

# 디젤엔진의 最適速度制御를 爲한 퍼라미터 推定에 關한 研究

A Study on the Parameter Estimation for the Optimal  
Speed Control of a Diesel Engine

蘇 明 玉



< 目 次 >

Abstract	3.1 모델의 선정 및 정수계산
기호설명	3.2 속도제어 시스템의 최적 파라미터 값의 추정
제1장 서론	제4장 검토 및 고찰
제2장 파라미터 값의 추정에 관한 이론적 해석	4.1 인디셜 응답에 대한 고찰
2.1 디젤엔진의 속도제어 시스템에 대한 블록선도	4.2 추정 파라미터 값의 불확연성에 대한 검토
2.2 연속시스템의 이산치시스템으로의 모델화	제5장 결 론
2.3 파라미터 값의 추정원리	참고문헌
제3장 수치계산 및 시뮬레이션	감사의 글

## ABSTRACT

A Study on the Parameter Estimation for the Optimal Speed  
Control of a Diesel Engine

Myeong Ok So

*Dept. of Marine Engineering, Graduate School,  
Korea Maritime University*

For the parameter estimation of a linear system, the least squares method(LS), the generalized least squares method(GLS), the maximum likelihood method(ML), the instrumental variable method(IV) and the kalman filter can be used.

In this paper, a method of identifying the speed control system of a long-stroke, low-speed diesel engine from its sampled data is proposed. A discrete-time model is first obtained and then the LS method is outlined to drive a modified least squares method with a priori knowledge about noise statistics of input, output and load torque. The proposed scheme eliminates the noise matrix term in the original LS scheme to obtain an effective estimate. A computer simulation shows that the modified scheme is superior to the original LS scheme in parameter estimation.

## 기 호 설 명

$\left. \begin{matrix} a_1, a_2 \\ b_1, b_2 \\ c_1, c_2 \end{matrix} \right\}$  : Parameters of the difference equation of the plant

$E$  : Expectation operator

$E_1$  : Expectation value of the parameter error

$E_2$  : Expectation value of the parameter error

$E_n$  : Error vector

$H$  : True data matrix

$H_n$  : Measurement data matrix

$I$  : Unit matrix

$J$  : Moment of inertia (kg-m-sec<sup>2</sup>)

$J_1(\theta)$ : Performance criteria for LS

$J_2(\theta)$ : Performance criteria for MLS

$k$  : Discrete time unit  $k = t/T$  0,1,2,3 -----

$K_p$  : Proportional sensitivity

$K_c$  : DC gain of the combustion system (kg-m/g)

$K_r$  : DC gain of the rotating system (rad/sec-kg-m)

$M$  : Noise matrix

$m$  : Number of measurement

$N_y$  : Noise vector

$n_y$  : Noise

$n_u$  : Noise

$n_q$	: Noise	
$q$	: Load torque	(kg-m)
$q_m$	: Output torque	(kg-m)
$q_n$	: Measurement load torque	(kg-m)
$r$	: Reference input	
$s$	: Variable of the Laplace - transformation	
$T$	: Sampling time	(sec)
$t$	: Continuous time	(sec)
$T_c$	: Time constant of the combustion system	(sec)
$T_r$	: Time constant of the rotating system	(sec)
$T_i$	: Integral time	(sec)
$u$	: Control input	
$u_n$	: Measurement control input	
$Y$	: Angular velocity vector	(rad/sec)
$y$	: Angular velocity	(rad/sec)
$Y_n$	: Measurement angular velocity vector	(rad/sec)
$y_{e1}$	: Estimated angular velocity by LS	(rad/sec)
$y_{e2}$	: Estimated angular velocity by MLS	(rad/sec)
$z$	: Variable of the Z-transformation ( $z=e^{Ts}$ )	
$\theta$	: Plant parameter vector	
$\hat{\theta}(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2)$	: Estimated plant parameter vector	
$\mathcal{L}$	: Laplace transform operator	
$\mathcal{Z}$	: Z-transform operator	

