

안정도 해석프로그램을 이용한 유도전동기 기동 해석

오동환, 한무호, 이강완
 주식회사포스코, 포항산업과학연구원, 대화기술단

A Study on the Induction Motor Starting by Using Transient Stability Program

Dong Whan Oh, Mu Ho Han, Kang Wan Lee
 POSCO, RIST, DAEHWA Engineering & Consultants

Abstract - 자가발전기가 운전되는 산업체 전력계통에서 대형 유도전동기 기동 특성을 안정도 해석 프로그램을 이용하여 해석하고 과도한 기동전류로 발생하는 전압강하 문제를 해결하기 위해 기동방안을 모의하여 적정성을 검증한 실계통 적용 연구사례이다.

1. 서 론

대량의 전력에너지를 사용하는 산업체에는 많은 대형 유도전동기들이 사용되고 있으며 오늘날 에너지 이용의 합리화 등을 이유로 이들 유도전동기들은 그 용량이 점차 증대되고 있는 추세이다. 전력계통에서 대형 유도전동기 기동은 과도한 기동전류로 전압강하가 발생하여 전동기 기동 어려움은 물론 인접전력 설비에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 전력계통에 대형 유도전동기가 설치 운영될 경우 이에 관련된 변압기 용량 및 전력케이블의 굵기를 선정하고 적정 전동기 기동 방안을 결정해야 된다. 특히 자가발전기가 운전되고 있는 산업체 전력계통의 경우 유도전동기 기동에 영향을 미치는 인접 발전기 과도 특성 및 발전기 여자기 응답 특성이 반영되어야 한다.

2. 본 론

2.1 전동기 기동 해석

유도전동기는 기동시 과도한 기동전류로 인하여 전압강하가 발생한다. 일반적으로 발전기가 없는 전력계통에서 변압기 KVA용량의 30% 이상 마력(hp) 유도전동기가 설치될 경우는 이의 기동상태를 검토해야한다. 유도전동기 기동시에는 전압강하가 발생하며, 유도전동기 기동시 허용전압은 부하토크 특성에 따라 다르다. 유도전동기 최소 기동전압은 정격전압의 80% ~ 90% 범위로 다양하다. 다음 표1은 전동기 기동시 기동전류 및 인접 전력설비의 최소 허용전압을 나타낸 것이다.

표1 전동기 기동시 허용전압

전압강하 위치	최소허용 전압(%정격)
기동전동기 단자	80
다른 전동기 단자	71
교류 접점 제어설비	85
직류 접점 제어설비	80
정지형(Solid-State) 제어설비	90
조명 플리커 인지	3% 변화

전동기 기동 해석은 전동기 기동시 기동전류, 전압강하, 토크, 스립 및 효율 등을 규명하는 것으로 조류계산을 이용한 정적인 전동기 기동해석과 안정도해석을 이용한 동적인 전동기 기동해석 2가지가 있다. 조류계산을 이용한 전동기 기동해석은 전동기 기동시 전력계통에 나타나는 최대 전압강하 상태를 규명하는 것이다. 안정도해석을 이용한 것은 전동기 기동시간에 대한 기동전류,

전압, 토크, 스립 및 역률 등의 동적인 변화 상태를 규명하는 것이다.

2.2 유도전동기 모델링

유도전동기는 1차와 2차권선이 회전자속을 중간에 놓고 서로 유도작용에 의하여 전압, 전류를 발생하므로 등가 변압기로 놓을 수 있고 이것에 의하여 등가화 모델을 만들 수 있다.

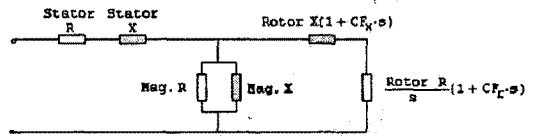


그림1 유도전동기 등가모델

그림1은 유도전동기 등가 모델이고 그림2는 이를 등가회로로 바꾼 것이다.

