



전기설비 트러블 사례 ③

Power Seven 컨설팅 대표/기술사/이 성우

E-mail : Isoosl@hanmail.net

오성종합기술주식회사 대표이사/김 진곤

TEL : 02)3296-3304

최근에는 설비 전반에 걸쳐 전력전자 소자의 광범위한 응용으로 복잡화, 첨단화, 자동화 및 고정밀화 되고 있는 추세이며, 전력품질(Power Quality)의 중요성이 더욱 요구되어 지고 있다. 그러나 대다수의 사용자는 그들이 경험한 “전력문제의 빈도수”와 “전력품질”을 동일시한다. 문제가 없다면 전력의 품질은 좋은 것이며, 문제가 있다면 전력의 품질은 나쁜 것으로 평가하는 경향이 있다. 그러나 이것은 전력 사용자에게 대한 근사적 평가 수준이지만 전력의 품질에 책임이 따르는 전문가에게 “전력문제”와 “전력품질”에 대한 정의는 더욱 복잡하게 평가되어져야 한다.

본문에서는 “전력품질”을 모니터링하는 절차에 있어서 엔지니어들이 빈번하게 반복하는 시행착오를 최소화도록 “전력문제”의 “물리적인 조사” 서식과 트러블 사례를 간략히 정리하여 소개한다.



목 차

1. 전력문제와 전력품질의 조사계획

2. 트러블 사례모음

- 2.5 UPS 출력측 전원문제
- 2.6 지락사고 시 건전상의 대지전위 상승
- 2.7 중성선의 과전류 억제
- 2.8 저압차단기 (ACB) 트립
- 2.9 노이즈 측정과 EMI 필터 설치 효과
- 2.10 저압 비접지 계통의 영상전압 발생
- 2.11 비상용 발전기의 중성점 접지방식
- 2.12 낙뢰 발생시 대지전위 상승과 패러데이-홀 법칙

2.10 저압 비접지 계통의 영상전압 발생

1) 개요

2004년 2월 현재 ○○화학 ○○공장의 저압 계통은 440V와 220V의 변압기 결선방식을 Δ - Δ 비접지방식으로 사용 중이며, 저압 Main 회로 수십 개소에 영상전압이 발생하고 있으나, 영상전압의 발생원인을 규명하지 못하고 있음. 따라서 영상전압의 발생원인을 분석하여 이에 대한 관리방(안)을 제시함

2) 점검 내용

[표 20] 3상 변압기 1000kVA Δ-Δ결선, 3300/440V

선간 전압 [V]	전압측정									GPT 정격 [V, VA]	CLR 정격 [Ω]	OVGR Tap [V]	기타
	대지전압[V]			GPT 3차측			영상전압[V]						
	R	S	T	a	b	c	영상 전압계	계전기 입력전압					
440	265	258	244	67	65	62	-	11	440/√3 110/√3 190/3 200/300	150	35	GVG-CD9	

[표 21] 3상 변압기 1500kVA Δ-Δ결선, 3300/440V

선간 전압 [V]	전압측정									GPT 정격 [V, VA]	CLR 정격 [Ω]	OVGR Tap [V]	기타
	대지전압[V]			GPT 3차측			영상전압[V]						
	R	S	T	a	b	c	영상 전압계	계전기 입력전압					
450	285	285	230	74	74	58	-	24	440/√3 110/√3 190/3 200/300	380	35	GVG-CD9	

[표 22] 3상 변압기 1000kVA Δ-Δ결선, 3300/220V

선간 전압 [V]	전압측정									GPT 정격 [V, VA]	CLR 정격 [Ω]	OVGR Tap [V]	기타
	대지전압[V]			GPT 3차측			영상전압[V]						
	R	S	T	a	b	c	영상 전압계	계전기 입력전압					
218	130	121	141	66	62	72	-	14	220/√3 110/√3 190/3 100/200	750	35	GVG-CD9	

[표20]~[표22]와 같이 변압기 3Bank를 선정하여 2차측 회로를 확인한 결과를 요약해 보면 다음과 같이 특이 사항을 볼 수 있다.

