

電氣設備의

安全管理實態와 改善方向

박 근 식

한국전기안전공사 안전부장

산업문명의 발달로 전기기계기구의 대량보급과 최첨단 설비화에 힘입어 전기의 이용도는 나날이 증대되고 우리 생활도 전기의 의존도가 높아만 가고 있다.

또한 전력 전자의 급진적 발전으로 전력 설비의 안정도가 크게 향상되어 왔으나 전기재해는 매년 증가 추세에 있으며 그 원인으로서는 전기수요의 급증에 반하여 전기설비의 안전관리가 소홀히 취급되어 왔기 때문이다.

1. 전기설비의 안전관리 실태

가. 유지관리의 문제점

전기설비를 최초로 시공한 후 정례적인 보수 없이 유지하며 경년변화에 의한 노후와 무단 증설로 인한 불합리한 운용등으로 설비의 불량상태가 심화되어 항상 사고요인이 상존하고 있다.

특히 설비운전중 결함에 의한 사고가 발생하여도 생산을 저하등 시간적인 제약으로 응급조

치에 한하고 사후 개선이 따르지 않아 설비의 안정도를 더욱 저하시키고 있다.

표 1은 전국의 자가용 전기공작물 25,800호에 대하여 중요설비의 불량률, 사용중에 발생한 고장률을 '87년 1년동안 조사한 자료로서, 전기설비의 유지관리 실태를 알아 보기로 하자.

(1) 전기설비 불량률

표 1에서 불량설비 발생분포를 보면 고정화되어 있는 고압설비(불량률 4%)에 비하여 상시 운전조작하는 저압설비(불량 18.4%)가 발생률이 훨씬 높음을 알 수 있다.

또한 고압설비에서 불량률이 높은 공작물일수록 고장발생 빈도가 높으며, 불량률이 가장 높은 설비는 보호설비로서 기기 개개별 동작은 양호하나 운용상 불합리한 내용으로 기기의 선정 부적합, 보호기능의 부적정 등이다.

(2) 고장발생률

표 1에서 고장발생 건수는 수용가에서 요청한

〈표 1〉 자가용 수용가 전기설비 실태

구분 \ 설비	고압설비						저압설비				합계	
	보호설비	개폐기	변압기	변성기	고압부하	계	저압부하	기타	절연불량	계		
시설건수	8,193	52,925	27,520	26,262	11,632	126,532	179,697	169,898		349,595	476,127	
불량설비	건수	707	1,671	1,791	789	143	5,101	23,148	41,129		64,227	69,378
	율(%)	8.6	3.2	6.5	3.0	1.2	4.0	12.9	24.2		18.4	14.6
사고설비	건수	414	1,138	657	297	387	2,893	2,770	1,551	1,272	5,593	8,486
	율(%)	5.0	2.1	2.4	1.1	3.3	2.3	1.3	0.9	-	1.4	1.7

주 : 1. 조사기간 '87. 1~'87. 12 (12개월)

2. 사고설비건수는 수용가에서 처리요청한 건수임

처리건수이며, 저압설비는 자체처리하여 표면에 나타나지 않는 건수도 있을 것으로 추정된다.

설비의 불량률은 고압설비가 저압설비에 비하여 상대적으로 낮은 반면, 설비 고장률은 저압의 2배 가까이 발생하고 있다. 그 원인으로 최근에 시공한 후 설비유지를 위한 계획이나 투자 없이 운용하기 때문에 고장발생률이 높으며 고압설비중 개폐, 차단, 회전 등 접촉상태나 회전 상태에서 운전되는 기기일수록 고장발생이 높다.

고압설비는 사소한 결함의 발단으로 고장진전이 신속하여 전력수급에 지장을 초래하는 파급확대의 위험성을 내포하여 설비의 신뢰성을 더욱 저하시키고 있다. 이에 대한 전기설비의 관리방안은 설비유지를 위한 투자의 배려와 접촉 및 회전상태로 운전되는 기기들에 대하여 세심한 관찰과 철저한 점검이 병행되어야만 고장발생률을 저감시킬 수 있으며 생산성 향상을 도모할 수 있을 것이다.

그러나 기업의 투자는 생산에 직접효과로 나타나는 가시적 결과에 우선하며 전기설비유지를 위한 투자는 생산을 위한 보조수단으로 인식되어 사실상 소외되고 있는 실정이다.

