

식별법에 의한 전력시스템 동태 부하 해석

○ \* \*\* \*\*\*  
이 상정, 김 정훈, 정 태호

\* \*\* \*\*\*  
충남대학교 전자공학과, 홍익대학교 전기제어공학과, 한전기술연구원

Identification Approach to Analysis of Dynamic Load Characteristics

○ \* \*\* \*\*\*  
S. J. Lee, J. H. Kim, T. H. Chung

Chungnam National University, Hong-ik University, KEPCO Research Center

ABSTRACT

This paper treats modelling of dynamic load characteristics for power systems. The dynamic load is represented as 4th order multivariable ARMA model under the assumption that the dynamic load characteristics can be described by the dynamics of only one induction motor. The parameters of the proposed ARMA model are identified using the well-known RLS method. This paper presents two kind of identification results : one is for induction motors and the other is for field data at Donghae station. From these results, the proposed model is quite suitable for the dynamic load characteristics. It has, however, a disadvantage in the viewpoint that the identified parameters are not those of the induction motor.

1. 서론

전력시스템의 상태해석이나 시뮬레이션을 위해선 시스템 구성 요소들의 수학적 모델이 필요하다. 전력시스템의 구성 요소는 크게 나누어 전원, 선로 및 부하로 구분할 수 있는데 전원이나 선로, 특히 전원에 대한 모델화는 오랫동안 연구 결과로 상당한 진전을 보이고 있으나 부하에 대한 특성연구는 매우 간단한 형태로만 다루어져 왔다. 본 논문에서는 동적 상태를 다루는 안정도 계산을 위한 부하모델의 모델링 방법을 제시하고자 한다. 전력시스템의 상태 추정과 안정도 계산에 필수적인 부하모델링 방법은 미시적인 접근방법과 거시적인 접근방법의 두가지로 대별할 수 있다. 미시적인 방법은 개별 부하의 특성과 부하구성비 조사를 통하여 복합 부하모델을 유도하는 것이며, 이에 반해 거시적인 접근방법은 시스템 특성을 잘 나타내는 적절한 부하모델을 가정하고 측정데이터(전압, 주파수, 유효전력 및 무효전력)를 이용하여 식별 방법을 통해 모델의 파라미터를 찾아내는 것이다. 이러한 식별방법의 부하모델링에의 적용사례는 여러문헌[1-9]에 보고되고 있으나 이들 결과들은 대부분 안정도 해석용으로는 적절하지 않다고 생각되며 현장실측 데이터에 대한 결과도 미비한 것이 대부분이다.

본 논문에서는 동태부하가 하나의 유도전동기로 구성될 수 있다고 가정하고 식별방법을 통한 동태부하모델을 개발한다. 첫째, 평형상상태를 가정하여 유도전동기 5차 완전모델에서 회전자 각속도의 동특성을 무시하고 선형화된 이상형 다변수 4차 ARMA 모델을 동태부하모델로 제안한다. 둘째, 순환형 최소자승식별방법(Recursive Least Squares Identification Method : 이하 RLS 식별법이라 칭한다)을 사용하여 유도전동기 5차 완전모델의 시뮬레이션데이터와 현장실측데이터에 대한 식별결과를 보인다. 마지막으로, 본 논문의 결과를 요약하고 문제점을 정리한 후 그 해결 방안을 제시한다.

2. 다변수 동태부하모델

이 절에서는 동태부하가 하나의 유도전동기로 표현될 수

있다고 가정하고 식별방법을 적용할 동태부하모델을 제안한다. 유도전동기의 정확한 모델은 다음과 같은 5차 상태 방정식으로 주어진다.

$$\dot{x}(t) = A_1 x(t) + A_2 x(t)w(t) + B_0 v(t) \quad (2.1)$$

$$w_r(t) = x^T(t) Q x(t) - r_1 w_r^2(t) - r_2 w_r(t) \quad (2.2)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} C_1^T \\ C_2^T \end{bmatrix} x(t) v(t) \quad (2.3)$$

여기서  $w(t)$ 와  $v(t)$ 는 주파수와 전압이며  $w_r(t)$ 는 회전자 각속도이고

$$A_1 = \begin{bmatrix} a & -b & c & 0 \\ b & a & 0 & c \\ d & 0 & e & w_r \\ 0 & d & -w_r & e \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$B_0 = \begin{bmatrix} w_b \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} -g \\ 0 \\ -h \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ -g \\ 0 \\ -h \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

이며  $w_b$ 는 베이스 주파수이고  $y_1$ 과  $y_2$ 는 각각 유효전력과 무효전력을 나타내며  $a, b, c, d, e, g, h$  및  $Q$ 는 유도전동기 파라미터들인  $X_s, r_s, X_r, r_r, X_m$  및  $w_b$ 의 함수로 주어진다(구체적인 관계식은 본 논문에서 필요로 하지 않으므로 생략한다).

