



전력용콘덴서의  
과다 설치와  
전동기의  
소손

## CASE 전력기술상담

**S** 공사에서 여러대의 Motor가 동일 Bus에 연결되고 최후에 Stop되는 모터가 수회 소손하였다. Bus에는 해당Bus에 연결된 전체모터의 역률개선에 필요한 콘덴서가 연결되어 있다. 모터의 소손과 콘덴서는 어떤 관계가 있을까?

본 내용은 S공사에서 제공한 내용에 기술적 이해를 돕기 위해 일부 내용을 보완하였음을 알려드립니다.

- Home-page(Elec-consulting.co.kr)을 찾아주시고 격려하여 주시는 여러 회원님들께 감사드리며 여러분의 기술적인 고민과 유익한 해결사가 되기 위하여 7월부터 전력기술인 정보나눔터 ([www.ele119.co.kr](http://www.ele119.co.kr))와 제휴하여 정보의 통합적인 운영체계를 구축할 계획입니다.



전 명 수 [No.45]

일렉컨설팅 대표

☎ 02)554 · 8787

018)212 · 4848

Email : electricman@channeli.net



김 정 철 [No.24156]

(재)한국철도기술공사

(주)태정시스템 고문

☎ 02)525 · 6473

### 1. 상황

여러대의 콘덴서를 취부하는 불편함과 경제성을 고려하여 모터 4대용 콘덴서를 Main Bus에 연결하고 Motor On, Off시 최후로 Motor를 Stop 할 때는 Bus 전원 Switch를 동시에 Open 하도록 Schem이 구성되어 있다(그림 1 참조).

원인을 찾기 위해 4대의 모터를 교대로 조작하여 보았으나 최후에 Stop되는 Motor가 소손되었다.

### 2. 원인 분석

전력용콘덴서는 Motor 개개에 부설되어 모터와 같이 개폐되도록 구성하는 것이 좋으나 현장여건 또는 경제적인 측면에서 부하군을 일괄하여 부설하는 경우가 있다. 이 경우도 Motor 10HP 4대를 부하군으로 하여 300 $\mu$ F의 콘덴서를 Bus에 연결하고 Motor가 1대라도 운전 될 때는 콘덴서가 투입되고 개방할 때는 마지막 모터를 정지시킬 때 MCCB를 개방하여 모터와 콘덴서가 동시에 전원으로부터 개