① 주회로의 경우 지락과전압 계전기의 최소 Tap 은 일반적으로 완전 지락 사고시 발생하는 영상전압의 30% 정도로 선정하므로 $190 \times 0.3 =$

57[V] 정도에 Setting 하는 것이 바람직하나, 현재는 최소 Tap인 35[V]에 선정되어 있으며, 트립요소를 제거하여 사용 중임

② 현재 나타나는 GPT 3차측, 계전기 입력전압의 영상전압 크기는 지락 과전압계전기를 동작시킬 수 없는 값이며, 측정된 각 상의 대지전압 크기를 고려할 때 지락사고로 판단하기보다는 케이블 정전용량의 불평형과 부하측 기기 누설용량에 의한 것으로 예측됨

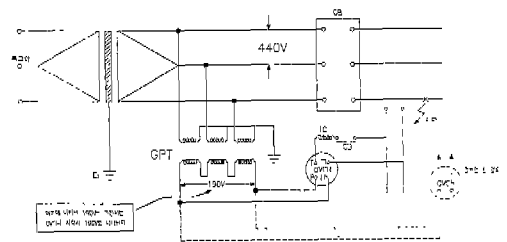
③ 440V 유효분 지락전류 제한용의 한류저항 (CLR) 크기가 상이함

따라서 적절한 관리방안을 강구하기 위하여 이에 대한 기술적인 측면을 살펴보기로 한다.

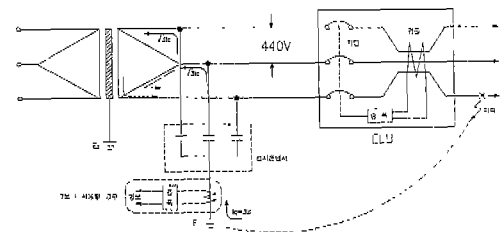
3) 비접지 계통의 특징

① 지락차단 장치의 결선 방식

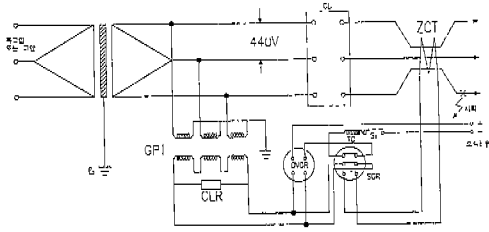
440V-Δ 또는 220V-Δ 비접지 계통의 지락 보호는 ▷GPT+OVGR ▷접지형 콘덴서+ 지락계전기 ▷GPT+ZCT+SGR ▷GPT+OVGR(지락과전압 계전기)+SGR을 직렬로 연결하여 방향성을 갖게 하는 방법 등이 있다.



[그림 37] GPT와 OVGR을 이용한 지락보호 방식



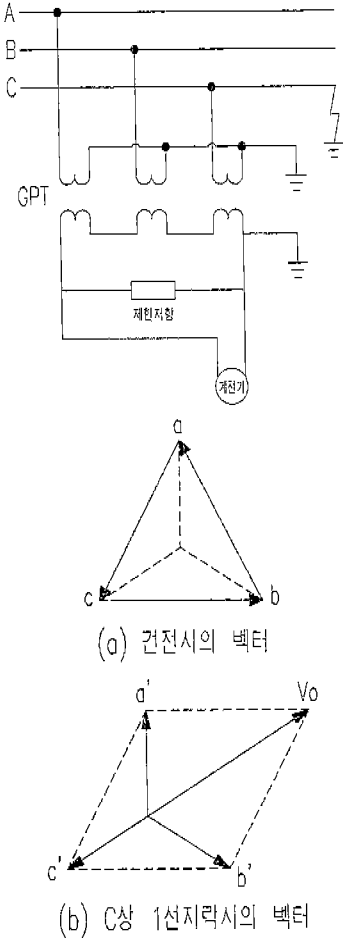
[그림 38] 접지형 콘덴서와 ELB를 이용한 지락보호방식



[그림 39] GPT와 OVGR+SGR을 이용한 지락보호방식

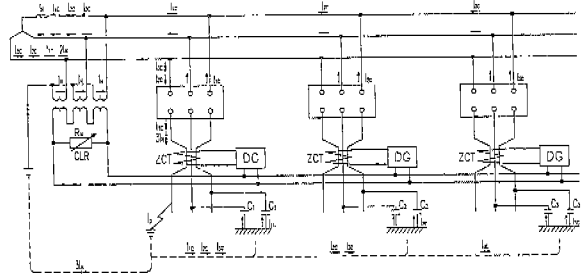
② 영상전압의 검출

[그림40]은 영상전압 V_0 를 검출하는 방법이며 접지형 계기용 변압기 또는 단상 계기용 변압기 3대를 사용한다.



