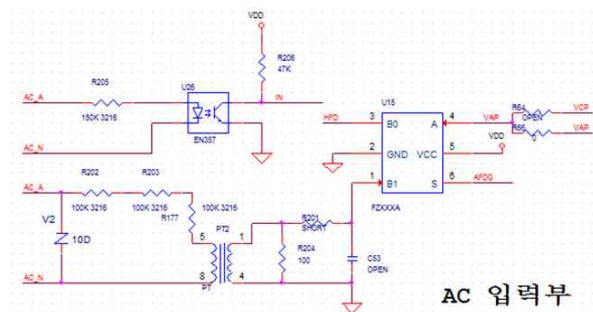


그림 2 직접접촉식 전압 검출부
Fig. 2 Diagram of direct contact voltage detection circuit

3.2 비접촉 전압위상 검출 기술 개발

비접촉 전압위상 검출회로는 부재수용가와 같이 전압 측정점을 확보할 수 없는 경우와 같이 절연성능 측정 환경에 대한 문제를 해결하기 위하여 그림 3과 같이 비접촉 전압 위상검출기술을 개발하였다.

비접촉 전압위상 검출회로는 활성 상태의 전계를 관찰하여 전계의 Zero Crossing 기준으로 +와 - 전위의 상태 변화를 관찰한다. 전계 검출 안테나에 Hi-impedance를 걸어 위상 펄스를 얻어내는 방식을 적용하였으며, Zero Crossing point를 기준으로, 다음 point를 측정, 계산하여 주파수를 얻어 내고, 계산된 주파수로 위상의 기준을 제공하여 측정에 적용하였다.

비접촉 전압위상 검출은 활성 상태에서 발생하는 전계를 관찰하여 전계의 Zero Crossing을 검출하기 때문에 전계 검출 안테나에 주변 다른 상의 영향이나 노이즈의 영향으로 인하여 잘못된 정보가 검출될 수 있어 입력전원에 노이즈가 포함되어 있는 경우 출력 펄스가 오검출하여 측정정확도가 저하되는 원인으로 작용한다. 따라서 입력전원의 잡음에 의한 비교기 출력의 영향을 줄이기 위하여 히스테리시스는 정구한 회로를 사용하여 비접촉방식 전압 위상검출 회로에 슈미트 트리거 회로를 적용하였다[8].

비접촉 전압 위상 검출센서는 주변 전계와 노이즈의 영향을 모두 받기 때문에 노이즈 필터와 슈미트 트리거 회로를 적용한

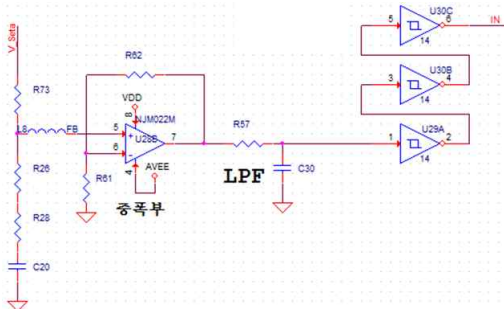


그림 3 비접촉 전압 위상 검출부

Fig. 3 Diagram of non-contact voltage phase detection circuit

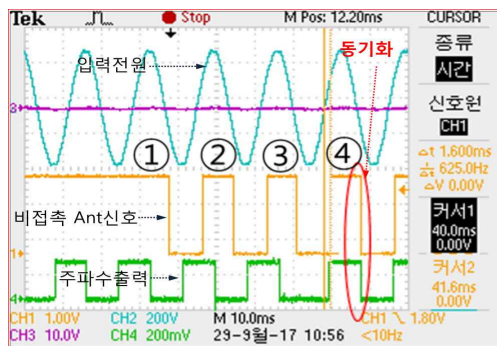


그림 4 비접촉 안테나 신호의 안정화 파형

Fig. 4 Steady waveform of non-contact antenna signal

상태에서도 안정적인 검출 특성을 위하여 전계 안테나의 신호에 대하여 2번째 검출 파형을 삭제하고 3번째 들어오는 안테나의 파형에 동기 신호를 맞추어 출력하게 설계하였다. 그림 4에 나타난 것과 같이 입력 전압에 대하여 전압이 "+"인 구간에 비접촉 안테나 신호가 펄스로 생성되고 Negative edge 기준으로 4번째 신호와 내부에서 발생시키는 주파수 출력과 동기화되어 동기화 시점부터 전압 기준 위상으로 설정하여 기준 위상과 전류의 zero-crossing 점에 대한 카운트를 개수하여 위상차를 계산한다.