## 제 1 장 서 론

디젤엔진의 속도제어에는 P 동작 (비례동작) 을 하는 유압-기계식 조속기 (Hydro-Mechanical Governor) 가 일반적으로 이용되고 있지만 이것으로는 최근 저속, 장행정이면서 실린더수가 적은 엔진을 효율적으로 제어하기가 곤란하다. 최근 마이크로-컴퓨터 및 마이크로-프로세서 응용기술의 급진적인 발달로 디지털 조속기 (Digital Governor) 가 개발되어 과거 유압-기계식 조속기의 시간지연으로 인한 속응성에 대한 단점 등은 많이 개선되고 있으며 시스템을 이용하여 디젤엔진의 최적속도제어를 행하는 방법에 관한 연구<sup>(1)</sup>도 일부 이루어지고 있다.

그러나 디젤엔진의 최적속도제어를 행하기 위해서는 엔진의 운전 속도에 영향을 미치는 엔진의 제 퍼라미터의 값을 추정하여야 할 필요가 있으며 이들 퍼라미터의 값은 엔진의 운전속도, 주위환경, 부하의 종류 및 크기에 따라 변하므로 이들의 값을 항상 정확히 추정한다는 것은 대단히 어려운 문제이다. 일반적으로 어떤 퍼라미터의 값을 추정하는 방법으로는 퍼라미터  $[\theta]$  와 측정치  $[Y]$  에 관해 Posteriori Conditional Probability Density Function  $[P(\theta/Y)]$  를 최대로 하는 Most Probable Estimation<sup>(2-4)</sup>, Conditional Probability Density Function  $[P(Y/\theta)]$  를 최대로 하는 Maximum Likelihood Estimation<sup>(2-8)</sup>, 퍼라미터  $[\theta]$  에 관해 오차백터의 노름 (No-

rm)을 최소로 하는 Least Squares Estimation<sup>(2-4, 8-11)</sup>, 그리고 Kalman Filter<sup>(2-4, 12)</sup> 등 여러가지가 제안되어져 있다.

본 연구에서는 위의 추정 방법들 중 가장 널리 알려져 있는 종래의 Least Squares Estimation (LS) 방법을 소개하고, 데이터를 측정할 때 수반되는 측정잡음의 통계적 성질은 미리 알고 있다고 가정하여 종래의 최소자승법으로부터 측정잡음행렬 ( $M$ )의 제곱을 제거하여 퍼라미터의 값을 추정하는 Modified Least Squares Estimation (MLS) 방법을 제안한다. 측정 데이터를 만들기 위해서는 디젤엔진을 이산치시스템 (Discrete-type system)으로 모델화하였고, 디젤엔진에 있어서 제어량인 회전각속도, 제어입력인 연료량, 그리고 부하토크 측정에 통계적 성질이 각각 다른 측정잡음이 수반되는 경우에 대하여 디지털 시뮬레이션을 행하여 종래의 LS 방법과 본 논문에서 제안하는 MLS 방법을 비교 검토함으로써 본 연구에서 제안하는 MLS 방법의 우수성을 입증하고자 한다.

## 제 2 장 퍼라미터 값의 추정에 관한 이론적 해석

### 2.1 디젤엔진의 속도제어 시스템에 대한 블록선도

디젤엔진의 속도제어 계통은 Fig.2.1 과 같이 조속기 (Governor), 연소계통 및 회전계통으로 구성된다.

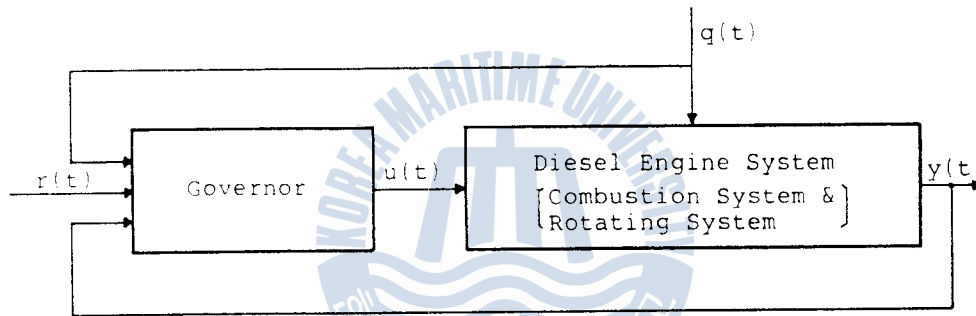


Fig.2.1 Speed control system of a diesel engine

디젤엔진의 연소계통과 회전계통은 엔진의 운전속도, 주위환경, 부하의 종류 및 크기에 따라 수시로 변하는 시간지연요소, 쿨롱마찰 등의 비선형 요소도 포함되어 있으나 이들은 시스템 전체에 미치는 영향이 적으므로 다음과 같이 각각 1차요소로 근사화될 수 있다. (13-14)

