

시스템 식별법에 의한 부하모델링

◎ 심건보*, 이봉용*, 김정훈*, 이형수**, 주진부#, 이상중#, 전영수#

* 홍익대학교, ** 산업안전연구원, # 한전 기술연구원

Load Modeling based on the System Identification

◎ K. B. Shim*, B. Y. Lee*, J. H. Kim*, H. S. Lee**, J. B. Choo#, S. J. Lee#, Y. S. Chun#

* Hong-ik University, ** Industrial Safety Research Institute, # KEPCO Research Center

< Abstract >

Load models for the analysis and simulation of power system are often introduced when the more accurate result is required.

This work presents a single expressed load model as T-equivalent circuit of induction motor, for the composite characteristics of various loads. The parameters of the proposed load model are identified based on the system identification method as Recursive Least Square identification method.

Case study results show the accuracy of proposed load model, and compared with some field measurements.

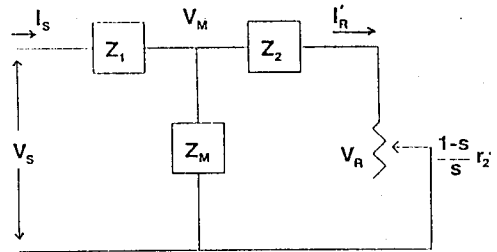


그림 1. 유도전동기의 T-동가회로

그림 1에서 각각의 파라미터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z_1 &= r_1 + j x_1 & (1) \\ Z_2 &= r_2 / s + j x_2 & (2) \\ Z_M &= j x_M & (3) \end{aligned}$$

여기서,

- r₁ : 고정자 저항
- x₁ : 고정자 리액턴스
- r₂ : 고정자측으로 환산한 2차측 저항
- x₂ : 고정자측으로 환산한 2차측 리액턴스
- x_M : 자화 리액턴스
- s : 슬립(slip)

유도전동기의 T-동가회로를 모선 3개인 전력시스템으로 상정하여, 각 모선을 S 모선, M 모선 및 R 모선으로 가정하면 모선어드미턴스행렬은 다음과 같이 결정된다.

$$[Y_{BUS}] = \begin{bmatrix} G_{SS} & G_{SM} & G_{SR} \\ G_{MS} & G_{MM} & G_{MR} \\ G_{RS} & G_{RM} & G_{RR} \end{bmatrix} + j \begin{bmatrix} B_{SS} & B_{SM} & B_{SR} \\ B_{MS} & B_{MM} & B_{MR} \\ B_{RS} & B_{RM} & B_{RR} \end{bmatrix} \quad (4)$$

또한, 전력시스템의 모든 상태가 모선 전력방정식의 형태로 표현되는 것과 같이 T-동가회로의 각 모선에 대한 전력방정식이 다음과 같이 정리된다.

$$P_S = V_S^2 G_{SS} + V_S V_M (G_{SM} \cos(\delta_S - \delta_M) + B_{SM} \sin(\delta_S - \delta_M)) \quad (5)$$

$$Q_S = -V_S^2 B_{SS} + V_S V_M (G_{SM} \sin(\delta_S - \delta_M) - B_{SM} \cos(\delta_S - \delta_M)) \quad (6)$$

$$P_M = V_M V_S (G_{MS} \cos(\delta_M - \delta_S) + B_{MS} \sin(\delta_M - \delta_S)) + V_M^2 G_{MM} + V_M V_R (G_{MR} \cos(\delta_M - \delta_R) + B_{MR} \sin(\delta_M - \delta_R)) = 0 \quad (7)$$

$$Q_M = V_M V_S (G_{MS} \sin(\delta_M - \delta_S) - B_{MS} \cos(\delta_M - \delta_S)) - V_M^2 B_{MM} + V_M V_R (G_{MR} \sin(\delta_M - \delta_R) - B_{MR} \cos(\delta_M - \delta_R)) = 0 \quad (8)$$

$$P_R = V_R^2 G_{RR} + V_R V_M (G_{RM} \cos(\delta_R - \delta_M) + B_{RM} \sin(\delta_R - \delta_M)) \quad (9)$$

$$Q_R = -V_R^2 B_{RR} + V_R V_M (G_{RM} \sin(\delta_R - \delta_M) - B_{RM} \cos(\delta_R - \delta_M)) = 0 \quad (10)$$

