

# 정태회로해석에 의한 전력부하로서의 유도전동기 시뮬레이션 및 파라미터 식별

이 봉 용, 심 건 보, 고 태 규  
홍익대학교 공과대학 전기제어공학과

Simulation and Parameter Identification of Induction Machine  
in Load Modeling based on the Static Circuit Analysis

Bong-Yong, Lee Keon-Bo, Shim Tae-Kyu, Ko  
Hong-Ik University, Dept. of Electrical & Control Engr.

**<Abstract>** This paper presents a static circuit model for static and dynamic simulation of induction motors and identification of motor parameters. Instead of usual T-circuits, equivalent  $\pi$ -circuit has been proposed so that power inputs into motor terminals can very easily calculated with very well known load flow method. It has been shown that, with wide range variation of applied voltage and frequency, successful static simulations can be performed and further the proposed static model can be used to simulate dynamic characteristics. Finally it is shown also that motor parameters can easily be identified based on the proposed static circuit.

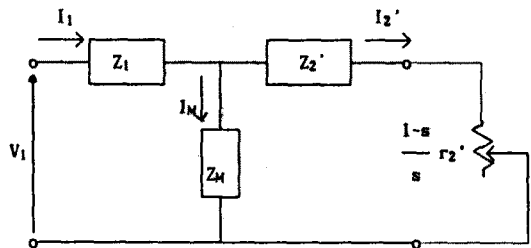
- 제시된 모델에 의하여 정태 시뮬레이션이 용이하게 이루어짐을 보였고,
- 1차 미분방정식이 사용되는 동특성 시뮬레이션을 위해서도 제시된 모델이 훌륭히 사용가능함을 입증하였으며,
- 제시된 모델에 의하면, 유도전동기의 파라미터 식별이 극히 용이하게 달성될 수 있음을 사례 및 현장 실측자료와 비교하여 입증하였다.

## 2. 유도전동기의 정태회로 모델

유도전동기의 정태회로는 널리 알려져 있으며, 그 회로를 그림 1에 보였다.

### 1. 서론

전력시스템 해석에서, 전력부하는 유효부하와 무효부하로 표현됨이 일반적이며, 많은 경우에 그 크기가 일정한 것으로 간주된다. 그러나 안정도해석이나 주파수제어를 위해서는 부하의 크기가 전압과 주파수에 따라 변하는 함수임이 일찍부터 인식되어 있으며, 또한 적절한 부하모델이 사용되고 있다[1]-[3].



전력부하 중에서도 유도전동기는 가정용, 상업용 및 산업용에 이르기까지 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 유도전동기의 정태 및 동태특성이 종합부하의 특성에 커다란 영향을 미치게 된다.

그림 1. 유도전동기의 정태회로

유도전동기의 동특성은, 보통 고정자와 회전자의 전압, 전류 또는 자속을 d-q-0 성분으로 변환하여 해석되며, 평형 부하를 전제할 때, 고정자와 회전자에 대한 d-q 성분 각 2개의 미분방정식과 부하에 대한 미분방정식을 합한 5차 미분방정식이 기본이 된다[4].

그림에서

그러나 고정자회로의 상태변화가 급속히 감쇄된다는 성질을 이용하여, 3차 미분방정식만을 사용함으로써 계산의 정밀성을 크게 희생시키지 않으면서도 효율성을 높이는 경우가 흔히 있으며[5]-[6], 나아가서 회전자의 상태변화 역시 급속히 감쇄된다고 전제하여, 1차 미분 방정식만을 사용하여도, 실제의 전력시스템 응용에 충분하다는 것이 최근의 견해이다[7]-[8].

- $Z_1 = r_1 + jX_1$  : 고정자전선 임피던스
- $Z_2' = r_2' + jX_2'$  : 회전자전선 임피던스의 1차환산값
- $Z_M = jX_M$  : 여자 임피던스

와 같다.

본 논문은 후자의 견해에 따라, 유도전동기의 정태회로를 전제로 하였다. 유도전동기의 정태회로는 일반 전기기계공학에서도 널리 소개되어 있고, 정태회로 특성의 해석 역시 일반화되어 있으나, 전압과 주파수가 변화하는 경우에 대한 범용 해석수단으로서의 충분치 않으며, 동특성의 해석은 물론 곤란하다.

