

수도사업장 펌프모터(유도전동기)의 합리적 기동방법 시행을 위한 현장 실험

김기태*, 이은웅**, 이광호*
 한국 수자원공사*, 충남대학교 전기공학과**

The most appropriate starting method for induction moter

Kim, Gi-Tae. Lee, Eun-Woong. Lee, Kwang-Ho.
 Technical Diagnosis Team, Korea Water Resources Corporation,
 Chungnam National University Electrical Engineering

Abstract - When high-voltage motors are started, inrush current is rising as a serious power quality problem in terms of electric power line. So, this study is measured electrical data from induction motor's various starting method and is proposed the most appropriate starting method for induction motor at WTPs.

1. 서 론

우리공사의 경우 전동기의 구동력을 이용한 펌프로 용수를 공급하기 때문에 고압 유도전동기를 500여대 사용한다. 특히 수도사업장에서 사용하는 고압전동기는 대부분 대용량으로 기동시 돌입전류의 영향이 매우 크다. 따라서 전회로를 설계할 때 기동전류를 억제하기 위하여 적절한 기동법을 채용하고 있으나, 기동특성을 정확히 해석하여 적용하는 것이 아니라 외국의 사례 또는 경험적 바탕에서 이루어지고 있다. 그러므로 본 실험에서 기동특성을 정확히 해석하여 기계적, 전기적 충격을 줄일 수 있는 가장 효율적인 기동방식을 제시하고자 한다.

2. 유도전동기 기동방식과 특성

2.1 전전압 기동방식(직입, Full voltage starting)

전동기가 소용량일 경우 기동전류의 영향이 적으면 별도의 기동장치 없이 전전압 기동을 한다. 기동방법이 가장 간단하여 경제적이지만 용량이 큰 전동기에 정격전압을 인가하여 기동하게 되면 정격전류의 5-6배의 기동전류가 흘러 전원에 전압강하를 일으키고 다른 부하에 영향을 미친다.

대용량 전원이라도 전원의 모선 용량이 충분하고 큰 기동 회전력을 요구하는 부하에는 전전압 기동법이 사용되고 있다. 또 내선규정에 의하면 전원 변압기의 용량이 10배 이상이면 직입기동 할 수 있다.

2.2 Y-Δ 기동방식

전자개폐기를 이용하여 전동기의 인출선을 Y 결선이 되도록 하여 기동시키고 속도가 상승하여 전류가 감소하면 Δ 결선으로 변환시키는 방식으로 기동 전류 및 기동 회전력이 직입기동시의 1/3 이 된다. 이 방식은 Y에서 Δ로 결선이 전환되는 순간 무전원 상태가 되어 전류 및 회전력의 충격이 발생한다. 기동시 상전압이 델타접속의 $1/\sqrt{3}$ 로 되므로, 기동전류 및 기동토크가 전전압 기동의 1/3이 된다. 즉 기동전류는 정격전류의 200~250%정도가 되며, 기동 토크는 전부하 토크의 30~40%가 된다.

2.3 리액터 기동법

전동기 기동 회로에 직렬로 리액터를 삽입하여 전압을 낮추어 기동하고 속도가 어느 정도 가속되어 전류가 감소하면 리액터를 제거시키는 방식으로 기동회전력이 기동전류(또는 전압)의 2승에 비례하기 때문에 직입 기동방식에 비하여 떨어진다.

리액터 용량의 50~80% Tap이 있어 전동기에 가해주는 전압을 조절하여 기동시킨다. 대용량 고압전동기 기동에 많이 사용되는 방법으로 기동전류는 % Tap에 비례하고 토크는 % Tap의 2승에 비례하여 감소한다. 예를 들면 Tap 65%를 선정한 경우 기동전류는 초기치가 직입기동의 65%, 토크는 인가전압의 제곱에 비례하므로 42.2%로 작아진다.

그러나, 전동기가 가속됨에 따라 전류의 시간적 변화가 없어지기 때문에 전동기의 단자 전압은 상승하여 가속이 빨라지고 따라서 회전력도 커지는 이점이 있다.

2.4 기동보상기 기동방식

기동할 때 단권변압기 Tap을 사용하여 전전압의 50~80% 정도로 전동기에 전압을 공급하여 기동전류를 감소시키는 방식으로 가속 후 전전압으로 절제할 때 큰 돌입전류가 생길 우려가 있다. 이런 단점을 보완하기 위해 기동 후 가속되면 단권변압기의 중성점을 열어서 변압기 코일의 일부를 리액터로 이용하여 운전한 후 마지막으로 이 리액터를 제거하여 전전압이 인가되게 하는 3단계 전압 제어 방식인 콘돌과 방식이 사용된다. 전원에 끼치는 영향이 리액터 기동방식에 비하여 적어서 수전 전원용량이 작은 경우

유리하다.

