

역률개선 콘덴서를 이용한 유도전동기 기동특성 분석

손석금*

Induction Motor Starting Characterization with Power Factor Correction Capacitors

Seok-Geum Son*

요약 본 논문은 대용량 유도전동기의 기동특성을 분석하였다. 유도전동기 토크는 전류와 자속의 곱으로서 이 자속을 발생시키기 위해서는 여자전류에 해당되는 무효전력이 필요하다. 유도전동기에 필요한 무효전력을 공급하는 방법으로 역률 보상장치를 사용하여 전원측을 대신하여 공급하는 방법을 많이 사용하는데, 역률 보상장치를 사용할 경우 피상전력을 줄일 수 있어 역률을 향상시킬 수 있다. 역률을 개선하기 위한 보상장치를 설치하는 방법으로 부하마다 설치하는 경우와 전체를 일괄 보상하는 방법으로 고압 대용량의 부하로서 일정한 운전패턴을 가지고 있는 경우에는 주로 개별보상이 주로 사용된다. 일반적으로 대용량 유도전동기는 기동 보호장치를 이용하지만 이 논문은 전전압 기동시의 특성을 분석하는 가상의 상황을 가정하여 기동특성에 대한 이론과 실제의 운전특성을 측정 분석하고 역률개선 콘덴서를 이용하여 기동특성을 개선해 보았다.

Abstract Induction motor torque is the reactive power is needed which corresponds to the exciting current to generate the magnetic flux as the product of current and flux. For use in the method of supplying the required reactive power to the induction motor power factor correction apparatus using a lot of ways to supply in place of the power supply side, when using a power factor compensation device can reduce the apparent power, the power factor can be improved. However, the distance to the emergency generator transformers or motors from the motor capacity is smaller but short and difficult to maneuver the theory and practice of the operating characteristics of the starting characteristics of the motor used a lot of large industrial plants were measured and analyzed. Therefore, this study investigated the motor starting Analysis and interpretation for the relationship with the large motor starting torque and speed during motor starting.

Key Words : Induction motor, High-Power Induction Motor, Motor Starting, Power Factor, Starting Current

1. 서론

유도 전동기는 다른 전동기에 비해 튼튼하고 가격이 저렴하여 일정한 속도를 필요로 하는 부하의 운전에 가장 많이 사용되고 있다[1].

유도전동기에 사용하는 대부분이 농형유도전동기로 보수가 용이하고 장시간 연속운전에도 견디는 회전자 구조의 전동기이다. 유도전동기가 정지 상태에서 기동을 시작할 때 기동토크를 만들기 위

해 정격 전류의 5배 정도의 돌입전류가 흐르게 되고 이 과정에서 초기 매우 큰 돌입전류에 의한 전압강하로 기동을 실패하게 되는 경우도 발생한다 [2-3].

전동기는 부하의 요구에 따라 토크를 발생하고 토크의 크기에 따라 속도가 변하는 것이 보통으로 부하를 증가시키면 어느 값까지는 회전속도가 내려가면서 토크는 증가하지만 점점 부하가 늘어나면 최대 토크의 한계에 도달하여 그 이상에서는

This work was performed by the 2016 year, school funding Osan University.

*Corresponding Author : Department of Electrical, Osan University(skson@osan.ac.kr)

Received May 10, 2017

Revised May 16, 2017

Accepted June 24, 2017

전동기가 정지한다. 이처럼 전동기 속도와 토크 관계를 나타낸 것이 속도-토크 곡선이며, 전동기의 특성을 결정하는 중요한 요소로 작용한다[4].

유도전동기 토크는 전류와 자속의 곱으로서 이 자속을 발생시키기 위해서는 여자전류에 해당되는 무효전력이 필요하다[1]. 유도전동기에 필요한 무효전력을 공급하는 방법으로 역률 보상장치를 사용하여 전원측을 대신하여 공급하는 방법을 많이 사용하는데, 피상전력을 줄일 수 있어 역률을 향상시킬 수 있다.