나. 점검실태와 문제점

현장에서 보편적으로 실시하는 점검은 보호장치의 시험, 변압기 OT유 산가 및 내압시험, 케이블의 비파괴시험 등 운전을 정지한 상태에서

실시하며 이러한 정적(靜的)상태의 점검을 중시하고 있다.

표 1에서 상시 운전조작하는 저압설비가 설비 불량률이 높고 개폐, 회전 등 접촉이나 동작상태를 갖는 설비가 고장발생률이 높은 사실을 말하여 주듯 전기설비의 불량발생, 고장발생은 운전중에 발단되고 진행됨을 알 수 있다.

정지상태의 점검은 설비의 구조적 결함을 발견할 수 있을지 모르나 사고 발단요인과 진행과정을 발견하기가 어려우며 재해예방 역시 어려운 것으로 생각된다.

또한 점검을 위한 정전이 수반된다면 생산 환경 등 다방면에 불이익한 영향을 주므로 점검결과 동일한 효과를 얻는다면 무정전상태에서 점검하는 것이 경제적인 면으로 훨씬 유리할 것이다.

다. 점검장비 보유 및 활용의 문제점

점검장비는 보안규정에 정한 점검의 종류, 이에 따른 보수에 필요한 장비와 설비 유지관리에 있어 사용빈도가 높고 긴급시 사용하여야 하는 중요장비가 있으나 대부분 영세수용가에서 보유하고 있는 절연저항계, 후크온미터, 접지저항계 등은 기능, 용도 등 활용성으로 보아 중요한 설비와 무정전상태에서 진단하기에 기능, 성능이 미약한 장비이며 낙후된 장비들이라 생각된다.

이러한 영세성 장비로는 복잡한 설비가 요구

하는 정밀도 있는 점검, 특히 무전상태의 점검을 실시하기에는 기능이나 성능이 미치지 못하고 있어 효율적인 설비관리를 위해서는 장비 구입이 검토되어야 한다.

또한 점검장비는 보유하고 있으나 현장의 전기설비의 이해가 부족하고 점검장비 원리에 맞는 사용방법이 미숙하여 본래의 기능을 제대로 활용하지 못하고 있는 실정이며 기능확보 및 정밀도 유지 등의 관리가 소홀하여 장비의 신뢰성이 저하되기도 한다.

라. 공사후 검수 문제점

전기설비의 신증설 공사후 변경된 설비에 대하여 기술기준에 적합한지 여부는 정밀한 점검을 실시하고 있으나 신증설로 변경된 설비와 기존설비와의 조화 등 합리적인 운용에 관한 검토는 다소 소홀하여 운전중 기기의 부동작이나 오동작이 발생되어 설비자체의 신뢰성을 잃게 하여 재정적인 부담과 시간을 소요한 공사가 당초 공사목적의 효과를 얻지 못하는 사례들이 있으므로 시공후 검수는 기기용량의 적정여부, 주요 기기 선정의 적정 및 보호계통의 적합여부등 전기설비의 안정성과 당초 공사목적과 부하의 특성을 이해하여 다각도에서 검토하여야 한다.

2. 개선방안

전기설비 관리는 전기수급의 신뢰도를 높이고 안정도를 향상시켜 재해를 방지하는 데 있으며 이것이 전기보안의 목표이기도 하다.

전기설비의 신뢰도와 안정도를 향상시키는 데는 불량설비를 개선하고 점검장비를 확충하여 철저한 유지관리가 뒤따라야 하나 공사비용의 부담, 공사를 위한 정전협조, 공사기간중의 생산손실 등 재정적 손실이 발생하여 불량설비를 개선하기 위한 투자를 결정하는데 어려움이 따르고 있다.

그러나 전기설비를 관리하는데 있어 보다 중요한 것은 재정적인 부담과 시간소요로 얻는 효

과 보다도 예방적 측면에서 철저한 점검과 세밀한 관찰로 사고 초기단계에서 시정하여 전기설비의 안정도를 높이는 것이 최선책이라 할 수 있다.

모든 전기사고의 원인은 운전상태에서 발단하고 진행된다.

