

역률 보상용 콘덴서 설치 지점에 따른 특성 해석

이경배*, 정진관*, 안재후*, 김종경**
한국수자원공사*, 강릉대학교**

Characteristic Analysis by the Position of Power Factor Compensative Condenser

Jin-Gwan Jeong*, Gyeong-Bae Lee*, Hu-Jae An*, Jong-Gyeum Kim**
Korea Water Resources Corporation*, Kangnung University**

Abstract - 대용량 전동기에는 역률보상용 콘덴서와 리액터를 설치하여 부하역률을 개선하고 있다. 역률보상용 콘덴서의 기동리액터 전·후단 설치지점에 따른 특성변화를 해석한 결과 콘덴서를 기동 리액터 전단에 설치한 경우 기동시의 순간적인 콘덴서 돌입전류로 상용주파수 부근의 고조파(1,3,5차) 공진이 발생하여 이로 인한 과전압이 콘덴서와 직렬리액터에 반복적으로 인가되어 수명이 단축됨을 확인할 수 있었다. 기동초기에 발생하는 과전압을 저감하기 위해서 콘덴서 회로의 연결점을 기동리액터 후단에 설치한 결과 인가전압과 전류가 감소됨을 알 수 있었다.

1. 서 론

한국수자원공사 수도권광역상수도는 일평균 3,780천㎥(시설용량 8,155천㎥)의 용수를 팔당호에서 취수하여 서울시를 포함한 수도권 25개시 일원에 공급하고 있으며, 이 취수설비에는 대형 펌프 모타 56대가 설치 운영되고 있다. 이 고압 유도전동기 설비는 역률이 낮아 부하에 필요한 무효전력을 공급하기 위해 역률 보상장치를 각 전동기에 부착하여 사용하고 있다[1].

역률 개선용 콘덴서는 선로 손실보상 및 역률 개선을 통한 전력요금 절감, 설비용량의 여유도 증가 및 전압 강하 등의 개선 목적으로 설치하고 있으나, 설비운영 중 고장이 발생했을 때 적절한 보호시스템에 의한 차단이 되지 않을 경우 2차적으로 폭발, 화재 및 정전사고를 유발하고 고장에 따른 손실 비용이 크다.

본 논문에서는 역률 보상용 콘덴서를 기동용 리액터의 전·후단 설치 지점에 따른 인가전압과 전류특성에 어떤 차이가 발생하는지 해석하여 안정적인 역률 개선과 사고를 줄이고자 한다.

2. 본 론

2.1 사진 조사

우리공사의 전기설비는 대부분 펌프를 구동하는 유도전동기의 비율이 높은 편이다. 이 유도성 부하는 역률이 낮아 한전에서 요구하는 수용가의 역률 기준을 맞추기 위해 각 유도전동기별로 역률 보상용 콘덴서를 병렬로 연결하거나 또는 규모가 작은 사업장에서는 소내 전체의 역률을 보상하기 위해 콘덴서를 뱅크식으로 운영한다. 일반적으로 역률을 보상하기 위해서 콘덴서를 설치하면 기본과형의 찌그러짐이나 고조파를 발생하기 때문에 이를 저감하기 위해서 직렬리액터를 연결하고, 주차단기가 차단될 경우 콘덴서에 남아 있는 잔류전하를 방전시키기 위하여 방전코일과 콘덴서의 이상을 감지하기 위하여 중성점 전압검출장치(NVS) 등의 보호설비를 조합하여 역률 보상 시스템을 구성하고 있다.

팔당3취수장은 일 시설용량 2백만㎥으로 3,900kW 9대와 1,950kW 1대의 펌프 모타가 설치되어 있다. 1999년 준공이후 팔당3취수장은 1999년 10월부터 2002년 1월까지 2년 3개월 동안 역률 개선용 콘덴서 및 직렬리액터 고장이 총 16건 발생되었다. 이러한 고장현상의 원인은 정상적인 설비운용 중에 발생할 수 있는 Surge 현상, 고조파 공진 및 과도전류 등 여러 가지 원인이 있으나, 현장 조사과정에서 내부계통에서 발생하는 과도전압이 주요한 원인이며, 잦은 고장현상을 방지하고 안정적인 설비운동을 위해 계통 감도를 통해 상세한 원인규명 과정을 진행하였다.