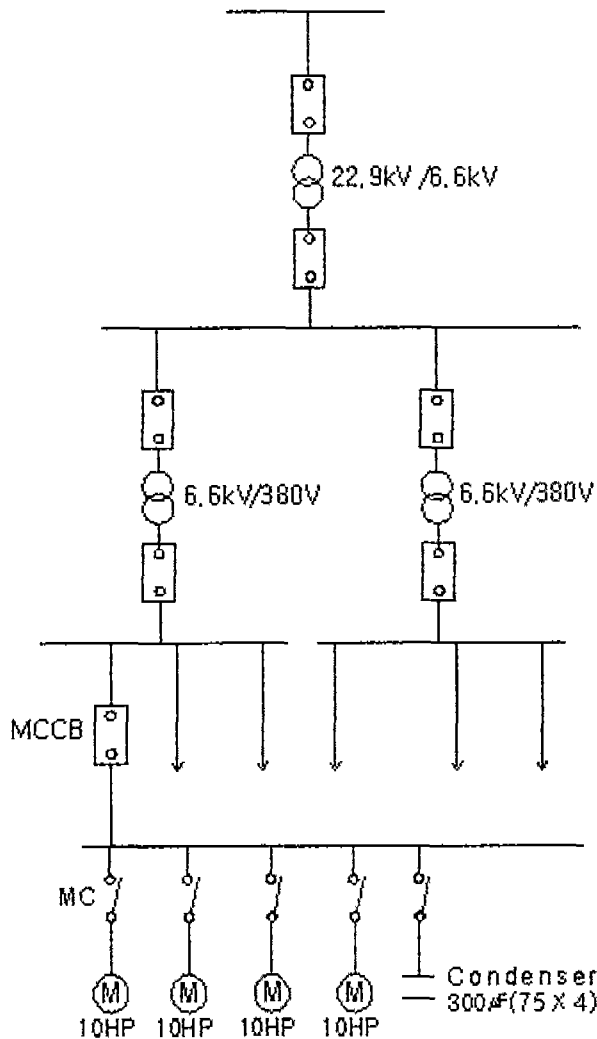


그림 1 전력계통도



방되도록 구성되어 있으며 모터는 콘덴서가 접속된 상태로 전원에서 분리되고 모터가 개방된 직후는 관성에 의해서 회전하게 되며 잔류자기에 의해 단자에는 전압이 유기되므로 콘덴서를 부하로 하는 발전기가 된다.

발전기에 진상전류(콘덴서 부하)가 걸리면 자기여자 현상에 의해 단자전압이 상승하게 되며 순간적으로 높은 과전압이 걸리게 되므로 모터나 콘덴서의 절연이 파괴되는 경우가 발생하게 된다.

이 같은 현상은 전동기의 무부하전류 보다 콘덴서전류가 클 경우에 발생하며 전동기 종류, 및 설계 내용에 따라 차이가 있다.

### 가. 콘덴서 설치에 따른 전동기의 자기여자 현상

유도전동기의 단자간에 콘덴서를 접속하고 회전시키면 잔류자기에 의해 미소한 전압  $E_{s1}$ 이 발생하게 되며 콘덴서를 통해 진상전류  $I_{s1}$ 이 흐르게 되고 이는 유도기의 여자전류가 된다. 자속을 증가시키게 되고 자속이 증대되면 발생전압도 증대( $E_{s2}$ )되고 따라서 콘덴서 전류가 증대( $I_{s2}$ )되고 상호 상승작용을 일으키게 된다. 유도기의 자기포화곡선과 콘덴서특성곡선의 교점에서 안정된다(그림 3 참조).

그러므로 회전하는 유도전동기를 콘덴서와 같이 연결한 상태로 전원에서 개방하면 자기여자현상에 의해 전원전압보다 높은

전압이 전동기 단자에 발생하여 절연열화를 일으키거나 수명을 단축시키고 소손시키는 경우가 있다.

그림 2와 같이 전동기와 콘덴서를 등가회로로 나타내면 유도전동기를 발전기로 볼 경우 무부하가 되므로 회전자에는 슬립  $s=0$ 으로 되고  $R2'/s = \infty$ 로 되어 전류가 흐를 수 없으므로 여자전류  $I_0$ 와 콘덴서전류  $I_c$ 는 동일하게 되므로

$I_0 + I_c = 0$ 가 되고  $X_1 + X_2 = X_c$ 가 되어 자기 여자주파수 즉 공진주파수(여자전류최대)  $f_0$ 는

$$\omega_1 (L_1 + L_2) = \frac{1}{\omega_1 C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_1 + L_2)C}}$$
 가 된다.

단,  $X_1 = \omega_1 L_1$ ,  $X_2 = \omega_1 L_2$ ,  $X_c = \frac{1}{\omega_1 C}$

전동기의 자기리액턴스  $X_0$ 의 값은 실제로는 전류에 의하여 변화한다.

대체로 전동기를 무부하로 회전시키면 그 전압전류 특성은 그림 3 처럼 철심의 포화에 따라 곡선이 된다.  $X_c$ 의 값은 전류에 의해 변화하지 않으므로 콘덴서의 전압전류 특성은 직선이 되어 그림 3에서 나타난 교점A에서 자기여자전압은 안정된다.

따라서 콘덴서용량을 더 큰 것, 즉  $X_1 + X_2 > X_c$ 로 되었을 경우(즉 C값이 커질수록) 점 A는 오른쪽으로 이동하여 전원전압보

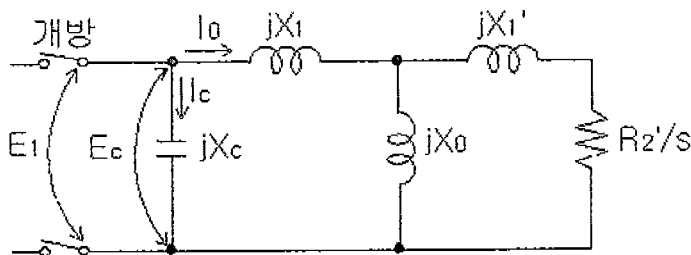


그림 2 등가회로(1차권선저항, 철손은 생략)

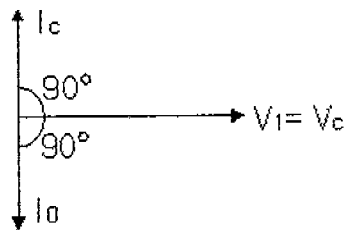


그림 2-1

다 높은 전압을 발생하게 된다.