그림 1에 의한 특성해석도 물론 가능하지만, 본 연구에서는 일반 전력시스템에서 사용되는  $\pi$ -동기회로로 변환하여 회로계산이 보다 편리하도록 (T-동기회로의 모선 3에 대하여,  $\pi$ -동기회로의 모선 2)하였다. 그림 2는  $\pi$ -동기회로를 나타낸 것이다. S는 전원측을 나타내며, R은 부하측을 나타낸 것이다. 유도전동기가 2개의 모선을 갖는 하나의 전력 시스템으로 변환된 것이다. 파라미터의 변환은 임피던스의 Y- $\Delta$  변환으로부터 명백하며, 특히 모선어드미턴스의 값으로 표시하여 다음 결과를 얻는다.

본 논문에서는

- 넓은 범위의 전압과 주파수의 변화에 대하여 정태 및 동태 특성의 해석이 가능한 정태회로모델을 제시하였으며,

$$G_{SS} = (X_2 + X_M) / X_M \cdot (D_1 / (D_1^2 + D_2^2)) - (r_2 / X_M) \cdot (D_2 / (D_1^2 + D_2^2)) \quad (1)$$

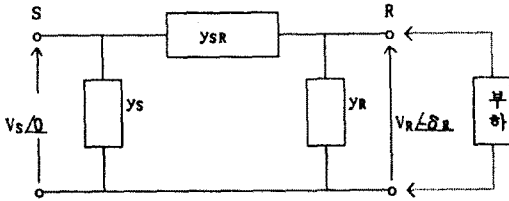


그림 2. 유도전동기의  $\pi$ -동기회로

$$B_{SS} = -j((r_2/X_M) \cdot (D_1/(D_1^2+D_2^2)) + ((X_2+X_M)/X_M) \cdot (D_2/(D_1^2+D_2^2))) \quad (2)$$

$$G_{SR} = -D_1/(D_1^2 + D_2^2) \quad (3)$$

$$B_{SR} = D_2/(D_1^2 + D_2^2) \quad (4)$$

$$G_{RR} = ((X_1+X_M)/X_M) \cdot (D_1/(D_1^2+D_2^2)) - (r_1/X_M) \cdot (D_2/(D_1^2+D_2^2)) \quad (5)$$

$$B_{RR} = -j((r_1/X_M) \cdot (D_1/(D_1^2+D_2^2)) + ((X_1+X_M)/X_M) \cdot (D_2/(D_1^2+D_2^2))) \quad (6)$$

여기서,

$$D_1 = (r_1+r_2) + (r_2X_1+r_1X_2)/X_M \quad (7)$$

$$D_2 = ((X_1+X_2) - (r_1r_2 - X_1X_2)/X_M) \quad (8)$$

G : 콘덕턴스 기호

B : 서셉턴스 기호

모선어드미턴스가 결정되었으므로, 모선전력방정식이 기술될 수 있다. 두 모선시스템에서 S모선이 기준모선( $\delta_s=0$ )이 되면,

$$P_S = V_S G_{SS} + V_S V_R [G_{SR} \cos \delta_R - B_{SR} \sin \delta_R] \quad (9)$$

$$Q_S = -V_S^2 B_{SS} - V_S V_R [G_{SR} \sin \delta_R + B_{SR} \cos \delta_R] \quad (10)$$

$$P_R = V_R G_{RR} + V_S V_R [G_{SR} \cos \delta_R + B_{SR} \sin \delta_R] \quad (11)$$

$$Q_R = -V_R B_{RR} + V_S V_R [G_{SR} \sin \delta_R - B_{SR} \cos \delta_R] = 0 \quad (12)$$

여기서,

$V_S$  : 전원측 전압의 크기

$V_R, \delta_R$  : 부하측 전압의 크기 및 위상각

$P_S, Q_S$  : 전원측 유효전력, 무효전력

$P_R, Q_R$  : 부하측 유효전력, 무효전력

인 관계식을 얻는다.