여기서,

- P_S, P_M, P_R : S, M, R 모선의 유효 및 무효전력
- Q_S, Q_M, Q_R : S, M, R 모선의 유효 및 무효전력
- V_S, V_M, V_R : S, M, R 모선의 전압 크기
- δ_S, δ_M, δ_R : S, M, R 모선의 전압위상각

그림 1의 T-동가회로에 연결되는 부하는 최전부하로서, 그 회전수를 ω_m이라 하면, 부하의 크기는

$$P_L = -P_R = LF (A \omega_m^2 + B \omega_m^3) \quad (11)$$

1. 서론

전력시스템의 상태해석이나 시뮬레이션을 위해서는 시스템을 구성하는 각 구성요소, 즉 전원(source), 송전선로(transmission line) 및 부하(load) 등에 대하여 수학적으로 표현된 모델링이 필수적이라는 것은 이미 잘 알려져 있는 사실이다. 이러한 구성요소중에서 부하에 대한 연구는 부하의 전기적 특성상 그 종류가 너무나 다양하고 많아 단일화된 특성표현이 곤란하여 상대적으로 미진한 상태에 있었다.

부하모델의 구성을 위한 접근방법[1]-[3]은 모선에 연결된 많은 부하요소를 제한된 범위의 부하요소 모델과 구성비의 정보로부터 축약하는 방법(미시적 방법)과, 각 모선에서 수집되는 정보로부터 동기의 부하특성을 얻어 내는 거시적 방법이 있다. 미시적인 방법에 의한 부하 모델도 실제의 부하특성과 상당히 근사적으로 접근하고는 있으나, 많은 시간과 경비 및 노력을 필요로 하기 때문에 최선의 방법이라고 할 수는 없다. 또한 거시적인 방법, 즉 식별법(identification method)에 의한 방법이 모선별의 P, Q, V 및 f 데이터가 충분하다면 비교적 간단한 접근법이다. 부하모델링에 대한 연구는 미국과 캐나다를 중심으로 연구되어 왔으며[1]-[6], 국내에서는 1990년에 홍익대학교와 한전 기술연구원이 공동으로 부하모델에 관한 연구[7]를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 전력시스템의 입력과 출력데이터를 이용하여, 이미 잘 알려져 있는 시스템 식별법(system identification)인 순환형 최소자승법(Recursive Least Square method : RLS)을 이용하여 제한된 부하모델의 파라미터를 식별하여 일반적인 부하특성을 표현하고자 하였다.

2. 유도전동기의 동가회로 해석 모델

일반적으로 모선에 연결된 많은 종류의 부하 특성은 한대의 유도전동기 특성으로 대표될 수 있다고 가정하여 유도전동기의 T-동가회로를 식별모델로 선정하였다.

2.1 T-동가회로 모델

유도전동기의 2차측회로에 부하가 연결된 상태를 T-동가회로로 표현한 것이 그림 1이다.

여기서,

- P_L : 기계적인 부하
- LF : 부하계수 (Loading Factor[p.u])
- A, B : 기계 상수(Mechanical Coefficient)
- ω_m : 회전수

와 같다. 그런데, 유도전동기에서 전기적인 부하는 2차측 등가저항으로 나타내지므로

$$-P_R = \frac{V_R^2}{s} - r_2' \quad (12)$$

와 같이 정리되고, 식 (11)과 (12)로부터

$$\omega_m = \frac{1}{V_R^2} (\omega_0 V_R^2 - r_2' LF (A \omega_m^3 + B \omega_m^4)) \quad (13)$$

여기서,

- ω_0 = 입력 주파수
- ω_m = 부하 주파수

의 관계식을 얻을 수 있다. 식 (5)~(10)은 전기회로에 관계된 식이며, 식 (11)은 전기적 부하와 기계적 부하의 관계를 맺어 주는 식이다. 따라서, 유도전동기를 전기적 부하의 관점에서 필요한 결과는 P_s 와 Q_s 가 되는 것이다.