고압설비의 사고는 경미한 사고로부터 발단하여 수급계통에 영향을 주는 경향이 있으며, 때로는 사고 주변기기를 교체하여야만 원상회복이 가능한 때도 있다. 이러한 사고들을 예방하자면 사고발생 요인을 초기단계에서 발견할 수 있는 점검을 중시하여야 하며 과거 정전된 상태의 점검중시에서 운전중 동작상태를 중시하는 점검방향으로 전환하여야 한다.

생산성 향상을 도모하고 경제적인 전기설비의 관리를 위하여는 정전을 수반하지 않는 상태에서 종래의 정전상태의 정밀점검보다 더욱 정밀도 있는 점검기법을 연구하여 점검업무에 임하여야 한다.

또한 재정적인 형편이 허락한다면 초음파와 적외선을 이용한 장비 등 활선상태에서 점검할 수 있는 장비의 구입을 검토하여도 좋을 것이다.

다음은 설비사용중 발생한 사고요인들을 사전에 발견 조치한 사례와 점검장비를 활용한 사례들이다.

사고의 잠재원인과 그에 대한 개선방안으로 전기설비 관리에 다소나마 도움이 되었으면 좋겠다.

가. 운전중 사고요인 발견사례

〈사례 1〉 전류계지시치 확인으로 CT손손 예방

과부하 단락, 지락 등 사고전류를 차단하여 해당기기를 보호하고 선로에의 파급을 예방하여 설비의 신뢰성을 높이는 데 보호장치의 역할은 막중하다.

이러한 역할을 담당하는 감시설비가 점검소홀과 관리허술로 방치된다면 설비의 신뢰성은 떨

어지게 된다.

(1) 실 태

- 수전반 전류계 지시치 0 [A]
- 일부 OCR 전류불통

(2) 원 인

그림 1과 같이 AS 접촉불량으로 인한 CT 2차 회로 개방

(3) 예상사고

- 일정부하시 개방 CT 소손
- 일정부하시 OCGR 오동작

(4) 대 책

- CT 2차회로(OCR회로) 전류치 수시확인
- AS 수시조작으로 각상전류 확인 또는 CT 2차 실측전류와 환산 비교

〈사례 2〉 CT극성확인으로 OCB 오동작예방
 운전중 OCB가 동작했을 때 동작원인을 발견하지 못할 때가 있다. 이때 우리는 오동작하였다고 생각하여 OCB를 재투입한다.

그러나 부하를 증가시키는 도중 OCB가 재동작한 사례가 간혹 발생한다.

(1) 실 태

- 일정부하(OCGR Tap 전류에 해당하는 1차 환산부하)시 OCB 차단

(2) 원 인

- CT 2차배선 역결선(그림 2 참고)
- OCGR에 2I₀ 통전으로 Tap 전류상한치 통전시 OCB 차단

(3) 예방대책

- 시공업체 개수 및 자체 개수후 철저한 확인 후 운전

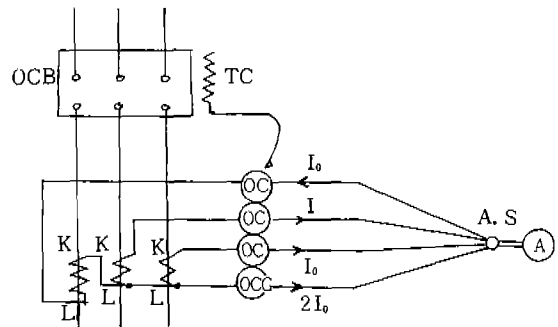
〈사례 3〉 부적정한 기기 발견으로 고압기기 소손 예방

전력계통에서 사고가 발생했을 때 그 요인을 즉시 검출하여 제거하고 인축에 위험 등 사고확대 방지를 위하여 보호장치를 시설한다.