일반적으로 고정자와 회전자의 자속(flux)  $x(t)$ 의 과도응답 속도에 비해 회전자 각속도  $w_r(t)$ 의 과도응답속도가 훨씬 느리므로 과도안정도 해석시엔  $w_r(t)$ 의 동특성은 무시할 수 있다고 가정할 수 있다. 따라서, 식(2.2)의 동특성은 무시하고 식(2.1)과 식(2.3)을 정상상태 근방에서 교차시켜 1차항만 취하면 교차방정식은

$$\delta \dot{x}(t) = (A_1 + w_0 A_2) \delta x(t) + B_0 \delta u(t) \quad (2.9)$$

$$\delta y(t) = C \delta x(t) + D \delta u(t) \quad (2.10)$$

과 같다. 여기서

$$\delta u(t) = \begin{bmatrix} \delta v(t) \\ \delta w(t) \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} B_0 & A_2 x_w \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1^T v_w \\ C_2^T v_w \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

$$D = \begin{bmatrix} C_1^T x_w & 0 \\ C_2^T x_w & 0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

이때 하첨자 e는 정상상태값을 나타내고 정상상태 방정식은

$$0 = A_1 x_w + A_2 x_w + B_0 v_w \quad (2.15)$$

$$y_w = \begin{bmatrix} C_1^T \\ C_2^T \end{bmatrix} x_w v_w \quad (2.16)$$

이다. 식(2.9)와 식(2.10)으로 주어지는 교란방정식을 표준주기 T로 이산화하면

$$\delta x(k+1) = A\delta x(k) + B\delta u(k) \quad (2.17)$$

$$\delta y(k) = C\delta x(k) + D\delta u(k) \quad (2.18)$$

와 같으며 여기서 A와 B는 다음과 같다.

$$A = I + A_1 + w_0 A_2 T \quad (2.19)$$

$$B = [B_0 T \quad A_2 x_w T] \quad (2.20)$$

ARMA 모델을 구하기 위해 전달 함수를 구하면

$$G(z) = C(zI-A)^{-1}B + D$$

$$= \begin{bmatrix} C_1^T(zI-A)^{-1}B_0 v_w T - C_1^T(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w \\ C_2^T(zI-A)^{-1}B_0 v_w T - C_2^T(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w \\ -C_1^T(zI-A)^{-1}A_2(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w^2 T \\ -C_2^T(zI-A)^{-1}A_2(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w^2 T \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} G_{11}(z) & G_{12}(z) \\ G_{21}(z) & G_{22}(z) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

과 같으며 식(2.15)와 식(2.16)으로부터

$$C_1^T(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w = -y_{10} / v_w \quad (2.22)$$

$$C_2^T(A_1 + w_0 A_2)^{-1}B_0 v_w = -y_{20} / v_w \quad (2.23)$$

이므로  $G_{11}(z)$ ,  $G_{12}(z)$ ,  $G_{21}(z)$  및  $G_{22}(z)$ 는 다음과 같은 형태로 쓸 수 있다.

$$G_{11}(z) = \frac{y_{10}/v_w + b_{31}z^{-1} + b_{21}z^{-2} + b_{11}z^{-3} + b_{01}z^{-4}}{\Delta(z)} \quad (2.24)$$

$$G_{12}(z) = \frac{b_{32}z^{-1} + b_{22}z^{-2} + b_{12}z^{-3} + b_{02}z^{-4}}{\Delta(z)} \quad (2.25)$$

$$G_{21}(z) = \frac{y_{20}/v_w + c_{31}z^{-1} + c_{21}z^{-2} + c_{11}z^{-3} + c_{01}z^{-4}}{\Delta(z)} \quad (2.26)$$

$$G_{22}(z) = \frac{c_{32}z^{-1} + c_{22}z^{-2} + c_{12}z^{-3} + c_{02}z^{-4}}{\Delta(z)} \quad (2.27)$$

여기서

$$\Delta(z) = 1 + a_3 z^{-1} + a_2 z^{-2} + a_1 z^{-3} + a_0 z^{-4}$$

이며  $a_i, b_{ij}$ , 및  $c_{ij}$ 는 상태방정식의 계수들로 표현될 수 있다.

이제 이와 같은 전달함수로부터 RLS식별법을 적용하기 위해 선형회귀모델 (Linear Regression Model)을 유도하자.

그런데, 식(2.24) 및 식(2.26)의 분자의 최고차항 계수는 측정 데이터인 전압과 유효/무효전력으로 부터 구해지는 값이므로 식별할 필요가 없는 계수이다. 따라서, 새로운 변수  $z(k)$ 를

$$z(k) = \begin{bmatrix} z_1(k) \\ z_2(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta y_1(k) - \frac{y_{10}}{v_w} \delta u_1(k) \\ \delta y_2(k) - \frac{y_{20}}{v_w} \delta u_1(k) \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

로 정의하면 식별 방법을 적용할 동태 부하용 선형회귀 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$z(k) = \phi^T(k)\theta$$

여기서, 식별해야 할 파라미터 벡터  $\theta$ 는

$$\theta^T = [ a_3 a_2 a_1 a_0 b_{31} b_{21} b_{11} b_{01} b_{32} b_{22} b_{12} b_{02} c_{31} c_{21} c_{11} c_{01} c_{32} c_{22} c_{12} c_{02} ] \quad (2.31)$$