실제로 풀어야 하는 식은 R모선에 대한  $P_R$ 과  $Q_R$ 뿐으로서 매우 단순한 관계임을 알 수 있으며, 특히  $Q_R=0$  임을 유의하여야 한다. 왜냐하면, 유도전동기의 부하는 회전부하이며, 회전부하는 유효분 에너지만을 소비하기 때문이다.

### 3. 정특성 시뮬레이션

그림 2의  $\pi$ -동기회로에 부하가 연결되어 있는 경우를 생각한다. 부하는 토크로 표시됨이 보통이나, 본 연구에서는 전력으로 표시함이 더욱 편리하다. 그래서

$$P_L = T_L \cdot \omega_m \\ = LF (A \omega_m^2 + B \omega_m^3) \quad (13)$$

여기서,

$P_L$  : 부하전력

$\omega_m$  : 부하의 회전각속도

LF : 부하 상태를 표시하는 계수(LF=1일때 정격부하)

A, B: 계수

을 사용한다. 한편 그림 2의 R 단자에는 그림 1에서 보이는  $((1-s)/s)r_2'$  라는 저항부하가 연결되어 있으므로

$$-P_r = \frac{V_R^2}{\frac{1-s}{s} r_2'} = P_L \quad (14)$$

의 관계가 성립되어야 한다. 따라서 식(13)과 (14)로부터

$$\omega_m = \frac{1}{V_R^2} [V_R^2 \omega_0 - LF \cdot r_2' (A \omega_m^3 + B \omega_m^4)] \quad (15)$$

라는  $\omega_m$ 과  $V_R$ 에 대한 관계식을 얻을 수 있다. 즉, 유도전동기 회로의 2차 전압  $V_R$ 와 부하의 회전수  $\omega_m$ 은 서로 밀접한 관계를 맺고 있다. 뒤에 동특성 해석시에,  $V_s$ 의 급격한 변화직후( $t_+$ )에도,  $V_R$ 의 급변이 발생하지 않는 것은 부하관성 때문에  $\omega_m$ 의 즉각적인 변화는 없으며, 이 때에도 식(15)는 성립해야 하기 때문이다.

부하와 전동기회로의 관계가 주어졌으므로, 유도전동기의 정특성 시뮬레이션이 가능하며, 다음의 순서에 따라 수행된다.

1) 초기 유도전동기부하  $P_{r0}$ 를 가정한다.

$$2) \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_r - P_r^c \\ 0 - Q_r^c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_r}{\partial V_r} & \frac{\partial P_r}{\partial \delta_r} \\ \frac{\partial Q_r}{\partial V_r} & \frac{\partial Q_r}{\partial \delta_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V_r \\ \Delta \delta_r \end{bmatrix} \quad (16)$$

여기서,

$$\frac{\partial P_r}{\partial V_r} = 2V_R G_{RR} - V_S [G_{SR} \cos \delta_R + B_{SR} \sin \delta_R] \quad (17)$$

$$\frac{\partial Q_r}{\partial V_r} = -2V_R B_{RR} + V_S [G_{SR} \sin \delta_R - B_{SR} \cos \delta_R] \quad (18)$$

$$\frac{\partial P_r}{\partial \delta_R} = -V_S V_R [ -G_{SR} \sin \delta_R + B_{SR} \cos \delta_R ] \quad (19)$$

$$\frac{\partial Q_r}{\partial \delta_R} = V_S V_R [G_{SR} \cos \delta_R + B_{SR} \sin \delta_R] = 0 \quad (20)$$

으로부터  $\Delta V_R$ 과  $\Delta \delta_R$ 을 구하여

$$V_R^{new} = V_R^{old} + \Delta V_R \quad (21)$$

$$\delta_R^{new} = \delta_R^{old} + \Delta \delta_R \quad (22)$$

와 같이, 전압과 위상각을 개선하며,  $|\Delta P|, |\Delta Q| \leq \epsilon$  일 때 까지 반복계산을 한다.

