

SC뱅크에서의 유효전력측정을 통한 고장진단

이인성*, 홍정조**, 송영철**, 박명근**, 홍영민**
한국수자원공사*

Malfunction diagnosis device by measuring active power in SC Bank

In-Sung Lee*, Jeong-Jo Hong**, Young-Cheol Song**, Myoung-Keun Park**, Young-Min Hong**
Korea Water Resources Corporation**

Abstract - 일반적으로 3상 유도전동기 회로에서는 회전자계를 얻기 위하여 델타회로가 이용되고 권선의 리액턴스(xL) 성분에 의한 역률지연에 따라 컨덕턴스(xC)회로를 통하여 보상을 하는 회로를 채용하며 관련 회로는 중성선에 흐르는 전류나 전압을 통하여 제어를 한다. 이러한 제어 회로는 몇 가지 문제점이 있는데 델타회로에서는 중성선이 없어 제어가 불가능하고, 실제로 사고 시 현존하는 고속도 계전기의 동작시간인 3사이클 이전에 사고가 진행되는 경우 실제 동작이 불가능한 문제점이 제기된다. 본 논문에서는 이러한 단점을 개선하기 위해 무효전력계통에서 유효전력을 측정하여 고장 및 사고를 사전에 예방하는 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 타당성을 검증한다.

1. 서 론

통상 3상유도전동기 보상회로에는 콘덴서와 스파이크전압으로부터 콘덴서를 보호해주는 리액터 그리고 콘덴서에 충전되는 전류를 방전해주는 방전코일로 구성되어 있다(이하 콘덴서 뱅크). 보통의 유도전동기에는 약 25%의 xL 성분을 가지고 있다고 가정을 하기 때문에 대용량 전동기의 경우 매우 큰 용량의 콘덴서 뱅크가 필요하게 되고 고장 및 사고시에도 분유 폭발 등 대규모의 화재와 설비손실을 동반하는 경우가 많다.

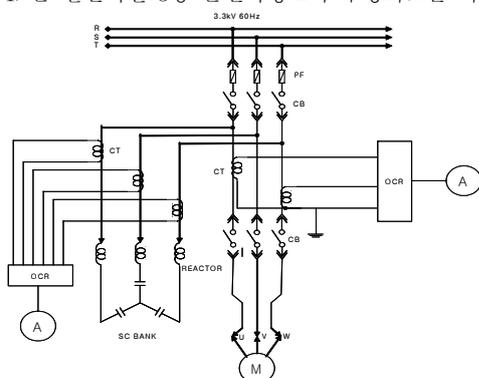
일반적으로 그림(a) 및 (b)와 같은 회로를 채용하고 중성선에 흐르는 전류와 전압을 통하여 고장을 구분하는 형태와 콘덴서 뱅크내에 흐르는 전류의 스칼라 합을 판단하여 고장을 구분하는 형태로 구성된다. 이러한 보호회로에서는 실제 고장 시 정상적으로 고장여부를 발견하기 어려운 단점을 가진다.

본 연구에서는 유효전력 측정이라는 새로운 방법을 고안하여 실제 운전시 콘덴서 뱅크 내부의 고장을 인지하여 고장여부를 판단 할 수 있으며, 고장이 진행되어 화재 및 분유폭발이 일어나기 이전에 차단할 수 있는 회로를 제안한다. 제안된 회로에서는 유효전력을 상별로 측정하여 고장지점까지 판단이 가능토록 구성함으로써 공진회로의 구성여부까지 파악을 할 수 있도록 구성하여 다양한 형태의 콘덴서 고장으로 부터 보호가 가능케하는 부차적인 효과까지 기대할 수 있다.

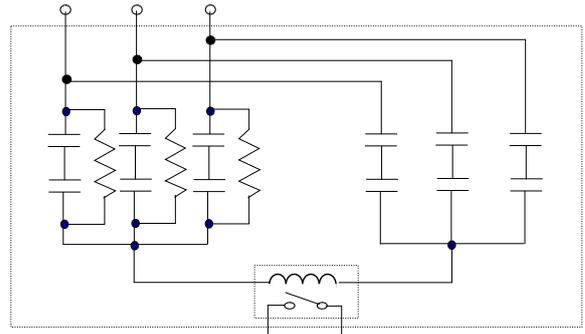
2. 본 론

2.1 일반적인 콘덴서뱅크 구성회로

<그림 1>은 일반적인 3상 콘덴서 뱅크의 구성회로를 나타낸다.