콘덴서 돌입전류 저감용 직렬 리액터 고장현황은 표 1과 같으며, 역률 보상회로를 구성하는 콘덴서 고장현황은 표 2와 같다.

<표 1> 직렬 리액터 고장 현황

일 시	호기	상	고장시간 (기동후)	제작년도	고장내용	비 고
'99.10.06	14	R	1시간	1998	절연파괴	운전중
'02.01.13	3	ST	50분	1998	절연파괴	운전중

<표 2> 콘덴서 고장 현황

일 시	호기	상	고장시간 (기동후)	제작년도	고장내용	비 고
'00.02.04	11	R	84시간	1998	절연파괴	운전중
'00.02.25	5	T	2시간	1998	절연파괴	운전중
'00.04.26	4	R	1분	1998	절연파괴	기동중
'00.07.08	11	R	10분	2000	절연파괴	운전중
'00.10.25	5	R	29일	1998	절연파괴	운전중
'01.02.28	12	T	70시간	1998	절연파괴	운전중
'01.03.17	12	R	9시간	1998	절연파괴	운전중
'01.09.03	3	R	3분	1998	절연파괴	기동중
'01.10.01	11	T	13시간	1998	절연파괴	운전중
'01.10.12	3	T	30분	1998	절연파괴	운전중
'01.10.15	5	S	2시간	1998	절연파괴	운전중
'01.12.13	3	RST	30분	1998	절연파괴	운전중
'02.03.10	13	R	30시간	1998	절연파괴	운전중
'02.04.15	3	R	5초	2001	절연파괴	기동중

2.2 현장 조사

고장발생 원인을 정확히 파악하기 위해 운영중인 설비상태를 상세하게 점검하고, 고장상태를 확인하였다. 그림 1은 고장이 발생하지 않은 역률 개선회로와 방전코일의 형태이며, 그림 2는 절연파괴로 인한 고장으로 방전코일이 소손된 상태를 나타내고 있다.



<그림 1> 정상적인 역률 개선회로 설비



<그림 2> 방전코일 소손사고

2.3 고장내용 분석

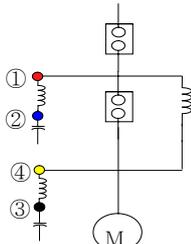
1999년 팔당3취수장 가동 후 2년 6개월 동안 콘덴서 14건, 직렬리액터 2건 등 총 16건의 고장은 정상적인 범위에 속한다고 판단되기는 어렵다. 특히, 콘덴서에 고장현상이 집중된 것은 어떤 형태로는 콘덴서에 과도한 Stress가 인가된다는 것을 나타내고 있다. 콘덴서에 집중된 고장은 표 2에서 보는 바와 같이 상세히 분석하면 고장발생시간이 대부분 야간, 점심시간, 휴일 등에 집중된 것으로 분석되고 있다. 따라서 이러한 시점은 전체적인 전력계통의 부하가 감소되어 전원전압이 상승하는 시간대로 고장원인이 전압과 연관되었을 가능성이 높다고 판단된다.

2.4 고장원인의 규명

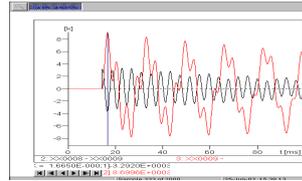
2.4.1 현장 실험

최초 측정은 기존의 연결 상태에서 발생하는 과도현상을 측정하기 위해 그림 3의 ①위치에 연결하였다[2]. 그림 4는 콘덴서 단자에서 최초로 측정된 기동시의 초기과도 전압파형으로 최고 전압은 7kV 정도로 앞서의 예상 값보다 높지 않았다. 측정된 파형이 투입시점에서 가장 높은 전압이 투입된 상태에서 측정된 것인지를 알 수 없으므로 3상을 전체 기동과정에 거쳐 측정된 전력분석기 측정기록을 참조하여 확인하였다.