3)  $V_R$ 에 상응하는  $\omega_m$ 을 구한다. 식(15)는 이미 가우스 반복법에 적합한 형태로 정리되어 있음에 유의해야 한다.

4)  $\omega_m$ 이 구해진 후 식 (13)에 따라  $P_L = -P_r$ 가 수정된다.

5)  $P_L$ 의 변화가 허용범위( $\epsilon$ ) 이내이면 계산을 종료하고, 아니면,  $-P_L = P_r$ 로 하여 단계1)로 이행한다.

이상은 주파수의 변화가 없을 때이나, 주파수의 변화가 있는 경우에는 회로의 파라미터가 영향을 받을 것이며, 또한 식 (15)에서  $\omega_0$ 가 영향을 받게 된다. 그리하여 다음 단계의 보완이 필요하다.

- f.1) T-동기회로의 리액턴스 수정
- f.2)  $\pi$ -동기회로 변환
- f.3) 식 (15)의  $\omega_0$ 수정

기타의 단계는 이미 언급된 단계 1)~5)와 동일하다.

4. 동특성 시뮬레이션

동특성 시뮬레이션을 위해서는 정특성 시뮬레이션에 비하여 약간의 고려가 더 필요하다. 그림 3은 동특성의 과정을 보다 쉽게 설명하기 위하여, 전압급변의 경우를 보인 것이다. 그림에서 상태변화 직전, 변화순간 및 변화직후의 기호를 각각  $t=0^-$ ,  $t=0$ ,  $t=0^+$ 라 하고, 정상상태를  $t \rightarrow \infty$  라 표시하기로 한다. 부하 회전수의 변화는

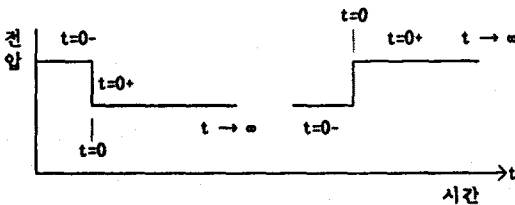


그림 3. 동특성과정의 설명을 위한 기호설명

$$\omega_m = \frac{1}{2H} (P_R - P_L) \quad (23)$$

여기서,

- H : 단위관성정수
- $P_R$  : 유도전동기의 출력
- $P_L$  : 부하전력 ( $A\omega_m^2 + B\omega_m^3$ )

로서 결정되며, 정상상태에서  $P_R = P_L$ 이므로 회전수의 변화는 없으나, 상태의 급격한 변화에 의하여  $P_R \neq P_L$ 인 경우 회전수의 변화가 유발된다. 결국 상태의 변화에 상응하는  $P_R$ 의 값이 적절히 결정되지 않으면 안된다는 것을 알 수 있다. 그리하여, 먼저 전압이 급격히 낮아진 경우, 즉  $V_s$ 에서  $V_s'$ 로 변화한 경우를 생각한다. 출력상태는 식 (11)로부터

$$P_R = V_R G_{RR} + V_s V_R [G_{SR} \cos \delta_R + B_{SR} \sin \delta_R] \quad (24)$$

이며,  $V_R$  와  $\delta_R$ 는 모두  $t=0^-$  상태의 값이 사용되어야 하므로,  $P_R(t=0) < P_R(t=0^-)$ 임을 알 수 있다. 따라서  $P_R(t=0) < P_L(t=0)$ 이며, 전동기는 부하에 의하여 구동되므로

$$P_G = P_R(t=0) - P_L(t=0) \quad (25)$$

$$P_R(t=0^+) = P_R(t=0) + 2P_G \quad (26)$$

와 같이, 실제의 전동기에 걸리는 부하는 크게 감소된다. 그러나  $P_R$ 의 값은  $t \rightarrow \infty$ 인 정상상태를 향하여, 초기값 식(26)에서부터 점차 바뀌게 된다. 이 전동기의 출력은  $P_L$ 의 감소에 따라 증가하게 되며,  $t \rightarrow \infty$ 에서  $P_L$ 과 서로 일치하게 된다. 따라서 다음 관계가 성립된다.

$$P_R(t) = P_R(t \rightarrow \infty) - [P_R(t \rightarrow \infty) - P_R(t=0)] \times \frac{P_L(t) - P_L(t \rightarrow \infty)}{P_L(t=0) - P_L(t \rightarrow \infty)} \quad (27)$$

만일 전압의 변화가  $V_s' \rightarrow V_s$ 로 회복된 경우라면, 전압이

강한 경우에는 반대로  $P_R(t=0) > P_R(t=0^+)$ 이 되어, 식(25)에서  $P_G > 0$ 이 되며, (26)에 따라 전압회복 순간의 부하는 급증하게 된다.