<그림 1> 3상유도 전동기 및 과전류 차단회로



<그림 2> 중성선을 이용한 보호회로

2.2 유효전력측정을 통한 보호회로 구성의 이론적 고찰

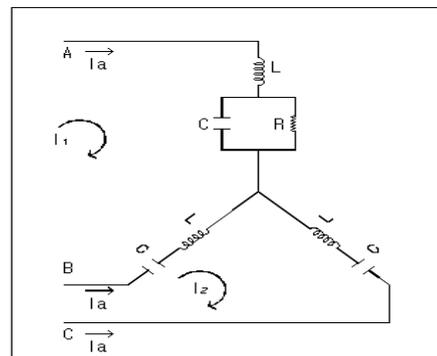
기존의 콘덴서뱅크에는 가상의 무한대 저항이 병렬 연결되어 있다고 가정할 수 있다. 이 경우 병렬로 연결된 저항은 내부소자의 단락 등에 의해 병렬저항 성분이 더해지게 되므로 열화가 진행되는 쪽의 임피던스는 낮아지게 된다.

2.2.1 실제회로를 바탕으로 모의

한국수자원공사 현도취수장 콘덴서 뱅크를 실제로 해서 모의를 해보면 다음과 같다. 먼저 <그림 3>과 같은 콘덴서 뱅크의 A상에 1[kΩ] 병렬저항을 삽입하고 각 상의 전류를 구하면

[입력 데이터]

- 인가 전압(선간전압) : 6,600[V]
- 전원 주파수 : 60[Hz]
- 1상당 L 값 : 34.776[mH]
- 1상당 C 값 : 12.179[μF]



<그림 3> Y-결선 콘덴서 뱅크 회로

[회로 계산]

$$Z_A = j\omega L + \frac{\left(\frac{1}{j\omega C}\right) \times R}{\left(\frac{1}{j\omega C}\right) + R}$$

$$= \frac{R}{W^2C^2R^2+1} + j(wL - \frac{wCR^2}{w^2C^2R^2+1}) = 45.28 - j194.82$$

$$Z_B = jwL + \frac{1}{jwC} = -j204.68$$

$$Z_C = jwL + \frac{1}{jwC} = -j204.68$$

- I1 에 대해서 망로 방정식을 풀면,
 $V_{AB} = (Z_A + Z_B)I_1 - Z_B I_2$ ----- (1)

- I2 에 대해서 망로 방정식을 풀면,
 $V_{BC} = -Z_B I_1 + (Z_B + Z_C)I_2$ ----- (2)

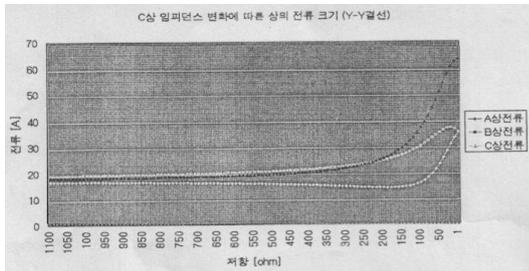
식1)과 식2)를 연립방정식으로 I1 과 I2 로 계산 하면,

$$I_A = I_1 = 19.01 \angle 81.33[A]$$

$$I_B = I_2 - I_1 = 17.44 \angle -32.6[A]$$

$$I_C = -I_2 = 19.92 \angle -151.86[A]$$

여기서 A상의 지향을 가변시켜 보면 <그림 4> 같은 곡선을 얻을 수 있다.



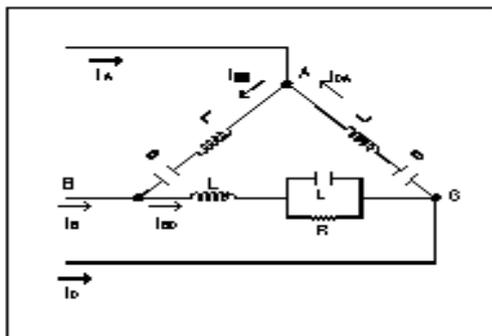
<그림 4> Y-결선 A상 가변시 전류 곡선

패턴을 비교해보면 B상의 전류가 정상상태 전류 크기인 18.616[A]보다 적은 값을 나타내는 것을 알 수 있으며 A상의 커패시터가 이상이 있음을 알 수 있다. 또한 A상과 C상이 24[A]를 넘어가면 급격히 전류가 증가하므로 위험하게 되는 것을 알 수 있다.