과 같으며 측정변수로 구성되는 행렬  $\phi(k)$ 는

$$\phi(k) = \begin{bmatrix} -y_1(k-1) & -y_2(k-1) \\ -y_1(k-2) & -y_2(k-2) \\ -y_1(k-3) & -y_2(k-3) \\ -y_1(k-4) & -y_2(k-4) \\ u_1(k-1) & 0 \\ u_1(k-2) & 0 \\ u_1(k-3) & 0 \\ u_1(k-4) & 0 \\ u_2(k-1) & 0 \\ u_2(k-2) & 0 \\ u_2(k-3) & 0 \\ u_2(k-4) & 0 \\ 0 & u_1(k-1) \\ 0 & u_1(k-2) \\ 0 & u_1(k-3) \\ 0 & u_1(k-4) \\ 0 & u_2(k-1) \\ 0 & u_2(k-2) \\ 0 & u_2(k-3) \\ 0 & u_2(k-4) \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

로 주어진다.

### 3. 식별방법 적용 결과 및 검토

본 논문에서는 다음과 같은 RLS식별 알고리즘 [10] 을 사용하여 ARMA모델의 파라미터들을 식별한다.

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + L(k)[z(k) - \phi^T(k)\hat{\theta}(k-1)] \quad (3.1)$$

$$L(k) = P(k-1)\phi(k)[R + \phi^T(k)P(k-1)\phi(k)]^{-1} \quad (3.2)$$

$$P(k) = [I - L(k)\phi^T(k)]P(k-1) \quad (3.3)$$

식(3.2)에서 R은 출력 측정 잡음의 분산으로 둔다. 본 논문에서는 0.1초 동안 30%의 전압고장과 0.7초 동안 5% 주파수 고장을 인가한 유도 전동기 5차 완전 모델의 시뮬레이션 출력(유효전력과 무효전력)을 측정값으로 하여 동태부하 모델 파라미터를 식별한 결과를 보이고, 현장 실측 데이터를 사용하여 실제 번진소에 연결된 부하의 동특성을 식별한 결과를 보인다. 본 논문에서 수행한 식별 방법의 적용 및 검토 과정을 그림 3.1에 보였다.

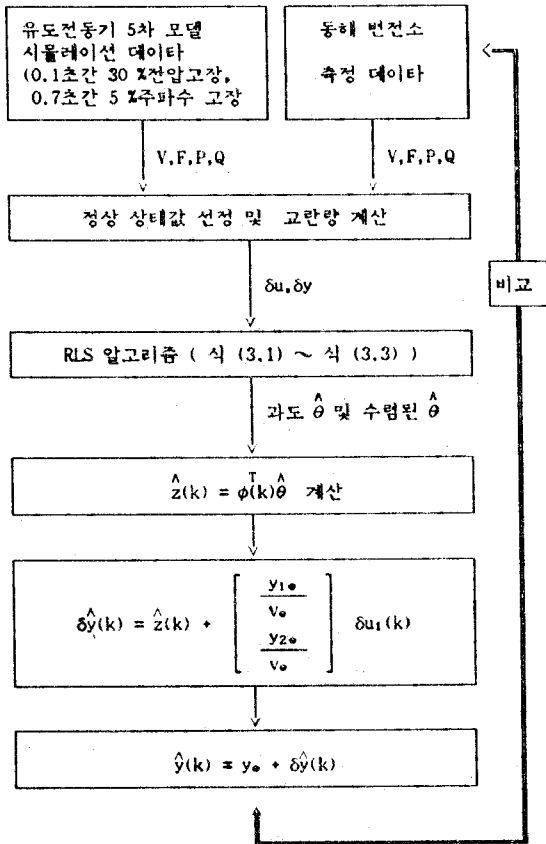


그림 3.1 식별 방법 적용 및 검토과정

**3.1 유도전동기 파라미터 식별결과**  
 저관성과 고관성의 두가지 유도전동기에 대한 시뮬레이션 데이터를 사용하여 식별방법을 적용하였으며, 전압변동은 0.1초동안 1.0 PU 에서 0.7 PU 로의 30% 고장, 주파수는 약 0.7초동안 60 Hz 에서 57 Hz로의 5%의 고장을 인가했다. 그때의 시뮬레이션 입-출력 데이터를 그림 3.2에 보였다.

저관성 유도전동기 파라미터 식별값들을 그림 3.3-그림 3.7에 보이고 식별과정의 과도파라미터값 과 수렴된 파라미터값을 사용한 경우의 유효전력 및 무효전력의 식별값과 시뮬레이션 값을 그림 3.8 및 그림 3.9에 비교하여 보였다. 고관성 유도전동기에 대해선 파라미터 식별값은 도수를 생략하며 유효전력 및 무효전력 식별값과 시뮬레이션값은 그림 3.10 및 그림 3.11에 보였다. 두경우 모두 파라미터값은 전압과 주파수의 고장이 복구되자마자 수렴하며 유효전력 및 무효전력 모두 수렴된 파라미터 식별값을 사용하여 본래의 시뮬레이션값에 근사함을 알수있다. 따라서, 본연구에서 제안하는 4차의 다변수 ARMA 모델은 유도전동기의 동특성을 만족할만한 정도로 잘 표현하는 모델이라고 볼수 있음을 알 수 있다.