2.2 등가회로 해석 시뮬레이션

유도전동기의 운전상태는 입력측에 인가되는 전압 V_s 와 주파수 f 에 의하여 결정되므로, 앞에서 언급된 비와 같이 T-등가회로 해석은 일반 전력시스템에서의 전력 조류계산을 이용하여 시뮬레이션할 수 있으며, 이 해석의 관계식은 뉴턴-랩슨법(Newton-Raphson method)을 적용하기에 적합한 형태로서, S모션을 기준모션으로 하여 다음의 반복계산 과정으로 수행된다.

- (1) 모션 어드미턴스 행렬 구성
- (2) 유도전동기 부하 P_R 의 초기값을 가정
- (3) 모션 주입 유효 및 무효전력의 계산
- (4) 유효 및 무효전력의 편차 계산
- (5) $\text{MAX}(|\Delta P_R|, |\Delta P_M|, |\Delta Q_R|, |\Delta Q_M|)$ 와 허용오차의 판별 허용오차보다 작은 과정(6) 수행
허용오차보다 작으면 과정(10) 수행
- (6) 자코비안 행렬방정식의 구성
- (7) 자코비안 역행렬로부터 $\Delta V_R, \Delta V_M, \Delta \delta_R$ 및 $\Delta \delta_M$ 계산
- (8) V_R, V_M, δ_R 및 δ_M 의 수정

$$x^{NEW} = x^{OLD} + \Delta x \quad (14)$$

여기서, x : V_R, V_M, δ_R 및 δ_M

- (9) 과정 (3) 수행
- (10) 식 (13)으로부터 V_R 에 대응하는 ω_m 을 구함.
- (11) ω_m 이 결정되면 식 (11)에 따라 P_R 의 수정 수정된 P_R 이 변화가 있으면 과정(3) 수행
 P_R 의 변화가 없으면 과정(12) 수행
- (12) 수정된 값을 사용하여 P_s 와 Q_s 를 계산
- (13) 계산의 종료

2.3 파라미터의 주파수계수

유도전동기의 입력측에 주어지는 주파수 f 의 영향을 고려하는 경우에 식(13)에서 ω_0 가 영향을 받게 되며, T-등가회로의 리액턴스 값들이 변하게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 주파수 영향을 고려하기 위하여 각 파라미터의 주파수계수를 다음과 같이 정의하였다.
먼저 파라미터를 주파수의 미소변화에 대하여 테일러 급수 전개하면

$$P(f) = P(f^0 + \Delta f) = P(f^0) + \frac{\partial P}{\partial f} \Delta f + H.O.T \quad (15)$$

여기서,

- P : 파라미터
- f^0 : 기준주파수

이 되고, 고차항(H.O.T)를 무시하면 파라미터 P 의 주파수 계수 $C_f(P)$ 는 다음과 같이

$$C_f(P) = \frac{\partial P / \partial f}{P} \quad (16)$$

정의되며, 주파수계수 $C_f(P)$ 를 고려한 파라미터는

$$P^f = (1.0 + C_f(P)) P^0 \quad (17)$$

여기서,

P^0 : 기준주파수에서의 파라미터

이 된다.

3. 시스템 식별법에 의한 부하 모델링

모션에 연결된 많은 종류의 부하에 대하여 단일화된 등가 부하모델을 결정하는 방법중에서 거시적인 방법은 입력(V & f)와 출력데이터(P & Q)를 사용하여 매우 단순하면서도 정확한 부하특성을 나타낼 수 있는 부하모델의 파라미터를 식별하고자 하는 것이다. 따라서, 본 연구에서 제안한 모델인 유도전동기의 T-등가회로 파라미터를 식별하는 것으로써, 시스템 식별법인 최소자승법(Least Square method)와 RLS 식별방법을 적용하는 알고리즘을 개발하였다.

3.1 시스템 식별법(System Identification)

3.1.1 최소자승법

식별문제를 정식화 하는데, 모델의 출력이 실측값과 얼마나 잘 맞는지를 알 수 있는 평가지수(Performance Index)를 오차(error) 제곱의 합으로 표시하였다. 그림 2에 나타난 실제의 시스템(Real system)과 수학적 모델(Mathematical Model)을 고려한다.