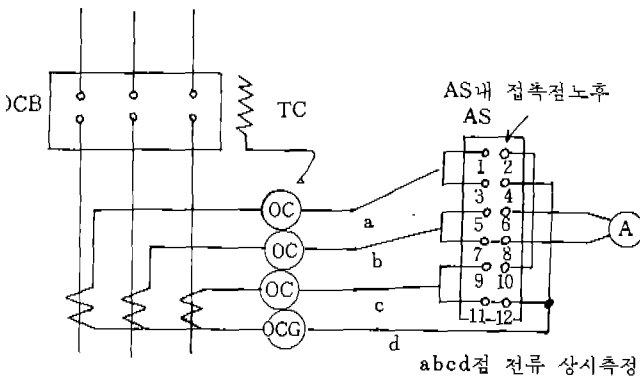
그러나 기기선정의 오류로 인하여 신속하고 정확한 선택, 확실한 고장처리가 보장되지 않아 재정적인 부담을 들여 시설한 설비가 보호기능을 발휘하지 못하는 사례가 있다.

(1) 실 태

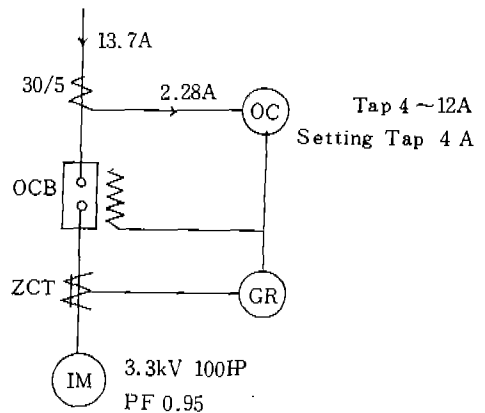
- 기기 선정의 부적정 (CT 및 OCR선정)



〈그림 2〉 CT 극성 오결선도



〈그림 1〉 CT 2차 및 OCR 결선도



〈그림 3〉 고압전동기 단선결선도

(그림 3 참조)

- 기기별 사양

- 고압전동기 3.3kV 10.0HP PF0.95
- CT 배율 30/5
- OCR (Tap 4 ~12A) Setting Tap 4 A

(2) 예상사고

과부하 결상부하시 고압전동기 소손

- 정상운전상태 -

전동기의 정격전류가 13.7A이며 CT 2차전류는 2.28A로 정상시는 OCR 부동

- 결상운전상태 -

정상운전에서 결상되었을 때 부하전류는 23.7A이며 CT 2차전류는 3.95A로 OCR Tap이 4A 인 경우 OCR 부동작

이때 전동기의 과부하율 = 결상전류 / 정격전류 × 100 = 173%로서 계속 운전시에는 전동기의 소손이 우려된다.

(3) 예방대책

○ 신증설등 공사로 변경된 설비와 기존설비와의 보호협조 등을 재검토

○ CT 배율 및 OCR 사양선정에 유의

(사례 4) 일단접지변압기 Y결선으로 변압기

소손 우려

(1) 실 태

그림 4와 같이 일단정지변압기 3대를 Y-△ 결선으로 조합운전

- 변압기용량 45kVA [12,800V / 220V 15kVA 3대]

- 전동기용량 40HP [220V]

운전중 T상 COS용단시 그림 4와 같이 역V 결선으로 변형되어 전원공급은 정상적이거나 변압기의 공급용량은 $15\sqrt{3}$ kVA로 본래용량의 0.577배로 공급된다.

(2) 예상사고

- 정상상태 -

변압기용량 45kVA로서 전동기용량 30kW에 대하여 충분한 전력을 공급할 수 있다.

변압기 부하부담률 = $30/45 = 0.667$

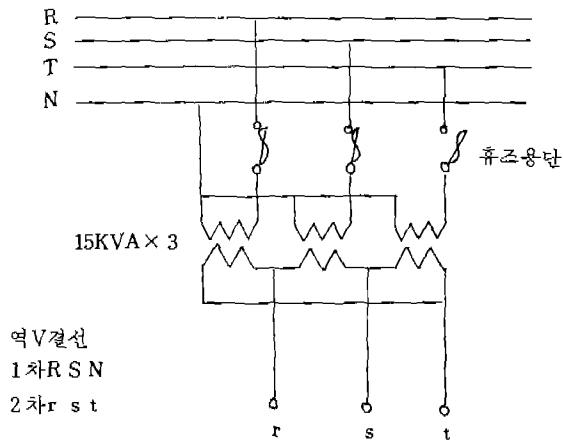
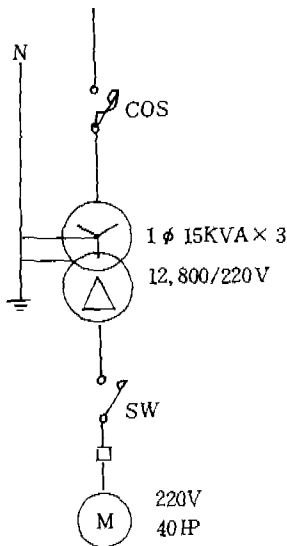
- 역V결선상태 -