**3.2 현장 실속데이터에 대한 식별결과**

이제 본 논문에서 제안하는 동태부하모델 식 (2.30)이 실제의 경우 동태부하를 적절히 표현하는지를 검증하기위해 현장 실속데이터에 대해 식별방법을 적용한 결과를 보인다. 덤프테스트 현장에서 실속한 데이터를 per unit 단위로 고친 데이터를 그림 3.12에 보이고 식별과정에 사용한 데이터 내용을 표 3.1에 보였다. 그림 3.13 - 그림 3.17에 식별된 파라미터를 보이고 그림 3.18과 그림 3.19에 식별된 유효전력과 무효전력을 실속값과 비교하여 보였다.

그림 3.12 현장 실속 데이터 (東海)

표 3.1 식별과정에 사용된 데이터

데이터 종류	내 용
동태 부하모델	식 (2.30)
사용 식별방법	가중 순환형 최소자승법
출력측정 오차가정	오차의 expected mean-square $10^{-6}$
파라미터 초기값	0
파라미터 오차 공분산 초기값	$10^4$
현장 실속 데이터	전 압: 157 KV에서 최대변화량 3.7 KV 주 파 수: 60.03Hz 에서 최대변화량 -0.7Hz 유효전력: 110 MW 에서 최대변화량 2 MW 무효전력: 40MVAR에서 최대변화량 3.3MVAR

식별결과를 검토해보면 본모파라미터와 전압관련 본자 파라미터는 10초 이내에, 주파수관련 본자파라미터는 약 4-5초 이내에 정상상태로 수렴하게 됨을 알 수 있다. 또, 식별과정의 과도 파라미터값을 사용하면 유효전력과 무효전력 모두 식별값이 실제값과 거의 완전히 일치하게 된다. 수렴된 파라미터값을 사용하면 무효전력의 경우엔 여전히 뛰어난 식별성능을 보이나 유효전력의 경우엔 동특성 경향은 잘 나타나어 주지만 전압과 주파수 고장이 복구되기 전에는 비교적 차이가 나는 결과를 보이고 있다. 특히 차이가 발생하는 부분은 3초-4초 사이인데 이 경우의 실속 유효전력 파형을 보면 시스템 입력인 주파수와 전압에 고장이 발생하는 시점인 4초경 이전에 이미 큰 폭으로 감소하고 있다. 이와같은 현상은 물리적으로 불가한 것이며 현장 덤프테스트시 전지역 정전등의 사에에 대비하여 인위적인 전압과 주파수 고장 인가전에 보조발전기 투입등의 대책을 수립한 것이라고 생각된다. 따라서, 본 연구에서는 현장 실속 데이터중에서 유효전력 실속값을 0-약 3.5 초 사이를 레벨 다운시키는 방향으로 수정하여 식별방법을 적용해 보기도 한다(그림 3.21).

식별결과를 검토하면 무효전력의 경우엔 앞서서와 마찬가지로 매우 뛰어난 식별성능을 보임을 알 수 있다. 유효전력의 경우에는 그림 3.22에서 보듯이 물리적으로 가능치 않은 부분의 실속데이터를 수정한 경우의 식별결과를 그림 3.18의 식별결과에 비해 과도특성 및 정상상태 특성(수렴된 파라미터를 사용한 경우 고장발생 및 고장완전제거시)이 훨씬 개선되어짐을 알 수 있으며 무효전력에 비해서 식별 성능이 되거나 만족할 만큼 충분한 성능을 보인다고 할 수 있다. 따라서, 본 연구에서 제시하는 전압 및 주파수불 입력으로 하고 유효전력 및 무효전력을 출력으로 하는 다변수 4차 ARMA 모델은 동태부하모델로 적합 하다고 결론지을 수 있다.

**4. 결론**

본 논문에서는 동태부하 모델 개발을 위해 식별법을 사용한 접근 방법을 택하여 다음과 같은 내용의 연구를 수행하였다.

▶ 동태부하를 하나의 유도 전동기로 보아 회전각 각속도 동특성을 무시하고 평형 삼상 상태를 가정하여 다변수 이산형 4차 ARMA 모델을 동태부하모델로 제안 하였다.

▶ 제안된 부하모델의 타당성을 입증하기위해 유도전동기 시뮬레이션 데이터와 현장 실속 데이터에 대해 식별 방법을 적용한 결과를 보였다.

이와 같은 내용의 연구를 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

▶ 제안한 동태부하모델 식 (2.30)에 근거하여 유도 전동기 시뮬레이션 데이터에 RLS 식별법을 적용한 결과 유효전력과 무효전력 모두 동특성을 잘 표현하지만 유효전력의 경우는 식별값과 실제값이 거의 일치하며, 무효전력의 경우는 조금 덜 SENSITIVE한 결과를 보였다.

▶ 현장 실측 데이터에 RLS식별법을 적용한 결과 유효전력과 무효전력의 동특성을 아주 잘 표현하는 결과를 얻었다.