이상의 논리에 따라 정태회로모델은 동태시뮬레이션에도 훌륭한 적용이 가능하며, 본 연구에서는 일반적인 5차 미분 방정식의 결과와 비교하였다.

5. 파라미터 식별

유도전동기에 대한 파라미터의 식별이 성공한 예는 없는 것으로 알려져 있다. 전력시스템 해석프로그램인 PSS/E에서는 데이터 베이스에 저장되어 있는 여러 종류의 전동기에 대하여 시뮬레이션을 수행하여, 가장 가까운 특성을 나타내는 전동기의 파라미터가 제공되는 정도이다(8). 파라미터의 식별은 전제되는 모델에 따라 그 결과가 크게 달라짐이 일반적이며, 이러한 관점에서 본 연구에서 제시되는 모델은 파라미터 식별을 위해서도 매우 유력하다는 것을 보이고자 한다.

N 개의 측정자료가 주어져 있다고 하자.

- $P_{s1}, P_{s2} \dots P_{sN}$
- $Q_{s1}, Q_{s2} \dots Q_{sN}$
- $V_{s1}, V_{s2} \dots V_{sN}$
- $f_{s1}, f_{s2} \dots f_{sN}$

우선 주파수의 변화는 없다고 전제한다. 식 (9)와 (10)에 따라 가정된 파라미터로부터 각 측정전압에 대한  $P_s$  와  $Q_s$  가 계산될 수 있으며, 측정치와의 편차  $\Delta P_s, \Delta Q_s$ 를 소멸시키기 위한 충분 파라미터가 결정될 수 있다. 1 번째 증분은

$$\Delta P_s = \frac{\partial P_s}{\partial G_{SS}} \Delta G_{SS} + \frac{\partial P_s}{\partial B_{SS}} \Delta B_{SS} + \frac{\partial P_s}{\partial G_{SR}} \Delta G_{SR} + \frac{\partial P_s}{\partial B_{SR}} \Delta B_{SR} + \frac{\partial P_s}{\partial G_{RR}} \Delta G_{RR} + \frac{\partial P_s}{\partial B_{RR}} \Delta B_{RR} \quad (28)$$

$$\Delta Q_s = \frac{\partial Q_s}{\partial G_{SS}} \Delta G_{SS} + \frac{\partial Q_s}{\partial B_{SS}} \Delta B_{SS} + \frac{\partial Q_s}{\partial G_{SR}} \Delta G_{SR} + \frac{\partial Q_s}{\partial B_{SR}} \Delta B_{SR} + \frac{\partial Q_s}{\partial G_{RR}} \Delta G_{RR} + \frac{\partial Q_s}{\partial B_{RR}} \Delta B_{RR} \quad (29)$$

이므로, N개의 측정값에 대하여 다음 행렬방정식이 성립된다.

$$\begin{bmatrix} \Delta M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \end{bmatrix} \quad (30)$$

여기서,

$$\Delta M^T = [\Delta M_1 \dots \Delta M_N \quad \Delta M_{N+1} \dots \Delta M_{2N}]^T$$

$$= [\Delta P_{s1} \dots \Delta P_{sN} \quad \Delta Q_{s1} \dots \Delta Q_{sN}]^T$$

$[J_M]$  :  $2N \times 6$ 차원의 자코비안 행렬

$$J_{Mij} = \frac{\partial M_i}{\partial X_j}$$

$$\Delta P^T = [\Delta G_{SS}, \Delta B_{SS}, \Delta G_{SR}, \Delta B_{SR}, \Delta G_{RR}, \Delta B_{RR}]^T$$

결국 파라미터의 증분  $\Delta P$  는

$$\Delta P = (J_M^T J_M)^{-1} J_M^T \Delta M \quad (31)$$

에 의하여 결정되며, 파라미터가 개선된다. 식 (31)은 최소 자승법의 결과임을 나타내는 것이다.