변압기용량 $15\sqrt{3}$ kVA이며

변압기 부하부담률 = $30/15\sqrt{3} = 1.15$ 로서 장시간 운전시 변압기 소손이 우려됨

(3) 예방대책

○ 변압기 선정시 Two Bushing 변압기를 선



〈그림 4〉 Y-△ 결선도

정한다.

○Y-△결선으로 공급하는 변압기는 Y측(1차측) 중성점은 비접지하여야 한다.

(사례 5) 강압기 접지시공으로 감전사고 예방 저압선로에 시설하는 누전차단기는 감전 또는 지락사고시 보호장치로서 당연히 동작된다고 생각한다.

그러나 현장설비 조건에 따라 사고시에도 동작되지 않는 경우가 있어 경비를 투자하고도 시설목적에 부합하는 효과를 얻지 못하는 불합리한 설비운용 사례가 있어 소개한다.

(1) 실 태

그림 5와 같이 1차전압이 380V이며 구내 전등, 전열부하에 220V, 110V를 공급하고자 할 때 380V/208V[△-Y] 강압기를 설치하여 공급하여 208V 사용회로에 누전차단기를 시설하여 사용.

이때 2차전로와 대지간에 정전용량이 존재하지만 사고시 누전차단기를 동작시키기에는 미약하여 차단회로가 구성되지 않는다.

(2) 예상사고

인축의 감전, 전로 지락시 누전차단기 부동작

(3) 예방대책

강압기 2차전로 N선에 접지시공(누전차단기 동작회로 구성)

나. 점검장비 활용사례

(사례 1) 후크온 미터로 부하역률 산출

(1) 시험방법

그림 6과 같은 회로에서 abc점의 전류를 후크온미터로 측정한다(측정전류 표 2 참조). 단 콘덴서가 없는 선로는 임의의 콘덴서를 부착한 후 측정한다.

(2) 측정결과 분석

a, b점의 전류와 C점의 전류를 벡터도로 나타내면 그림 7과 같다.

그림에서 I_p 와 I_o 를 알게 되면 역률을 산출할 수 있다. 벡터도에서 식을 유도하면

$$I_a^2 = I_p^2 + I_o^2 \tag{1}$$

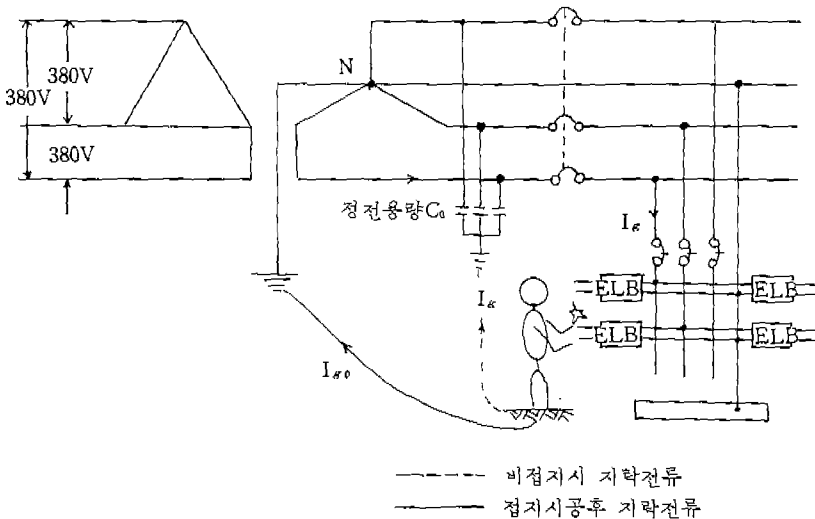
$$I_b^2 = I_p^2 + (I_a - I_c)^2 \tag{2}$$