연소계통

$$\frac{Q_m(s)}{U(s)} = \frac{K_c}{1 + T_c s} \dots\dots\dots (1)$$

회전계통

$$\frac{Y(s)}{Q_m(s) - Q(s)} = \frac{K_r}{1 + T_r s} \dots\dots\dots (2)$$

단,  $U(s) = \mathcal{L}[u(t)]$ ,  $u(t)$  : 제어입력  
 $Y(s) = \mathcal{L}[y(t)]$ ,  $y(t)$  : 회전각속도  
 $Q(s) = \mathcal{L}[q(t)]$ ,  $q(t)$  : 부하토크  
 $Q_m(s) = \mathcal{L}[q_m(t)]$ ,  $q_m(t)$  : 엔진의 출력토크

그러므로 Fig.2.1 에 대한 상세한 블럭선도를 그리면 Fig.2.2 와 같이 된다.

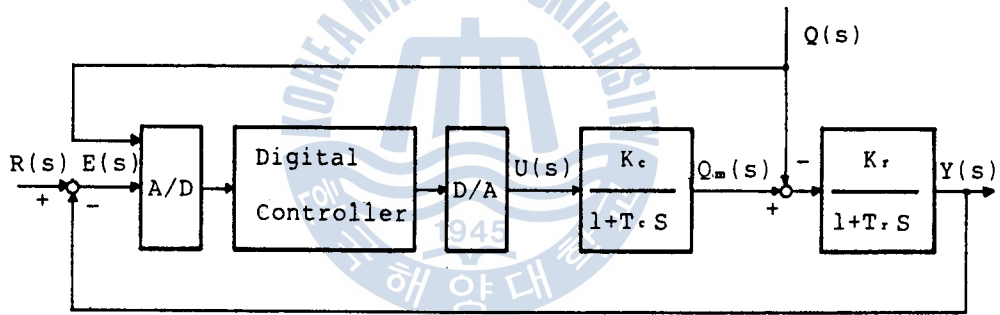


Fig.2.2 Block diagram of the speed control system

2.2 연속시스템의 이산치시스템으로의 모델화

Fig.2.2로부터 플랜트 부분 만을 선정하여 입·출력 및 부하토크의 연속적인 관계를 Laplace 변환된 식으로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$Y(s) = \frac{K_c K_r}{(1 + T_c s)(1 + T_r s)} U(s) - \frac{K_r}{1 + T_r s} Q(s) \dots (3)$$



그러나 최근 마이크로-컴퓨터 및 마이크로-프로세서의 급진적인 응용기술 발전으로 디지털제어 (Digital Control) 는 아날로그제어 (Analog Control) 보다 경량이며, 제어질의 개선, 잡음 및 외란영향의 감소, 프로그램의 융통성 등 많은 이점이 있으므로 디지털제어를 위해서는 식(3)으로 표현되는 연속시스템을 이산치시스템으로 모델화할 필요가 있다.

따라서 식(3)을 이산치시스템으로 변환하기 위하여 샘플링시간 (Sampling Time) 이 T 인 샘플러 (Sampler) 와 Zero Order Holder (Z.O.H) 를 부가하여 블록선도로 표시하면 다음과 같다.