이상의 결과로 부터 본 논문에서 제안하는 동태부하모델에 RLS식별법을 사용하는 접근 방법의한 동태부하 모델링은 만족할만한 성능을 보인다고 결론 지을 수 있다. 그러나, 본 논문에서 식별되는 동태부하 모델 파라미터는 유도전동기의 파라미터가 아니므로 안정도 해석용 패키지인 PSS/E에 직접 사용할 수 없다는 단점이 있다. 이 문제의 해결을 위해서 다음과 같은 몇가지 해결 방안을 생각해 볼 수 있으며 이는 계속되어야 할 연구과제이기도 하다.

▶ 다변수 ARMA모델의 파라미터와 4차 상태공간 모델(유도 전동기) 파라미터의 관계식을 유도하여 식별된 다변수 ARMA 모델 파라미터로부터 유도전동기 파라미터를 계산해 내는 방법을 고려할 수 있다. 이 방법은 직관적인 방법이기는 하나 미지수의 갯수 보다 식의 갯수가 더 많으며 관계식 또한 비선형이어서 해가 존재한다는 보장이 없으며, 유도전동기의 관성모멘트가 관계식에 포함되지 않는다는 단점이 있다.

▶ 비선형 5차 상태공간 모델을 부하모델을 사용하고 Extended Kalman filter 또는 RPEM(Recursive Prediction Error Method) 등을 사용한 Adaptive Estimation 기법을 적용하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 이 경우 선형 모델에 대한 Adaptive Estimation 기법은 알려져 있으나 비선형 모델에 대한 Adaptive Estimation 기법은 저자들이 알고리즘은 아직 이론적으로 알려져 있지 않으므로 이론의 유도가 필요하며 더우기 수렴 특성의 해석이 어려우리라 예상된다.

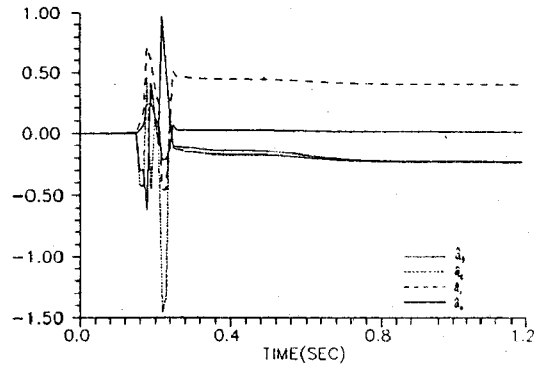


그림 3.3 P와 Q의 본모 파라미터 식별값

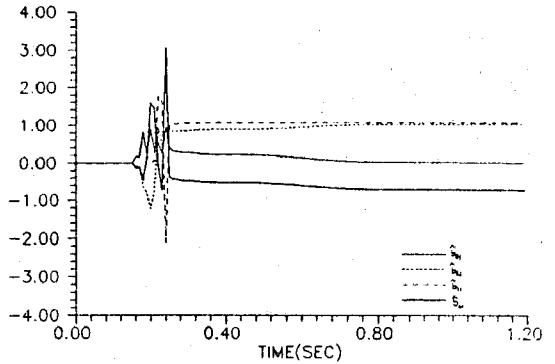
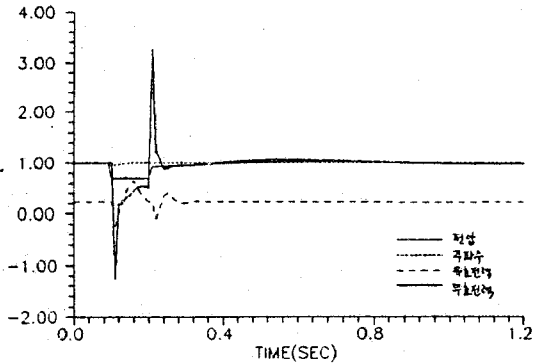
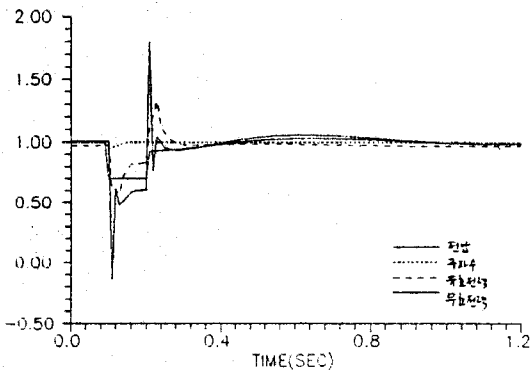


그림 3.4 P의 본자 파라미터 b11의 식별값



(a) 저관성 유도전동기



(b) 고관성 유도전동기

그림 3.2 유도전동기 시뮬레이션 데이터

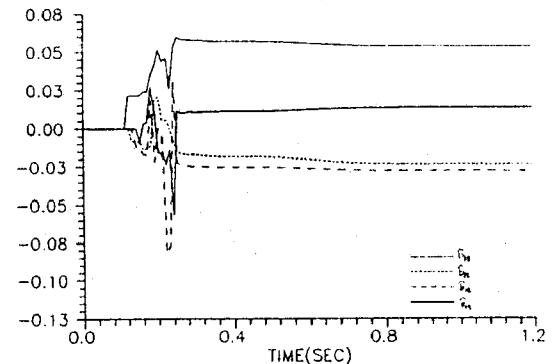


그림 3.5 P의 본자파라미터 b12의 식별값(주파수관련, 저관성)