식 ①-② 하면

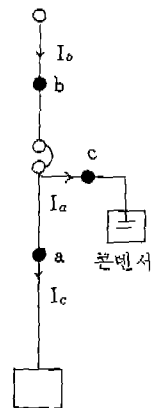
$$I_a^2 - I_b^2 = I_o^2 - (I_o^2 - 2 I_a I_c + I_c^2) = 2 I_a I_c - I_c^2$$

I_a 를 구하면

강압기 380V/208-120V



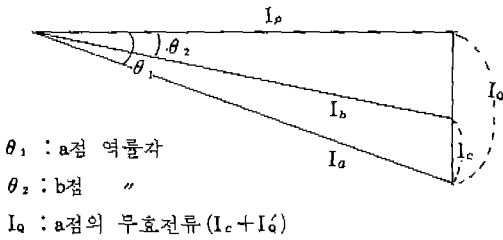
(그림 5) 누전차단기 동작회로도



(그림 6) 콘덴서 부설 부하도

〈표 2〉 전류 전력 측정 기록표

측정점	계측기별 후크온 미터	전 력 분 석 계		
		전류	유효전력	무효전력
a	25	24.3	4.5	2.8
b	22	21.2	4.4	1.1
c	8			



〈그림 7〉 전류 벡터도

$$I_0 = I_a^2 - I_b^2 + I_c^2 / 2I_c \quad \text{③}$$

③식에 표 2의 측정전류치를 대입하면

$$I_0 = 25^2 - 22^2 + 8^2 / 2 \times 8 = 12.81A$$

$$I_0' = I_0 - I_c = 12.81 - 8 = 4.81A$$

또한 $I_p = \sqrt{I_a^2 - I_b^2} = 21.46A$ 가 되어 a점의 역률은

$$\cos \theta_1 = I_p / I_a = 21.46 / 25 = 0.8584$$

가 되며 b점의 역률은

$$\cos \theta_2 = I_p / I_b = 21.46 / 22 = 0.975$$

가 된다.

위와 같은 분석결과를 전력분석계에 의한 측정치와 비교하면 표 3과 같이 된다.

표 3에서와 같이 역률측정이 가능함을 알 수 있으며 부하의 신증설시 소개한 방법으로 역률을 측정하여 콘덴서 부설용량의 적정여부를 검

토할 수 있다.

〈사례 2〉 활선상태에서 절연상태 진단

단상 3선식 3상 4선식의 분전반에서 절연저항 측정시는 중성선을 분리하여 측정하므로 장시간의 정전을 수반하여 생산활동에 지장을 주고 설비특성상 정전이 불가한 설비는 절연저항 측정이 어려운 실정으로 누설전류를 측정하여 활선상태에서 절연상태를 진단하는 방법이다.

(1) 전류차 측정방법

(가) 시험방법 (그림 8 참조)

가압측전로와 접지측전로의 전류를 각각 측정하여 그 전류차로 절연상태를 판정한다.

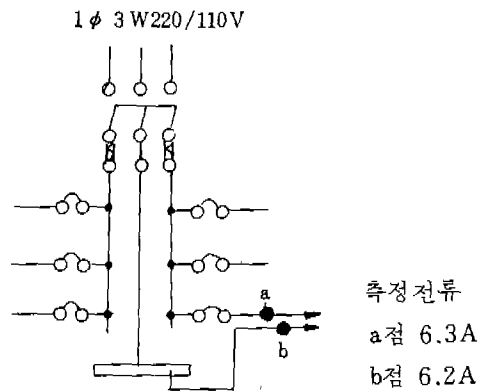
(나) 절연저항 산출

절연저항과 누설전류의 관계를 그림 9와 같이 등가회로로 나타낼 수 있다.

그림 9에서 누설전류 $I_0 = V/R + r_2$

선로저항 R를 계산하면

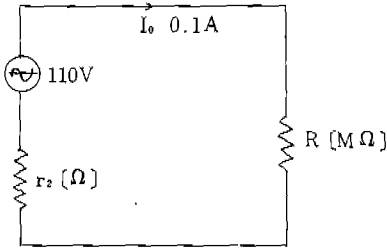
$R = V/I_0 - r_2$ 이며 r_2 는 $R \gg r_2$ 이고 누설전류치에 큰 영향을 미치지 않으므로 r_2 를 무시하면



〈그림 8〉 배전반 결선도

〈표 3〉 측정기기별 역률 비교표

측정기기 측정점	후크온미터			전력분석계			비고
	유효전류	무효전류	역률	유효전력	무효전력	역률	
a	21.46	12.81	0.85	4.5	2.8	0.849	콘덴서 취부전
b	21.46	4.81	0.97	4.4	1.1	0.97	콘덴서 취부후



〈그림 9〉 누설전류 증가회로

$R = V/I_0$ 가 된다.