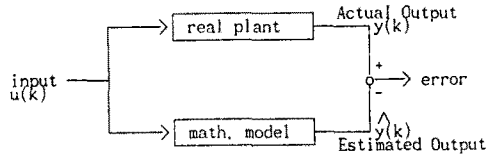


그림 2. Real Plant와 Math. Model의 출력과 오차

시스템에서 입력 $u(0), u(1), u(2), \dots, u(N)$ 에 대하여 출력 $y(0), y(1), y(2), \dots, y(N)$ 이 측정된다고 하면, 이 시스템의 k 번째 추정값은

$$\hat{y}(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) - \dots - a_n y(k-n) + b_0 u(k) + b_1 u(k-1) + \dots + b_n u(k-n) \quad (18)$$

와 같이 표현된다. 따라서 식별해야 하는 파라미터는 a_1, a_2, \dots, a_n 과 b_0, b_1, \dots, b_n 이 된다. 실제 출력 $y(k)$ 와 추정치 $\hat{y}(k)$ 의 오차 $\epsilon(k)$ 는 다음과 같이 정의하여

$$\epsilon(k) = y(k) + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) + \dots + a_n y(k-n) - b_0 u(k) - b_1 u(k-1) - \dots - b_n u(k-n) \quad (19)$$

$k = n, n+1, n+2, \dots, N$ 을 대입하여 정리하고, 다시 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$Y(N) = C(N) X(N) + E(N) \quad (20)$$

여기서,

- $Y(N)$: 실제 출력벡터
- $C(N)$: 계수 행렬
- $X(N)$: 파라미터 벡터
- $E(N)$: 오차 벡터

파라미터의 식별을 위하여 최소자승법의 평가지수를 오차 자승의 합으로 표시하여 정리하면

$$J_N = E(N)^T E(N) = [-X^T(N)C^T(N)Y(N) + Y^T(N)Y(N) + X^T(N)C^T(N)C(N)X(N) - Y^T(N)C(N)X(N)] \quad (21)$$

와 같고, J_N 의 $X(N)$ 에 대한 최소화 조건으로부터

$$\hat{X}(N) = [C^T(N)C(N)]^{-1} C^T(N) Y(N) \quad (22)$$

의 최적 파라미터를 구할 수 있다.

3.1.2 순환형 최소자승법(RLS법)

실제 시스템에서는 측정값이 연속적으로 얻어지므로 최적 파라미터를 연속적으로 얻을 수 있는 방법이 바람직

하다. 따라서, 최소자승법이 확장된 순환형 최소자승법을 사용할 수 있다.

새로운 입력 $u(N+1)$ 과 출력 $y(N+1)$ 을 식(20)에 추가하면, $y(N+1)$ 은 $Y(N)$ 에, $\varepsilon(N+1)$ 은 $E(N)$ 에 각각 추가되고, 파라미터의 벡터 $X(N)$ 이 $X(N+1)$ 로 바뀌어

$$\begin{bmatrix} Y(N) \\ Y(N+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(N) \\ C(N+1) \end{bmatrix} X(N+1) + \begin{bmatrix} E(N) \\ E(N+1) \end{bmatrix} \quad (23)$$

와 같이 표시된다. 식 (23)을 정리하면 최적 파라미터 $\hat{X}(N+1)$ 는 다음과 같다.

$$\hat{X}(N+1) = \hat{X}(N) + K(N+1)[Y(N+1) - C(N+1)\hat{X}(N)] \quad (24)$$

여기서,

$$K(N+1) = P(N)C^T(N+1)\{I + C(N+1)P(N)C^T(N+1)\}^{-1}$$

$$P(N) = [C^T(N)C(N)]^{-1}$$

또한, $P(N)$ 의 순환식은

$$P(N+1) = P(N) - P(N)C^T(N+1)\{I + C(N+1)P(N)C^T(N+1)\}^{-1}C(N+1)P(N) \quad (25)$$

으로 정리된다. 결국은 식 (24)와 (25)가 RLS법에 필요한 식이다.