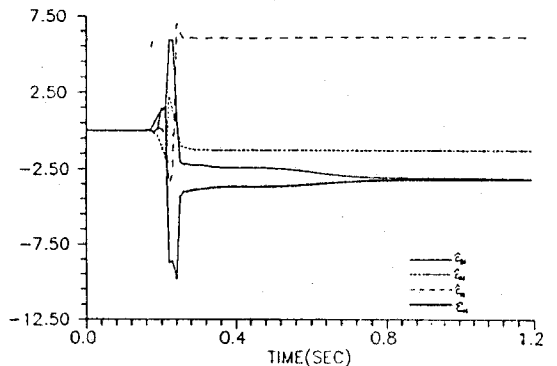


그림 3.6 Q의 본자파라미터 C11의 식별값(전압관련, 저관성)

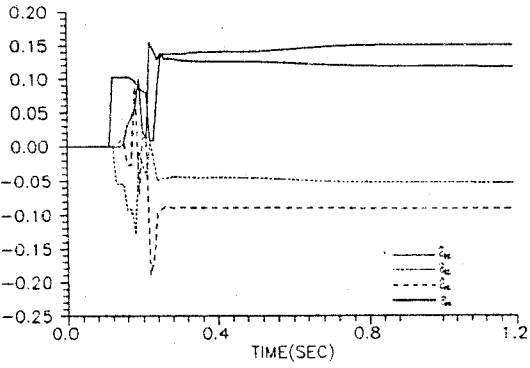


그림 3.7 Q의 본자파라미터  $C_{12}$ 의 식별값(주파수관련, 저관성)

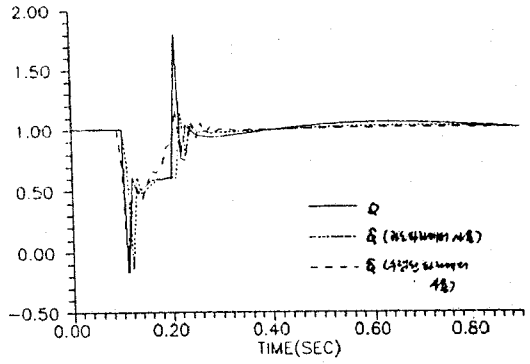


그림 3.11 Q의 식별값 (고관성)

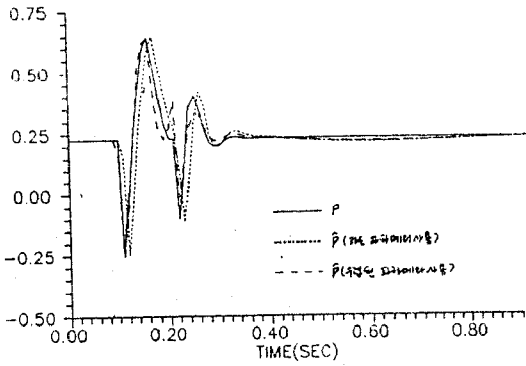


그림 3.8 P의 식별값 (저관성)

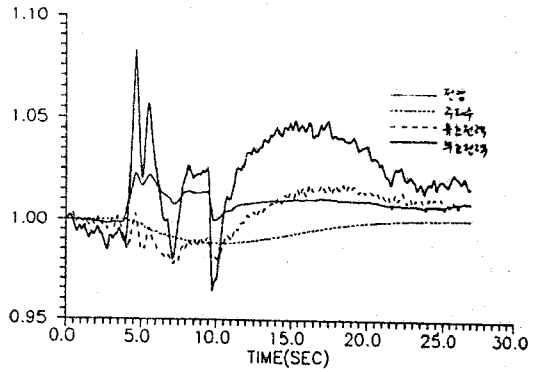


그림 3.12 현장 실측 데이터 (東海)

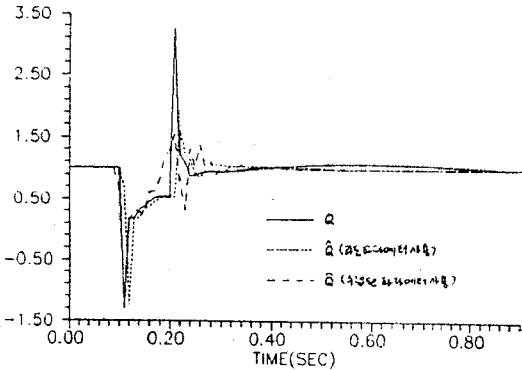


그림 3.9 Q의 식별값 (저관성)