다음은 <그림 5>와 같은 Δ 결선시 A상에 1[kΩ] 병렬저항을 삽입하고 각 상의 전류를 구해본

[입력 데이터]

- 인가 전압(선간전압) : 6,600[V]
- 전원 주파수 : 60[Hz]
- 1상당 L 값 : 104.328[mH]
- 1상당 C 값 : 4.0596[μF]



<그림 5> Δ-결선 콘덴서 뱅크 회로

[회로 계산]

$$Z_{AB} = jwL + \frac{(-\frac{1}{jwC}) \times R}{(-\frac{1}{jwC} + R)}$$

$$= \frac{R}{W^2C^2R^2+1} + j(wL - \frac{wCR^2}{w^2C^2R^2+1}) = 299.195 - j418.87$$

$$Z_{BC} = jwL + \frac{1}{jwC} = -j614.07$$

$$Z_{CA} = jwL + \frac{1}{jwC} = -j614.07$$

$$- Z_{AB} = 514.51[\Omega]$$

$$- Z_{BC} = 614.07[\Omega]$$

$$- Z_{CA} = 614.07[\Omega]$$

$$I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{6600 \angle 30}{514.51 \angle -54.44} = 12.82 \angle 84.44$$

$$I_{BC} = \frac{V_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{6600 \angle -90}{617.07 \angle -90} = 10.747 \angle 0$$

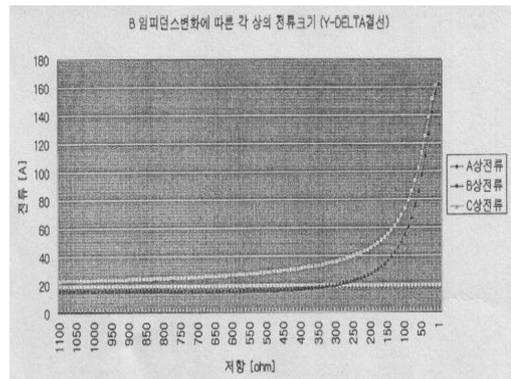
$$I_{CA} = \frac{V_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{6600 \angle 150}{617.07 \angle -90} = 10.747 \angle 240$$

$$- I_{AB} = I_{AB} - I_{CA} = 23.02 \angle 73.3[A]$$

$$- I_{BC} = I_{BC} - I_{AB} = 15.91 \angle -53.3[A]$$

$$- I_{CA} = I_{CA} - I_{CA} = 18.61 \angle -150[A]$$

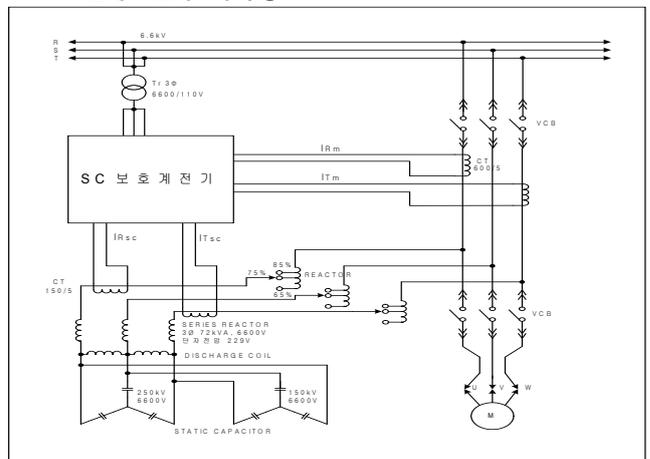
위의 식에서 R 을 가변 시켜보면 다음과 같은 곡선을 얻을 수 있다.



<그림 6> Δ-결선 B-C상 가변시 전류 곡선

위 그래프를 보면 이상이 있는 콘덴서의 위치와 경보 및 차단시 점을 선정 가능하다는 것을 알 수 있다.

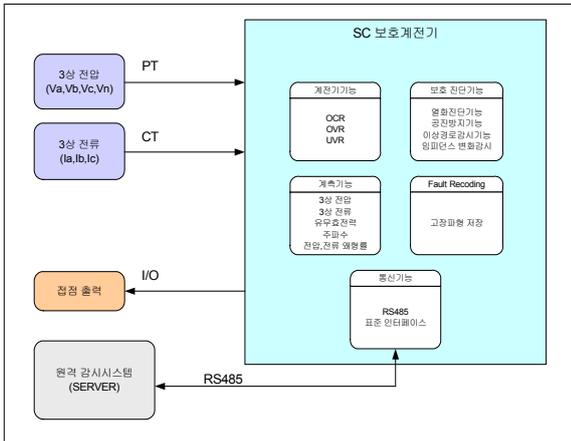
2.2.2 실제 보호회로의 구성



<그림 7> 제안된 콘덴서 보호회로

유효전력을 이용한 보호회로는 <그림 7>과 같으며 블록계통도는 <그림 8>로 설명이 가능하며 다음과 같은 역할을 수행한다.