역률을 개선하기 위한 보상장치를 설치하는 방법으로 부하마다 설치하는 경우와 전체를 일괄 보상하는 방법으로 고압 대용량의 부하로서 일정한 운전패턴을 가지고 있는 경우에는 주로 개별보상이 주로 사용된다.

일반적으로 변압기부터 전동기까지의 거리가 길지 않고, 전동기 용량이 작아 기동에 대한 어려움이 없으나 산업설비 등에 많이 이용되는 대용량 전동기의 기동특성에 대한 이론과 실제의 운전특성을 측정 분석하고 역률개선 콘덴서를 이용하여 기동특성을 개선해 보았다.

따라서 전력계통에서 대형전동기의 기동 시 전압강하로 인하여 기동불능 또는 인접 설비에 나쁜 영향을 미치게 된다. 그러므로 대형전동기는 계획 단계에서부터 기동상태를 해석하여 대책을 수립하고 전동기 기동 검토 및 필요성, 문제점과 현상 등을 기준[4,5]으로 역률개선을 분석하여 최적 운영방안에 활용하고자 한다.

2. 전동기의 기동해석

2.1 전동기 기동해석에 요구되는 조건

력에너지를 사용하는 산업체에는 많은 전동기들이 사용되고 있으며 오늘날 에너지 이용의 경제성 등으로 인하여 이들 전동기들은 그 용량이 점차 증대되고 있는 추세이다. 전동기는 기동 시 기동전전류로 인하여 전압강하가 발생한다. 전력계통에서 대형 전동기 기동 시 전압강하로 전동기 자체의 어려움은 물론 인접한 모선 전압 저하로 타 부하

에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 대형 전동기는 계획 단계에서부터 전동기 기동상태를 해석하여 요구 기동전압, 회전자 구속전류, 기동시간을 사전에 전동기 기동방안을 수립하여야 한다[6].

2.2 소용량 전원계통에 연결된 전동기

대용량 전력계통인 전력회사와 연계되어 있지 않은 소규모 전원에서 전동기를 기동할 때, 기동 시 전압강하로 인하여 문제가 될 수 있다.[6]

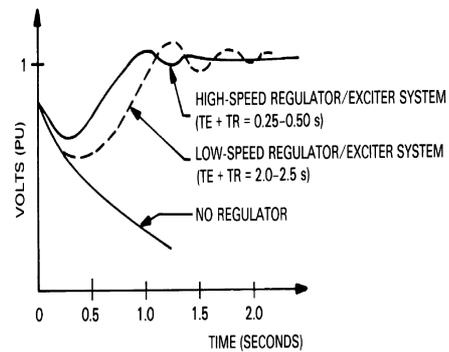


그림 1. 발전기의 단자전압 특성
Fig. 1. Terminal voltage characteristic of the generator

소규모 전력계통은 자가 발전 설비만이 주요구성요소로 되어 있어, 자가발전기 임피던스가 상대적으로 크고 이에 따라 전동기 기동 시 매우 심각한 전압 강하가 유발 될 수 있다. 그리고 발전기에 적용된 전압제어 시스템 형태에 따라 전동기 기동 시 그림 1과 같이 다양한 전압강하 양상을 나타내게 된다. 따라서 자가발전 설비만을 구비하고 있는 소규모 전력계통에서 전동기 기동을 정확히 해석하기 위해서는 전동기 기동해석 프로그램으로 전동기 기동시의 발전기 과도특성 및 여자기 응답특성 등이 정확히 반영되어야 한다.

2.3 유도전동기의 기동시간

전동기의 기동해석을 하려면 이 기동시간이 필요하므로 전동기의 제작자로부터 자료를 획득하여 식(1)을 이용하여 계산하여야 한다.

$$t = k \times \frac{GD^2}{T} [s] \quad (1)$$

여기서, GD^2 : [전동기의 GD^2] + [전동기 축으로 환산한 부하의 GD^2] [$N \cdot m^2$]

T : 가속 토오크 [$N \cdot m$]

k : 상수(cu 의 경우 5.16×10^{-3})

유도전동기의 기동시간은 부하의 관성에 비례하고 전동기의 가속도에 반비례한다. 가속토크는 전동기 토크와 부하토크의 차이이며, 그림 2에서 전동기 토크는 T_M 부하토크는 T_L 이며, 사선부분이 가속토크에 해당된다.

