

고압유도전동기의 역률개선을 위한 콘덴서 위치 선정 방안

이은춘, *전일방, *김창범, *최영규, *신강욱, *홍성택, **이은웅
*한국수자원공사, **충남대학교

The Selection of the Condenser Positions for the Improvement Power Factor of the High Voltage Induction Motors

*Eun-Chun Lee, *Il-Bang Jeon, *Chang-Bum Kim, *Kang-Uk Shin, *Sung-Taek Hong, **Eun-Woong Lee
*Korea Water Resources Corporation, **ChungNam National University

Abstract - This study sorted high voltage motors by the voltage and the capacity and analyzed the property of motor-start. So we found out some problems of the starting circuit from several sites, and made the answers of the problems.

If these results of our study are utilized in new WTPs, the safety of the starting circuit will be improved and the life of electric power system will be longer. We recommend this study as a reference when our company finds the standard of electric facility design.

1. 서 론

수도사업장에서 용수공급을 위한 펌프용 고압 유도전동기는 대부분 대용량이므로 기동전류가 대단히 크다. 따라서 기동전류를 억제하는 리액터(Reactor)등의 기동장치를 채용한다. 기동장치로 가장 많이 사용하는 것이 리액터(Reactor)이다. 또한 고압유도전동기는 유도성 부하로 저역률(85% 전, 후)이기 때문에 역률보상용 콘덴서를 전동기 기동회로에 병렬로 연결하여 사용한다. 이와 같이 고압유도전동기 기동회로는 기동장치와 콘덴서를 결합하는 복잡한 회로로 구성되어 있으며, 기동회로 사고중 80% 이상이 콘덴서로 인한 사고이다.[1]

본 연구에서는 고압유도전동기의 역률보상용 콘덴서를 설치하여 운영하고 있는 수도사업장을 대상으로 기동특성을 측정, 분석하여 가장 안정적인 콘덴서 접속위치를 제시하였다.[2]

2. 수도사업장의 고압전동기 설치 및 운영현황

그림 2.1은 '03년 12월 시점에서 한국수자원공사에서 운영관리중인 수도사업장의 고압전동기 용량별 설치현황이다. 최소 20 kW부터 최대 3,880 kW까지 다양한 총 456대 고압전동기가 설치되어 있다.

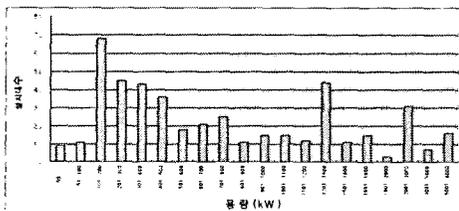


그림 2.1 수도사업장의 전동기 456대의 용량별 설치현황

수도사업장의 고압전동기중 수처리 설비용을 제외한 순수 송수펌프용을 대상으로 설치용도를 조사한 결과는 그림 2.2와 같다. 조사대상 총 456대 중에서 가압용(Booster Pumping)이 227대, 취수용(Intake Pumping)이 179대이다.

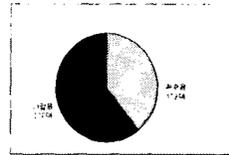


그림 2.2 용도별 설치현황

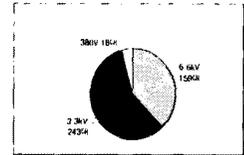


그림 2.3 사용전압별 현황

그림 2.3은 송수펌프용으로 사용되는 전동기의 사용전압별 설치현황이다. 유휴중인 사업장을 제외하고 실제 용수공급에 운용되는 420대중 3.3 kV급이 248대(58%)로 가장 많고, 다음이 6.6 kV급 159대(38%)이었고 나머지 18대는 380V 저압용이었다.

(1) 기동방식 적용현황

기동초기에 정격전류 이상의 과도 돌입전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 기동방식은 사용전압 및 전동기 종류에 따라 다를 수 있으나,[3] 수자원공사는 그림 2.4와 같이 대부분 리액터 기동방식을 채용하고 있고, 직입 및 리액터 기동회로는 그림 2.5와 같다.