6. 사례연구

6.1 정특성 시뮬레이션

대형 및 소형 유도전동기에 대하여 정특성시뮬레이션한 결과를 그림 4와 5에 보였다.

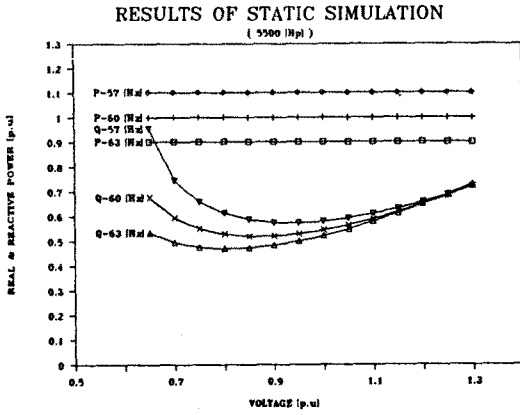


그림 4. 대형 유도전동기의 정특성 시뮬레이션

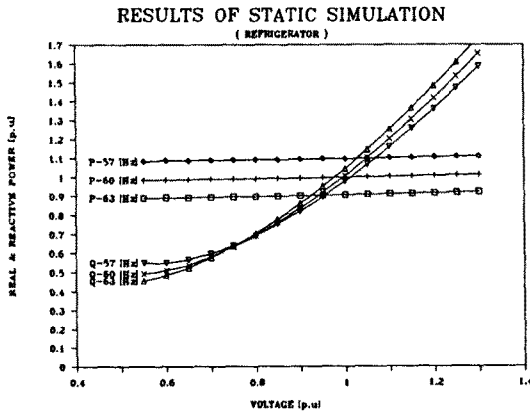


그림 5. 소형 유도전동기의 정특성 시뮬레이션

산업용의 대형 유도전동기나 가정용의 소형 유도전동기 모두 전압변화에 대하여 거의 정출력운전을 하고 있는 것을 알 수 있다.

6.2 동특성 시뮬레이션

그림 6 및 7에 대표적인 두가지 전동기의 예를 보였다. 그림 6은 5500 [Hp] 전동기로서 H = 1.35 이며, 그림 7은 100[Hp] 전동기로서 H = 0.557 이다. H가 클수록 관성효과가 눈에 띄고 있으며, H가 작으면 관성효과도 즉시 소멸되고 있다. 그러나, 대체적으로 0.1초정도 이내에서 동특성효과가 감쇄되고 있음이 관찰된다.

6.3 파라미터 식별

<표 1>은 5500 [Hp] 전동기에 대한 파라미터 식별결과를 요약한 것이며, 그림 8은 원래의 특성과 식별된 파라미터에 의한 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다.

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF IM (5500 Hp)

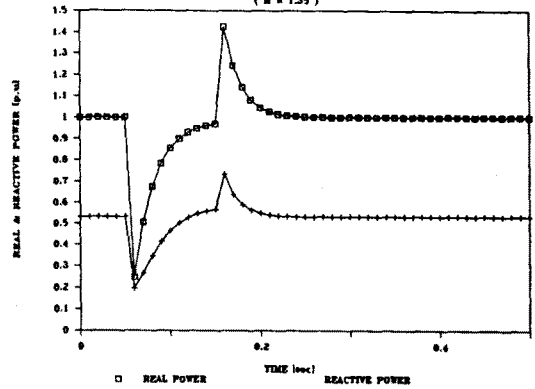


그림 6. 5500[Hp]유도전동기의 동특성 시뮬레이션(H=1.35)

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF IM (100 Hp)