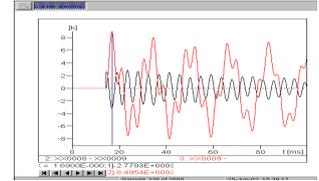
주 측정목표인 콘덴서의 인가전압을 측정하기 위해 그림 4와 동시에 그림 3의 ②지점에서 전력분석기로 측정된 기록 가운데 가장 높은 과도전압을 나타낸 R상의 파형은 그림 5와 같다. 초기 과도전압의 가장 높은 지점은 9.72kV로 나타났다.



〈그림 3〉 측정포인트



〈그림 7〉 전단 설치시



〈그림 8〉 후단 설치시

2.5.2 기동리액터 탭 변경

기동 리액터의 Tap은 역률 보상회로와는 별도로 펌프용 전동기의 전기-기계적인 기동특성에 연관되는 사항이다. 따라서 여기서는 현행 설비를 기준으로 어느 정도까지 기동리액터의 Tap을 낮출 수 있는가를 검토하였다. 펌프-전동기의 주된 열화 요인 및 고장발생 원인을 도출하고자 제3취수장 고전압전동기의 기동전압, 기동전류, 이상전압 발생정도, 기동시간, 정격속도 도달시간 및 직입용 차단기 투입시간 등의 기동특성을 측정·분석한 결과는 다음과 같다.

① 기동시 전압특성

기동시 전압특성은 운전 전압(6.6kV)에 대하여 리액터 각 Tap별(80%, 75%, 70%) 기동시 전압은 일정 비율로 감소되어 이론적 계산 값과 현장시험 값이 거의 일치하여 이상적이다.

② 기동시 전류특성

기동용 리액터의 각 Tap별(80%, 75%, 70%) 기동전류는 설계 값 보다 다소 낮은 값으로 측정되었으며, 이에 따라 기동시간이 다소 지연되는 것으로 나타났으나 전동기 기동에는 무리가 없는 양호한 상태로 판단된다. 특히, 70% Tap에서는 리액터에 진동이 발생하여 지속 운전시 기계적 열화요인 등으로 작용할 것으로 판단됨으로 상위 탭인 75%로 운영함이 보다 안정적인 것으로 판단된다.

③ 역률보상용 콘덴서의 정격 검토

팔당3취수장의 고장을 방지하기 위한 합리적인 방안으로 정격조정에 대해 검토하였다. 전력용 콘덴서는 실제 사용전압이 정격의 106%이지만 24시간 연속운전 되는 경우 발생하는 전원전압의 상승현상이 겹쳐지는 경우 110%를 초과하는 경우가 많다. 이러한 환경이 복합적으로 콘덴서에 가해짐으로서 기동시 발생하는 과도전압에 의해 사고가 발생하는 것으로 추정하고 있다. 따라서 사고방지를 위해서는 근본적으로 인가되는 106%의 과전압에 Daily Load Cycle에 따른 전압 변동률 5%를 합하여 견딜 수 있도록 전압정격을 110%로 높일 필요가 있다.

3. 결 론

대용량 유도전동기의 역률 보상은 콘덴서에 리액터를 연결하여 무효 전력을 공급하고 있다. 직렬 리액터와 콘덴서 고장에 따른 세부 검토와 전력설비 각 부분에서의 과도현상을 보완측정, 분석한 결과 기동중에는 기동리액터 후단에 설치하는 것이 콘덴서와 직렬리액터 인가전압에 있어 10~20% 감소하는 것으로 나타났다.

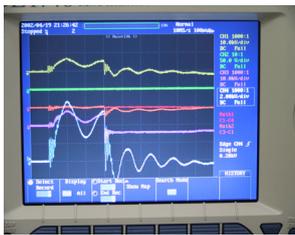
콘덴서의 정전용량 값을 유지한 상태에서 전압정격을 110%로 상향조정하는 경우 과전압배수는 1.43배 또는 1.3배로 낮아지므로 수명 연장 효과가 있다. 다만, 정전용량을 감소시키는 경우 공진주파수의 변화로 기동시 비정상적인 공진현상 발생이 예상되어 과전압 감소효과를 상쇄하므로 주의해야 한다.

