



22.9kV 책임분계점 개폐기  
3개중 1개의 접촉 불량과  
전력 설비의 이상현상

## CASE 전력기술상담

22.9kV 책임분계점 개폐기에서 접촉불량이 발생하여 3상중에서 2상만 공급되고 1상이 결상된 상태에서 공급되므로 변압기의 과열 모터 소손 및 섬유공장 정밀기기 속도제어 등에 문제가 발생되었으며 경부하로 운전되던 모터와 조명에는 큰문제를 발견할 수 없었다. 본 내용은 B천문대, S송신소, S섬유공장 등에서 발생되던 내용을 토대로 하여 필요한 내용을 추가하고 보충해서 분석한 것이며, 자료를 보내주시고 협의하여 주신 영남전기 김명등 사장과 기술 지원을 하여주신 효성중공업 변압기 연구실 송희석 부장께 감사드립니다.



전 명 수 [No.45]

발 송 배 전 기 술 사  
☎ 02)563·6761  
018)212·4848

### 1. 현 황

수개월동안 가동이 중지되었던 공장을 재가동하던 중 변압기가 과열하고 모터의 온도가 상승하며 정밀속도 제어용 모터가 정지되는 현상이 발생하였다. 원인확인을 위하여 부하설비를 단계별로 구분하여 절연 저항측정 등 점검을 하였으나 원인을 발견할 수 없었으며 모터가 소손되고 변압기가 소손직전까지 과열되어 운전이 불가능한 상태가 되었으며 경부하로 운전되던 일반모터와 조명부하 및 1#부하에는 운전에 지장을 발견할 수 없었다.

이 계통의 보호계전기는 과전류 계전기(OCR)와 지락과전류계전기(OCGR)가 수전축에 부착되어 있으나 계전기는 동작하지 않았다.

가. 계통도 (그림 1)

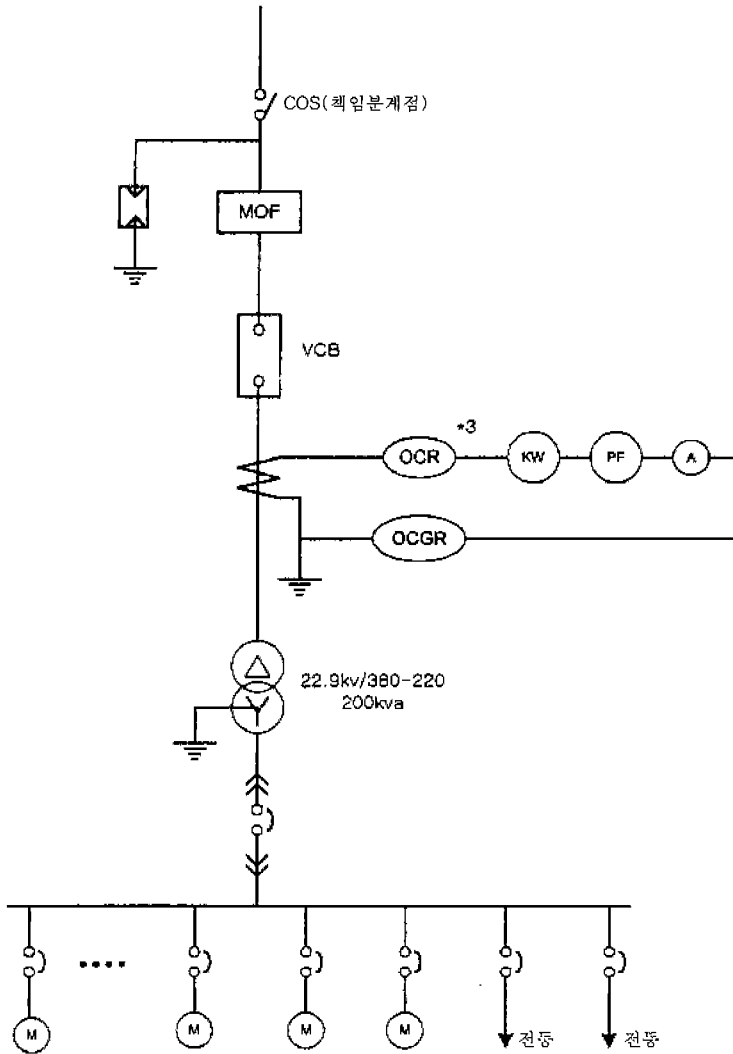
나. 변압기 결선 (그림 2)