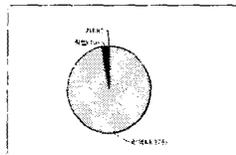


그림 2.4 기동방식 적용현황

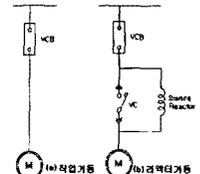


그림 2.5 직입, 리액터기동

(2) 기동회로 적용개폐기 현황

조사대상 전동기 390대의 직입 및 리액터 기동방식에서 회로 개폐기를 이용형태별로 분류하면 그림 2.6과 같이 기동회로 구성은 그림 2.7과 같다. 기동회로는 그림 2.7(b)의 VCB+VC구성회로가 44%로 가장 많이 사용하고 있다.

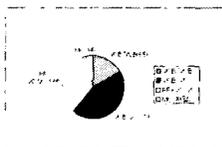


그림 2.6 개폐기 이용형태

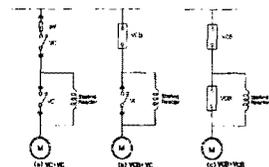


그림 2.7 기동회로 구성도

(3) 콘덴서회로 전용개폐기 사용 유무에 따른 분류
유도전동기의 역률보상용 진상콘덴서의 개폐기 결선은 그림 2.8(a),(b)와 같이 직결형과 분리형으로 구분되고

[4] 수자원공사에서는 그림 2.9의 조사현황에 나타난 것처럼 분리형에 비해 직결형을 많이 사용하고 있다.

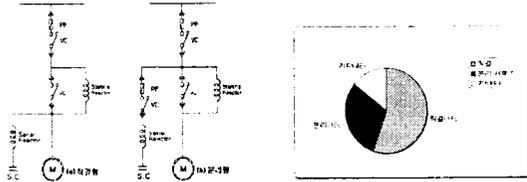


그림 2.8 콘덴서와 개폐기의 결선 그림 2.9 콘덴서 접속현황

(4) 콘덴서 접속위치별 분류

콘덴서 연결지점이 그림 2.10처럼 리액터의 앞과 뒤에 결선하여 운영하고 있는 그 비율은 그림 2.11과 같다.

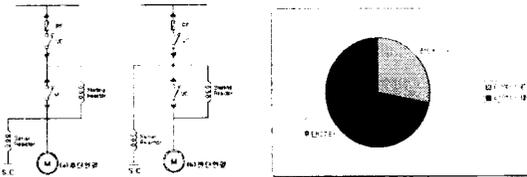


그림 2.10 콘덴서 연결지점 그림 2.11 콘덴서 접속현황

3. 고압전동기 기동특성 측정, 분석

3.1 대상 사업장 및 활용장비

(1) 측정대상 사업장

고압전동기 기동, 운전 및 정지를 빈번히 하여도 용수 공급에 지장이 없고, 회로구성 배치가 콘덴서 접속위치를 쉽게 변경할 수 있는 표 3.1의 사업장을 선정하여 실시하였다.

표 3.1 측정분석대상 사업장 선정

사업장명	전동기용량	콘덴서용량	운전형태
주남가압장	3.3kV 1000Hp(746kW)	250 kVA	직결, 분리형
팔당취수장	3.3kV 5200Hp(3880kW)	800 kVA	직결형
부여취수장	3.3kV 1500Hp(1120kW)	400 kVA	분리형

(2) 측정분석 장비 및 결선도

전동기의 기동특성 분석은 정밀도가 높고 현장측정이 용이한 전원품질분석기(DEWETRON)로 측정하였으며 측정장비사양과 보조기기들은 표 3.2와 같다.

표 3.2 기동특성 측정장비 사양

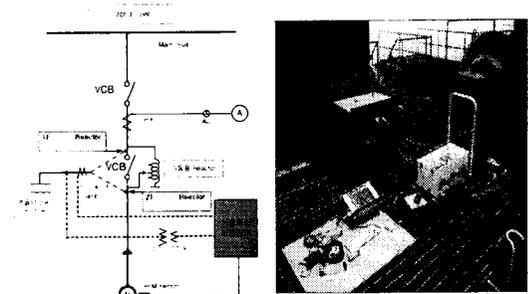
제작사	DEWETRON(모델 PNA3010), Austria
정밀도	+/- 0.05 %
측정범위	±10 V to ±1000 V
주요기능	· 전압, 전류, 전력, 역률 분석 · 고조파, 플리커 분석 · 회전수(비접촉식 센서이용)
보조기기	· CT, PT, 측정용 Cable · 측정해석 Software Program

3.2 기동특성 측정 및 분석

(1) 진상용콘덴서 투입, 차단 특성 분석

콘덴서의 접속위치가 그림 2.10처럼 리액터의 앞, 뒤에 있는데 그 접속위치에 따라 기동특성을 분석하기 위

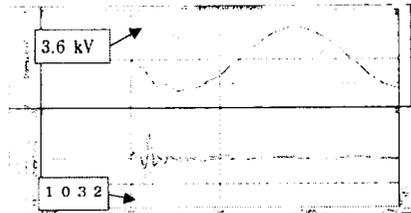
해 그림 3.1과 같이 측정회로를 구성하여 전압, 전류를 측정하였다. 측정대상은 주남가압장 전동기(3.3 kV, 746 kW)용 콘덴서(250 kVA)이다.



