

## 변압기 누설전류 통합 감시장치

(Total monitoring device of leakage current in transformer)

이정은\* · 최홍규 · 염성배 · 박형민 · 유해출 · 홍성구 · 신혜영

(Jung-Eun Lee\* · Hong-Kyoo Choi · Sung-Bae Yum · Hyung-Min Park · Hai-Chool Yoo · Seong-Goo Hong · Hye-Young Shin)  
홍익대학교 · 홍익대학교 · 홍익대학교 · (주)하나에이취티 · 홍익대학교 · 홍익대학교 · 홍익대학교

### 요약

변압기 누설전류 통합 감시 장치는 변압기 중성선에 흐르는 누설전류를 검출하여 실시간으로 모니터링이 가능한 장치로, 지정 값 이상의 누설전류가 검출되면 관리자에게 경보함으로써 전기적인 사고를 사전에 예방할 수 있다. 본 논문에서는 변압기 누설전류 통합 감시장치에 대해 설명하고, 국내 현재 설비상황 및 실제 사고 사례를 통해 변압기 누설전류 통합 감시장치의 필요성에 대해 설명하였다.

### Abstract

Total monitoring device of leakage current in transformer can detects the flowing leakage current on the neutral line, and that is monitored at real-time by the transfer. If the over-flowing current is detected, Total monitoring device of leakage current in transformer will warn the administrator to prevent electrical accident .

In this thesis, we are going to explain about Total monitoring device of leakage current in transformer and the necessity of Total monitoring device of leakage current in transformer through real-accident cases and equipment condition in Korea.

## 1. 서론

최근 건축물이 대형화, 초고층화, 최첨단화 됨에 따라 전기에너지의 수요가 급증하고 있으며 이에 따른 전력 설비 용량이 크게 증대하고 있다. 이러한 시기에 양질의 전원을 연속적으로 공급하기 위해서는 전력설비의 안정적인 구성과 원활한 운용으로 신뢰성이 바탕이 되는 시스템을 구축하여야 한다. 이러한 시스템의 안정성을 해치는 요인 중 하나는 누설전류이다. 누설전류는 감전사고 및 화재의 원인이 되므로 상시 감시가 필요하다.

설비의 대용량화로 예기치 않은 사고가 발생하면 막대한 경제적 손실을 유발하고, 심할 경우 인명사고까지 유발하므로 사전에 이상 유무를 판단하여 갑작스런 고장을 방지하는 시스템의 개발이 절실히 요구된다.

따라서 본 논문에서는 변압기 중성점에 흐르는 누설전류를 검출하여 실시간으로 모니터링이 가능하며, 지정 값 이상의 누설전류가 검출되면 관리자에게 경보함으로써 전기적인 사고를 사전에 예방할 수 있는 변압기 누설전류 통합 감시 장치를 제안하였다.

최종적으로는 사례연구를 통해 제안된 방법의 적용 가능성과 우수성을 입증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 국내 변전설비 현황

우리나라의 국내 변전설비의 대부분이 380/220[V]의 중성점 접지방식으로 구성된 것이 현실이다. 중성점 접지방식에서는 누설전류 전체가 접지선로를 통하여 대지로 흐르게 된다. 불필요한 누설전류는 전력손실이 되므로 경제적으로 바람직하지 않을 뿐 아니라 누설전류가 크게 흐르면 감전사고와 화재의 원인이 되므로 누설전류 변화의 상시 감시가 필요하다. 기존수용가에는 변전실 배전반의 ZCT를 각 간선회로에 설치하여 ELD를 통하여 1차 전류 200[mA]이상 검출 시 경보만 하도록 하는 방식을 사용하고 있다. 그러나 관리비 절감을 명분으로 변전소 관리를 무인화 또는 순회점검으로 실시하는 곳이 대부분이므로 상시 감시에 어려움이 있다.