3.3 무정전 절연저항 측정기 개발

그림 5는 비접촉 전압위상 검출기술을 적용한 무정전 절연저항계 개발품 외형을 나타낸 것이며, 무정전 절연저항계 개발을 위하여 그림 6에 나타난 전압-영상전류 위상차 검출 알고리즘을 적용하였다.



그림 5 무정전 절연저항계 개발품 외형

Fig. 5 The appearance of insulation resistance for non-interrupting inspection

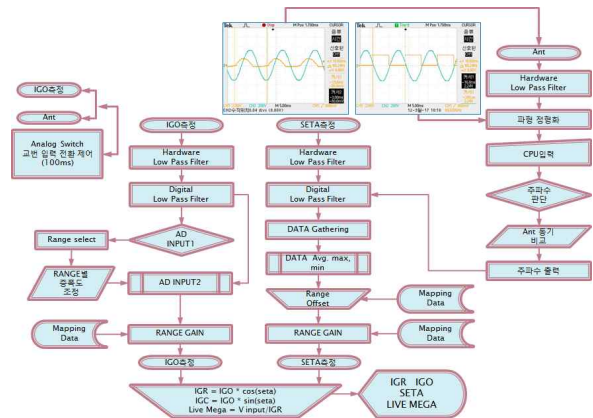


그림 6 전압-영상전류 위상차 검출 알고리즘

Fig. 6 Diagram of algorithm for voltage-zero current phase difference

위상차 검출 알고리즘은 기준 위상(전압의 영점)에 대하여 영상전류의 영점과의 위상차를 검출하는 것으로, 기준전압 측정과 누설전류의 위상차 검출을 위하여 전압과 영상전류 검출할 때 MCU에서 한 주기인 360도를 각각 4260 카운트로 분해하여 측정하고 있다. 전압 위상의 기준점에 대하여 영상전류의 zero-crossing이 발생하는 지점의 카운트 수를 검출하여 연산한다. 측

정 한 주기를 4260 카운트로 분해하기 때문에 1 카운트마다 0.0845도의 위상차가 발생하여 식 (5)와 같이 위상차를 연산한다.

하지만 비접촉 전압 검출 기술을 적용한 경우는 현실적인 검출 특성과 전압의 변동 범위 등 일반용전기설비의 주제를 고려할 때 220V로 고정하여 검출하는 것이 효율적이라 판단하여 전압의 크기를 220[V]로 고정한 후 위상차를 검출하는 방식을 적용하였다.

$$\text{위상차}(\theta) = 0.0845 * \text{카운트 수} \quad (4)$$

4. 무정전 절연저항 측정기 성능 검증

본 연구를 통하여 개발된 무정전 절연저항 측정기의 성능 검증은 비접촉 전압위상 검출부의 성능검증과 개발품의 측정값에 대한 성능을 검증하였다. 개발품의 성능검증은 접촉식의 경우 표준 교정 장비를 이용하여 성능을 검증하였으며, 비접촉식의 경우 시험용 지그를 이용하여 성능을 검증하였다.

4.1 비접촉 전압위상 검출부의 성능 검증

비접촉 전압 위상 검출부의 R, S, T 전압 상별 검출 특성을 검증하였다. 그림 7은 R, S, T 각 상에 대하여 전계 검출 센서의 검출 특성을 나타낸 것으로 안테나 펄스 신호가 Negative edge 기준으로 4번째 신호와 내부에서 발생시키는 주파수 출력과 동기화되는 것을 확인하였으며, 검증 결과 R, S, T상에 관계없이 동기화되어 정상적인 전압의 zero-crossing 점을 검출하는 특성을 확인하였다.