[그림 40] 영상전압 검출

즉 GPT 3차 권선에 지락 계전기를 설치하고 벡터도와 같이 건전시의 개방단에는 전압이 나타나지 않지만 1선 완전 지락 시는 개방단에 190V의 영상전압을 얻는다. 그러나 실제로는 선로의 대지에 대한 정전용량(靜電容量)에 의해 90°진상의 충전전류가 흐르고 불평형이 발생하는 경우에는 영상전압이 발생하기도 한다. [그림41]은 비접지 계통의 지락전류 흐름도를 나타낸 것이다.



[그림 41] 비접지 계통의 지락전류 흐름도

③ 지락 사고 시 건전상의 대지전위 상승

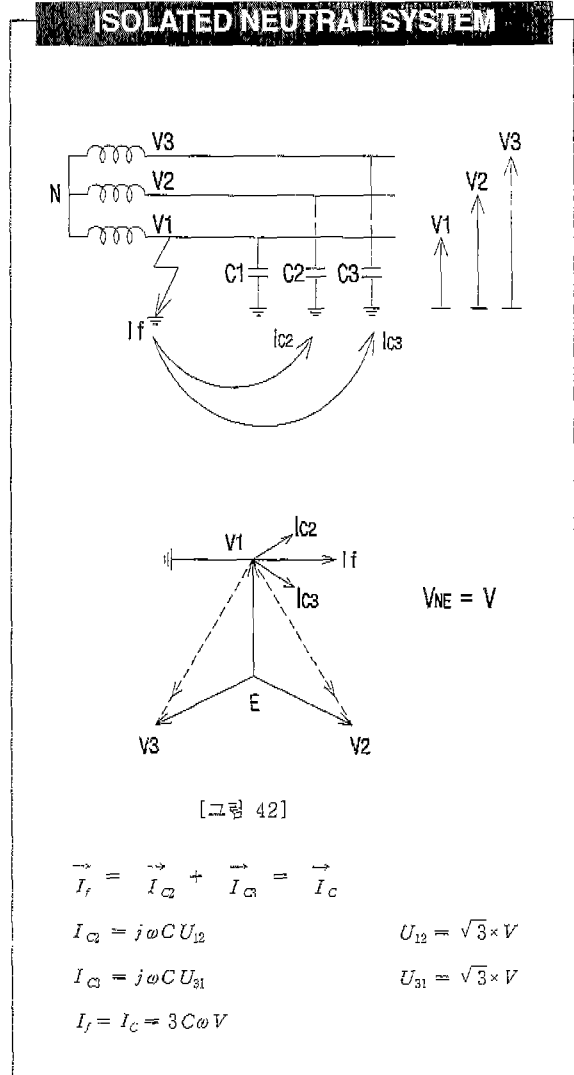
계통을 접지하지 않고 비접지 상태로 운전하는 방식은 지락 사고 시에 지락전류는 케이블 충전 전류와 CLR(전류 제한저항)에 의해 제한되어 GPT 1차측을 흐르는 유효전류로 구분되며, 수 A정도에 지나지 않는다. 반면 1선 지락 시 건전상의 전위는 [그림42]와 같이 배까지 상승된다.

만약 이 지락사고 전류가 간헐적으로 생기거나 계속 흐르도록 방치하면 심각한 과도 이상전압이 대지간에 생길 수 있으며 그 크기가 상전압의 6~8배에 이른다. 이것이 절연을 파괴시키고 동시다발의 기기 소손 사고를 일으키는 원인이 된다.(IEEE 242-1986, p.278)

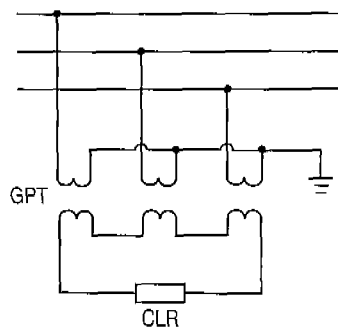
1선 지락 사고가 난 상태로 방치하여 두면 두 번째 지락 사고시 Phase-to-Ground-to-Phase Fault가 되어 대전류가 흐르면서 과전류 계전기에 의하여 Trip된다. [표 23]은 접지방식을 비교하여 나타낸 것이다.