3.2 유도전동기의 파라미터 식별

유도전동기의 T-등가회로에서 측정된 입력데이터(V_s & f)와 출력데이터(P_s & Q_s)와의 관계는

$$P_s = g(V_s, \omega_o, P, X) \quad (26)$$

$$Q_s = g(V_s, \omega_o, P, X) \quad (27)$$

여기서,

X : 파라미터 벡터
 P : M 모선과 R 모선의 전압과 위상각

와 같이 표현된다. T-등가회로에서 P_s 와 Q_s 의 값은

$$P_s = P_R + P_{LSM} + P_{LMR}$$

$$= V_M V_M B_{SM} \sin(\delta_R - \delta_M)$$

$$- (V_s^2 + V_M^2) G_{SM} + 2V_s V_M G_{SM} \cos(\delta_s - \delta_M)$$

$$- (V_M^2 + V_R^2) G_{MR} + 2V_M V_R G_{MR} \cos(\delta_M - \delta_R) \quad (28)$$

$$Q_s = Q_R + Q_{LSM} + Q_{LMR} + Q_{LMR}$$

$$= (V_s^2 + V_M^2) B_{SM} - 2V_s V_M B_{SM} \cos(\delta_s - \delta_M)$$

$$+ V_M V_M B_{SM} + (V_M^2 + V_R^2) G_{MR} - 2V_M V_R G_{MR} \cos(\delta_M - \delta_R)$$

여기서,

P_{Lij} : i모선과 j모선사이의 송전손실(유효분)
 Q_{Lij} : i모선과 j모선사이의 송전손실(무효분)

와 같이 표시되어, 식별해야 할 파라미터는 G_{SM} , B_{SM} , G_{MR} , B_{MR} , $b_{SM}(-1/X_M)$ 가 된다.

따라서, 출력의 측정값 벡터 $Y(N)$ 은

$$Y(N) = [\Delta P_s(n), \Delta Q_s(n), \Delta P_s(n+1), \Delta Q_s(n+1), \dots, \Delta P_s(N), \Delta Q_s(N)]^T \quad (30)$$

와 같고, 파라미터 벡터 $X(N)$ 은

$$X(N) = [G_{SM}(N), B_{SM}(N), b_{SM}(N), G_{MR}(N), B_{MR}(N)]^T \quad (31)$$

이며, 또한 계수행렬 $C(N)$ 은 식 (32)와 같다.

$$C(N) = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_s(n)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial P_s(n)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial P_s(n)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial P_s(n)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial P_s(n)}{\partial B_{MR}} \\ \frac{\partial Q_s(n)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial Q_s(n)}{\partial B_{MR}} \\ \frac{\partial P_s(n+1)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial P_s(n+1)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial P_s(n+1)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial P_s(n+1)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial P_s(n+1)}{\partial B_{MR}} \\ \frac{\partial Q_s(n+1)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n+1)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n+1)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial Q_s(n+1)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial Q_s(n+1)}{\partial B_{MR}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial P_s(N)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial P_s(N)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial P_s(N)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial P_s(N)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial P_s(N)}{\partial B_{MR}} \\ \frac{\partial Q_s(N)}{\partial G_{SM}} & \frac{\partial Q_s(N)}{\partial B_{SM}} & \frac{\partial Q_s(N)}{\partial b_{SM}} & \frac{\partial Q_s(N)}{\partial G_{MR}} & \frac{\partial Q_s(N)}{\partial B_{MR}} \end{bmatrix} \quad (32)$$

3.3 일반적인 부하모델의 파라미터 식별

전력계통에서 임의의 모선에 정태부하와 유도전동기 부하가 병렬로 연결되어 있는 것으로 가정하여 유도전동기의 등가회로를 그림 3과 같이 변형하여 제안하면,

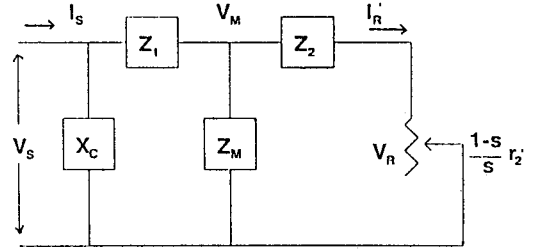


그림 3. 부하의 일반적인 표현을 위한 모델

파라미터 벡터 $X(N)$ 은 다음과 같고, 계수행렬 $C(N)$ 은 식 (32)에 X_c 항만을 추가하면 된다.