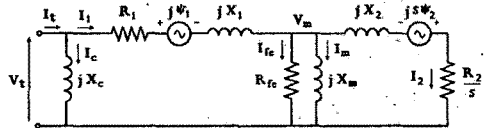


그림2 유도전동기 등가회로

전동기 입력데이터

- 형식 : 농형(Squirrel cage rotor)3상유도전동기
- 온도계급 : F
- 정격출력 : 7850kW
- 정격전압 : 11kV
- 정격전류 : 466A
- 역률 : 0.91
- 효율 : 97.2%
- 무부하전류 : 95A
- 구속토크 : 0.93p.u.
- 구속전류 : 7.0p.u.
- 기동시간 : 5초
- 관성정수 : 0.526tm²

표2 전동기 속도 - 토크

속도[p.u.]	토크[p.u.]
1.0	0.88
0.8	0.61
0.6	0.39
0.4	0.21
0.2	0.11

유도전동기 제작사로부터 취득한 자료를 이용하여 다음과 같은 방법으로 유도전동기 모델링을 위한 각종 등

가임피던스를 계산할 수 있다.

$$RTOT = R_s + R_r \times (1 + CF_r) = \frac{1000 \times kWLR}{3 \times ILR^2}$$

$$XTOT = X_s + X_r \times (1 + CF_x) = \sqrt{[(\frac{1000 \times kVLR}{\sqrt{3} \times ILR})^2 - RTOT^2]}$$

$$X_r = \frac{XTOT}{1 + \frac{X_s}{X_r} + CF_x}, \quad X_s = \frac{X_s}{X_r} \times X_r$$

$$R_s = \frac{1000 \times (kWLR - kWfrc)}{3 \times INL^2}, \quad R_r = \frac{RTOT - R_s}{1 + CF_r}$$

$$ag = \frac{[Re(ZNL) - R_s]^2 + [Im(ZNL) - X_s]^2}{Re(ZNL) - R_s}$$

$$XMag = \frac{Re(ZNL) - R_s}{Im(ZNL) - X_s} \times ag$$

여기서

$kVLR, ILR, kWLR$: 구속시험의 전압, 전류 및 전력

$kVNL, INL, kWNL, PFNL, kWfrc$

무부하시험의 전압, 전류, 전력, 역률 및 철손

LR : Locked Rotor

NL : No Load

CF_r : Cage Factor of Resistance

CF_x : Cage Factor of Reactance

Re : Real Part

Im : Imaginary Part

$$\frac{X_r}{X_s} = 1.0 \text{ for Class A}$$

$$= 2/3 \text{ for Class B}$$

$$= 3/7 \text{ for Class C}$$

$$ZNL = (\frac{1000 \times kVNL}{\sqrt{3} \times INL}) \times (PFNL + j\sqrt{1 - PFNL^2})$$

$$PFNL = \frac{kWNL}{\sqrt{3} \times kVNL \times INL}$$

그림3부터 그림4까지는 유도전동기 모델링을 위한 데이터베이스 입력 형식이다.