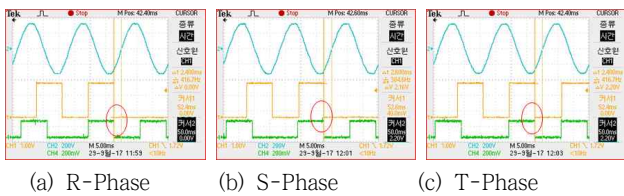


그림 7 R, S, T 상별 비접촉 전압 위상 검출 파형
Fig. 7 Waveform of non-contact voltage phase detection for R-S-T phase

4.2 직접접촉식 개발 장비의 성능 검증

접촉식 무정전 절연저항계 개발품에 대하여 표준 교정 장비를 이용하여 성능을 검증하였다. 그림 8에 나타난 것과 같이 전압, 전류, 위상차 제어가 가능한 표준 멀티 교정기인 Fluke 5520A 장비를 이용하였으며, 해외 메이커의 기존제품과 비교 측정 시험을 실시하였다. 표준 장비를 이용하여 전압은 220[V], 60[Hz]의 전원에 대하여 0.1[mA]부터 300[mA]까지 시험 전류를 인가하였으며, 전압과 시험전류의 위상차는 0도에서 80도까지 10도 단위로 인가하여 측정하였다.



그림 8 표준 교정 장비를 이용한 성능 검증
Fig. 8 Performance verification using standard calibration equipment

표준 교정장비를 이용하여 개발품과 기존제품(국의 IGR 측정 장비)와 비교시험을 실시한 결과, 그림 9에 나타난 것과 같이 1[mA] 이하 구간과 30[mA] 이하 구간에 대하여 그래프로 나타내었다. 개발품과 기존 제품의 측정결과 1[mA] 이하 구간에서는 개발품이 1.5[%] 이내, 기존제품이 2.0[%] 이내로 측정되었으며, 1~30[mA] 이하 구간에서는 개발 장비와 기존 장비 모두 약 1.5[%] 이내로 측정되었다. 하지만, 개발 장비와 기존 장비의 차이점은 절대 오차 범위에서는 큰 차이는 나지 않았지만, 개발 장비는 +1.5[%]~-1.2[%]로 변동폭이 크게 나타난 반면, 기존 장비는 -0.9[%]~-2.0[%]로 비교적 안정적인 측정결과로 분석되었다.

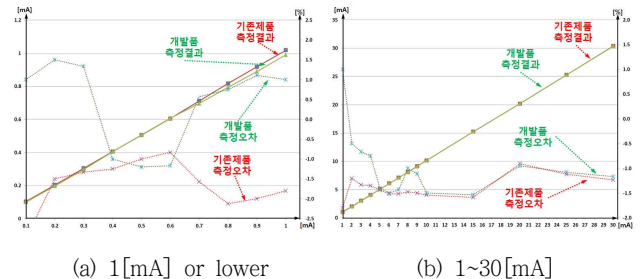


그림 9 개발품과 기존제품 성능 비교 분석 결과
Fig. 9 Result of comparative performance analysis between developed and existing products

4.3 비접촉식 개발 장비의 성능 검증

비접촉식 무정전 절연저항계 개발품에 대한 성능 검증을 위하여 그림 10에 나타난 것과 같은 테스트 지그를 이용하였다. 테스트 지그는 220[V], 60[Hz] 상용전원을 이용하였으며, 저항과 콘덴서를 이용하여 각각 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10[mA]의 유효성(Igr) 및 용량성(Igc) 누설전류를 설정할 수 있도록 시험하였다. 시험은 테스트 지그를 이용하여 Igr을 1~10[mA] 10단계로 변화시켰으며, 각 단계에 대하여 Igc를 0.5~10[mA] 11단계로 변화시켜 각각에 대하여 측정하였다.

표 1은 유효성 누설전류 각각에 대하여 용량성 누설전류를 변화시켰을 때 측정된 결과를 나타낸 것으로 유효성 누설전류가 작을수록 오차가 크게 나타났으며, 유효성 누설전류 대비 용량성 누설전류가 클수록 오차가 크게 나타났다. 그림 11은 각 단계의 유효 누설전류에 대하여 용량성 누설전류를 변화시켰을 때 나타나는 최대 오차율을 나타낸 것으로 유효성 누설전류가 0.5[mA], 용량성 누설전류가 10[mA]일 때 최대오차율 22[%]로 가장 큰 편차로 나타났다. 또한, 유효성 누설전류가 9[mA], 용량성 누설전류가 7[mA]일 때 최대오차율 4.33[%]로 각 단계의 최대 오차율 중 가장 적은 오차범위를 갖는 것으로 나타났다.