### 2.1.1 국내 변전설비의 문제점

국내 변전설비의 경우 누설전류에 매우 취약하다. 현재는 ZCT로 누설전류를 검출하여 ELD를 통하여 경보하는 방식을 사용하고 있다. 하지만 누설전류의 정확한 값을 알지 못할 뿐만 아니라 변전소 무인화 시스템으로 인해 경보가 울리는 즉시 원인을 제거하지 못하는 어려움이 있다. 이러한 누설전류가 지속적으로 흐를 경우 전기감전사고의 원인이 되며, 과전류가 흘러 화재의 위험이 있을 수 있다. 또한 전압강하로 인해서 정밀전자기기의 고장 원인이 되고 생산품의 품질저하 현상이 나타나므로 경제적으로도 많은 손실이 발생한다.

만약 누설전류로 3[A]의 전류가 흐른다고 가정하면 하루 총 전력손실은 다음과 같다.

$$3[A] \times 220[V] \times 24[h] = 15840[wh] = 15.84[kwh]$$

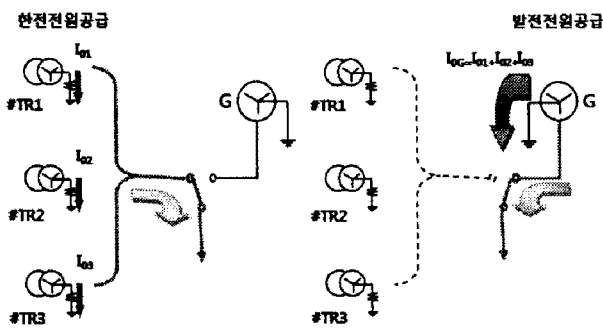


그림 1. 누설전류 흐름 계통  
Fig. 1. The flowing line of leakage current

누설전류의 위험성 중 또 하나는 누설전류에 의한 비상발전기 가동 중지이다. 국내에서의 대부분이 각 변압기 ACB에 내장된 OCGR을 이용하여 지락 전류를 차단하도록 되어있다. 최근에는 별도로 지락 전류 20A에서 작동하도록 별도 CT를 설치하는 경우가 대부분이다. 비상발전기에도 중성점 2중 접지선에 100/5 CT를 설치하여 누설전류 20A에 발전기 ACB가 작동되도록 하고 있다. 하지만 비상발전기는 비상시에만 가동되므로 평상시에는 발전기 가동 시 누설전류가 어느 정도 흐를지를 확인할 길이 없다.

예를 들어, 그림 1의 #TR1의 영상전류가 10A이고 #TR3의 누설전류가 15A경우 정상적으로 운전하고 있다 가 비상시 발전기로 #TR1, #TR3의 부하를 공급한다면 영상전류 크기는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} I_{OG} &= I_{O1} + I_{O2} + I_{O3} \\ &= 10[A] + 15[A] \\ &= 25[A] \end{aligned}$$

영상 전류가 25[A]이므로 발전기는 가동되어도 발전기 OCGR이 작동되어 ACB가 차단됨으로 전력공급이 되지

않을 수도 있다. 즉, 발전기가 없는 것과 같다.

### 2.1.2 국내 변전설비의 사고사례

국내 변전설비의 사고사례는 표 1, 표 2와 같다.

표 1. 누설전류에 의한 국내 사고사례 1  
Table 1. The real-accident case No.1 about leakage current

사고 사례	사고 원인
1. 수전용량 4500[KVA] (전산용TR 1500[KVA] 포함)	1. 전산 배전반 평소 고조파 전류로 ELD 간헐 동작상태유지
2. 전산용 발전기 1250[KVA]	2. 누설전류 증가상태 확인이 불가능하였음
3. 사고내용 - 한전선로 사고로 전산용 비상발전기 정상기동 - 기동 후 ACB 차단 - 차단원인 파악 후 전원투입 (23분 소요) - UPS Backup Time이 지난 부하 큰 손실 발생	3. 발전기 OCGR 설정치 20[A] 로 설정 4. 갑작스런 전산부하 증가로 누설전류 증가 5. 전산 변압기 중성점 접지선에 22[A] 정도 검출되는 상태임 6. 전산용 발전기 배전반 OCGR 동작으로 ACB 차단

표 2. 누설전류에 의한 국내 사고사례 2  
Table 2. The real-accident case No.2 about leakage current