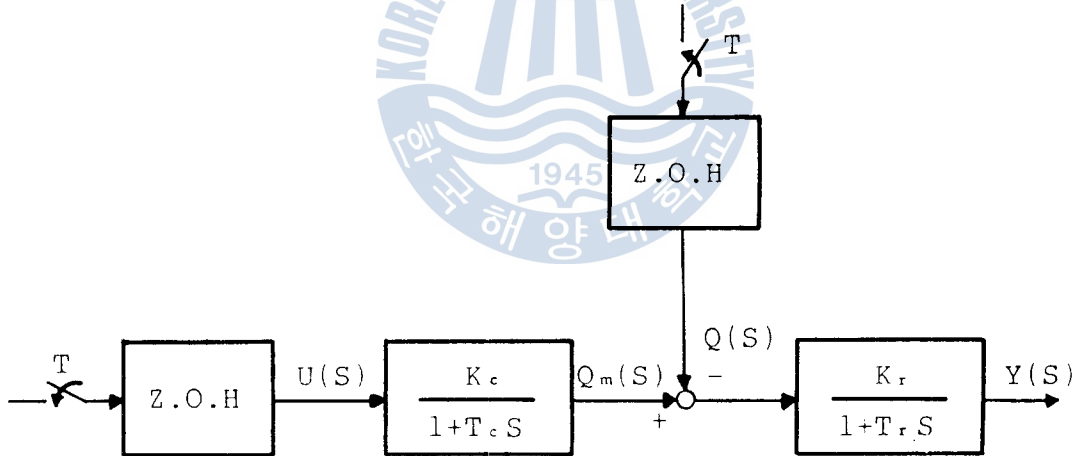


Fig.2.3 Block diagram of the plant with sampler & Z.O.H

Fig.2.3 을 식으로 나타내면,

$$Y(s) = \frac{K_c K_r}{(1+T_c s)(1+T_r s)} \frac{1-e^{-Ts}}{s} U(s) - \frac{K_r}{1+T_r s} \frac{1-e^{-Ts}}{s} Q(s)$$

..... (1)

로 되고, 또한 이것을 Z 변환하면 다음과 같다.

$$Y(z) = (1-z^{-1}) \mathcal{Z} \left[ \frac{K_c K_r}{s(1+T_c s)(1+T_r s)} U(s) - \frac{K_r}{s(1+T_r s)} Q(s) \right] \dots\dots\dots (5)$$

위 식(5)를 부분분수로 전개하여 정리하면 다음과 같이 간단히 표현할 수 있다.

$$A(z^{-1}) Y(z) = B(z^{-1}) U(z) - C(z^{-1}) Q(z) \dots\dots\dots (6)$$

단,  $A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}$   
 $B(z^{-1}) = b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}$   
 $C(z^{-1}) = c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2}$   
 $a_1 = -(T_{c1} + T_{r1})$   
 $a_2 = T_{c1} T_{r1}$   
 $b_1 = K_c K_r [1 - T_{rc} (T_r T_{r1} - T_c T_{c1})]$   
 $b_2 = K_c K_r [T_{c1} T_{r1} + T_{rc} (T_c T_{r1} - T_r T_{c1})]$   
 $c_1 = K_r (1 - T_{r1})$   
 $c_2 = K_r T_{c1} (T_{r1} - 1)$   
 $T_{c1} = e^{-\frac{T}{T_c}}$   
 $T_{r1} = e^{-\frac{T}{T_r}}$   
 $T_{rc} = \frac{1}{T_r - T_c}$

일반적으로 F(z)의 역 Z 변환을 식(7)과 같이 정의하고, 식(6)을 역 Z 변환하면 식(8)처럼 되며 이 식(8)을 블록선도로 표시한 것이 Fig.2.4이다.