$$X(N) = [G_{SM}(N), B_{SM}(N), b_{SM}(N), G_{MR}(N), B_{MR}(N), X_c(N)]^T \quad (33)$$

4. 사례 연구

본 연구에서 제안한 유도전동기의 등가회로로 표현되는 등가 부하모델에 대한 알고리즘의 효율성을 보이기 위하여 사례연구를 수행하였다. 먼저 대표적인 유도전동기의 파라미터[3]를 가지고, 등가회로 해석 시뮬레이션에 대한 사례연구를 수행하여 결과 분석하였으며, 식별법에 의한 T-등가회로의 파라미터 식별에 대해서는 파라미터가 잘 알려진 유도전동기의 파라미터 식별과 전력시스템의 현장에서 실측된 데이터로부터 모선의 등가 부하모델에 대한 파라미터를 식별하였다. 또한, 각각의 경우에 대하여 식별된 파라미터를 시뮬레이션한 결과와 실측된 결과를 비교하는 사례연구를 수행하였다.

4.1 유도전동기의 등가회로 해석 시뮬레이션

그림 4는 대용량의 유도전동기에 대한 결과이며, 그림 5는 소용량의 대표적 유도전동기의 결과이다. 일반적으로 알려진 대로 유도전동기에서 유효전력은 전압의 변화에 대하여 거의 정출력 운전을 하고 있음을 볼 수 있으며, 무효전력은 변화가 심한 것을 알 수 있다. 특히, 소용량일수록 변화가 심한 것을 알 수 있는데, 이 결과는 실제의 실험을 통한 결과[6]와 일치한다는 점에서 등가회로 해석시뮬레이션의 결과가 만족스러운 것이다.

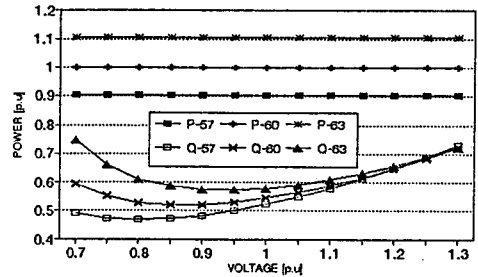


그림 4. 대용량 유도전동기(5500 HP)의 시뮬레이션

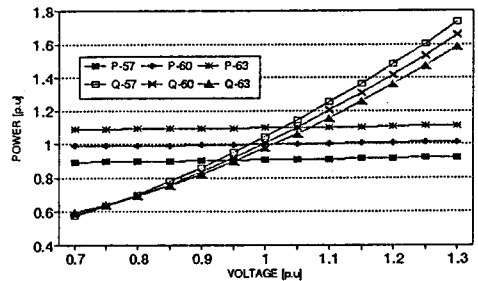


그림 5. 소용량 유도전동기(냉장고)의 시뮬레이션

4.2 식별법에 의한 부하모델

4.2.1 유도전동기의 파라미터 식별

그림 6은 파라미터 값을 알고 있는 유도전동기에 대하여 실측된 입출력의 데이터로부터 RLS법에 의한 파라미터를 식별하여 시뮬레이션한 결과와 실측값을 비교한 것으로서, 두 값의 차이가 거의 없어서 제안된 전동기 파라미터 식별 알고리즘의 유용성이 입증되었다.

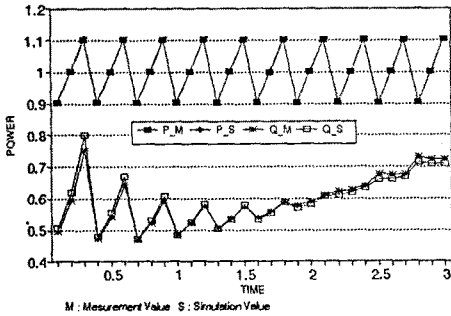


그림 6. 대용량(5500 HP) 유도전동기의 식별결과 비교

4.2.2 일반부하모델의 파라미터 식별

전력시스템의 현장에서 실측된 데이터로부터 제안된 유도전동기 파라미터의 식별에 의한 일반적인 부하모델을 위하여 산업용 부하가 많은 지점을 선정하였다.

