

누설전류측정을 이용한 일반용전기설비의 점검

임용배¹·정종욱²·정진수³·배석명⁴·조성원⁵
¹한국전기안전공사 전기안전연구원 ²홍익대학교

Inspection of General Use Electric Installation Using Leakage Current Measuring

Young-Bae Lim¹, Jong-Wook Jung², Jin-Soo Jung³, Seok-Myung Bae⁴ and Seong won Cho⁵
¹Electrical Safety Research Institution KESCO, ²Hongik Univ.

Abstract - A electrical fault is defined as any abnormal condition caused by a reduction in the insulation strength. To define the potential risk of the electric installation, measurement of leakage current has been getting considered, but because the measured leakage current value also contained leakage current by capacitance, the measured value could not be adapted to absolute reference to the installation. Therefore, in this paper, the correlation between the condition of electric installation and leakage current were analyzed. The result focuses on to detect them in a cost efficient way.

1. 서 론

전기적 고장은 충전된 선로사이나 선로와 대지 또는 접지된 설비 사이의 절연강도의 저하에 의한 비정상적인 상태로 정의할 수 있다. 특히 고체 절연체의 절연 고장은 과도한 기계적인 스트레스나 열악한 운전환경, 코로나 방전 등에 의해 발생되며, 전기화재나 감전사고 등의 재해로 진전되게 된다.

최근 기술발전과 각종 설비의 지능화에 의해 정전 없는 전력공급이 사회 안정에 필수요소가 되었고, 전기를 에너지원으로 사용하는 분야의 확대로 과거와 다른 예상치 못한 재해가 발생되고 있다.

그러나 업무활동 시간에 부재된 가정의 증가에 의해, 일반용전기설비 중에서 점검을 받지 못하는 수용가가 증가하고 있다. 그리고 급속한 경제성장 속에서 양산된 많은 주택의 전기설비들은 경년열화에 의해 고장주기를 맞고 있다. 이 때문에 재해의 잠재요소 또한 증가되고 있다.

일반용전기설비의 안전점검은 절연저항 측정법 등으로 법의 범위가 한정되어 있어, 부재수용가의 경우 기존의 점검방법으로는 전기설비에 접근이 어려워 증가된 잠재재해를 확인할 수 없다. 이에 대한 대책으로, 부재수용가에 대하여 누설전류검출에 의한 일반용전기설비의 점검이 꾸준히 추진되어 왔다. 하지만 다양한 부하설비에 의한 많은 변수가 큰 이점에도 불구하고 적용에 장애로 작용하고 있다. 또한 부재수용가의 특성상 확인되지 않는 항목을 누설전류측정으로 대체하려는 관점은 미확인 잠재 위험이 방치될 수 있다는 이유 때문에 도입되지 못하고 있다.

따라서 누설전류 검출에 의한 결과를 토대로 한 판단의 장점과 적용의 문제점을 검토하여 적용방안을 도출할 필요가 있다.

이를 위해 샘플 일반용수용가를 선정하여 절연저항에 대한 누설전류를 파악하였고, 결과에 대한 자세한 분석을 위해 모델 수용가의 부하에 대한 제어 분석을 실시하였으며, 일본에서 실제 적용되고 있는 방법을 검토하여 적용 방안을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 누설전류의 측정

그림 1과 같이 클램프식누설전류계를 이용하여 누설전류를 측정할 수 있는 위치로는, A, B, C, D, E를 고려할 수 있다.

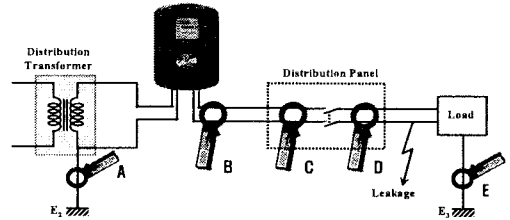


그림 1 누설전류의 측정

그러나 실제로 이들 위치 모두에서 누설전류 측정이 가능한 것은 아니다. 측정 대상을 부재수용가에 한정할 경우 측정점 B만이 유용할 수 있다.

측정점 C, D, E의 경우에는 건물 내부로 진입하여야 측정이 가능하므로, 출입에 제한이 있는 부재 수용가에 대한 측정점으로는 적합하지 않다.