$$f(k) = f(kT) = \mathcal{Z}^{-1}[F(z)] \dots\dots\dots (7)$$

$$A(z^{-1}) y(k) = B(z^{-1}) u(k) - C(z^{-1}) q(k) \dots\dots\dots (8)$$

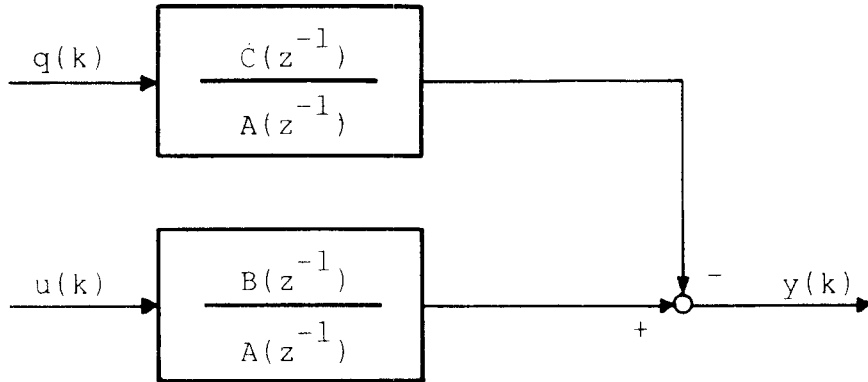


Fig.2.4 Block diagram of the plant without noise

위 식(8)을 전개하여 차분방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$y(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) - c_1 q(k-1) - c_2 q(k-2) \dots\dots\dots (9)$$

### 2.3 퍼래미터 값의 추정원리

앞 절 2.2에서 디젤엔진을 식(9)와 같은 이산치 모델로 표현하였으므로 디젤엔진을 최적으로 속도제어하기 위해서는 디젤엔진의 퍼래미터, 즉 식(9)에 포함되어 있는 계수  $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$ 의 값을 알아야 한다.

따라서 본 절에서는 이들 퍼래미터의 값을 추정하는 방법에 대해서 고찰하고자 한다.

Fig.2.5는 디젤엔진의 디지털 속도제어 계통과 퍼래미터 추정계통에 대한 개략적인 블럭선도를 나타낸다.