부하 토크 T_L 은 전동기 토크 T_M 보다 크게 되어 전동기 속도가 저하하고, 부하의 속도가 미달하면 전동기 토크 T_M 이 부하토크 T_L 이 보다 크게 되어 전동기는 가속되어 안정된다.

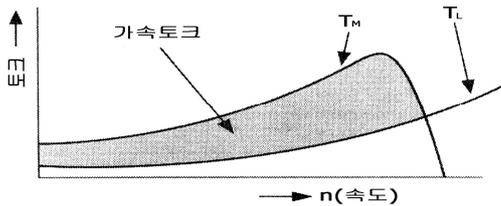


그림 2. 전동기 속도-토크특성 곡선
Fig. 2. Motor speed-torque characteristic curve

2.5 전동기 기동 중 토크특성의 변화

식(2)와 같이 전동기의 토크와 전압의 관계에서와 같이 전압의 감소는 전동기 토크의 급격한 저하를 야기할 수 있다[7].

$$T \propto V^2 \quad (2)$$

여기서 T : 전동기 토크(Torque)

V : 전동기 단자전압

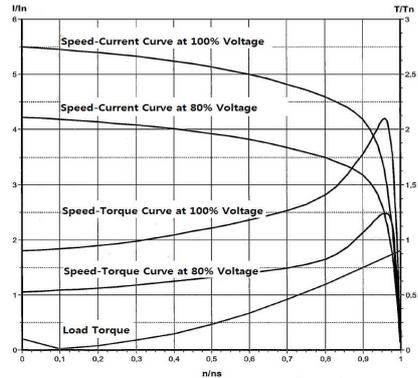


그림 3. 전동기 속도-전류 특성 곡선
Fig. 3. Motor speed-current characteristic curve

그림 3은 제작사로부터 제공된 실제 자료를 이용해서 작성한 속도-토크변화, 속도-전류변화 그래프이다. 그림에서와 같이 전압이 저하됨에 토크 곡선이 감소 부하토크와의 간격이 더 좁아진다. 부하의 종류에 따라 부하토크 곡선에서 부하의 기동토크가 비교적 큰 경우 전동기의 기동이 어려워진다.

3. 사례연구를 통한 전동기 기동해석

3.1 시험방법

그림 4는 사례연구에 사용한 고압유도전동기를 대상으로 시험을 실시 한 시뮬레이션 계통도로서 전체부하 용량을 나타내고 있다. 그림 4 시뮬레이션 계통을 구성한 주요 데이터는 제조사에서 제공한 것으로 전동기의 속도-토크 특성은 표 1과 같다.