전압의 변화는 약 2.5 [%]이고, 주파수의 변화도 약 1.7 [%] 정도를 나타낸다.

그림 7과 8은 제안한 T-등가회로 부하모델의 파라미터 식별에 의한 시뮬레이션의 결과와 측정된 유효전력 및 무효전력을 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과가 측정된 결과를 충분히 따라가고 있음을 알 수 있어서, 본 연구에서 제시된 알고리즘의 효용성이 입증되었다.

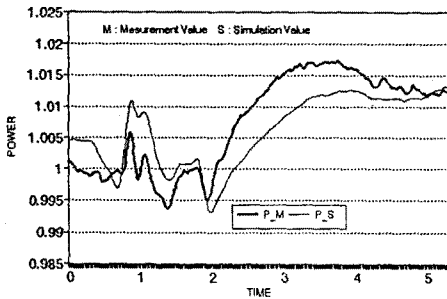


그림 7. 유효전력의 실측과 식별 결과의 비교

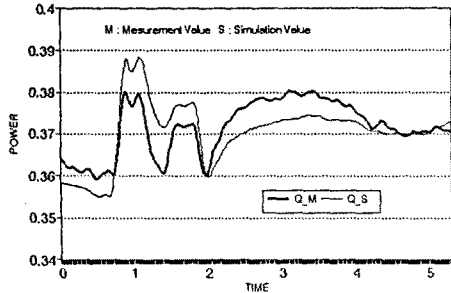


그림 8. 무효전력의 실측과 식별 결과의 비교

5. 결론

본 연구는 전력시스템의 상태해석 및 시뮬레이션을 위하여 범용으로 사용할 수 있으며, 부하특성을 정확하게 나타낼 수 있는 일반적인 부하모델에 대하여 연구하였다. 본 연구의 내용은 다음과 같이 요약된다.

- 가. 유도전동기의 T-등가회로를 부하의 일반표현을 위한 모델로 우선 선정하고, 등가회로 해석 시뮬레이션을 수행하였다.
- 나. 선정된 등가회로 모델의 파라미터 식별을 위한 RLS 식별방법의 알고리즘을 개발하였다.
- 다. 개발된 파라미터의 RLS식별 알고리즘을 이용하여 잘 알려진 유도전동기의 파라미터를 식별하여, 결과를 비교하였다.
- 다. 모선에 연결된 부하의 보다 정확한 특성을 표현하기 위하여 일반적인 부하모델을 제안하였다.
- 라. 제안된 모델의 식별 알고리즘을 실제동에 적용하여 대용량의 유도전동기 부하가 많은 복합부하를 단일 등가부하로의 변환 가능성을 충분히 입증하였다.

금후 부하모델의 수리과 결과 검증에 위한 부하측의 충분한 데이터가 수집될 수 있도록 현장에서 P, Q, V 및 f를 연속적으로 측정할 수 있는 기록장치의 설치가 요청된다.

<참고 문헌>

1. University of Texas at Arlington, "Determining Load Characteristics for Transient Performance", Vol. 1-3, EPRI Report EL-849, 1979.
2. General Electric Co., "Determining Load Characteristics for Transient Performance", Vol. 1-4 EPRI Report EL-850, 1981.
3. General Electric Co., "Load Modeling for Power Flow and Transient Stability Computer Studies", Vol 1-4, EPRI Report EL-5003, 1987.
4. C. Concordia & S. Ihara, "Load Representation in Power System Stability Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-101, pp.969-977, April 1982.
5. Ma Da-Qing and Ju Ping, "A Novel Approach to Dynamic Load Modeling", IEEE PES Summer Meeting, 1988, Paper 88 SM 647-4.
6. K. O. Abledu, "Equivalent Load Model of Induction Machines connected to a Common Bus", Ph.D. Thesis, Iowa State University, Iowa, 1983.
7. 한국전력공사 기술연구원, "전력계통 안정도 해석을 위한 적정 부하모델에 관한 연구", 1990.
8. L.JUNG L., "System Identification - Theory for the User", Prectice Hall, 1987.