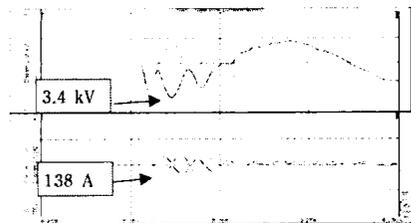
(a) 측정회로 (b)측정기 결선

그림 3.1 기동특성 측정회로 및 측정기 결선 장면

그림 3.2(a),(b)는 리액터 앞, 뒤에 콘덴서를 연결하고 측정한 전압, 전류 값이다. 두 경우 모두 기동 초기에 과도현상이 심한 것으로 나타났다



(a) 리액터 앞에 연결



(b) 리액터 뒤에 연결

그림 3.2 콘덴서 접속위치에 따른 전압, 전류 특성

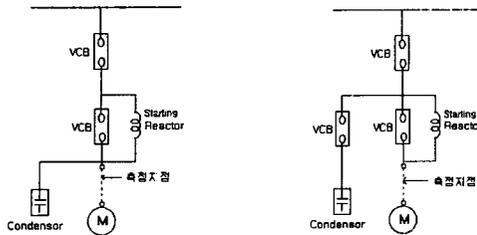
콘덴서를 기동리액터 앞, 뒤에 각각 접속하고 측정한 결과 그림 3.2와 표 3.3과 같이 전압의 변화는 적지만 전류는 콘덴서를 리액터 앞에 접속하면 첨두전류가 정격전류의 23배까지 상승하고, 뒤에 접속하면 정격전류의 3배로 상승하였다. 따라서 뒤에 연결하는 것이 안정적인을 알 수 있다.

표 3.3 리액터 앞, 뒤 접속시 측정값 비교

구분	콘덴서 정격값	운전시 측정값	기동시(peak) 측정값	
			전단설치	후단설치
전압(kV)	3.3	3.3	3.67(R)	-3.46(S)
전류(A)	43.7	44	-1,032(T)	-138(S)

(2) 콘덴서 방전특성 시험

전동기의 자기여자현상과 방전특성을 알아보기 위하여 전동기가 정지할 때 콘덴서 직결형과 분리형의 방전특성을 측정, 분석하였다. 전동기 기동회로 및 측정위치는 그림 3.3과 같다.



(a) 콘덴서 직결형(팔당) (b) 콘덴서 분리형(부여)
그림 3.3 콘덴서 방전특성 측정회로

① 직결형 방전특성

그림 3.4는 콘덴서 직결형으로 구성되어 있는 팔당취수장의 고압전동기에서 측정한 정지시의 전압과파형 변화를 나타낸 것으로, 기동반의 VCB 개방 후 전압이 즉시 0 V로 떨어지지 않고, 시간이 경과함에 따라 일정 비율로 감소한다. 이와 같은 그 이유는 전동기와 직결되어 있는 콘덴서의 충전전압 때문으로 분석된다.

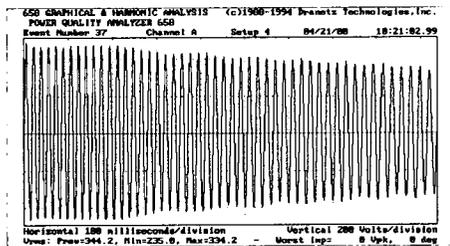


그림 3.4 직결형 방전특성(전압과형)

② 분리형 방전특성

그림 3.5는 콘덴서가 전용개폐기를 통하여 전동기 회로와 분리형으로 연결되어 있는 부여취수장 고압전동기의 정지시 방전특성을 나타낸 것이다. 전동기 기동반의 차단기 트립후 콘덴서반의 부족전압계전기(UVR) 동작 시간 만큼 방전 하다가 즉시 소멸되었다.