[테스트 지그 사양]
 ◦ Igr : 0.5[mA], 1~100[mA]
 ◦ Igc : 0.5[mA], 1~100[mA]
 ◦ Igr, Igc 각 20단계 선택

그림 10 비접촉식 개발 장비의 성능 검증
 Fig. 10 Performance verification of non-contact developed equipment

테스트 지그를 이용한 비접촉식 개발 장비의 성능 검증 결과, 1[mA] 이하에서는 오차가 일부 20[%]를 초과하였지만 대부분 20[%] 이내의 정확성을 갖는 것으로 확인되었으며, 특히 용량성 누설전류가 유효성 누설전류의 2배 이내의 전류비를 갖는 경우에는 대부분 10[%] 이내의 오차율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

비접촉식 개발 장비의 경우 정확한 측정보다는 전압을 측정할 수 없는 경우 절연상태 추이를 분석하기 위한 장비로 사용될 것이기에 오차율 20[%] 이내로 확보할 경우 현장활용이 가능할 것으로 판단된다.



그림 11 유효누설전류 단계의 조건별 최대 오차율 분석결과
 Fig. 11 Analysis result of the maximum error rate by condition of the Igr step

비접촉식 무정전 절연저항계는 측정하고자하는 고객 전기설비의 전압 측정 개소가 확보되지 않는 경우에 절연상태를 분석하기 위한 것이다. 고객 전기설비의 절연 상태 분석은 그림 12에 나타

낸 것과 같이 부재수용가 등과 같이 전압 측정개소가 확보되지 않은 경우 비접촉식으로 측정한 후, 유효누설전류가 0.8[mA] 이하로 측정되지 않으면 접촉식으로 측정하는 절연검사 절차를 제시하였다.

비접촉식의 경우 접촉식에 비하여 전압의 기준위상의 정확도가 낮고 전압의 크기를 정확하게 알 수 없기 때문에 측정 오차 및 안전도를 적용하여 유효누설전류 및 활선절연저항 측정값이 0.8[mA] 이하 또는 0.3[MΩ] 이상으로 측정될 경우 적합으로 판정하고 1.2[mA] 이상 또는 0.15[MΩ] 이하로 측정되는 경우에는 부적합으로 판정한다. 만약 유효누설전류 측정값이 0.8~1.2[mA] 또는 활선절연저항 측정값이 0.15~0.3[MΩ] 사이 값으로 측정되면 재방문 등을 통하여 직접 접촉식으로 정확하게 측정해야 한다.

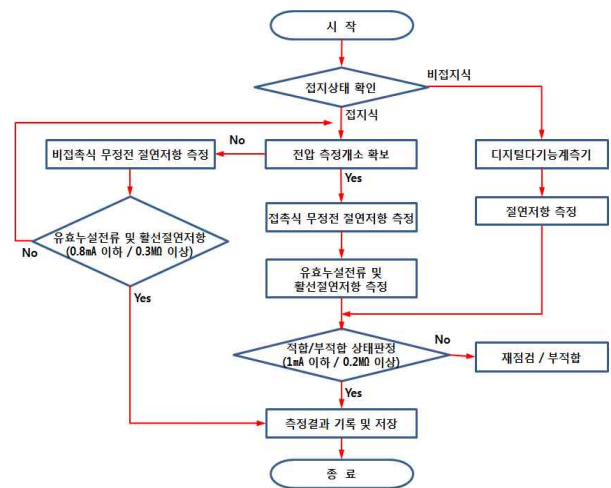


그림 12 무정전 절연접검 절차
 Fig. 12 Flow chart of non-interrupting insulation inspection procedure

5. 결 론

본 논문은 부재수용가 등 절연저항 측정이 곤란한 경우 정전 시키지 않고 절연성능을 측정하는 무정전 절연저항 측정기 개발에 관하여 나타내었다. 무정전 절연성능 측정은 유효누설전류인 저항성분 누설전류를 측정하여 입력전압에 대한 일반용 전기설비의 절연성능 평가가 가능하도록 개발하였다.