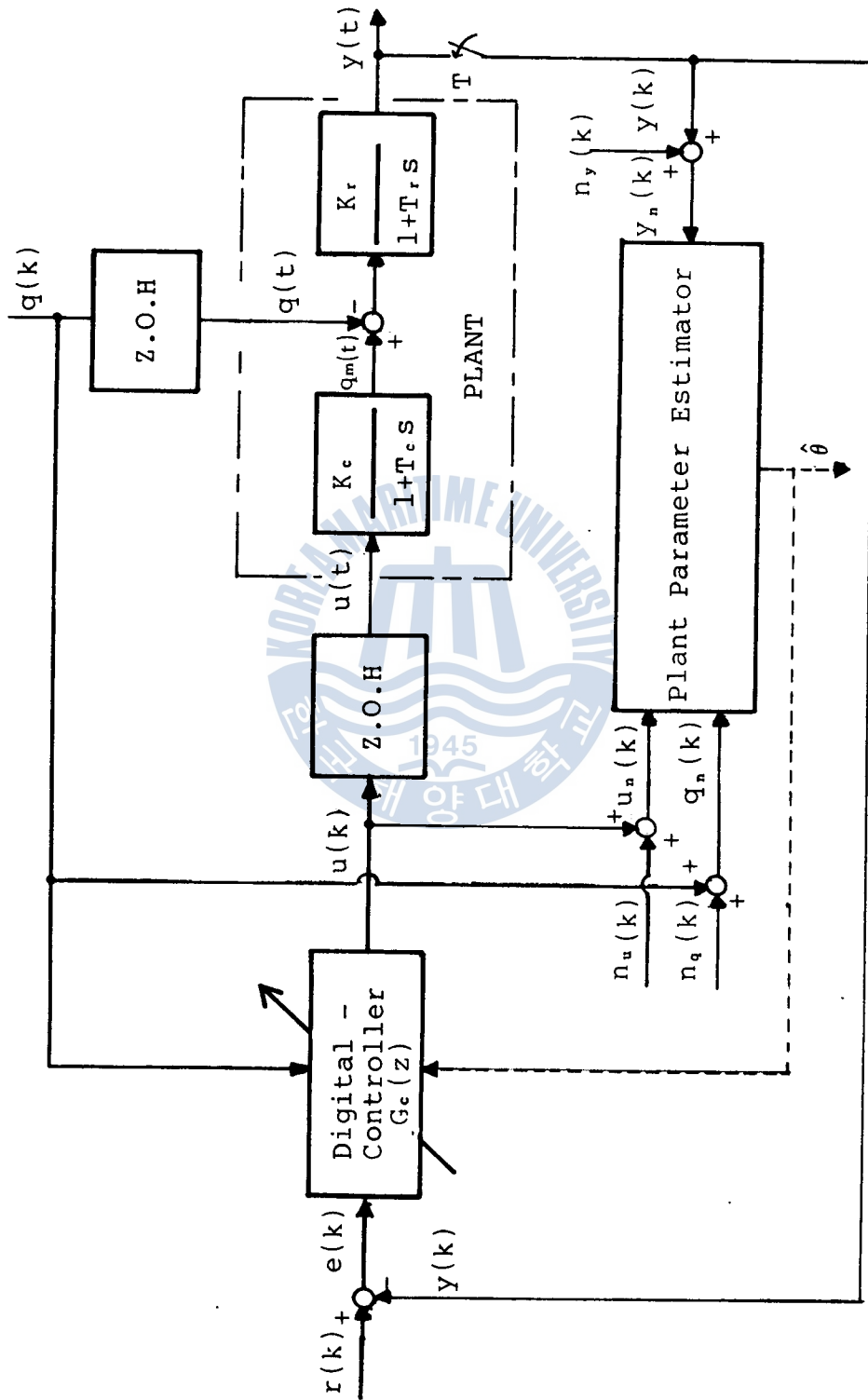


Fig.2.5 Block diagram of the system to be estimated with noise

본 연구에서는 디젤엔진의 입·출력 및 부하토크의 측정치인  $u_n(k)$ ,  $y_n(k)$  및  $q_n(k)$  에는 식 (10) 에 표현되어 있는 것처럼 통계적으로 서로 독립인 측정잡음  $n_u(k)$ ,  $n_y(k)$  및  $n_q(k)$  가 각각 포함되어 있는 것으로 가정한다.

$$\begin{aligned} u_n(k) &= u(k) + n_u(k) \\ y_n(k) &= y(k) + n_y(k) \quad \dots\dots\dots (10) \\ q_n(k) &= q(k) + n_q(k) \end{aligned}$$

단,  $n_u(k)$  는 평균값이 0 이고, 표준편차가  $\sigma_u$  인 백색잡음  
 $n_y(k)$  는 평균값이 0 이고, 표준편차가  $\sigma_y$  인 백색잡음  
 $n_q(k)$  는 평균값이 0 이고, 표준편차가  $\sigma_q$  인 백색잡음

식(9)와 식 (10) 의 관계로부터,

$$\begin{aligned} y_n(k) &= -a_1 y_n(k-1) - a_2 y_n(k-2) + b_1 u_n(k-1) + b_2 u_n(k-2) \\ &\quad - c_1 q_n(k-1) - c_2 q_n(k-2) + a_1 n_y(k-1) + a_2 n_y(k-2) \\ &\quad - b_1 n_u(k-1) - b_2 n_u(k-2) + c_1 n_q(k-1) + c_2 n_q(k-2) \\ &\quad + n_y(k) \quad \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

이 구해지며, 여기서  $k$  를  $k$  에서  $k+m-1$  까지 순차적으로 바꾸어서 얻어지는  $m$  개의 식을 간단히 벡터 및 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$Y_n = H_n \theta + E_n \quad \dots\dots\dots (12)$$

단,  $Y_n = Y + N_y$   
 $H_n = H + M$   
 $E_n = N_y - M\theta$

$$Y = [y(k) \ y(k+1) \ \dots \ y(k+m-1)]^T,$$

m차원 벡터의 각속도

$$Y_n = [y_n(k) \ y_n(k+1) \ \dots \ y_n(k+m-1)]^T,$$

m차원 벡터의 측정 각속도

$$N_y = [n_y(k) \ n_y(k+1) \ \dots \ n_y(k+m-1)]^T,$$

m차원 벡터의 잡음

$$\theta = [a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2]^T$$

6차원 벡터의 퍼라미터

$$H = \begin{bmatrix} -y(k-1) & -y(k-2) & u(k-1) & u(k-2) & -q(k-1) & -q(k-2) \\ -y(k) & -y(k-1) & u(k) & u(k-1) & -q(k) & -q(k-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y(k+m-2) & -y(k+m-3) & u(k+m-2) & u(k+m-3) & -q(k+m-2) & -q(k+m-3) \end{bmatrix}$$