2.5 Soft Starter

Thyristor 점호각을 제어하여 전동기 기동전류를 조정하는 방식으로 별도의 차단기 설치가 필요 없고 기동시 전동기 등에 가해지는 전기적, 기계적 충격이 가장 적다. 초기 설치비용이 높으나 에너지 절약으로 운전비용이 적게 들고 유지보수 비용도 절감되어 이 방식의 적용이 점진적으로 확대되고 있는 추세이다. 반면에 비선형 특성인 싸이리스터에 의한 고조파가 발생하는 단점이 있으나 기동이 완료되면 바이패스 회로로 전환시켜 제거한다.

2.6 권선형 전동기 저항기동방식

권선형 전동기는 회전자 권선에 외부에서 기동 저항을 연결하여 기동토크를 크게하고 속도 상승에 따라 기동저항을 단락시켜 농형전동기에 비해 순조로운 기동특성을 얻을 수 있으며 기동저항의 크기와 단락시간, 단락 저항 크기가 기동 특성에 큰 영향을 준다.

- (1) 균등단락 : 회전자 권선 각 상에 동일한 저항을 삽입하고 개폐기나 Controller로 각 상 동일한 저항값을 동시에 단락해 가는 방식으로 이상적인 방식이나 단락 순간의 전류의 변화는 불균등 단락 방식보다 다소 떨어진다
- (2) 불균등단락 : 회전자에 삽입하는 저항이 불균등한 방식으로써 기동 회전력 또는 기동중의 회전력이 크게 문제시 되지 않거나, 부하에 충격이 덜하고 선형적 속도 특성의 요구에 잘 부응한 기중기, Conveyor, Pump, compressor 등에 사용된다.

3. 기동방식별 특성 시험 및 분석

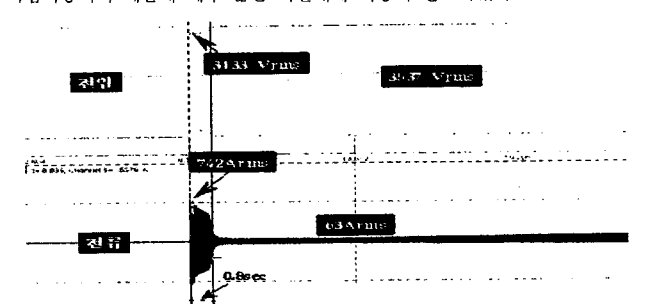
각 기동방식별 특성분석을 위하여 수도사업장에 사용되는 유도전동기 종류 중 <표1>과 같은 사양을 가진 전동기를 대상으로 시험·분석하여 가장 안정적인 기동방식을 제시하고자 하였다.

표1. 특성시험 모터의 사양

기동방식	모터용량(kW)	정격전압(kV)	정격전류(A)
전전압 기동	585	3.3	125
Y-Δ 기동	250	0.4	422
리액터 기동	850	6.6	92
기동보상기 기동	320	0.4	561
소프트스타트	185	0.38	342
저항기동(권선형)	36	0.38	72

3.1 전전압기동방식(직입, Full voltage starting)

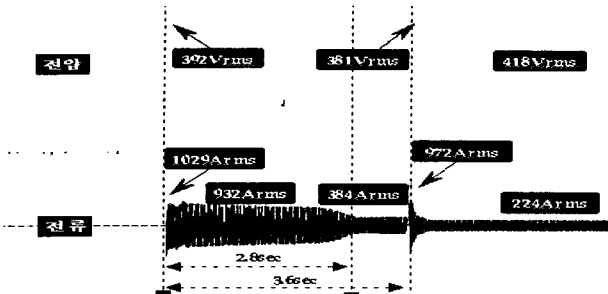
직입 기동시 전동기 입력전압은 3133V(실효치)로써 운전전압(3537V)의 89%로 11%의 전압강하가 발생되었으며 기동시 최대전류는 742A로 정격전류(125A)의 약 5.9배가 흘렀다. 또 기동시간은 스위치 투입 후 약 0.8sec로 직입기동이기에 때문에 매우 짧은 시간내에 기동이 완료되었다.