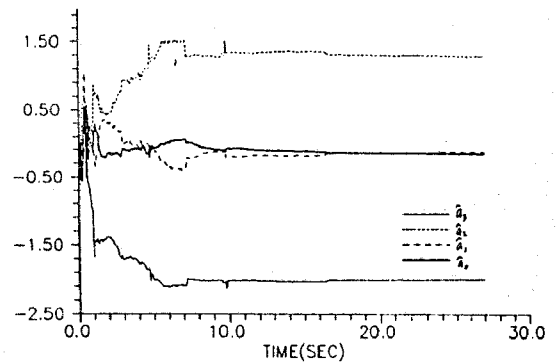


그림 3.13 P와 Q의 본모파라미터 식별값

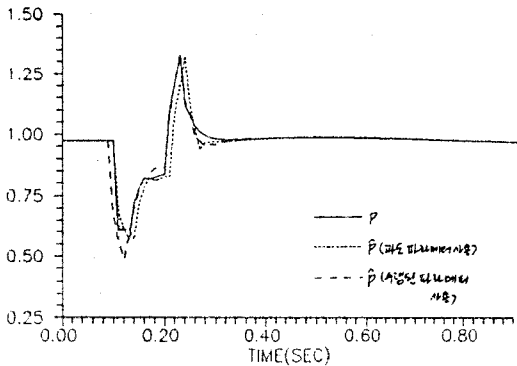


그림 3.10 P의 식별값 (고관성)

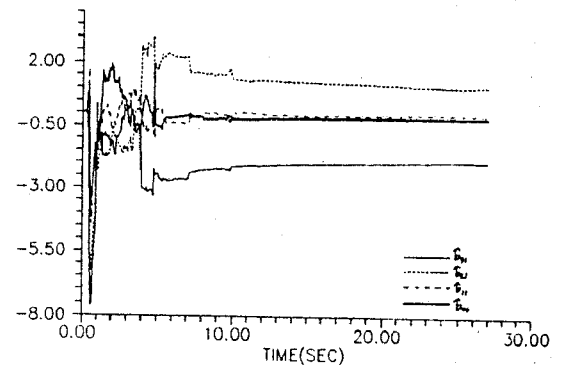


그림 3.14 P의 본자파라미터  $b_{11}$ 의 식별값(전압 관련)

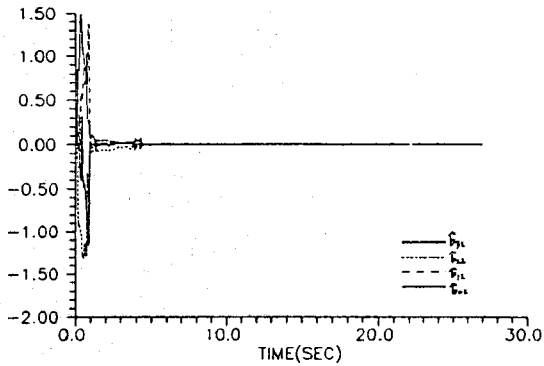


그림 3.15 P의 분자파라미터  $b_{12}$ 의 식별값(주파수 관련)

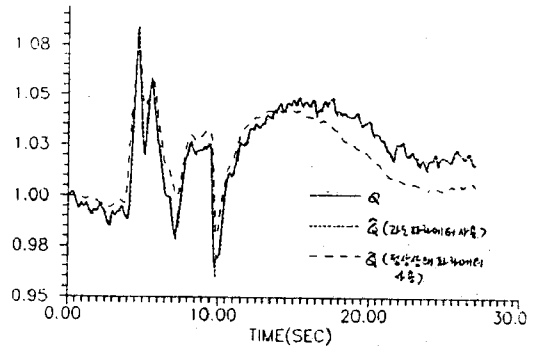


그림 3.19 Q의 식별값

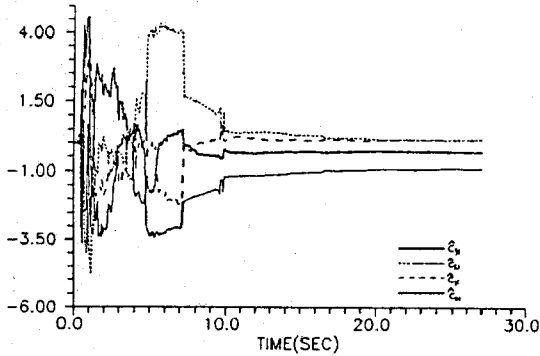


그림 3.16 Q의 분자파라미터  $C_{11}$ 의 식별값(전압 관련)

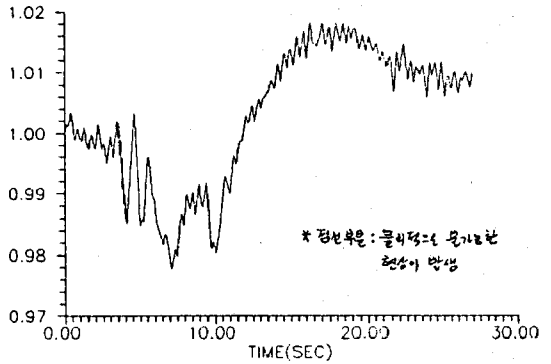


그림 3.20 원래의 유효전력 실측데이터

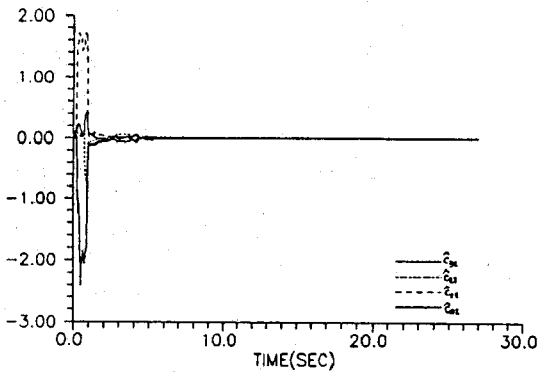


그림 3.17 Q의 분자파라미터  $C_{12}$ 의 식별값(주파수 관련)