개발품에 대하여 접촉식 기능의 경우 표준 교정 장비를 이용하여 성능을 검증하였으며, 비접촉식의 경우 테스트 JIG를 이용하여 접촉식 해외 기존제품과 측정결과를 비교하여 성능을 검증하였다. 성능 검증결과 직접접촉식의 경우 약 10[%] 이내로 오차가 발생한 것을 확인하였으며, 비접촉식의 경우 1[mA] 이상에서 약 20[%] 이내로 오차가 발생한 것을 확인하였다. 비접촉식 개발품은 고객전기설비의 전압측정 개소가 확보되지 않은 경우 우선적으로 절연상태를 분석하기 위한 것으로 약 20[%]의 오차범위 내에서 활용할 수 있도록 개발하였으며, 성능 검증 결과들

표 1 테스트 지그를 이용한 비접촉 장비의 측정 결과

Table 1 Measurement results of non-contact equipment using test jig

설정값[mA]			측정값[mA]		설정값[mA]			측정값[mA]		설정값[mA]			측정값[mA]	
IGR	IGC	IGO	IGR	IGO	IGR	IGC	IGO	IGR	IGO	IGR	IGC	IGO	IGR	IGO
1	0.5	1.12	1.10	1.12	4	0.5	4.03	3.92	3.98	7	0.5	7.02	6.91	6.94
1	1	1.41	1.15	1.39	4	1	4.12	4.00	4.07	7	1	7.07	6.93	6.99
1	2	2.24	1.17	2.28	4	2	4.47	3.99	4.45	7	2	7.28	6.88	7.21
1	3	3.16	1.19	3.15	4	3	5.00	3.87	4.96	7	3	7.62	6.99	7.54
1	4	4.12	0.93	3.93	4	4	5.66	4.02	5.48	7	4	8.06	6.77	7.90
1	5	5.10	0.81	5.05	4	5	6.40	3.73	6.33	7	5	8.60	6.76	8.51
1	6	6.08	0.89	6.12	4	6	7.21	3.52	7.21	7	6	9.22	7.16	9.14
1	7	7.07	0.87	7.12	4	7	8.06	3.51	8.07	7	7	9.90	7.42	9.83
1	8	8.06	0.81	8.08	4	8	8.94	3.50	8.91	7	8	10.63	7.38	10.54
1	9	9.06	0.85	9.07	4	9	9.85	3.36	9.82	7	9	11.40	7.52	11.30
1	10	10.05	0.81	9.97	4	10	10.77	4.70	10.66	7	10	12.21	7.90	12.05
2	0.5	2.06	2.00	2.03	5	0.5	5.02	4.88	4.90	8	0.5	8.02	7.87	7.91
2	1	2.24	2.05	2.20	5	1	5.10	4.87	4.97	8	1	8.06	7.87	7.96
2	2	2.83	2.13	2.84	5	2	5.39	4.77	5.29	8	2	8.25	7.86	8.16
2	3	3.61	2.03	3.59	5	3	5.83	4.56	5.72	8	3	8.54	7.84	8.45
2	4	4.47	2.01	4.29	5	4	6.40	4.49	6.17	8	4	8.94	7.80	8.77
2	5	5.39	1.91	5.34	5	5	7.07	4.39	6.93	8	5	9.43	7.64	9.33
2	6	6.32	1.98	6.36	5	6	7.81	4.21	7.76	8	6	10.00	8.39	9.88
2	7	7.28	1.61	7.32	5	7	8.60	4.19	8.56	8	7	10.63	8.40	10.53
2	8	8.25	2.39	8.28	5	8	9.43	5.75	9.36	8	8	11.31	8.54	11.21
2	9	9.22	2.28	9.23	5	9	10.30	4.98	10.15	8	9	12.04	8.41	11.91
2	10	10.20	2.37	10.12	5	10	11.18	4.93	11.00	8	10	12.81	8.57	12.65
3	0.5	3.04	2.97	3.00	6	0.5	6.02	5.80	5.85	9	0.5	9.01	8.81	8.84
3	1	3.16	3.00	3.11	6	1	6.08	5.81	5.91	9	1	9.06	8.86	8.89
3	2	3.61	3.03	3.59	6	2	6.32	5.76	6.17	9	2	9.22	8.82	9.07
3	3	4.24	2.91	4.20	6	3	6.71	5.76	6.55	9	3	9.49	8.85	9.32
3	4	5.00	2.97	4.83	6	4	7.21	5.57	6.95	9	4	9.85	8.97	9.57
3	5	5.83	2.76	5.78	6	5	7.81	5.34	7.64	9	5	10.30	9.16	10.06
3	6	6.71	2.67	6.73	6	6	8.49	6.42	8.33	9	6	10.82	9.15	10.62
3	7	7.62	2.59	7.65	6	7	9.22	6.24	9.12	9	7	11.40	9.39	11.22
3	8	8.54	3.54	8.52	6	8	10.00	6.51	9.82	9	8	12.04	8.98	11.85
3	9	9.49	2.51	9.42	6	9	10.82	6.39	10.67	9	9	12.73	9.13	12.56
3	10	10.44	2.48	10.34	6	10	11.66	6.31	11.45	9	10	13.45	9.16	13.23