위식에서 누설전류를 대입하면

$R = 110/0.1 = 1,100\Omega$ 이며 $1.1 \times 10^{-3}M\Omega$ 으로

선로의 절연저항은 불량함을 알 수 있다.

(다) 누전개소 발견초치

누전개소를 찾기 위해 동일한 방법으로 선로 말단까지 측정하며 전류차가 발생하지 않는 점을 찾는다.

그림 10의 a점은 4.5A로 동일하나 벽면 콘센트로 가는 b점과 c점은 가압측 전로가 누전되는 것으로 판단된다.

벽면 콘센트의 누전점을 보수하고 그림 8의 a, b점에서 전류를 측정한 결과 6.2A로 동일하였으며 절연저항은 $2M\Omega$ 으로 측정되었다.

(2) 영상전류 검출에 의한 절연진단

(가) 시험방법

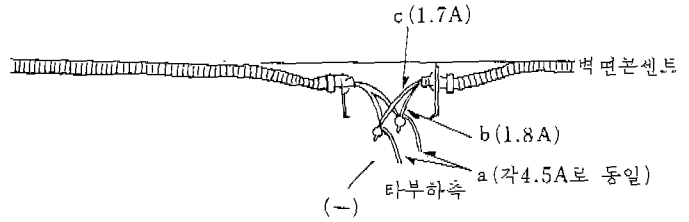
그림 8의 a, b점을 누설전류계로 전선 2분을 동시에 클램프하여 영상전류를 측정한 결과 역시 0.105A의 누설전류가 측정되었다.

(나) 절연저항 산출

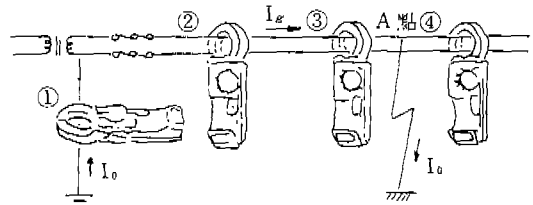
시험방법 “가”와 같이 계산하면 절연저항 $R = 110V/0.105A = 1,047\Omega = 1.047 \times 10^{-3}M\Omega$ 이 되어 동일한 결과치를 얻었다.

(다) 누전개소 발견방법

그림 10과 같이 선로말단까지 영상전류를 검출한 결과 역시 천정 박스내에서 전류가 검출되지 않는 회로가 있었고 벽면 콘센트 회로는 누설전류가 검출되었다.



〈그림 10〉 천정 박스내 전선접속도



〈그림 11〉 누전개소 발견방법 예시

(3) 시험방법의 고찰

(가) 전류차에 의한 방법 검토

부하전류를 직접 측정하므로 각상간 미세한 전류차를 검출하기 어렵다.

(나) 영상전류 검출방법 검토

(a) 계산차와 측정치의 상관관계

$I_0 \geq I_R$ …… 측정치 정상검출

$I_0 < I_R$ …… 측정치 오검출 (재측정대상)

여기서 I_0 : 누설전류에 의한 영상전류

I_R : 유효분 누설전류 계산치

I_c : 무효분 누설전류 계산치

영상전류 I_0 는 $I_0 = \sqrt{I_R^2 + I_c^2}$ 로 표시한다.

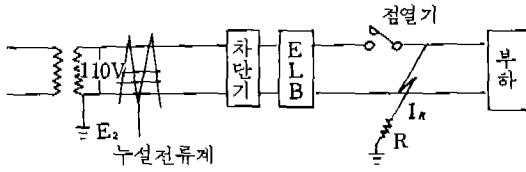
(b) $I_0 < I_R$ 원인검토

① 부하가 개방된 경우

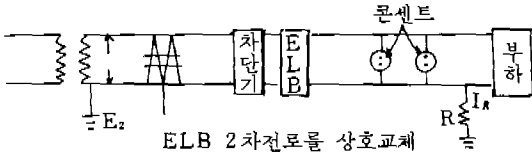
그림 12에서 점멸기가 개방되어 있고 점멸기 후단이 누전될 경우 절연저항계로는 검출이 가능하나 누설전류계로는 불량개소가 무전압이 되어 검출되지 않는다.