[표 23] 접지방식 비교

구분	직접(다중)접지	비접지	저항접지
결선도			
중성점 저항	$Z \approx 0$	$Z \approx \infty$	$Z \approx R$
지락전류	수백~수천A	수 A이하	임의 조정 (5~200정도)
1선 지락시 건전상 전위상승	1.3E	$\sqrt{3}E$	$\sqrt{3}E$
유도장애	대	소	중
전원공급 (Service)	Trip at the first fault	No Trip at the first fault	Trip at the first fault
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 보통의 절연강도 • 단순한 보호방식 (OCGR) • 과도전압 감소 	<ul style="list-style-type: none"> • 중단없는 전원공급 • 적은 고장전류 	<ul style="list-style-type: none"> • 적은 고장전류 • 지락보호 용이 • 중간 수준의 절연강도 • 과도 과전압 감소
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 전원공급 중단 • 큰 고장전류 • 높은 접촉 전압 	<ul style="list-style-type: none"> • 과도 과전압 상승 • 높은 절연강도 요구 • 지락보호 난이 (GPT, ZCT, SGR) 	<ul style="list-style-type: none"> • 전원공급 중단 • 열적 스트레스 발생



환산하면 아래와 같다.



④ 한류저항 크기

비접지 계통의 GPT 3차에 설치하는 한류저항 크기는 [표24]와 같이 다양하게 사용되고 있다.

한류저항은 비접지 계통에서

- i) 지락전류의 제한
- ii) 계전기(SGR)에 유효전류 공급
- iii) 3고조파 억제 및 계통 안정화

를 위하여 다음 그림과 같이 설치하며, 이를 1차로



$$R = \frac{n^2 \cdot r}{9}$$

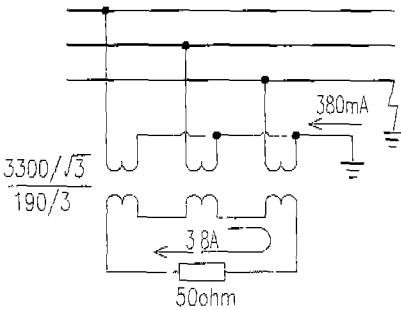
R : 한류저항을 1차로 환산한 값,
n : GPT 권수비,
r : 한류저항 크기

이 식에 의하여 한류저항을 환산하고 이 값에 의한 완전지락시의 1선 지락 전류는 [표24]와 같이 380[mA]정도가 되도록 한류저항을 선정할 수 있다.

[표 24] 한류저항과 지락전류의 계산 예

계통전압	한류저항[Ω]	1차환산값[Ω]	1선 지락전류[mA]
220V	750	334	380
440V	380	668	380
3300V	50	5,000	380
6600V	25	10,000	380

⑤ GPT 부담 및 한류저항 용량



[그림 44]

GPT는 정상운전 상태에서는 적절한 여자전류만 흐르게 되지만 [그림44]와 같이 1선 지락사고가 발생하면 1차 측에는 유효분 지락전류 380mA가 흐르며, 3차 측에는 $0.38/3 \times 30 = 3.8A$ 가 흐른다. 따라서 1선 지락 사고시 GPT에는 $3.8A \times 190V = 722VA$ 부담이 가중되므로 적절한 단시간 정격의 용량을 선정하여야 한다.

또한 1선 지락 사고시 한류저항(CLR)에 걸리는 전력은 $(3.8A)^2 \times 50\Omega = 722W$ 이나, 작은 용량이

설치되어 있을 때 고장점이 지속되는 경우 소손될 우려가 있다. [표25]는 계통전압별 GPT의 부담을 계산하여 나타낸 것이므로 계산 값 이상의 적절한 용량을 선정하여야 한다.