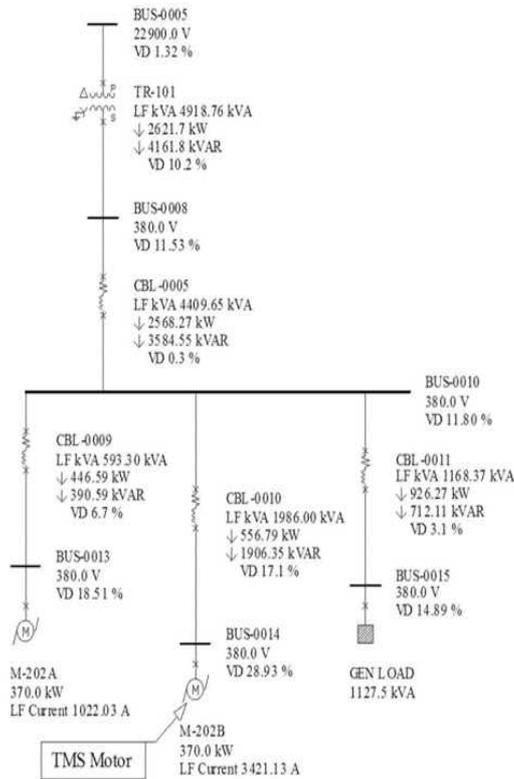


그림 4. 시뮬레이션 계통도
Fig. 4. Simulation system diagram

표 1. 전동기의 속도-토크 특성(실 자료 예시)
Table 1. The motor speed-torque characteristics

Speed(pu)	Torque(pu)
0.000	0.756
0.100	0.756
0.200	0.756
0.300	0.788
0.400	0.809
0.500	0.861
0.600	0.893
0.700	0.945
0.800	0.987
0.850	1.092
0.900	1.250
0.950	1.775
0.975	2.300
0.987	1.000
1.000	0

전동기의 일반 특성은 정격전압 380[V], 전격전류 832.8[A], 정격출력 370[kW], 회전수 514.29[rpm], 극수 14극 기동전류 4,817[A] (5.784PU) 전동기를 사용하였으며, 또한 차단기는 (ABC S/S) 3상 350[MVA]로 저항 R=0.035438[PU], 리액턴스 X=0.283508[PU]로 X/R=8이며 변압기(TR-101)은 용량 3,000[kVA], 정격전압 22.9/0.38[kV], %임피던스 7, X/R 10.8로 Δ -Y 결선이다. 케이블(CBL-0010)은 정격전압 380[V], F-CV 1C*3으로 185m² 병렬도체수 2, 길이 175[m] 케이블을 사용하였다.

3.2 전동기 기동해석 및 분석

표 1 전동기의 속도-토크 특성에서 선정된 전동기 용량을 기준으로 380[kW] 전동기 전전압 기동 중 각 모션에서 나타내는 전압은 POWER TOOL 프로그램으로 시뮬레이션하여 전동기 기동을 분석한 결과 기동 시 전압강하 28.93[%], 전력조류는 3,378[kVA], 전압강하가 5.8[%] 발생하여 변압기에서의 전압강하가 크다. 전동기 운전시 단자에서의 전압강하가 13.07[%]로 인하여 전류가 958.03[A]로 전부하전류 832.8[A]의 1.15배가 되어 전동기 과열 원인이 되며 전동기 전원공급 케이블의 전압강하가 6.3[%]로 상당히 높고, 토크 특성곡선에서 전동기 토크와 부하토크의 크기가 거의 같아 가속토크가 적어 기동에 실패하였다.

전동기 기동 해석 결과 변압기 용량 증대 또는 케이블의 굵기를 크게 하는 것과 같은 회로 변경을 실시하거나 또는 별도의 기동방안을 결정하여야 한다.

4. 전동기 기동 개선

4.1 역률개선

그림 5와 같이 모션에 1,000[kVA]용량의 캐패시터를 설치하여 역률을 76.5[%]에서 92.8[%]개선하고 시뮬레이션 한 결과로서 아래의 표 2에 정리하였다.