그림 12에서 점멸기를 투입할 경우 $I_R = V/R$ 이며 V 는 110V가 되므로 절연저항 R 를 통하여 I_R 가 흐른다.

그러나 점멸기를 개방한 경우 V 는 0[V]가 되



〈그림 12〉 부하개방시의 회로도



〈그림 13〉 접지측 전로의 절연불량회로도

어 I_R 는 흐르지 않는다.

② 접지측전로가 절연불량인 경우

이때에도 절연저항계로는 검출이 되나 누설전류계로는 불량개소가 무전압이 되어 검출되지 않는다.

그림 13에서 접지측 전로는 무전압으로 되고 $I_R = V/R$ 에서 V 는 0[V]가 되어 I_R 가 흐르지 않는다.

그러나 ELB 2차측에서 전로 상호간을 교체하면 V 는 100V로 되고 R 를 통하여 I_R 가 흐르게 된다.

표 4는 접지측전로 절연불량시 전류를 측정하여 누설전류를 산출한 것이다.

③ 1φ 3W전로의 전압측전로가 동시에 절연불량인 경우

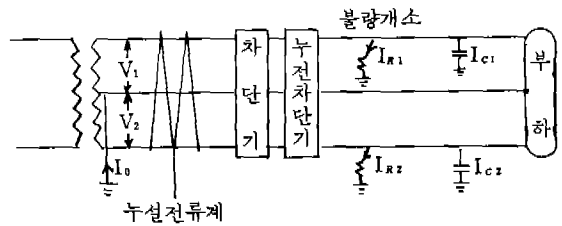
그림 14에서 I_{R1} 과 I_{R2} 가 비슷할 경우에 누설전류는 상쇄현상이 있기 때문에 검출되지 않는다.

즉, 완전지락이나 불량개소의 각 절연저항이 동일한 경우에는 I_{R1} 과 I_{R2} 의 크기가 같으므로 상쇄되어 전류가 검출되지 않는다.

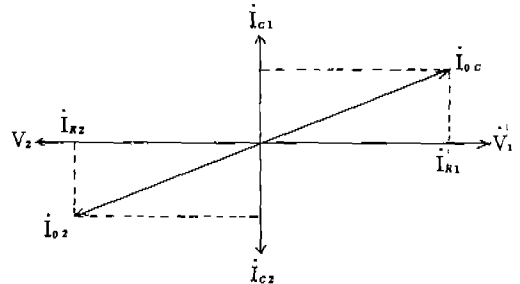
그러나 불량개소의 절연저항의 크기가 달라 I_{R2} 및 I_{R1} 가 다를 경우에는 I_R 및 I_C 의 벡터합의 차 ($I_{01} - I_{02}$) 만큼의 미소전류가 검출된다 (그림 15 참조).

〈표 4〉 접지측전로 절연불량시의 전류측정표

측정치		계산치	교체후 측정치
R (MΩ)	I (mA)	I_R (mA)	I_0 (mA)
0.02	0.6	5.0	4.6
0.03	0.4	3.33	3.6
0.04	0.7	2.5	2.1
0.05	0.3	2.0	1.9
0.06	0.3	1.67	2.7
0.067	0.4	1.49	1.2
0.08	0.3	1.25	1.3



〈그림 14〉 1φ 3W 전로의 전압측 동시불량 회로도



〈그림 15〉 누설전류 벡터도

(c) 측정상의 오차 검토

① 누설전류계의 클램프 코어부에 물리면 어긋나거나 완전히 닫히지 않으며 오차가 발생한다.

② 외부자기 (인접전선에 강전류가 흐르는 경우 등) 강자기 (텔레비전 라디오등의 전파 고주파기 등) 등의 영향을 받는 경우가 있다.

③ 일반적인 누설전류계의 경우

CT의 구조상 코일이 자기코어 일부분에 감겨져 있어 클램프 내의 전선위치가 변하면 측정치에 영향을 준다.