측정점 A의 경우에는 변압기 제2종접지선으로 유입되는 누설전류를 측정할 수 있는 곳이지만, 대부분 변압기 한대에서 여러 수용가로 전원을 공급하는 현재의 배전계통에는 적용할 수 없다.

표 1 누설전류측정수용가 지역별 표본수

지역	표본수
서울	880호
부산	400호
대구/경북	620호
인천	230호
광주	470호
대전	420호
경기	850호
강원	200호
충북	210호
전북	270호
경남	380호
제주	70호
계	5,000호

표 1과 같이 전국적으로 5,000호의 재택수용가에 대하여 측정점 B에서 누설전류를 측정하고, 설비상태 판단의 비교기준으로 절연저항 및 부하전류를 병행하여 측정하

었다. 그리고 측정점 *D*에서도 분기별로 누설전류, 절연저항, 부하전류가 각각 측정되었다.

그 결과 그림 2와 같이 절연저항과 누설전류에 대하여 일정한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 그러나 부하전류로 알 수 있는 부하사용량에 따른 조건은 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

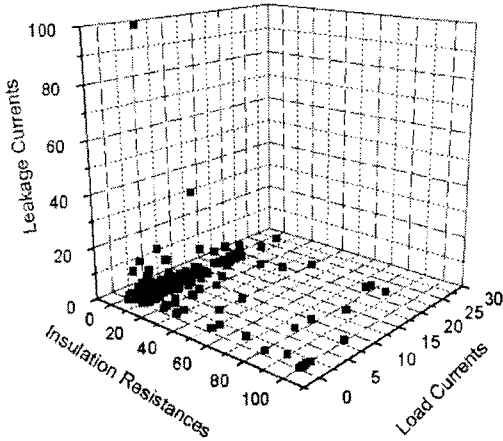


그림 2 절연저항 및 부하전류에 따른 누설전류 분포

측정 결과에 대하여 측정상 오류를 확인하기 위해 5호의 표본 수용가를 선정하여 확인 측정을 실시하였다.

이들 수용가에는 절연저항은 적합하나 누설전류가 과도하게 측정된 수용가 2호와 절연저항은 낮으나 누설전류가 비교적 적게 검출된 수용가 1호, 그리고 정상범위 내의 수용가 2호가 표 2와 같이 선정되었다.

표 2 표본 누설전류 측정결과

수용가	누설전류	절연저항
U _a	2.79mA	100MΩ
U _b	1.83mA	100MΩ
U _c	0.329mA	50MΩ
U _d	0.907mA	0.5MΩ
U _e	1.350mA	0MΩ

그러나 실시된 표본측정에서는 측정자가 직접 부하를 제어하는데 제한이 있기 때문에, 측정 결과의 오류여부만 확인 할 수 있었을 뿐 누설전류와 절연저항의 상관관계 왜곡에 대한 원인 규명에는 한계가 있었다. 따라서 실제 부재 시에 발생할 수 있는 다양한 부하중속 누설전류의 특성을 파악하기 위해 1호의 모델수용가를 선정하여 재검증을 실시하였다.

선정된 모델수용가는 1970년대 중반에 조적방식으로 건축된 주택으로, 옥내 배선 및 부하설비의 배치는 그림 2와 같다. 전원은 옥외의 적산전력계로부터 분전반으로 가공방식으로 인입되며, 주차단기인 ELB 30A에서 분기 회로 3곳으로 분리된다. 분기 1은 MCCB 30A이고, 분기 2와 분기 3은 MCCB 20A이다. 본 수용가는 세입자가 있어 주차단기 1차측에 인입구측의 적산전력계 외에 적산전력계가 설치되어 있고, 분기 3은 세입자용으로 별도의 전력계가 설치되어 있다. 이 외에도 확인되지 않은 분기배선이 있었다.

2.2 결과 및 고찰

점검된 5,000호에는, 표 2에서와 같이 절연저항은 양호

하나 누설전류가 많이 발생된 U_a와 U_b 같은 수용가와 누설전류와 절연저항이 모두 정상범위로 측정된 U_c와 U_d 같은 수용가, 그리고 절연저항에 비해 누설전류가 적게 발생된 U_e와 같은 수용가가 있었으며, 측정상 오류 여부를 확인하기 위해 실시한 표본수용가에 대한 측정 결과 현장측정 시의 결과가 표 2와 일치되었다.