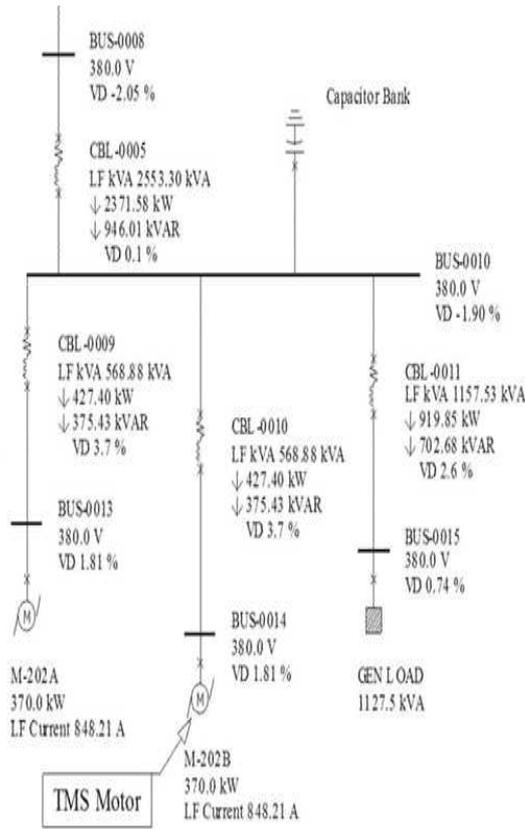


그림 5. 개선 후 시뮬레이션 계통도
Fig. 5. Improved after Simulation system diagram

표 2에서와 같이 모선에 1,000[kVA]용량의 캐패시터를 설치하여 역률을 76.5[%]에서 92.8 [%] 개선하고 POWER TOOL 프로그램으로 시뮬레이션하여 전동기 기동을 분석한 결과 기동 시 전압강하 17.43[%], 전력조류는 2,623[kVA]로 분석되어 전동기는 기동에 성공하다.

표 2. 개선 후 시뮬레이션 결과

Table 2. After the simulated results improved recreation

구분		결과
기동 시	BUS-0014 VD[%]	17.43
	BUS-0010 VD[%]	4.5
	Cable VD[%]	12.9
운전 시	TR 전력조류[kVA]	2,623
	TR 전압강하[%]	-2.0
	Cable VD[%]	3.7
	BUS-0014 VD[%]	1.81
	전동기 운전전류[PU]	1.018
TMS	BUS-0014 VD[%] t=0.1	17.5
	BUS-0014 VD[%] t=0.1	1.2

그림 6 개선 후 전동기 부하 토크 특성 곡선에서 전동기 토크와 부하 토크의 크기가 확연히 차이가 나서 가속 토크가 크게 작용하여 안전하게 전동기 기동을 성공하였다.

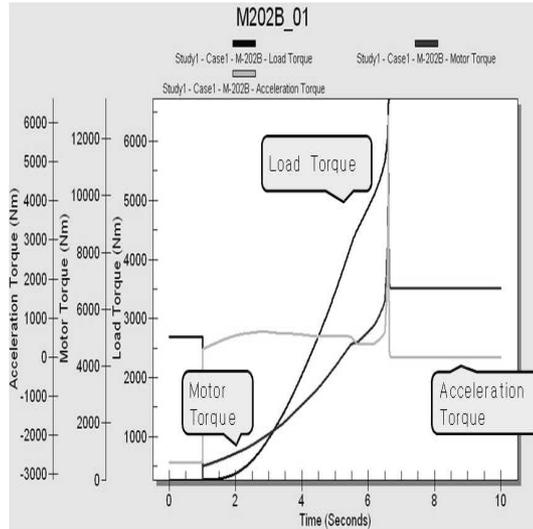
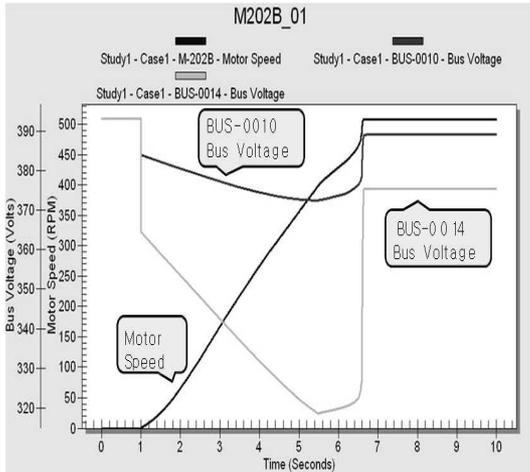


그림 6. 개선 후 전동기 부하 토크 특성 곡선

Fig. 6. Improved after the motor load torque characteristic curve



BUS-0010 : VD 3.1% → -2.4% BUS-0014 : VD 17.5% → 1.2%

그림 7. 개선 후 전동기 속도 모션 전압 특성
Fig. 7. Improve motor speed after the bus voltage characteristics

그림 7 개선 후 전동기 속도 모션 전압 특성 곡선과 전동기 기동시 전압강하가 17.43[%] 운전시 변압기 전압강하 -2.0[%], 운전시 모션에서의 전압강하가 1.81[%]로 가속 토크가 크게 작용하여 전동기 속도가 저감되지 않고 또한 전동기 전원공급 케이블의 전압강하가 1.2[%]로 상당히 낮게 나타나는 것으로 분석 되었다.