사고 사례	사고 원인
1. 장소 : 서울 강남구 2. 건물 규모 - 지하5층, 지상25층	1. 지상 1층에 금융권 입점으로 변전실에서 전원별도 공급
3. 사고내용 - 지하5층 배전반에서 인출한 배전선로 일부 케이블 손상 - 특정구역 부근 도체에서 누설전류 감지 - 지상1층 신설부하 (에어컨)에 잦은 고장	2. 추가 설치 되어 ZCT와 ELD 설치 없이 케이블만 인출 3. 몇 년 전 설치한 에어컨의 절연 열화와 케이블 배선 중간접속점에서 접속불량으로 S상에서 지속적으로 누설전류 흘러 악화됨.

실제 사고의 원인으로부터 누설전류의 변화를 인지하지 못하여 사고가 발생되어질 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 사고의 원인을 방지할 수 있는 시스템

템이 갖추어지지 않은 것이 현재 국내 변전설비의 현실이다. 따라서 누설전류의 변화를 상시 감시하여 사전에 사고를 방지할 수 있는 방안이 필요하다.

## 2.2. 변압기 누설전류 통합 감시장치

변압기 누설전류 통합 감시장치는 변압기 전체의 누설전류를 실시간으로 모니터링함으로써 누설전류의 변동을 확인하여 사고 전에 조치가 가능하다. 또한 30[mA] ~ 30[A] 범위에서 누설전류 검출이 가능한 대 이상의 변압기에 설치 시 누설전류 합계를 나타낼 수 있다.

### 2.2.1 변압기 누설전류 통합 감시장치의 구성

변압기 누설전류 통합감시장치는 누설전류를 검출하는 검출부와 지정 값 이상의 누설전류가 검출되면 관리자에게 경보해 주는 경보부로 구성되어 있다. 구성도는 그림 2와 같다.

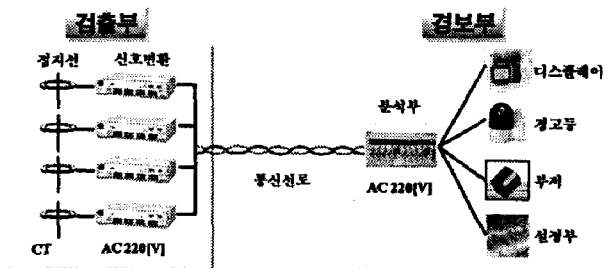


그림 2 변압기 누설전류 통합감시장치의 구성도  
Fig. 2. composition diagram of Total monitoring device of leakage current in transformer

### 2.2.2 변압기 누설전류 통합 감시장치의 검출부

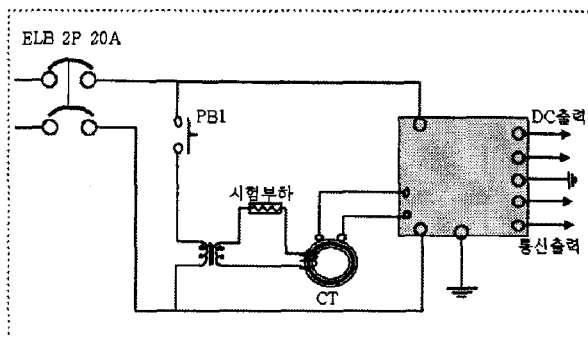


그림 3 변압기 누설전류 통합감시장치의 검출부 회로  
Fig. 3. detection circuit of Total monitoring device of leakage current in transformer

변압기 누설전류 통합 감시장치의 검출부 회로는 그림 3과 같다. 중성점 접지선에 CT를 설치하여 검출한 신호를 수신부에 전달하는 SYSTEM이다. 이때 사용되는 CT는 고감도 CT로 측정 가능한 전류의 범위는 30[mA] ~ 30[A]이다. CT 2차측에 저항을 달아 0 ~ 5[V]까지의 전압으로 입력하여 DC출력 또는 통신출력을 수신부로 보낸다.