그리고 실제 부하를 제어하며 누설전류 발생원인을 분석하기 위한 모델수용가의 측정 결과는 표 3과 같다. 이것은 그림 1에서의 각 측정 위치별로 측정된 누설전류와 주차단기 및 분기차단기 2차측에서 측정된 결과이다.

표 3 모델수용가에 대한 누설전류 측정결과

측정위치	보호설비	누설전류	절연	비 고
적산전력계 2차측(B)	-	0.8mA	-	냉장고 가동
	-	1.48mA	-	전부하 가동
주 (C)	ELB 30A	3A	8MΩ	분기 오결선
분기1(D)	MCCB 30A	1.1A	80MΩ	전동부하
분기2(D)	MCCB 20A	255mA	80MΩ	전동부하
분기3(D)	MCCB 20A	0.7A	4MΩ	세입자 방

분석결과 모델수용가는 인입구 배선에서 주차단기로 직접 인입되지 않은 시설상의 문제점이 있었다. 이는 누설전류 측정과정에서 확인되었으며 절연저항 측정에서는 확인되지 않았던 결함이었다.

또한 분기회로의 절연상태는 건전하나 누설전류가 과도하게 발생하는 것으로 나타났다. 이 검출된 누설전류는 절연저항이 건전한 상태에서 발생되고 있으므로 절연저항에 의한 누설전류의 발생은 아니고, 적산전력계 2차측으로부터는 검출되지 않았으므로 노이즈필터로부터 방출되는 것도 아닌 것으로 판단할 수 있다.

실제 절연열화에 의한 누설전류나 전기제품에서 발생하는 누설전류와 관계없이 분기배선에서 과도하게 누설전류가 발생하는 것은, 옥내배선에 대한 무자격자의 보수로 분기회로들의 교차배선 등의 오결선에 의한 것으로 확인되었다.

부재수용가의 부하 운전패턴은 전부하 가동보다는 냉장고만 운전되고 있는 경우가 대부분일 것이다. 따라서 전부하 가동 시와 냉장고만 가동할 때의 누설전류를 비교해본 결과, 표 2에서와 같이 부하를 차단함에 따라 누설전류가 감소함을 알 수 있었다.

즉 부재수용가의 부하상태로 상정할 수 있는 조건 하에서 모델수용가로부터 측정된 누설전류는 0.8mA로 정상범위에 있으며, 수용가의 설비상태를 충분히 반영하고 있음을 알 수 있었다.

그러나 분기회로의 오결선과 같은 부적합 상태는 기존의 점검방법인 절연저항 측정이나 육안점검으로는 확인되지 않았으나, 분기별 누설전류 측정 시 확인되었다. 또한 옥내배선의 전동회로와 같이 개폐기가 설치된 회로의 경우에는 절연저항 측정 시 절연상태가 확인되지 않는 경우를 충분히 남는다.

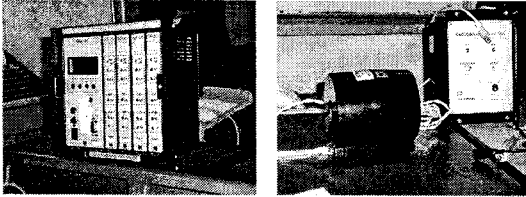
따라서 옥내배선의 건전성 확보를 위해서는 기존의 절연저항 측정 외에 부하 및 개폐기를 투입한 상태에서 분기별 누설전류 측정이 요구된다. 이는 설비 오결선과 절연저항 측정 시 확인되지 않는 열화를 검출하기 위해 반드시 필요한 것으로 판단된다.

과거 대부분의 수용가의 누설전류는 절연저항에 종속된 함수였다. 그러나 최근 비선형부하의 증가에 의해 노이즈필터를 통해 유출되는 누설전류가 함께 증가되었고, 전기제품의 누설전류 제한치가^{1),2)} 판단기준치를 상회하게 되었다. 결과적으로 누설전류를 통한 옥내배선 열화 판정의 문제로 대두되었다.

따라서 실제로 누설전류 측정에 의해 옥내배선의 절연저항을 판단하기 위해서는 용량성분의 누설전류를 배제

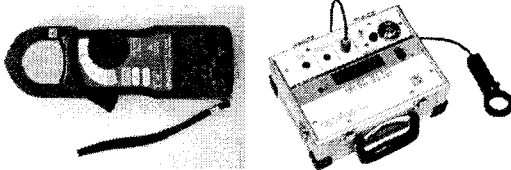
하고 저항성분의 누설전류만을 측정할 수 있는 측정법 도입이 요구된다.