다. 전압 측정 값

$V_a=256V$     $V_b=268V$     $V_c=202V$   
 $V_{ac}=470V$     $V_{bc}=406V$     $V_{ca}=354V$

### 2. 원인 분석

전력계통은 전류가 흐르는 통로(도체)와 흘러서는 안되는 절연물(전선의 피복에자 등)으로 구성되며 전류통로에 저항이 증가되면 전류가 흐를 수 없고 절연물이 파괴되면 지락 또는 단락 고장이 유발된다. 전류통로(도전부)에는 저항값이 미소하나 전선의 연결점 개폐기의 접촉극 등에는 접촉저



<그림 1>

항이 증가되어 과열되거나, 용융 또는 단선될 수 있으며 오랫동안 사용하지 않거나 부하전류가 경미한 장소에서는 개폐기 등의 접촉점에 저항이 증가되어 육안으로는 접촉된 것과 같이 보이게 되나 전기적으로는 개방되는 상태가 되어 전류가 통전되지 않는 경우가 있다. 이와 같이 1선이 단선되는 결상 상태가 되면 다음과 같은 현상이 나타난다.

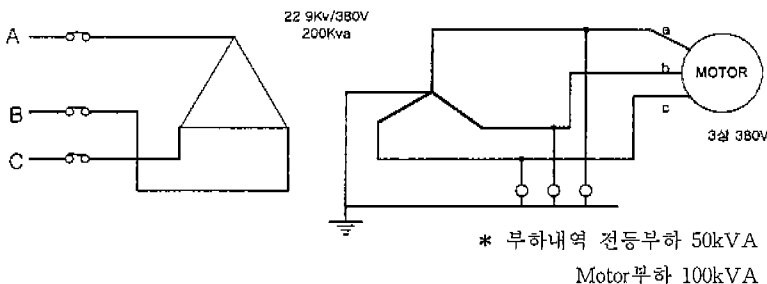
### 가. 변압기의 2차측 단선

- (1) 전동 부하 또는 무부하의 경우는 결상(단선)된 상의 전압이 "0"이 되어 해당 상의 전동은 점동이 안되고 모터는 가동이 안되며 진동하게 되므로 쉽게 발견되게 된다.
- (2) 동력(Motor)부하는 운전 중에 결상되면 불평형 3상 전압이 유지되며 경부하시는 운전이 계속되게 되지만 모터는 과열되어 소손할 수 있고 정격 용량의 부하를 걸면 정지된다.

### 나. 변압기 1차 결상

변압기 2차측에 불완전한 비대칭 3상 전압이 유지되게 되어 모터부하는 진동, 과열 등 비정상적인 상태로 회전하게 되고 변압기는 각상의 전류가 불균일하게 되어 특정권선이 과열하게 되며 정격용량의 부하를 걸게 되면 소손하게 된다.

이 경우 무부하이거나 전



<그림 2>

등 부하만의 경우는 선간전압이 심하게 차이가 나게 되지만 모터부하가 연결되어 운전되는 상태에서는 전압차가 경미하게 되어 발견하기는 더욱 어렵게 된다.

다. 표 1, 표 2에 나타난 것과 같은 전압 불평형은 22.9kV/380V  $\Delta$ -Y계통에서 1차측( $\Delta$ 결선)의 COS 한상이 접축 불량으로 결상된 경우의 현상이며 전압 불평형의 정도차이는 부하의 여건 1 $\phi$ 부하의 연결상태 3 $\phi$ 모터의 합성용량 등에 따라 변화하게 되므로 표 1, 표 2값이 항상 같은 비율이 되는 것은 아니다.

라. 이 경우는 장시간 전류가 흐르지 않던 COS의 접축극이 접축불량되어 A상이 결상되므로서 발생된 내용으로 22.9kV의 특고압계통에서 접축불량으로 전류가 흐르지 않는 경우는 없을 것으로 생각하기 쉬우나 어느 한상의 개폐기에서 접축이 끈기면(접축불량)개폐기 전원측과 부하측은 전압차가 거의 없는 동전위(동상)상태 이므로 아크는 발생하지 않으며, 따라

서 대기중에 설치된 개폐기의 접축불량은 쉽게 발생 될 수 있다.