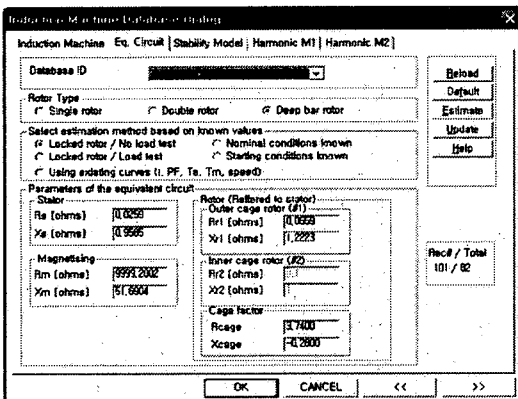


그림3 유도전동기 등가임피던스

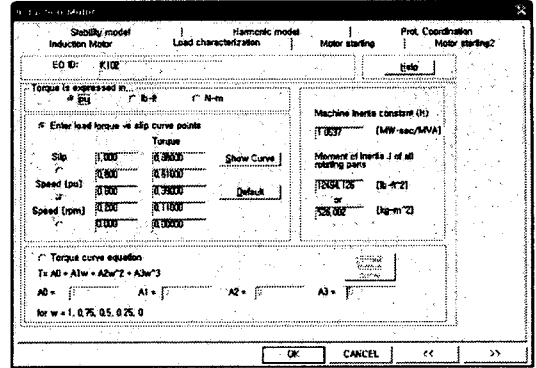


그림4 유도전동기 부하 특성

2.3 유도전동기 동특성 해석 결과

유도전동기가 10사이클 후에 기동되는 것으로 모의하였다. 그림5는 유도전동기 기동시 연결되어있는 모선의 전압을 나타낸 것으로 약 300사이클 동안 즉, 5초 동안 0.825p.u.로서 저전압 한계 값인 0.85p.u. 이하로 전압강하가 비교적 심한 상태를 나타내고 있어 인접 전력 설비 또는 제어설비의 오동작 및 부동작 문제를 일으킬 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 따라서 별도의 전동기 기동 방안을 채택할 필요가 있다.

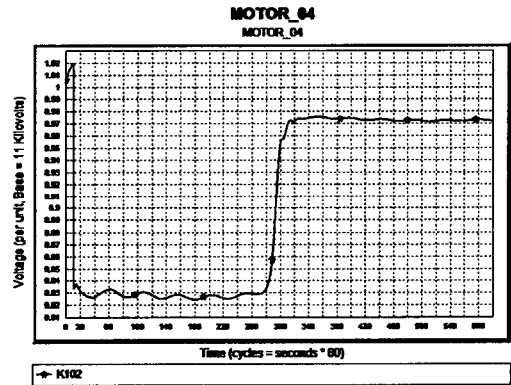


그림5 유도전동기 기동시 모선전압

그림6은 유도전동기 기동시 기동전류를 나타낸 것으로 기동 초기 정격전류의 약 7배에 근접하여 있음을 나타내고 있고 기동으로부터 5초후 기동이 완료된 다음에는 정격전류가 흐르는 것을 나타내고 있다.

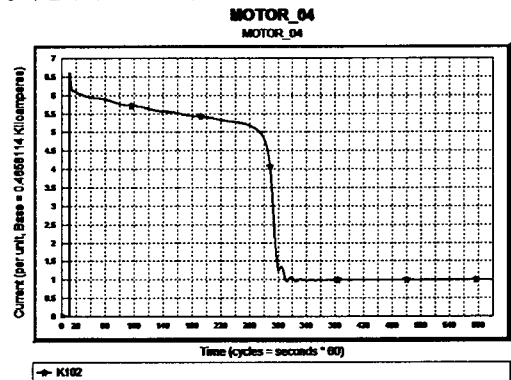


그림6 유도전동기 기동시 기동전류

그림7은 유도전동기 기동시 전기, 기계 및 가속 토크를 나타낸 것이다.

동토크를 나타낸 것이다.

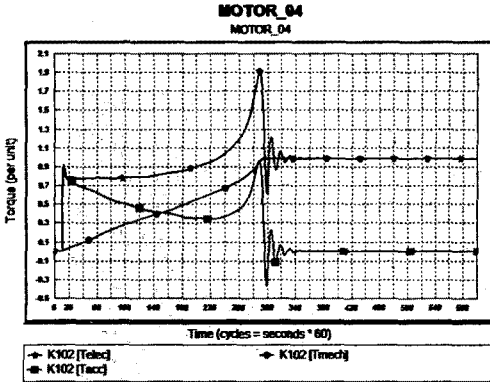


그림7 유도전동기 기동토크

Telec : 전기토크
Tmech : 기계토크
Tacc : 가속토크

2.4 전동기 기동 방안 모의

유도전동기 기동시 과도한 전압강하로 인접 전력설비 또는 제어설비 정상동작이 어려울 경우 별도의 기동 방안을 채택해야한다. 유도전동기 기동전류는 단자전압에 비례하고 기동토크는 전압의 제곱에 비례하므로 전동기 기동부하에 따라서는 기동 토크가 부족하여 기동 실패의 경우도 있을 수 있으므로 전동기 1차 전압을 강하하거나 또는 기동전류를 제한하여 유도전동기를 기동시키고자 할 경우 전력계통 동적 해석 방법으로 사전에 이의 적합성을 검토할 필요가 있다.