<그림 1> 전전압 기동 특성

3.1 Y-Δ 기동방식

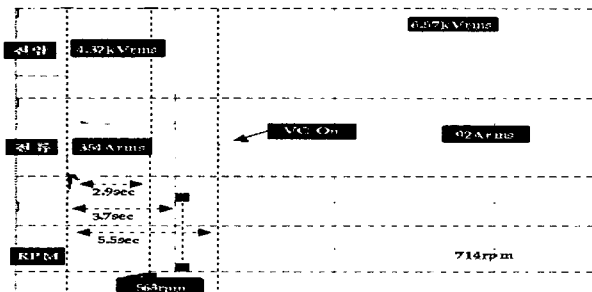
Y-Δ 기동시 입력전압은 392V(실효치)로써 운전전압(418V)의 94%이고 기동전류는 1029A로 정격전류(422A)의 약 2.5배였다. 또 기동시간은 스위치 투입 후 약 2.8sec에 기동이 완료되었으며 Δ 운전용 전자접촉기가 투입될 때 순간적 무전원 상태에 따라 운전전류의 약 4.4배에 해당하는 돌입전류가 발생하였고 그 순간 운전전압의 91%까지 전압강하가 일어났다.



〈그림 2〉 Y-Δ 기동 특성

3.3 리액터 기동방식

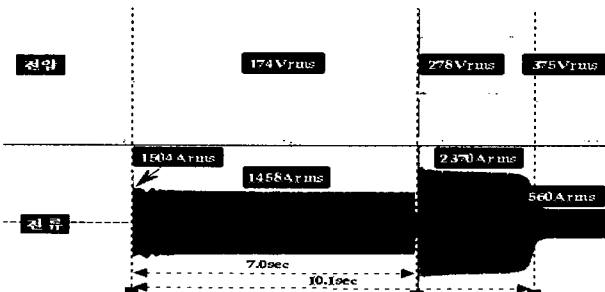
기동리액터의 65% Tap 에서 기동시 전압, 전류, 속도상승등의 특성을 분석해 보면 입력전압은 4.32kV(실효치)로써 운전전압(6.57kV)의 66%로 감압되었고 기동전류는 354A로 운전전압(552.6A)의 64%, 정격전류(92A)의 약 3.8배가 흘렀다. 또한 기동 후 약 2.9sec후에 리액터에 의한 감전압이 완료되었고 3.7sec후에 정격속도(714rpm)에 도달하였으며, 약 5.5sec에 직입용(운전용)VC가 투입되는 등 시퀀스 제어가 효과적으로 이루어 졌다.



〈그림 3〉 리액터 기동 특성

3.4 기동보상기 기동방식

기동보상기로 전동기에 인가되는 전압을 3단계로 제어하여 공급하였으며 기동 초기에 전압은 174V(운전전압 대비 46%)이고 중기 전압은 278V(운전전압 대비 74%), 3단계 전압인 운전전압 375V가 단계적으로 인가되는 양호한 전압제어가 이루어지고 있다. 또 기동전류는 초기 1458A, 중기 2370A, 말기 560A로 정격전류 대비 2.6배로 기동하여 4.2배 까지 점진적으로 증가하는 특성을 나타내고 있다. 기동시간은 스위치 투입 후 초기운전 7.0sec, 중기운전 3.1sec 등 모두 약 10.1sec에 전동기가 정상 운전되었다.

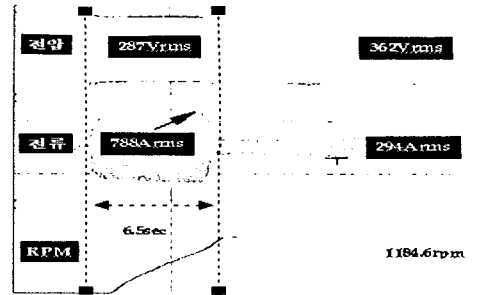


〈그림 4〉 기동보상기 기동 특성

3.5 Soft Starter

소프트스타트는 전력용 반도체 소자에 의한 전압 위상제어를 하는 방식으로 기동 초기 전압은 약 287V(실효치) 이었으며, 운전전압은 362V(실효치)로 초기 전압제어가 제대로 이루어졌다. 기동전류는 전압 제어량에 따라 0A에서 788A(실효치)까지 서서히 증가하였고 이는 정격전류(341.8A)의 2.3배에 해당된다. 또 기동시간은 기동 후 6.5sec만에 정격속도(1184rpm)에 도달하는 것으로 측정되었다.