초기 과전압을 상당부분 저감할 수 있는 방법으로 기동리액터의 Tap을 낮추는 방안을 시험한 결과 기계적인 기동특성에 문제가 없는 영역은 70%까지가 한계로 판단되나 가동시간이 길어지면서 실패할 가능성을 최소화하기 위해서는 75%선을 유지해야 할 것이다.

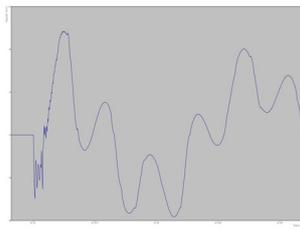
팔당3취수장의 역률 개선용 콘덴서 위치를 기동리액터 후단으로 변경 설치하여 운영한 결과 현재까지 콘덴서나 리액터에 대한 고장이 없었으며, 향후 콘덴서 설치지점에 따른 안정적인 설비운용을 위한 기술검토 및 정립에 대한 연구 보완이 필요할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김중겸, "일반 및 고효율 유도전동기의 특성비교 해석", 대한전기학회논문지, 56(P), No.4, pp. 186-190, 2007.12
- [2] 한국수자원공사, "팔당3취수장 무부하 보상설비 기술 진단 용역", pp. 21-83, 2002.08



〈그림 4〉 기동시 과도전압 파형



〈그림 5〉 기동시 콘덴서 인가전압파형

2.4.2 고장대책 검토

현장조사 결과 역률보상회로의 주 고장원인은 상용주파 영역의 고조파 공진에 의한 과전압이라는 것을 알 수 있었다. 따라서 고장현상을 방지하기 위한 방안을 다각적으로 검토한 결과 다음과 같은 방안들이 현실적으로 가능한 것으로 검토되었다.

방안Ⅰ. 역률보상회로의 연결점은 그림3에서와 같이 기존의 기동리액터 전단에서 후단으로 이동시키는 방안

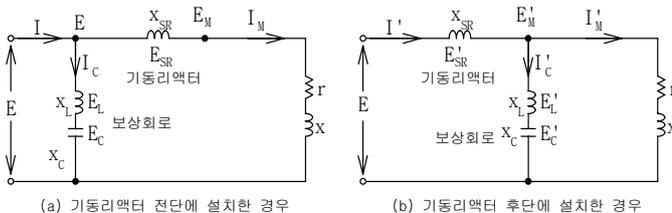
방안Ⅱ. 현재 80%로 고정되어 있는 기동리액터의 Tap을 낮추어 기동시 보상회로에 인가되는 전압의 초기치를 낮추는 방안

방안Ⅲ. 고장이 가장 많이 발생하여 취약 설비로 지적되고 있는 보상용 콘덴서의 정격 조정

2.5 시설개선 및 효과

2.5.1 역률 보상설비 회로 변경

팔당 3취수장의 펌프용 유도전동기의 기동시의 특성해석을 위해 그림 6과 같이 등가회로를 구하였다. 이를 바탕으로 벡터해석 및 소프트웨어로 수치화한 결과, 기동시의 역률 보상회로에서 발생하는 과도전압은 기동 리액터 전단에 보상회로를 연결한 경우 초기 Peak 전압이 콘덴서에 8.7kV, 직렬리액터에 3.3kV 인가되는 것으로 계산되었으며, 기동 리액터 후단일 경우 8.5kV, 2.78kV 정도로 계산되었다. 이 값은 콘덴서의 정격전압(3.8kV×1.414=5.4kV)을 기준으로 1.58배, 리액터의 정격전압(229V×1.414=323.8V)의 8.58배로서 매우 높은 Stress를 형성하고 있다.



〈그림 6〉 간이 등가회로(1상당)

기동초기 발생하는 과전압을 저감하기 위해 콘덴서 회로의 연결점을 기동리액터 전단에서 후단으로 이동하여 측정된 결과, 그림 7 및 그림 8과 같이 콘덴서 인가전압은 8,500V로 과전압배수 1.58배, 직렬리액터 인가전압은 8,417V로 과전압배수 26배로 낮아졌으며 회로변경으로 인하여 발생이 우려되었던 공진현상은 나타나지 않았다.