그리고  $X_1 + X_0 < X_c$ 의 경우(C값 작을수록)는 자기여자현상에 의한 이상전압은 발생하지 않는다.

전동기의 한계여자용량  $P_1$ [kVA], 단자전압  $E_1$ , 여자전류  $I_{00}$  [A]로 하면

$$P_1 = \sqrt{3} E_1 I_{00} \times 10^{-3} \text{이 된다.}$$

한편 콘덴서용량  $Q$ [kVA], 그 전류를  $I_{01}$ 로 하면,

$$Q = \sqrt{3} E_1 I_{01} \times 10^{-3} \text{이 된다.}$$

여기서  $I_{00}$ 와  $I_0$ 와의 관계를 3개로 구별하여 유기되는 단자전압을 도시한다.

그림 4는 전동기의 자기포화 곡선과 콘덴서의 특성곡선을 나타낸 것이다.

### 1) $I_{00} > I_{01}'$ 인 경우

전동기의 여자전류  $I_{00}$ 가 콘덴서의 전류  $I_{00} = I_{01}'$ 보다 클 경우에는 도지에서 유기전압은  $E_{01}'$ 가 되어 단자전압  $E_1$  이하가 된다(A점).

### 2) $I_{00} > I_{01}''$ 인 경우

전동기의 여자전류  $I_{00}$ 가 콘덴서의 전류  $I_{00} = I_{01}''$ 와 같을 경우에는 여자전류에 의한 유기전압은 계단상으로 상승하여,  $\rightarrow$ 의 화살표처럼  $E_{01}'' = E_1$ 까지 전압을 발생한다(B점).

### 3) $I_{00} > I_{01}'''$ 인 경우

전동기의 여자전류  $I_{00}$ 가 콘덴서의 전류  $I_{01} = I_{01}'''$ 보다도 작을 경우(콘덴서 전류가 크다)에는, 여자전류에 의한 유기전압은 계단상으로 상승하여,  $\rightarrow$ 의 화살표처럼 단자전압은  $E_{01}'''$ 까지로 된다.

이 경우에는  $E_{01}''' > E_1$ 이 되어, 콘덴서 전압도 정격전압을 초과하게 된다(C점).

위에서 설명한 바와 같이, 전동기를 개방하였을 때  $I_{01} > I_{00}$ 의 조건에 있어서는 항상 가혹한 전압을 발생하기 때문에 전동기와 콘덴서의 절연물의 열화를 받아 최악의 상태에서는 절연물이 파괴될 수도 있다.

더구나 전동기의 회전수  $\omega_r$ 을 변화시켰을 경우를 그림 5에 나타냈는데 회전수가 증가하면 안정하는 전압은 높아져서 소위 한계회전수 이하에서는 여자현상이 일어나지 않는다.

이상과 같이 과대한 진상용 콘덴서를 전동기 단자에 접속한 채 회로를 개방하면 이상전압이 된다는 것은 알았으나 특히  $GD^2$ 이 큰 부하는 감속도가 낮아 이상전압으로서 안전상 문제가 크게 된다.

또 과속도의 위험을 지닌 전동기에 대해서는 그림 5와 같은 이상전압에도 주의를 요한다.