이에 대하여 일본에서는 고정형으로는 그림 3, 휴대용으로는 그림 4와 같은 장비를 활용하여, 누설전류 측정을 통해 절연을 평가하는 기술이 절연저항 측정의 기술적 대안으로 활용되고 있으며, 제도적으로도 허용되고 있다.



(a) 누설전류 감시기 (b) 변압기 및 발생기
그림 3 전압중첩법을 이용한 누설전류 감시장치

그림 3의 전압중첩법은 일반용전기설비에는 적용되고 있지 않으며, 자가용전기설비의 누전감시에 활용되고 있고, 일반용전기설비의 정기점검에서는 그림 4와 같은 장비가 활용되고 있다.



(a) 고조파분석방식 (b) 전압파형분석방식
그림 4 유효누설전류측정기

그러나 그림 4(a)의 장비의 경우 국내의 계통에 적용해본 결과 측정오류가 많이 발생되었다. 그리고 그림 4(b)의 장비의 경우에는 전압파형 취득을 위한 인입구 설비의 개선이 요구된다. 따라서 이런 장비가 국내에 도입된다고 해도 실제 건물 내부로 진입하지 않고 외부에서 저항성분 누설전류만을 측정할 수 있는 수용가는 거의 없는 실정이다.

3. 결 론

업무시간에 부재된 가정의 증가에 의해 점검을 받지 못하는 수용가가 증가하고 있다. 그러나 일반용전기설비의 안전점검은 절연저항 측정법 등 6개 항목으로 법의 범위가 한정되어 있어, 이렇게 증가된 잠재해가 기존의 점검방법으로는 확인되지 않는다.

이에 대한 대안으로, 부재수용가에 대하여 누설전류검출에 의한 일반용전기설비의 정기점검에 대한 검토 및 일본의 적용 실태 검토를 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

누설전류 측정에 의해 검출되는 누설전류를 통한 열화 판정은 옥내배선에 한정된 것이나, 실제 외부에서 측정할 경우 측정된 누설전류는 여러 전기설비의 용량성분에 의한 것을 포함하고 있으므로, 제도 도입 시 1mA를 초과하여 누설전류가 검출되는 수용가에 대해서는 절연저항 측정 등을 통한 확인 보완이 동반되어야 할 것으로 판단된다.

또한 모델수용가로부터 측정된 부재수용가의 부하상태로 상정할 수 있는 조건 하의 누설전류는 부하설비가 용량성 누설전류 발생설비를 거의 포함하고 있지 않기 때문에 0.8mA로 정상범위에 있었으며, 측정결과가 수용가의 설비상태를 충분히 반영하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 일반적인 누설전류계의 도입으로도 충분히 재해예방

에 활용할 수 있을 것이다.

현재 누설전류를 측정하기 어려운 인입구 배선형태가 수용가의 많은 비중을 차지하고 있으므로 이에 대한 개선이 요구되며, 특히 저항성분의 누설전류만을 정확하게 측정하기 위해서는 전압과형을 취득할 수 있는 특별한 인입구 배선의 도입이 필요하다.

그리고 분기회로의 오결선과 같은 부적합 상태는 기존의 점검방법인 절연저항 측정이나 옥내점검으로는 확인되지 않았으나, 분기별 누설전류 측정 시 확인할 수 있었다. 또한 옥내배선의 전동회로와 같이 개폐기가 설치된 회로의 경우는 절연저항 측정 시 절연상태가 확인되지 않는 부분으로 남는다. 따라서 옥내배선의 건전성 확보를 위해서는 기존의 절연저항 측정 외에 부하 및 개폐기를 투입한 상태에서 분기별 누설전류의 측정이 요구된다. 이는 절연저항 측정 시 확인되지 않는 열화 및 설비 오결선을 검출하기 위해 필요한 항목으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부 전력산업기반기금에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] KS C IEC 60950, 정보 기술 기기의 안전성, p. 75, 2002.
- [2] KS C IEC 60335-1, 가정용 및 이와 유사한 전기 기기의 안전성-제1부: 일반 요구 사항, p. 24, 2004.