운전되고 있는 상태에서 변압기 1상에 결상이 생기면 경부하로 회전하던 모터는 회전을 계속하나 모터에는 전압 불평에 따른 큰역상전류가 흐르게 되므로 회전력은 감소되고 과열되어 소손되게 되고 변압기의 각 권선에는 불평형 과전류가 흐르게 되어 소손하게 된다.

### 3. 대책

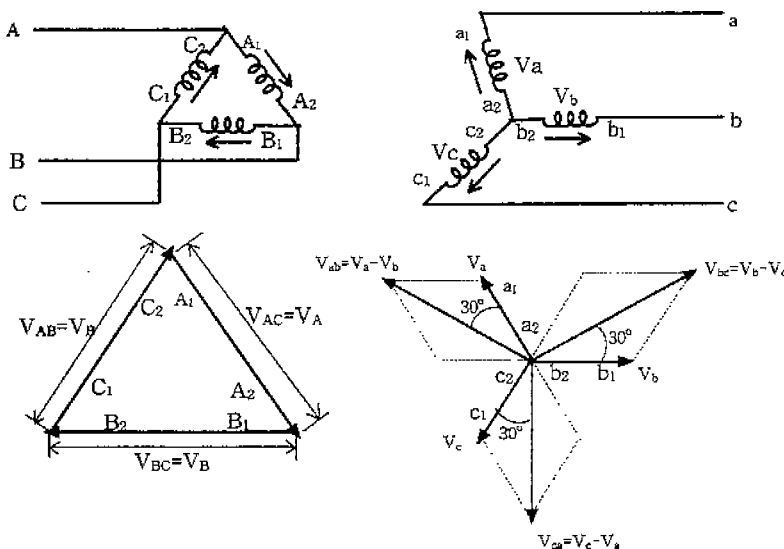
가. 유휴중인 설비를 재가동시 또는 경미한 부하가 지속되는 천문대, 송수신 탑 및 오염, 염해지역 등의 노출형 전력설비는 주기적으로 점검상태를 점검하고 전압 불평형이 발생하면 원인분석이 필요함.

나. 1상이 결상되면 전압의 불평형과 역상전류가 발생하며 위상의 대칭이 깨지게 되므로 역상계전기를 취부하면 해결된다.

## 4. 관련 기술

### 가. $\Delta$ -Y결선시 전압 분포상황

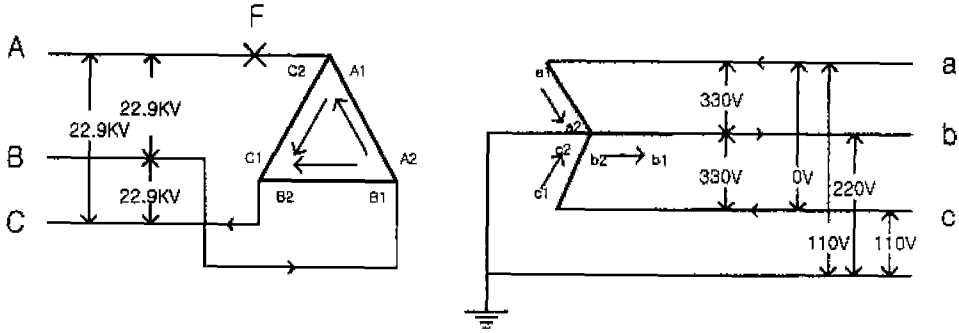
#### (1) 정상시전압 분포



<그림 3>



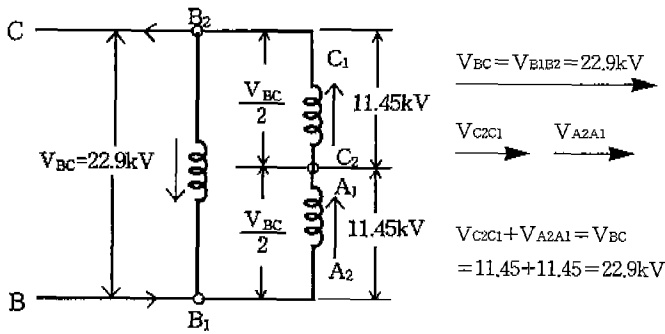
(2) 무부하시 A상의 변압기 1차측 F점 결상(COS 접불)