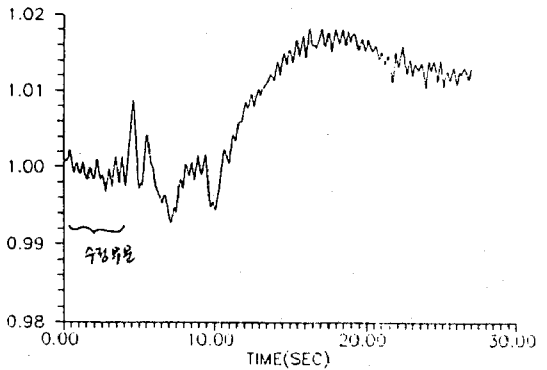


그림 3.21 수정된 유효전력 실측데이터

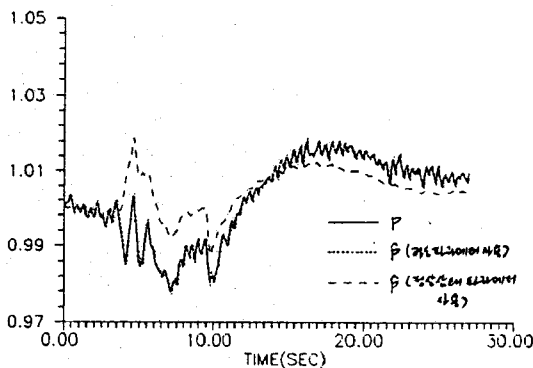


그림 3.18 P의 식별값

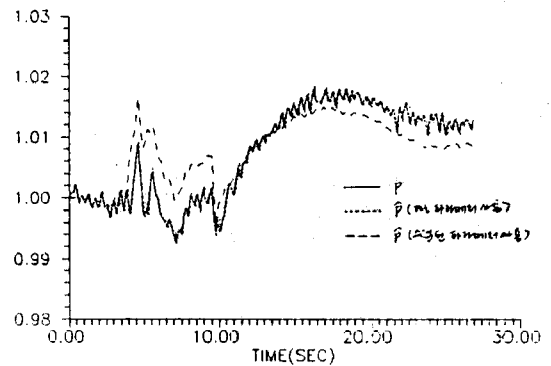


그림 3.22 유효전력 실측값과 식별값

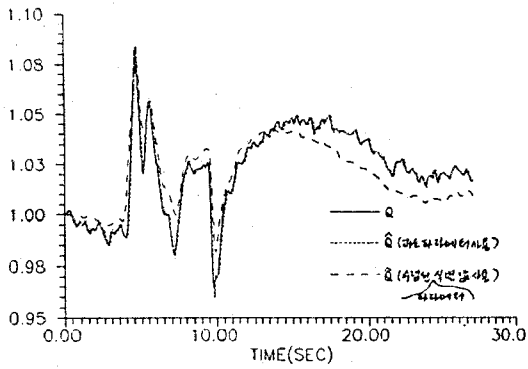


그림 3.23 무효전력 실속값과 식별값

## 참고문헌

- [1] G. Singh, K. K. Biswas and A. K. Mahaalanabis, "Load modelling for real time monitoring of power systems," IEEE Trans. Power App. and Sys., vol. PAS-96, no.6, pp. 1908-1914, 1977
- [2] EPRI REPORT EL-849, Determining Load Characteristics for Transient Performances. May 1979.
- [3] K. Srinivasan et al., "Load response coefficients monitoring system: theory and field experience," IEEE Trans. Power App. and Sys., vol. PAS-100, no. 8, pp. 3818-13827, Aug. 1981.
- [4] F. J. Meyer and K. Y. Lee, "Improved dynamic load model for power system stability studies," IEEE Trans. Power App. and Sys., vol. PAS-101, no. 9, pp. 3303-3309, Sep. 1982.
- [5] S. A. Y. Sabir and D. C. Lee, "Dynamic load models derived from data acquired during system transients," IEEE Trans. Power App. and Sys., vol. PAS-101, no. 9, pp. 3365-3372, Sep. 1982.
- [6] A. S. Morched and P. Kundur, "Identification and modelling of load characteristics at high frequencies," IEEE Trans. Power Systems, vol. PWR-2, no. 1, pp. 153-160, Feb. 1987.
- [7] T. Doven et al., "A microcomputer based on-line identification approach to power system dynamic load modelling," IEEE Trans. Power Systems, vol. PWR-2, no. 3, pp. 529-536, Aug. 1987.
- [8] E. Welfonder, H. Weber and B. Hall, "Investigations of the frequency and voltage dependence of load part systems using a digital self-acting measuring and identification systems," 1988.
- [9] Ma Da-Qing and Ju Ping, "A novel approach to dynamic load modelling," IEEE PES. Summer Meeting, paper 88. SM647-4, 1988.
- [10] L. Ljung and T. Soderstrom, Theory and practice of Recursive Identification. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1983.