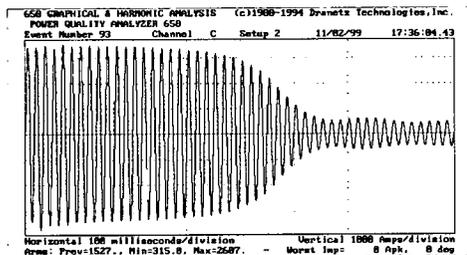


그림 3.5 분리형 방전특성(전압과형)

이와 같이 콘덴서의 방전특성을 측정, 분석한 결과 콘덴서 충전전압에 의한 자기여자 현상은 없었으나, 방전특성의 경우는 분리형이 안정적인 것으로 판명되었다.

4. 콘덴서 접속위치 최적화 방안

현장에 설치, 운영중인 설비를 대상으로 기동특성을 측정, 분석한 결과 다음과 같은 최적화 방안을 도출하였다.

(1) 역률개선통 콘덴서를 전동기 회로와 병렬로 연결하는 직결형과 분리형 방법중 분리형이 안정적인 특성을 보였다. 그리고 표 4.1과 같이 직결형의 경우는 리액터 뒤에 연결하는 것이 안전성 면에서 유리하다.

표 4.1 콘덴서 접속형태별 연결위치

접속형태	연결 위치	비고
직결형	기동리액터 뒤	특성시험
분리형	기동리액터 앞 또는 뒤	근거

(2) 기동회로의 안전성 면에서 분리형이 유리하지만 별도의 개폐장치를 필요로 하기 때문에 설치면적이 커지는 등 경제적으로 불리하다. 따라서 콘덴서 뱅크용량에 따라 회로 구성방안을 표 4.2와 같이 제시하였다.

표 4.2 콘덴서 용량별 접속방법 구분

전력용 콘덴서 뱅크용량(kVA)	접속방법	비고
100 이하	직결형	뱅크용량 구분은 접속기(VC) 고장전류 한계를 근거로 하였음[4]
101~250	직결 또는 분리형	
250 초과	분리형	

(3) 콘덴서회로의 개폐저지 저감과 기동, 정지시 과도 특성을 고려한 펌프용 고압전동기 운전제어 방법을 그림 4.1에 나타냈다. 제어방법은 전동기를 기동할 때 감전압에 의한 리액터 기동이 완료된 후 정격속도에 도달하였을 때 콘덴서를 투입하고, 정지할 때는 콘덴서 회로를 먼저 개방(VCB2)하여 전동기와 동시 차단으로 인한 불안정 현상을 해소하고, 그 후에 기동반의 주 차단기(VCB)를 개방 하는 것이 합리적인 제어순서임을 경험적으로 확인했다.

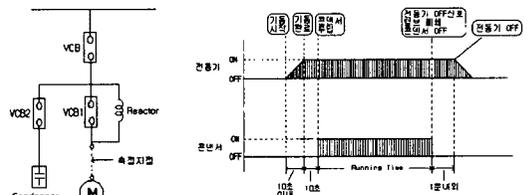


그림 4.1 콘덴서 기동, 정지 Sequence도

5. 결 론

수자원공사의 수도사업용 고압전동기의 기동회로 구성 현황을 조사 분석한 결과 리액터 기동법을 많이 채용하고 역률보상용 콘덴서 접속은 분리형보다 직결형을 많이 사용하고 있음을 확인하였다.

리액터 기동방법에서 콘덴서의 접속위치별 전압, 전류 파형을 측정, 분석한 결과 리액터 뒤에 연결하는 것이 안정적인 것이었다. 또한 전용개폐기를 사용하여 기동회로와 분리형으로 하는 것이 양호한 방전특성을 나타냈다.

이상의 연구결과를 종합하여 콘덴서 뱅크용량에 따라 회로구성방안과 기동운전의 합리적인 시퀀스를 제시하였다. 따라서 본 내용이 앞으로 전기설비 설계기준 제·개정 시 활용되었으면 한다.

[참 고 문 헌]

[1] 한국수자원공사, "전기설비 고장 및 사고사례", 2000.
 [2] 한국수자원공사, "고압전동기 On-Off시 발생하는 개폐저지 현상분석 및 저감방안 연구", 1999.
 [3] 이은용, "고압전동기용 진공차단기의 스위칭서지 해석 및 저감대책 연구" 전력 연구원, 1993.
 [4] 대한전기협회, "내선규정", 2005