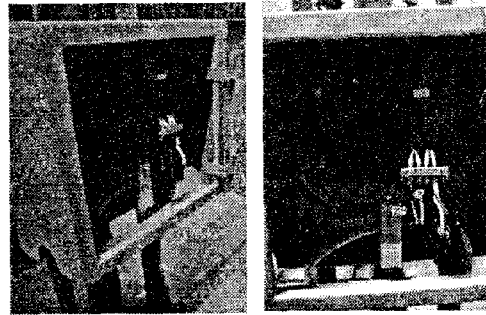


그림 4. 검출부의 설치모습  
Fig. 4. the figure that, the installing detection circuit

### 2.2.3 변압기 누설전류 통합 감시장치의 수신부

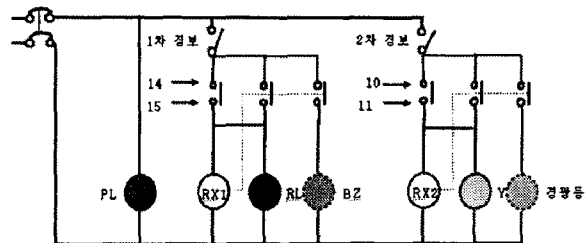


그림 5. 변압기 누설전류 통합감시장치의 수신부 회로  
Fig. 5. reception circuit of Total monitoring device of leakage current in transformer

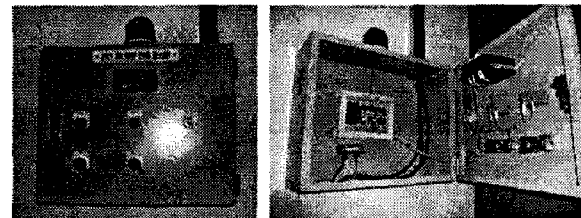


그림 6. 수신부의 설치모습  
Fig. 6. The figure that, the installing reception circuit

변압기 누설전류 통합 감시장치의 수신부의 회로는 그림 5와 같다. 검출부에서 출력신호를 받아 설정치 이상의 누설전류가 유입될 시 1차 경보, 2차 경보의 2가지 방법으로 관리자에게 위험 상황을 알려준다.

1차 경보의 경우 부저와 램프가 동작하고, 2차 경보의 경우 경광등, 램프 및 부저가 동작하게 되어있다.

### 2.3 변압기 누설전류 통합감시장치의 설치

#### 2.3.1 수용가의 누설전류 측정

$$\text{누설전류} \leq \frac{P}{\sqrt{3} V} \div 2000 \quad (1)$$

P : 부하설비용량 [KVA], V : 전압 [V]

식 (1)은 일반 수용가의 최대허용 누설전류의 크기로서 정격전류의  $\frac{1}{2000}$ 을 넘지 않도록 하고 있다. 하지만 현장 수용가 측에서 변압기 누설전류를 실측한 결과 계산 값의 수배 ~ 수십 배 큰 누설전류가 흐르고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 변압기 누설전류 통합감시장치의 경보 설정 값은 누설전류의 크기에 따라 맞춰서 설정 해 줘야 한다. 현장 수용가 측에서 10일 동안 변압기 누설전류를 측정한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 현장 수용가 측 변압기 누설전류 측정결과  
Table 3. The measuring of transformer leakage current in customer