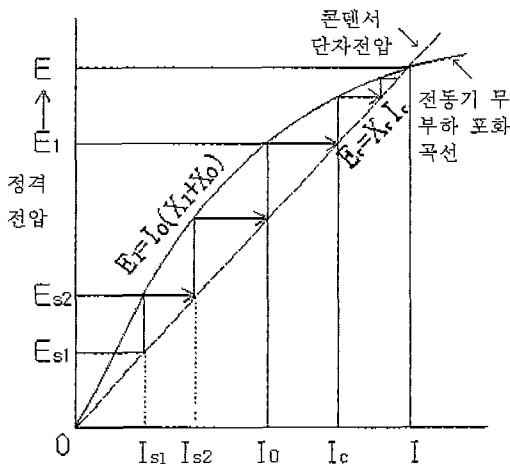


그림 3 전동기와 콘덴서의 전압전류 특성

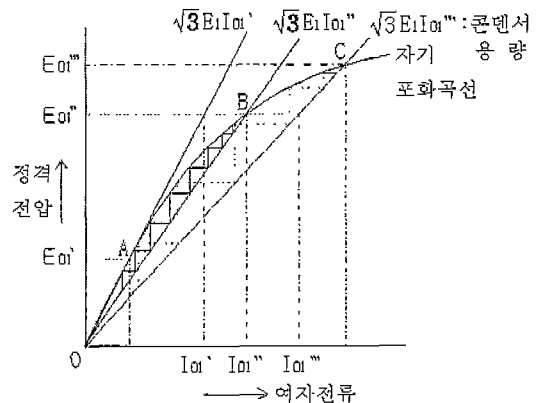


그림 4 전동기의 자기포화곡선과 콘덴서의 특성 곡선

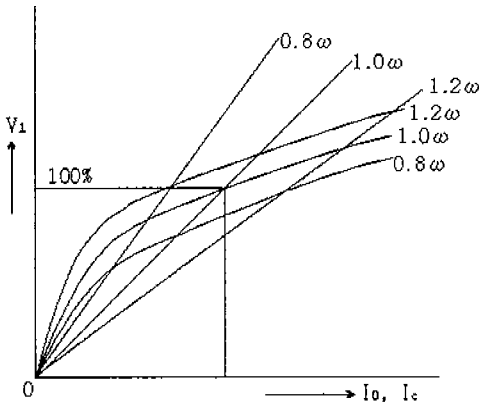


그림 5 회전수 변화에 따른 여자전압

이상에서 설명한 바와 같이 모터의 용량에 비해 콘덴서 용량이 너무 크므로 전동기의 자기여자현상에 의해 모터의 정격전압보다 순간적으로 상당히 큰 전압이 유기되어 절연과파 된 것으로 추정된다.

### 3. 관련기술 및 Data

콘덴서의 설치목적은 전력계통(전력회사)에서는 전압조정용으로 부설되고 산업현장에서는 역률개선폰용으로 부설하는 것이 일반적이다.

따라서 산업현장에서는 지상 95% 미만에서 사용하는 것이 통상적이며 역률이 저조(콘덴서 부족)할 경우는 요금이 추징, 전압강하의 증대, 전력손실의 증대, 설비이용율의 저하 등 문제점을 알고 있으나 진상(콘덴서 과다 부설)시의 문제점에 대해 여러번 질문을 받은바 있어 관련 사항을 소개한다.

#### 가. 역률 과보상(콘덴서 과다)으로 생기는 문제

##### 1) 모션전압의 과상승

전압강하는 약식으로 계산해서 아래와 같이 계산될 수 있으며  $\theta$ 가 진상이 되면  $V_d$  값이 "-"로 되므로 송전단전압 보다는 수용가의 Bus 전압이 높아질 수 있다.

$$V_r = V_s - V_d$$

진상의 경우  $V_r$

$$V_r = V_s - (-V_d) = V_s + V_d$$

$$V_d = IR \cos \theta + IR \sin \theta$$

$V_s$ : 한전S/S 전압

$V_r$ : 수용가 전압

$V_d$ : 전압강하

R: 변압기 및 선로저항

X: 변압기 및 선로리액턴스

$\theta$ : 역률각(지상일때는 "+")

I: 부하전류

#### 2) 송전손실 증대

송전손실은 전류의 2승에 비례하게 되므로 최소의 손실은 전류를 최소로 하는 것 즉, 역률 100%일 경우이며 진상(빠른)이나 지상(늦음)은 동일하게 역률의 2승에 반비례해서 손실은 증가된다.