활용하여 무정전 절연검사 점검 절차를 제시하였다.

향후 단상 고객전기설비에 대한 현장시험을 통하여 개발품에 대한 성능과 현장 활용성을 검증할 것이다. 또한, 부재수용가 등의 전압을 측정할 수 없는 경우에 대하여 현재의 오차발생에 대한 성능을 개선할 것이며, 전압위상 및 크기를 측정할 수 있는 기술 개발을 통하여 미점검 수용가 감소 등 전기안전 확보에 노력할 것이다.

감사의 글

This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20151210000050).

References

- [1] Ki-Yeon Lee, et al., "Development of Insulation resistance meter for non-Interrupting Inspection", *KIEE Summer Conference*, pp. 1664-1665, 2017.
- [2] The Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), *Electric Utility ACT*, 2017.
- [3] The Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE), *Korea Electrotechnical Regulation*, 2016.
- [4] KESCO, "Inspection Procedure for General Electrical Facility", 2016.
- [5] Jae-Hyun Kim, Young-Bae Lim, Sang-Ik Lee, Dong-Woo Kim, "The Effectiveness Analysis of the Resistive Leakage Current Monitoring by Analyzing the Phase of the Body Current", *Journal of the Korean institute of*

illuminating and electrical installation engineers, vol. 27, no. 9, pp. 90-99, 2013.

- [6] Chang-Soung Kim, Song-Yop Hanh, Chung-Seog Choi, "Development and Safety Estimation of Resistive Leakage Current(Igr) of Detection Outlet", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 58P, no. 2, pp. 221-226, 2009.
- [7] Nam-Kyu Joo, Tae-Wan Kim, Young-Bae Lim, "A Development of Resistive Current Detecting Circuit with Voltage Phase Comparison", *KIEE Electrical Facilities Spring Conference*, pp. 172-173, 2009.
- [8] Thomas L. Floyd, *Electronic Device 7th edition*, Pearson Education, Inc., 2008.

저 자 소 개



이 기 연 (Ki-Yeon Lee)

1975년 5월 12일생. 2002년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2004년 인천대학교 전기공학과 졸업(석사). 2004년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : 063-716-2373
E-mail : lkycj@kesco.or.kr



문 현 욱 (Hyun-Wook Moon)

1975년 2월 14일생. 2000년 8월 경북대학교 전자전기공학부 졸업. 2004년 University of Florida, Electrical & Computer Engineering 졸업(석사). 2006년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 주임연구원.

Tel : 063-716-2374
E-mail : hwmoon@kesco.or.kr



김 동 우 (Dong-Woo Kim)

1972년 3월 20일생. 1996년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년~현재, 한국전기안전공사 전기안전연구원 선임연구원.

Tel : 063-716-2372
E-mail : kdwtk98@naver.com



임 용 배 (Young-Bae Lim)

1967년 11월 16일생. 1994년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업. 1998년 8월 홍익대학교 전기제어공학과 졸업(석사). 2007년 2월 홍익대학교 전기정보제어공학과 졸업(박사). 1996년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 책임연구원.

Tel : 063-716-2371
E-mail : tree@kesco.or.kr



최 동 환 (Dong-Hwan Choi)

1969년 7월 9일생. 1994년 2월 원광대학교 전기공학과 졸업, 1994년~현재 한국전기안전공사 전기안전연구원 수석연구원

Tel : 063-716-2360
E-mail : choindh@kesco.or.kr



김 용 혁 (Yong-Hyeok Kim)

1968년 1월 25일생. 2000년 8월 서울과학기술대학교 안전공학과 졸업, 1993년~현재 한국전기안전공사 인천지역본부 기술진단부장

Tel : 032-290-7050
E-mail : yong@kesco.or.kr