- (1) 전압 계측(OVR, UVR 기능을 수행)
 - 전압, 전류 각 3상에 대해 1cycle 당 64 sampling을 수행한다.
 - 한주기 단위로 true RMS로 값을 계산한다.
 - 3상 입력을 계전기 내부에 별도의 PT를 통해 상별로 입력한다.
 - 표시는 상전압의 실효값을 표시한다.
- (2) 전류 계측(OCR 기능을 수행)
 - 전압, 전류 각 3상에 대해 1cycle 당 64 sampling을 수행한다.
 - 한주기 단위로 true RMS로 값을 계산한다.
 - 2상 입력을 CT로 받고 별도의 관통형 CT를 이용하여 처리한다.
 - 표시는 상전류의 실효값을 표시한다.
 - 3, 5, 7고조파 전류는 각 상별로 표시한다.
- (3) 유효전력 계산
 - 각 sampling 마다 전압, 전류의 곱으로 계산한다.(trueRMS)
 - 유효전력 증가 시 설정치와의 비교를 통하여 알람, 회로차단 등을 수행한다.
 - 유효전력을 계산하여 설정에 따라 알람, 회로차단 등을 수행한다.
- (4) 전압, 전류입력으로 임피던스 계산
 - DFT를 통하여 각상의 각 고조파(기본파, 제3,5,7고조파)에 대한 크기와 위상을 계산한다.
 - 각상 각고조파에 대한 임피던스의 크기 $Z = \frac{V}{I}$
 - 각상 각고조파에 대한 임피던스의 각 $\theta =$ 전압의 위상-전류의 위상
 - 콘덴서나 리액터의 임피던스의 크기는 변하지 않는다. 만일 임피던스의 크기가 변화하면 이상이 생긴 것으로 판단할 수 있으며 임피던스의 각 θ 가 -90도 또는 90도를 벗어날 경우 유효전력이 발생하는 것을 알 수 있다. 단, PT, CT의 오차를 감안하여 보정을 취해 주어야 한다.
 - 임피던스를 계산하여 설정에 따라 알람, 회로차단 등을 수행한다.



<그림 8> 보호블록 계통도

2.2.2 결과

본 논문에서는 역률보상시스템의 콘덴서와 리액터가 보호계전기의 동작 없이 소손되는 사례가 자주 발생하는 데에 따른 원인 분석과 이를 사전에 감지하여 사고를 미연에 방지하도록 하는 것에 대해 연구하고자 하였다.

이러한 목적을 달성하기 위해 우선 현도취수장과 팔당취수장의 운전 중의 전압 및 전류 데이터를 취득하여 분석을 하였다.

역률보상시스템의 사고 징후를 감지해 사전에 사고를 방지할

수 있도록 SC Bank의 특성을 고려한 보호시스템을 설계 하였다. SC Bank의 특성을 요약하면 다음과 같다.

- (1) SC Bank의 CB가 투입될 때 과전류 및 과전압이 발생하여 콘덴서와 리액터를 지속적으로 열화 시킨다.
- (2) 리액터 소손은 절연파괴와 그에 따른 용단에 있다.
- (3) 고조파의 측정으로 콘덴서와 리액터의 사고를 사전에 진단할 수 있다.
- (4) 새로운 보호계전 알고리즘이 필요하다.
 - 유효전력 감시
 - 공진주파수 및 고조파 감시
 - 임피던스 감시

위의 문제점을 해결하기 위해 제안된 보호시스템은 기존 시스템에 비하여 다음과 같은 장점을 가지게 된다.

<표 1> 개발시스템의 장점

비교항목	기존시스템	개발시스템
계전 방식	OCR 및 전압, 전류 비교방식	기존시스템 + 유효전력 비교방식 + 임피던스 비교방식
입력 요소	전압, 전류, PT, CT	전압, 전류
열화 진단기능	없음	정상상태, 과도상태 열화진단 기능 추가
공진 방지기능	없음	차단기 차단

이상의 연구를 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다. 현재 콘덴서 뱅크의 가장 큰 문제점은 투입시의 과전압, 과전류에 의한 영향이 크다는 것과, 고장 시에도 정확하게 정상 동작하지 않는 보호시스템에 의해 사고가 확대되는 점이다.

3. 결 론

역률보상설비를 운전하는 데 있어 SC Bank의 특성을 반영한 새로운 보호계전시스템이 필요한 것은 이미 고조파 분석 등을 통해서 잘 알려진 사실이다. 이에 특성화된 SC Bank 보호계전기를 제작하여 철저한 시험과 현장검증을 거친 후에 역률보상설비 보호시스템으로 사용이 가능할 것이다. 향후 시사용을 통한 입증과 현장 적용이 확대되면 역률보상설비의 안전운전에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

[1] 윤상만, "전력용 콘덴서의 열화진단에 관한 연구", 한밭대학교 학술논문지, 제18권, 2001
 [2] 이상일, "전력설비의 콘덴서 뱅크 열화진단 장치", 특허출원번호 2020010031173, 2001
 [3] 한국전기공업협동조합, "22.9킬로볼트 콘덴서 뱅크 중성점 저항기", 특허출원번호 2020030001578, 2003