구분	변압기용량(KVA)														
	500		300		400		400		300		500		500		
요일	횟수	KW	A	KW	A	KW	A	KW	A	KW	A	KW	A	KW	A
월	오전	37	6.2	20	6.3	20	2.9	40	5.8	2	3.7	2	2.2	20	2.8
	오후	30	5.5	20	5.6	10	2.9	40	4.9	2	2.0	2	4.9	0	2.6
화	오전	30	6.5	20	5.5	10	6.5	80	12.5	10	4.3	20	4.2	23	3.5
	오후	30	7.0	30	5.6	10	6.7	80	14.3	10	4.3	2	3.5	10	3.2
수	오전	0	5.3	30	7.0	10	7.0	80	14.9	5	4.9	2	3.2	0	3.9
	오후	30	5.7	30	5.6	10	6.7	80	14.6	10	4.3	20	4.2	23	3.5
목	오전	30	7.1	20	5.5	10	6.5	80	14.6	10	3.8	20	3.5	23	3.6
	오후	30	6.4	30	5.6	10	6.5	80	14.3	5	4.7	2	3.5	24	3.6
금	오전	30	6.5	30	6.3	10	6.7	80	11.5	10	4.3	20	5.2	25	3.5
	오후	30	7	20	5.6	10	6.5	80	14.8	10	3.9	20	3.4	24	3.5
토	오전	30	5.7	30	6.3	10	3.6	80	10.9	10	3.7	20	5.5	23	3.2
	오후	30	6.4	30	6.4	10	3.8	80	11.2	10	3.9	20	2.8	23	3.5
일	오전	30	5.9	20	5.4	10	3.5	80	10.8	10	3.2	20	5.3	24	2.7
	오후	30	6.9	30	6.2	10	3.5	80	11.1	10	4.2	20	2.5	24	3.3
월	오전	30	6.2	20	6.3	10	2.8	40	5.3	10	3.5	2	2.3	20	2.9
	오후	30	4.5	25	5.7	10	2.9	45	4.9	5	2.3	2	4.2	0	2.4
화	오전	30	6.5	30	6.3	10	6.3	80	14.3	10	4.9	20	5.3	25	3.5
	오후	30	6.6	30	5.9	10	6.0	90	13.6	10	5.1	2	6.0	10	3.2
수	오전	30	5.7	30	6.3	10	6.5	80	14.1	10	4.3	20	5.3	24	3.3
	오후	30	6.9	25	6.2	10	4.5	80	14.2	5	5.4	10	2.5	5	3.6

#### 2.3.2 통합감시장치 설치 후 사고 방지사례

누설전류의 증가 원인의 대부분을 장기간 방치할 경우 대형 사고로 이어질 가능성이 충분하다. 그러나 변압기 누설전류 통합 감시장치로 설비의 이상을 신속히 파악하여 대형 사고를 방지할 수 있다. 표 4는 통합감시기 설치 후 사고 방지사례를 나타낸다.

표 4. 통합감시장치 설치 후 사고 방지사례  
Table 4. The case of preventing accidents, After installing total device

통합감시기 작동 사례	원인 파악 및 조치
건물내 인테리어 작업 중에 전원 연결 작업이 부적합	변압기 누설전류 통합감시장치가 작동하여 즉시 원인 파악하여 복구조치
옥외 부분에 작업용으로 케이블을 포설한 선로에서 우천시 누설전류증가	변압기 누설전류 통합감시장치가 작동하여 즉시 원인 파악하여 복구조치
특정 시간대에만 통합감시기가 작동	특정기기 운전 시 작동되는 것을 파악하고 기기 수리 의뢰

### 3. 결론

본 논문에서는 누설전류를 검출하고 지정 값 이상의 누설전류가 유입되면 경보를 하여 사고를 사전에 방지할 수 있는 변압기 누설전류 통합 감시장치에 대해서 기술하였다.

전기설비는 경제성, 신뢰성, 안정성이 가장 중요하다. 이러한 면에서 볼 때 누설전류는 3가지를 해치는 요인 중에 하나이다. 변압기 누설전류는 작게는 기기의 고장, 크게는 비상상황에서 비상발전기의 동작을 방해할 수 있다. 하지만 누설전류의 변화를 모니터링하여 비상발전기가 무용지물화 되는 것을 예방하고 감전사고 및 전기화재를 방지하여 전력공급의 안정성과 신뢰성을 확보하였다. 또한 경보가 울리면 누설전류가 증가하는 원인을 파악하여 바로 복구 조치함으로써 전력손실을 줄일 수 있다. 이는 곧 경제성 향상과 이어진다.

본 논문에서 서술된 바와 같이 누설전류의 증가는 큰 위험성을 동반하는 만큼 국내 법·규정을 통해 지속적인 누설전류 변화의 감시를 강화하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 최홍규 외 6인, "전력 사용 시설물 설비 및 설계", 성안당,
- (2) 최홍규, 강태은, "전원설비 및 설계", 성안당