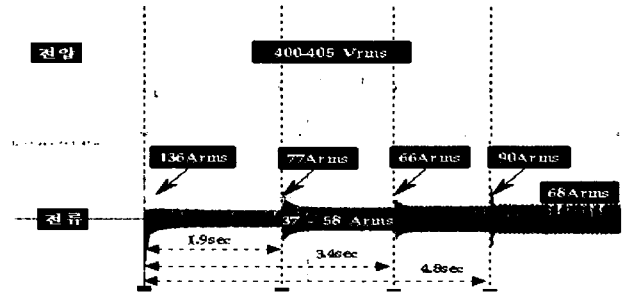
기동초기 전압과 전류의 증가가 가장 순조롭고 기동 토크의 감소가 적어 정격속도에 도달하는 시간이 양호하다



〈그림 5〉 Soft Starter 기동 특성

3.6 권선형 전동기 저항기동방식

권선형 유도전동기에 리액터 대신 기동저항기를 넣어 제어하는 방식으로 기동전압이 400~405V(실효치)로써 운전전압(405V)과 같고 기동전류는 37~58A 까지 점진적으로 증가하였으나 저항기의 제어 순간에 136~66A까지 돌입전류가 발생하였다. 기동저항기가 스위치 투입 후 약 1.9sec, 3.4sec, 4.8sec에 단계별로 동작하였으며 기동시간은 약 4.8sec에 전동기가 정상 운전되었다.



〈그림 6〉 저항 기동 특성

4. 기동방식별 특성 평가

전동기 기동시 모션전압은 전동기가 운전될 수 있고 보호계전기가 동작하지 않도록 유지되어야 한다. 전동기에 정격전압의 70% 전압이 인가되면 일반적으로 토크는 정격의 49% 정도가 발생하게 되며 만약 부족전압 상태에서 가속시간이 길어지면 회전에 발생하는 열(Heating)이 내열한계를 넘어서 전동기가 소손 할 염려가 있다.

전전압 기동은 기동시간은 짧으나 기동전류가 과대하여 모션의 전압강하 현상이 심하고, Y-Δ 기동은 Y 에서 Δ 결선으로 전환 시 무전원 현상이 발생하면서 운전전류의 약 4.4배에 해당하는 돌입전류가 흐르고 이때 기계적, 전기적 회전력의 충격이 발생한다. 그러므로 전전압 기동과 Y-Δ 기동 방식은 일정 규격 이하의 저압 소용량 전동기에 많이 적용되고 있다.

리액터 기동은 단락용 개폐기가 동작하기 전에는 리액터로 전류가 흐르며 이때 흐르는 전류의 시간적 변화 크기에 비례한 역기전력 만큼 감전압(減電壓)을 일으켜 기동전류를 제한한다. 부속장치와 제어방식이 간단하여 현재 수도용 고압전동기에 가장 많이 채택하고 있는 방식이다.

기동보상기 기동은 단권변압기 기동에서 전전압이 인가될 때까지 단계별 전압제어를 수행하게 되어 순차 기동이 가능하나 전동기 용량보다 매우 큰 용량이어야 하기 때문에 리액터 기동보다 고가인 단점이 있다.

전력전자기술의 발달과 함께 오늘날 점진적으로 확대되는 소프트스타터는 기동전류가 정격전류의 2배 정도로 전기적 기계적 충격이 가장 적은 기동 방식으로 향후 고압 대용량 전동기에도 권장 될 만한 방식이다.

권선형 전동기의 저항기동 방식은 전압강하가 없고 기동전류의 순차적 제어가 가능하나 저항기의 제어순간에 큰 돌입전류가 발생한다.

5. 결 론

무인 원격으로 운영되고 있는 수도사업장의 전동기는 대부분 대용량이므로 기동시 큰 돌입전류의 영향으로 짧은 시간이지만 전압저하 등 아주 중요한 전력품질문제를 일으킨다. 또 외란에 매우 민감한 컴퓨터와 같은 전력 전자 장비들이나 속도조절장치 그리고 감시제어설비의 오류를 발생시키기도 한다. 그러므로 본 논문에서 시험 및 분석한 전동기가 용량 및 사용전압이 서로 상이하여 기동방식별 특성비교를 대변(代辯)하기에는 미흡하지만 전동기의 기동특성이 가장 우수함이 입증된 소프트스타트 방식을 채용하여 계통의 영향을 감소시키고 제어시스템의 오류를 없애야 한다.

또 현재는 소프트스타트 방식이 저압 소용량 전동기에 주로 사용되지만 고압 대용량 전동기에 채택될 때 문제는 계속 분석해야 할 연구과제이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국수자원공사, "전동기 기동반 표준화방안 연구", 2004
- [2] 한국중전기 "유도전동기 유지·보수", 1999
- [3] 한국수자원공사, "IRAQ ERBIL - Ifrac Project 기술진단보고서", 2005