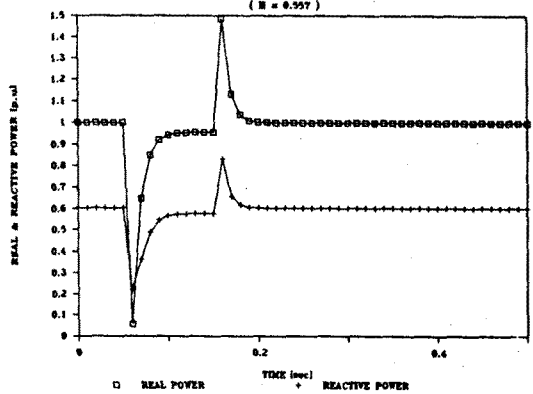


그림 7. 100[Hp]유도전동기의 동특성 시뮬레이션(H=0.557)

<표 1> 5500 [Hp] 유도전동기의 파라미터 식별

반복수	함수값	Gss	Bss	Gsr	Bsr	Grr	Brr
	초기 값	0.2000	-4.0000	-0.2000	4.0000	0.2000	-4.0000
1	4.84375	0.1987	-3.9990	-0.1985	3.9939	0.1940	-4.1380
2	0.89461	0.1980	-3.9982	-0.1976	3.9911	0.1906	-4.2010
3	0.17546	0.1968	-3.9976	-0.1965	3.9904	0.1893	-4.2291
4	0.05023	0.1956	-3.9969	-0.1957	3.9900	0.1884	-4.2407
5	0.02994	0.1936	-3.9962	-0.1947	3.9898	0.1880	-4.2486
6	0.02637	0.1917	-3.9955	-0.1935	3.9897	0.1878	-4.2490
7	0.02619	0.1908	-3.9950	-0.1927	3.9895	0.1872	-4.2491
8	0.02617	0.1898	-3.9944	-0.1920	3.9892	0.1866	-4.2491
9	0.02514	0.1888	-3.9939	-0.1912	3.9890	0.1860	-4.2491
	목표 값	0.1935	-4.2671	-0.1936	4.1452	0.1939	-4.2859

CHARACTERISTICS OF IDENTIFIED PARAMETER  
(REAL & REACTIVE POWER OF 5500 [Hp])

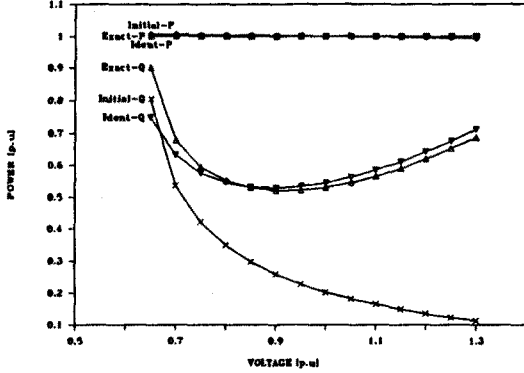


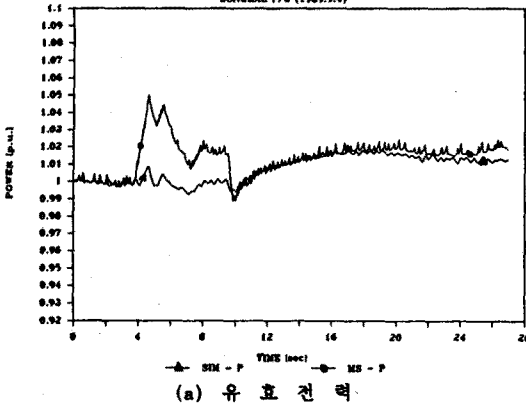
그림 8. 5500[Hp] 전동기의 파라미터 식별후 시뮬레이션

표 1과 그림 8로부터 본 연구의 파라미터 식별방법이 훌륭히 그 목적을 달성하고 있음을 볼 수 있다.