[표 25] 계통전압별 GPT의 부담

계통전압	GPT 권수비	GPT 3차 전류[A]	GPT[VA]
220V	2	0.25	47.5
440V	4	0.5	95
3300V	30	3.8	722
6600V	60	7.6	1444

⑥ 지락 과전압 계전기의 정정[OVGR]

a. GPT : $\frac{L}{\sqrt{3}} \text{ kV} / \frac{110}{\sqrt{3}} \text{ V} / \frac{190}{3} \text{ V}$

b. RELAY

- TYPE : GVG - CD9
- RANGE : TAP : 35 ~ 65A (35, 40, 45, 50, 55, 60, 65), LEVER : 0.5 ~ 10

c. CALCULATION

- 한시 TAP

④ 완전 지락 사고시 계전기에 인가되는 최대 영상전압의 30% 정도에 선정

④ 최대 영상전압 30% =

$$190 \times 0.3 = 57V$$

$$\text{TAP} = 55V$$

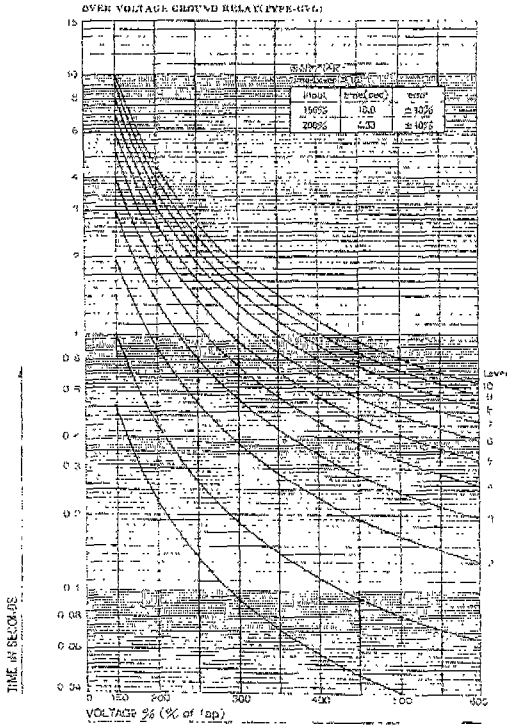
- 한시 LEVER

④ 완전 지락 사고시 0.5초 정도에 동작하도록 선정

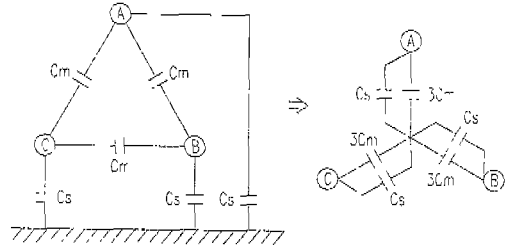
$$\text{LEVER} = 5$$

d. 정 정 표

P/L명	GPT 비	Relay		현재 Set		변경 Setting	
		종류	Type	종류	Type	종류	Type
-	-	OVER	GVG - CD9	-	-	55	5



[표 45] GVG - CD9의 동작 특성



[그림 46] 등가회로

만일 저압 회로의 1상당 대지정전 용량을 1[μF], 부하설비 기기 누설용량의 불평형에 의한 정전용량을 0.3[μF]정도라고 가정하고 440V의 각 상의 대지정전용량을 다음 조건으로 할 때 영상전압을 계산하면

$$Ca = 1[\mu F], Cb = 1[\mu F], Cc = 1.3[\mu F]$$

$$Vo = \frac{\sqrt{Ca(Ca-Cb)+Cb(Cb-Cc)+Cc(Cc-Ca)}}{Ca+Cb+Cc} \times \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{\sqrt{1(1-1.3)+1.3(1.3-1)}}{1.3+2 \times 1} \times \frac{440}{\sqrt{3}}$$

$$= \frac{0.3}{3.3} \times \frac{440}{\sqrt{3}} = 23V$$

⑦ 대지 정전용량 불평형에 의한 영상전압의 계산 예

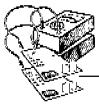
선로에서는 보통 운전상태에서 중성점 전위는 항상 "0"인 것으로 되어 있다. 따라서 중성점을 접지하여도 대지로는 전류가 흐르지 않고 GPT의 3차측 Open-Delta 측에도 전압(영상전압)이 나타나지 않는 것으로 되어 있다. 그러나 실제로는 각 상의 정전용량에 약간의 차이가 생겨 보통 운전 상태에서도 중성점은 다소간의 전위차를 가지게 되며 주된 요인으로는 다음과 같은 원인이 있다.

- a. 정상상태에서는 3상 각상의 대지정전용량 Cs의 불평형
- b. 과도상태에서는 차단기의 개폐가 3상 동시에 이루어지지 않을 때
- c. 단선 사고 등이 발생하여 3상 불평형이 되는 경우
- d. 부하설비의 누설용량

이다. 즉 전체 대지정전용량의 불평형에 의한 중성점 전위는 Vo로 상승하기 때문에 오픈 Delta 결선에 발생하는 영상전압은 저압 440V의 GPT 권수비를 4라고 하면 $(3 \times 23)/4 = 17.25[V]$ 가 발생한다.