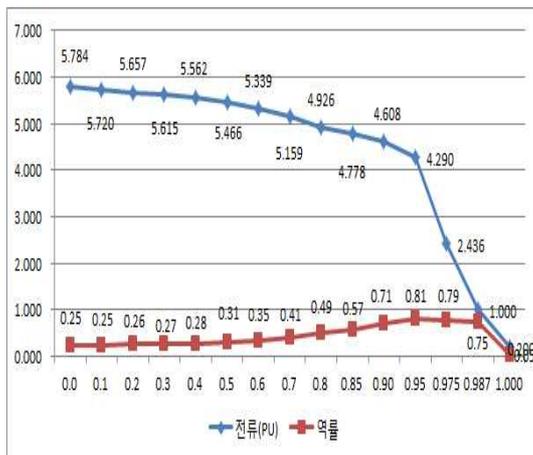


그림 8. 전동기 전류-역률 특성 곡선
Fig. 8. Motor current-power factor characteristic curve

그림 8 전동기 전류와 역률 특성 곡선에서 나타난 것처럼 역률이 좋을수록 전류가 감소되는 것을 볼 수 있다.

따라서 역률을 개선하므로 전동기 기동에 중요한 역할을 하였다.

5. 결론

본 논문은 대용량 유도전동기의 사례를 기준으로 유도전동기의 기동 시 속도-토크 특성을 분석하였다. 현장에서 대용량 유도전동기를 기동 시 기동토크 부족으로 인한 기동실패는 전동기 단자에서의 전압강하가 개선으로 전동기 토크가 부하토크보다 크게 되어 정상적인 기동이 가능해 졌으며, 전압강하의 원인은 변압기 탭의 조정 및 전동기 전원공급 케이블의 굵기를 조정하고 역률을 개선하여 기동 특성을 개선하였다.

따라서 대용량 유도전동기 기동해석으로 분석한 결과 기동시간 및 기동전류, 전압강하를 모두 고려하여 기동 시 역률 개선이 전동기 기동법의 최적 기동 조건임을 확인 하였다.

REFERENCES

- [1] Jong-Gyeum Kim, "A Research on Self-excitation and Power Factor Compensation of Induction Motor", KIEEME Vol 63P, No.4, 2014
- [2]. "IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power System Analysis" 9.2.2, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, IEEE Std 399-1997
- [3] IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants, ANSI/IEEE Std. 141,1986
- [4] K-water "Large motor starting characteristic analysis report", 2012
- [5] Lee Eun-Chun, Kim Jae-Cheol, "Analysis on Induction Motor Starting

KIEEME Vol. 26, No. 5, 2013

- [6] Yi Jo Son, "Power System Analysis and Optimization Technology", Munundang, 2014
- [7] Seung-Jae Lee 외6, " Study on Emergency Generator Capacity Selection(PG3) in the Chemical Plant" KIEE Vol.29, No.12, 2015
- [8] Yi Jo Son, "IEC 60606 Short Circuit Study", SAEHONG ENGINEERING & CONSULTANT CO., LTD. 2013
- [9]. Yi Jo Son, "power Tools for Windows, Fault Current Calculation and Coordination", SAEHONG ENGINEERING & CONSULTANT CO., LTD. 2008
- [10]. Power Tools Manual, SKM, 2006

저자약력

손 석 금 (Seok-Geum Son)

정회원



- 1969년 8월 10일 생
- 2012년 2월 숭실대학교 전기공학
학과 졸업 (공학박사)
- 발송매전 기술사
- 2014년 2월 ~ 현재 : 오산대학
교 전기과 교수