<그림 4>

◎ A상의 F점이 개방(COS 접촉불량)된 경우

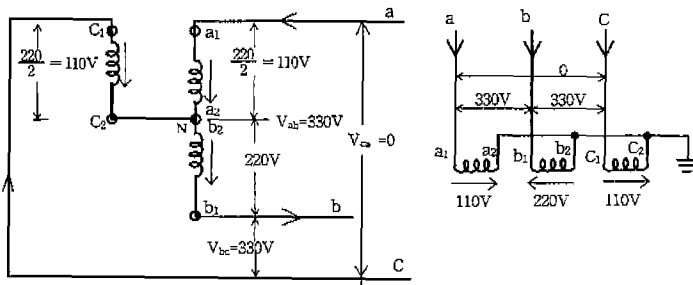
i) 1차측 권선전압 분포상태



<그림 4-1>

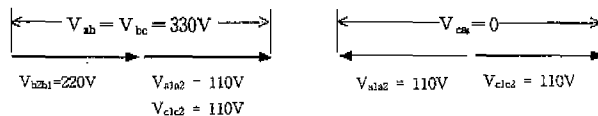
B상 권선에는 선간전압  $V_{BC}$  22.9kV가 인가되게 되지만 A상 C상은  $V_{BC}$  의  $\frac{1}{2}$ 인 11.45kV가 각각 인가되며 위상은 A상권선, B상권선이 모두 동위상이 인가되게 된다.

ii) 2차권선의 전압분포



<그림 5>

<그림 5-1>



<그림 5-2>

# CASE 전력기술상담

B상권선에는 정격전압이 220V가 유지되지만 a 상 c상 권선에는 220/2=110V가 유지되고 그림 5-2에서 보인 바와 같이 a, b, c 상의 권선은 동

위상을 갖게되어 아래와 같이 된다.

$$V_{ab} = V_{b2b1} + V_{a1a2} = V_{b2b1} + V_{c1c2} = 330V$$

$$V_{ca} = V_{a1a2} + V_{c2b1} = 0$$

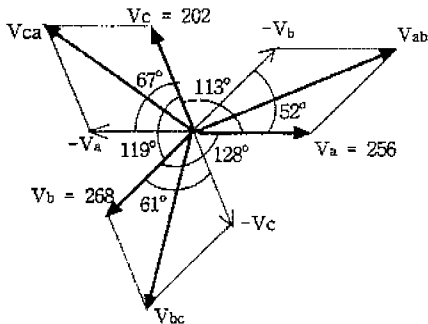
<표 1> 무부하시 전압 분포

구 분		$V_a$ (a-N)	$V_b$ (b-N)	$V_c$ (c-N)	$V_{ab}$ (a-b)	$V_{bc}$ (b-c)	$V_{ca}$ (c-a)
정상상태	상 전 압	220	220	220			
	선간전압				380	380	380
A상결상	상 전 압	110	220	110			
	선간전압				330	330	0

<표 2> 부하(동력 및 전등)시 전압 분포

구 분		$V_a$ (a-N)	$V_b$ (b-N)	$V_c$ (c-N)	$V_{ab}$ (a-b)	$V_{bc}$ (b-c)	$V_{ca}$ (c-a)
정상상태	상 전 압	226	223	226			
	선간전압				390	390	390
	위 상 각				120°	121°	119°
A상결상	상 전 압	256	268	202			
	선간전압				470	406	354
	위 상 각				128°	119°	113°

(3) 전등, 동력 부하 운전 중 A상의 변압기 1차 측 F점결상(COS접분), 모터의 역기전력 전등 부하에 의한 전압 강하 불균형등에 따라 아래와 같은 불평형 3상이 나타나며 그 정도는 부하 조건에 따라 크게 변할 수 있다.



(그림 6)

$$|V_{ab}| = \sqrt{[V_a + (-V_b \cos 52^\circ)]^2 + (-V_b \sin 52^\circ)^2}$$

$$= \sqrt{(256 + 165)^2 + 211^2} = 470$$

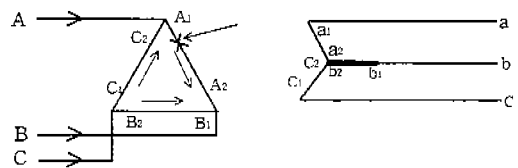
$$V_b = \sqrt{[V_b + (-V_c \cos 61^\circ)]^2 + (-V_c \sin 61^\circ)^2}$$