이와 같은 이유로 선로정수의 차이가 큰 경우 비접지 계통에서는 영상전압이 나타나므로 OVGR이 동작될 수도 있고 중성점 접지식에서는 영상전류가 흐르게 되므로 유도장해가 발생하게 된다.

또한 수만 kVA 이상 되는 설비에서는 배전 및 부하설비 케이블의 충전전류가 크게 되어서 SGR 및 OVGR의 오동작의 요인이 될 수 있으므로 충분한 검토가 필요하다.



4) 분석 결과

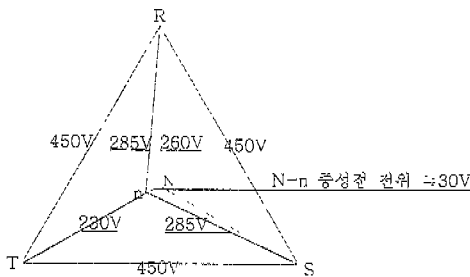
전술한 바와 같이 계통의 기술적인 측면을 고려할 때 화학, 저압 계통의 영상전압 발생은 비접지 계통에서 전형적으로 나타나는 사례임을 알 수 있다.

a. 정상상태에서 대지전압의 변화

대지 전압의 변화에 대하여 이해를 돕기 위해 3상 변압기 1500kVA $\Delta-\Delta$ 결선, 3300/440V 경우를 예를 들어 벡터도를 간략히 그려보면 [그림47]과 같다.

[표 26] 3성 변압기 1500kVA $\Delta-\Delta$ 결선, 3300/440V

선간 전압 [V]	전압측정							영상 전압계	계전기 입력전압	GPT 정격 [V], [VA]	CLR 정격 [Ω]	OVGR Tap [V]	기타
	R	S	T	a	b	c	영상 전압계						
450	285	285	230	74	74	58	-	24	440/√3 110/√3 190/3 200/ 300	380	35	GVG- CD9	



[그림 47] 정상상태의 중성점 전위상승

[그림47]에서 보여주는 것처럼 정상상태에서 중성점의 전위상승 V_o 는 30[V] 범위에서 변화하는 것을 알 수 있다. 이때 저압 440V의 GPT 권수비는 4이므로 지락과전압 계전기의 입력전압은 $3V_o/4$ 식에 의해서 23[V] 정도가 나타나게 된다. 실제로 측정당시 지락과전압 계전기 (OVGR)의 입력전압은 24[V]로 나타났다. 이 값

은 ⑦ 대지 정전용량 불평형에 의한 영상전압의 계산 예에서 구한 값에 근접하므로 개략 대지 정전용량의 불평형은 30%정도의 범위에 있는 것으로 예측된다.

b. 지락과전압 계전기의 정정

실제로 지락사고가 발생하면 지락점의 저항에 따라 지락상의 대지전위는 0[V]에 가깝게 나타나게 되며, 지락과전압 계전기를 정상적으로 동작시켜야 한다. 따라서 저압 주 회로에 설치되어 있는 지락과전압 계전기의 Tap과 Lever의 선정은 ⑥ 지락 과전압 계전기의 정정[OVGR]에서 계산된 값과 같이 Tap은 55[V], Lever는 5에 선정하도록 권한다. 즉 대지정정 용량의 불평형이 커질 경우 지락과전압 계전기의 입력전압이 35[V]를 초과할 수 있으므로 현재 설정되어 있는 최소 Tap 35[V]는 55[V]로 변경하도록 한다. 고압 계통에서는 Local 변전실에 사용되는 경우도 있으므로 이때는 정정 값을 다르게 선정할 수 있다.

비접지 계통에서 OVGR은 주 회로에 설치하며, SGR과 조합될 때는 시간 지연요소로 사용되어 분기회로의 후비보호역할을 한다. 시간 지연은 Lever를 선택하면 된다. 특히, 계통이 커지는 경우 SGR과 조합되어 사용될 때는 정보용으로 사용하여야 한다.

c. 한류저항의 크기

한류저항의 크기는 [표27]과 같이 계산되어 설치하여야 하는데 3상 1000[kVA] 3300/440[V]의 경우는 150[Ω]으로 설치되어 있으므로 380 [Ω]으로 교체하도록 한다.