#### 3) 고조파 왜곡의 증대

일반 전력계통에서는 야간 경부하시에는 회로의 전압이 상승함에 따라 변압기 과여자 등의 요인으로 계통에 고조파전압이 높아지며 콘덴서는 고조파전류를 잘 흘리므로 고조파 왜곡이 커지고 콘덴서와 선로가 공진을 일으킬 때는, 특히 큰 고조파 왜곡으로 다른기기의 손상 오동작 등을 초래할 수 있다.

#### 4) 비상발전기의 자기여자

비상발전기를 수전측에서 발전측으로 절환할 때 발전기의 자기여자현상에 주의가 필요하다.

왜냐하면 비상발전기 용량은 수전용량에 비해 작은 것이 일반적이므로 비상발전기 용량에 비해 콘덴서가 과대할 수 있으므로 자기여자현상이 나타날 수 있으며 대폭적인 진상역률이 되지 않도록 제어할 필요가 있다.

# CASE 전력기술상담

표 1 유도전동기의 무부하전류 비율

(KS c4202-1990)

정격출력 kW	극 수	동기회전 속 도 rpm	전부하 특성		참 고 치		
			효 율 η %	역 율 P1 %	무부하전류 I <sub>0</sub> (각상의 평균치 A)	전부하전류 I (각상의 평균치 A)	전부하슬립 s (%)
0.75	4	1800	71.5 이상	7.0 이상	2.5	3.8	8.0
1.5			78.0 이상	75.5 이상	3.9	6.6	7.5
2.2			81.0 이상	77.0 이상	5.0	9.1	7.0
3.7			83.0 이상	78.0 이상	8.2	14.6	6.5
5.5			85.0 이상	78.0 이상	10.9	21.8	6.0
7.5			86.0 이상	79.0 이상	13.5	28.2	6.0
11			87.0 이상	80.0 이상	20.0	40.9	6.0
15			88.0 이상	80.5 이상	25.5	54.5	5.5
18.5			88.5 이상	80.5 이상	30.9	37.3	5.5
22			89.0 이상	81.5 이상	34.5	78.2	5.5
30			89.5 이상	82.0 이상	44.5	104.5	5.5
37			90.0 이상	82.5 이상	53.8	128.5	3.5

〈비고〉 이 표의 전부하전류 및 무부하전류의 값은 정격전압 220V인 경우의 것으로서 정격전압 E(V)인 경우에는 그 220/E를 취하고 소수점이하 1자리에서 0.5의 숫자로 끝맺음 한다.

표 2 한국전력공사 부설 콘덴서용량 기준(공급규정)

출 력		설치용량(μF)		출 력		설치용량(μF)	
kW	HP	200V	380V	kW	HP	200V	380V
0.2	1/4	15	-	7.5	10	200	75
0.4	1/2	20	-	11	15	300	100
0.75	1	30	-	15	20	400	100
1.5	2	50	10	22	30	500	150
2.2	3	75	15	30	40	800	200
3.7	5	100	20	37	50	900	250
5.5	7.5	175	50				

## 나. 모터의 무부하전류 및 적정 콘덴서용량 기준

KS의 무부하전류 비율(표 1)과 한국전력공사 부설 콘덴서용량(표 2)를 첨부하니 참고 바람

## 4. 결론 및 대책

가. 콘덴서는 전동기의 여자전류 보다 적은 용량을 선정하는 것이 좋으며 이와같은 자기여자현상을 피하기 위해서는 콘덴서용량을 여자전류에 상당하는 무효전력의 90 ~ 95% 정도로 억제하면 되지만 회로구조상

부득이 콘덴서용량을 크게 할 경우는 콘덴서를 먼저 개방하고 그 후에 유도전동기를 회로로부터 개방하는 것과 동시에 유도전동기를 기계적으로 제동할 것 등을 고려해야 한다.

나. 여러대의 모터를 공통으로 하여 콘덴서를 부설함은 바람직하지 못하므로 각각의 모터에 적정한 콘덴서를 부설해서 모터와 동시에 개방하는 것이 좋다.

다. 비상발전기를 전원에서 발전기로 절체시는 콘덴서가 발전기용량에 비해 클 수 있으므로 적절한 주의가 필요하다.