$$= \sqrt{(268 + 98)^2 + 177^2} = 406$$

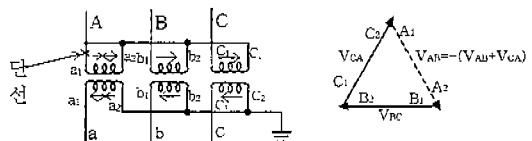
$$V_{ca} = \sqrt{[V_c + (-V_a \cos 67^\circ)]^2 + (V_a \sin 67^\circ)^2}$$

$$= \sqrt{(202 + 100)^2 + 235^2} = 383$$

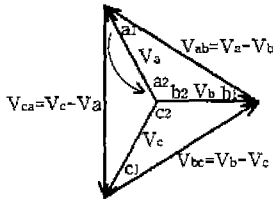
(4) 부하시 1차권선 F점이 단선된 경우



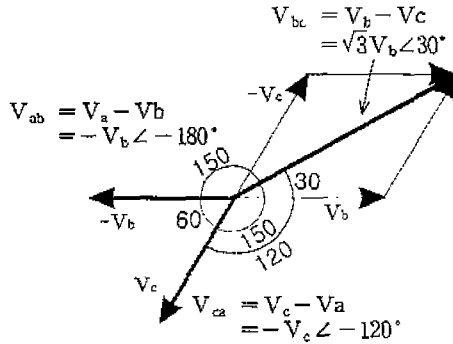
<그림 7>



<그림 7-1> <그림 7-2> 1차 전압분포



<그림 7-3> 2차측 전압분포



<그림 7-4> 2차측 Vector도

△-Y 결선시 1차(△측)권선 1개가 단선되면 그림 7-4와 같이 불평형 3상이 2차측에 유기되어 경부하 상태인 모터는 기동도 가능하며 경부하에서는 운전할 수 있게 되나 모터는 정격부하를 결면 역상전류로 과열되어 소손하게 되며 변압기는 2권선으로 부하를 감당하게 되므로 과부하로 소손하게 된다.

이때 (A상 1차권선 단선) 무부하시 각 선간 전압 현황은 아래와 같다.

$$V_{ab} = -V_b \angle -180^\circ \quad V_b \text{ 상 기준(A상 1차 권선단선)}$$

$$V_{bc} = 3 V_b \angle 30^\circ$$

$$V_{ca} = V_c \angle -120^\circ$$

### 나. 3상 변압기의 상회전 및 내부 결상 확인법

△-Y결선시 Y결선측에는 결상을 쉽게 확인할 수 있으나 △결선측에는 한 권선이 단선되어도 메가등으로 확인할 수 없다.

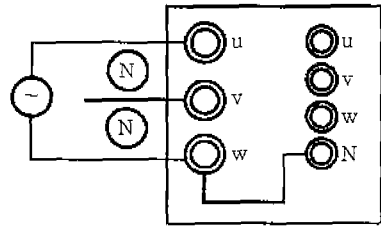
따라서 아래와 같은 방법으로 확인이 가능하며 3상변압기의 대표적인 결선법(DY11)의 오결선이나 내부 결상을 확인할 수 있는 방법을 소개한다.

#### (1) 측정 결선 및 측정 방법

- 변압기 2차측을 개방한 후 고압측 W단자와 저압측 단자를 연결하고
- 고압측에 100~380V의 3상 전원을 인가한 후 U-μ U-v V-μ V-v 간의 전압을 측정한다.

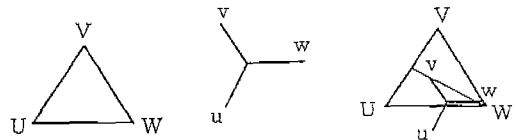
#### (2) 판정 방법

다음의 결과를 얻을 수 없으면 오결선이나 단선이다.



<그림 8>

결선 : DY11



<그림 8-1>

$$U-\mu = V-v = V-v < V-\mu$$

## 5. 결론

전압의 불평형, 결상 등이 발생하면 모터에는 큰 역상전류가 흐르게 되어 과열하게 되고 회전토크가 저하되어 소손의 원인이 되며 변압기는 3권선중 2권선으로 불평형 3상을 공급하게 되어 과부하로 소손할 수 있게 되므로 역상계전기를 취부하여 전압이나 전류의 불평형(위상 및 크기)의 차이 발생에 의한 전력설비의 보호와 전력의 신뢰성 향상이 필요하다.