유도전동기 기동 방법은 스타-델타기동, 보상기에 의한 기동, 리액터 기동, 1차 저항 기동, 소프트스타트 기동 등이 있으나 여기서는 85%탭을 갖는 보상기에 의한 기동 즉, 85%탭 변압기 기동 방법을 적용한다.

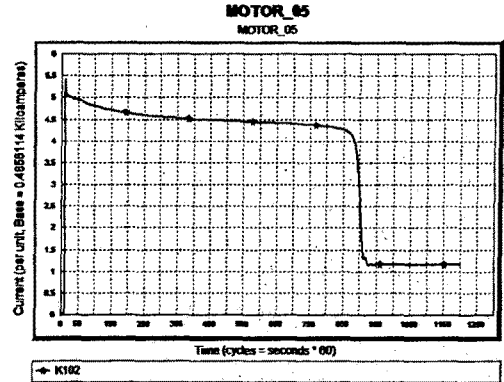


그림9 변압기(85%탭) 이용 유도전동기 기동전류

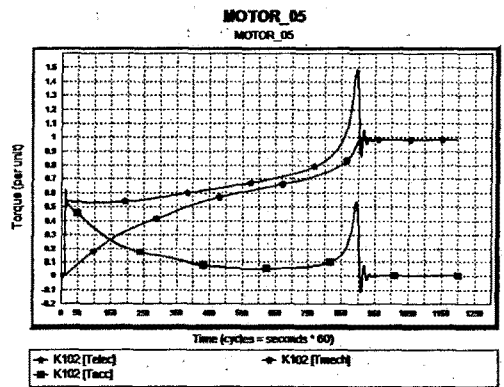


그림10 변압기(85%탭) 이용 유도전동기 기동토크



그림8 변압기(85%탭) 이용 유도전동기 기동 모션전압

그림8은 85%탭 변압기를 이용한 유도전동기 기동시 모션전압을 나타낸 것이다. 여기에 나타난 것과 같이 최저 기동전압은 0.875p.u.로서 저전압 한계 값인 0.85p.u. 이상으로 정상적인 전력계통 운전이 보장되는 상태로 기동에 소요된 시간은 약900사이클(15초)이 되었다.

그림9는 85%탭 변압기를 이용하여 유도전동기를 기동하는 경우 기동전류를 나타낸 것으로서 이는 전전압 기동전류의 85%에 해당된다. 그림10은 이때의 전동기 기

3. 결 론

유도전동기가 정지 상태에 있을 때 즉, 기동시 정격전압을 인가하면 매우 큰 기동전류가 흐르고 이 때문에 전동기 권선을 과도하게 과열시키고 과도한 전압강하로 인접 전력계통에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 대형 유도전동기는 기동전류를 적당히 제한하여 전동기의 원만한 기동은 물론 건전한 전력계통 운전이 가능토록 해야 한다. 안정도 해석 프로그램을 이용하여 전동기 기동동특성을 분석하면 기동전류 크기는 물론 이의 지속시간까지 제시되므로 과도한 전압강하가 발생하는 대형 유도전동기를 설치하여 운전할 경우 합리적인 변압기 용량 및 전력케이블 굵기 등을 결정할 수 있다. 특히 별도의 기동 방안이 채택될 경우 효과적이고 합리적인 대책 수립이 가능할 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이강완, "전력계통 해석", 전력기술인협회, 통권218호, pp33-35, 2000년 10월
- [2] "PSAF for Windows User's Guide and Reference Manual", CYME International Inc., March, 2001
- [3] "PSAF-STAB for Windows User's Guide and Reference Manual", CYME International Inc., September, 1999
- [4] "PSAF-STAB UDM Library", CYME International Inc., March, 2001