6.4 파라미터 식별의 응용

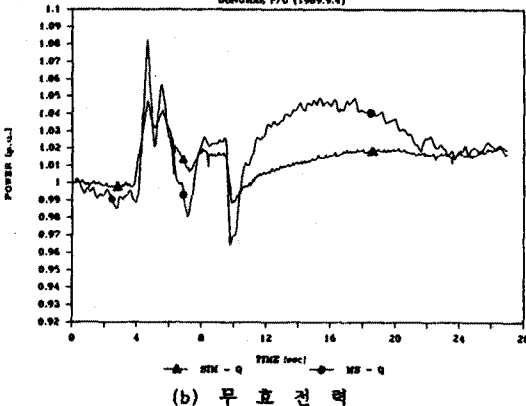
그림 9는 발전소 덤프시험시의 현장측정자료와 파라미터 식별후 시뮬레이션결과를 비교한 것이다. 측정점은 동해 전력소의 동양시멘트 산업용 부하이며, 다수의 유도기와 다른 부하들이 복합적으로 연결되어 있다. 이 복합부하를 하나의 유도전동기로 가정하여 파라미터 식별을 하였으며, 그림 9는 그 파라미터에 의하여 시뮬레이션한 결과를 보인 것이다.

CHARACTERISTICS OF V & F vs P  
DONGHAE P/D (1989.9.4)



(a) 유효 전력

CHARACTERISTICS OF V & F vs Q  
DONGHAE P/D (1989.9.4)



(b) 무효 전력

그림 9. 현장실측자료의 유효전력 및 무효전력 비교

그림 9에서 유효전력은 실제의 측정값을 매우 잘 추종하고 있으며, 무효전력이 약간의 오차를 보이고는 있으나, 이 결과로부터 복합부하의 단일 등가 유도전동기로서의 측악이 매우 유력함을 볼 수 있다.

7. 결론

전력 시스템의 부하로서 큰 몫을 차지하는 유도전동기의 전압 및 주파수의 특성을 규명한 본 연구의 주요 내용은 다음과 같이 요약된다.

1. 전력부하로서의 유도전동기 해석을 위한 정태회로모델을 제안하였다.
2. 넓은 범위의 전압 (0.5 ~ 1.3 [p.u]) 및 주파수 (0.95 ~ 1.05[p.u]) 변화에 대하여 제안된 정태모델은 시뮬레이션에 유력하게 적용될 수 있음을 보였다.
3. 특히 제안된 정태모델은 동태 특성 시뮬레이션 표현에도 훌륭히 적용될 수 있음을 입증하였다.
4. 제안된 정태 모델로부터, 매우 간편하고 효율적인 유도전동기의 파라미터 식별알고리즘을 개발하였으며, 사례연구를 통하여 그 효용성을 입증하였다.
5. 개발된 식별법은 실 계통에 적용되었으며, 발전소 덤프 시험시의 현장 측정자료로부터 복합부하에 대한 단일 등가 유도전동기변환이 가능함을 입증하였다.

이 문제는 금후 더 많은 사례에 대한 연구가 필요하며, 보다 이론적인 고찰이 요청되는 과제이다.

< 참고 문헌 >

1. R. G. Mccrakin and W. R. Schaus, "The Representation of System Loads in Stability Studies", IEEE Tutorial Course on Modern Concepts of Power System Dynamics, 1970.
2. R. T. Byerly and F. T. Kimbark, "Stability of Large Electric Power Systems", IEEE Press, 1974.
3. C. Concordia & S. Ihara, "Load Representation in Power System Stability Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, pp. 969~977, April 1982.
4. P. C. Krause, *Analysis of Electric Machinery*, McGraw-Hill Book Co, New York, 1987.
5. D. Wasynczuk, Y. Diao and P. C. Krause, "Theory and Comparison of Reduced Order Models of Induction Machines", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-104, pp. 598~606, March 1985.
6. F. D. Rodrigues & O. Wasynczuk, "A Refined Method of Deriving Reduced Order Models of Induction Machines", IEEE Trans. on EC, Vol. EC-2, pp. 31~37, March 1987.
7. University of Texas at Arlington, *Determining Load Characteristics for Transient Performance*, Vol. 1~3, EPRI Report EL-849, 1979.
8. General Electric Co., *Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Computer Studies*, Vol 1 ~ 4 EPRI Report EL-5003, 1987
9. T. E. Kostyniak, *PSS/E Power System Simulation Package Program Operation Manual*, 1983.