[표 27] 한류저항과 지락전류의 계산 예

계통전압	한류저항[Ω]	1차환산값[Ω]	1선 지락전류[mA]
220V	750	334	380
440V	380	668	380
3300V	50	5,000	380
6600V	25	10,000	380

2.11 비상용 발전기의 중성점 접지방식

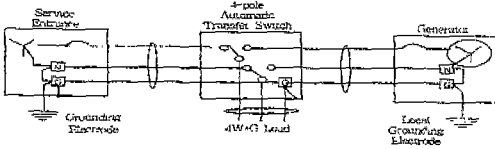
1) 개요

일반적으로 고압발전기의 중성점은 계통접지방식에 따라, 직접접지, 저항접지, 비접지 계통으로 구성할 수 있으나 저압계통의 비상용 발전기는 저압 측 부하의 다양한 요구로 3상 4선식 직접접지 방식을 선택하게 된다. 이때 전원의 공급방식과 접지시스템 구성은 매우 중요하게 고려되어야 하는데 실무 기술자들 사이에 논의가 빈번하게 발생하고 있으므로 이에 대하여 살펴본다.

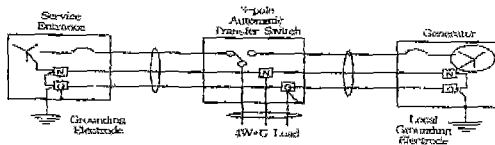
2) 계통구성 방식

① ATS 4P 사용

[그림48]은 3상 4선식 계통에서 상용 전원과 비상용 발전기의 계통구성을 나타낸 것이다. 여기서 전원 절체용인 ATS는 4P를 사용하게 되는데 안전문제를 고려한 것이다. 즉 어떤 전원으로 사용하더라도 중성선은 항상 충전된 전로이므로 중성선을 분리하지 않을 경우 안전전압 50[V]를 초과한 상태에서 접촉이 되면 위험할 수 있기 때문이다. 또한 중성선을 분리하지 않으면 [그림49]와 같이 중성선과 접지선에 폐회로가 구성되므로 중성선과 접지도체는 유도 순환전류가 상시 흐르게 된다. 폐회로에 의한 유도순환전류가 과다하게 흐르는 경우는 대지로도 전류가 분류되어 부하 측의 전자장비 동작을 방해하기도 한다.



[그림 48] 올바른 경우, 4-pole load and 4-pole ATS



[그림 49] 잘못된 경우, 4-pole load and 3-pole ATS

② 발전기 중성점의 접지

[그림48]처럼 변압기 중성점의 접지와 발전기 중성점의 접지는 서로 Bonding되어 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 국내의 일부 엔지니어들은 기술 기준을 근거로 하여 단독접지를 강요하는 경우를 볼 수 있는데 이것은 최근의 접지기술을 잘못 이해하고 있는 것으로 사료된다. 저압 비상용 발전기는 단상부하는 물론 3상 부하에 문제없이 전원을 공급할 수 있어야 하며, 비상부하와 전자장비의 정상적인 동작을 방해하여서는 안 된다. 따라서 [그림48]과 같이 IEC 60364에서 규정하고 있는 저압 계통접지 방식의 분류 중에 TN-S 방식을 채택하여야 한다.

다음함에 계속됩니다

- 전기설비기술기준 개정의견 수렴 안내 -

우리협회에서는 대한전기협회의 전기설비기술기준 제·개정건의수렴에 따라 회원분들의 의견을 수렴하고자 하오니 전기설비기술기준 적용시 불합리하거나 해석이 모호한 조항, 신기술신공법의 반영 등 기술의 진보에 따라 제·개정이 필요한 사항을 아래와 같이 우리협회로 제출하여 주시면 감사하겠습니다.

1. 대상 기술기준 : 전기설비기술기준

2. 제출기한 : 2004년 4월 24일

3. 제출양식 :

기술기준 개정의견 제출양식(협회 홈페이지 공지사항 참조)

4. 접수방법 : 우편접수,

이메일 접수 [tobefriend@keea.or.kr]

5. 접수처 : 우) 151-729 서울특별시 관악구 봉천10동 32-8호 동진빌딩
한국전력기술인협회 기술지원팀
Tel) 875-6524