m × 6 차원의 행렬

$$M = \begin{bmatrix} -n_y(k-1) & -n_y(k-2) & n_u(k-1) & n_u(k-2) & -n_q(k-1) & -n_q(k-2) \\ -n_y(k) & -n_y(k-1) & n_u(k) & n_u(k-1) & -n_q(k) & -n_q(k-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -n_y(k+m-2) & -n_y(k+m-3) & n_u(k+m-2) & n_u(k+m-3) & -n_q(k+m-2) & -n_q(k+m-3) \end{bmatrix}$$

m × 6 차원의 잡음행렬

우선 식 (12)로부터 평가함수  $J_1(\theta)$  를,

$$\begin{aligned} J_1(\theta) &= \| E_n \|^2 \\ &= \| Y_n - H_n \theta \|^2 \\ &= E[(Y_n - H_n \theta)^T (Y_n - H_n \theta)] \quad \dots \dots \dots (13) \end{aligned}$$

와 같이 정의하고, 미지의 퍼라미터 값을 종래의 최소자승법 (LS) 으로 추정하기 위해 식 (13)을  $\theta$  에 관해 미분하여 0으로 두어

퍼라미타 값  $\hat{\theta}_1$  를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dJ_1(\theta)}{d\theta} &= -2H_n^T(Y_n - H_n\theta) = 0 \\ \hat{\theta}_1 &= (H_n^T H_n)^{-1} H_n^T Y_n \dots \dots \dots (14) \end{aligned}$$

위 식 (14) 를 전개하여 정리하면 식 (15) 와 같이 잡음을 분리할 수 있다.

$$\begin{aligned} J_1(\theta) &= E[(Y_n - H_n\theta)^T (Y_n - H_n\theta)] \\ &= E\{[(Y - H\theta) + (N_y - M\theta)]^T [(Y - H\theta) + (N_y - M\theta)]\} \\ &= E[(Y - H\theta)^T (Y - H\theta)] + E[(N_y - M\theta)^T (N_y - M\theta)] \\ &= E[(Y - H\theta)^T (Y - H\theta)] + E[N_y^T N_y - 2N_y^T M\theta + \theta^T M^T M\theta] \\ &= E[(Y - H\theta)^T (Y - H\theta)] + mI \sigma_y^2 + E[\theta^T M^T M\theta] \dots \dots (15) \end{aligned}$$

단,  $E[N_y^T M] = 0$

$$E[M^T M] = m \begin{bmatrix} \sigma_y^2 & & & & & \\ & \sigma_y^2 & & & & \\ & & 0 & & & \\ & & & \sigma_u^2 & & \\ & & & & \sigma_u^2 & \\ 0 & & & & & \sigma_q^2 \\ & & & & & & \sigma_q^2 \end{bmatrix}$$

$I$  는  $6 \times 6$  차원의 단위행렬이다.

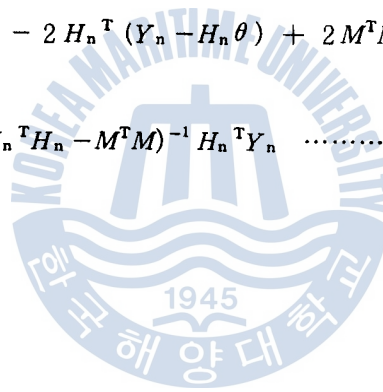
따라서 본 연구에서는 미지 퍼라미타의 값  $\theta$  를 추정하기 위하여 새로운 평가함수  $J_2(\theta)$  를 식 (16) 과 같이 정의하고 이하에서 이를

최소로 하는 퍼라미터 값의 추정법을 Modified Least Squares Estimation (MLS) 이라 부르기로 한다.

$$\begin{aligned} J_2(\theta) &= E[(Y-H\theta)^T (Y-H\theta)] \\ &= E[(Y_n - H_n\theta)^T (Y_n - H_n\theta)] - \theta^T \theta \cdot E(M^T M) - mI\sigma_y^2 \\ &\dots\dots\dots (16) \end{aligned}$$

식 (16) 의 새로운 평가함수  $J_2(\theta)$  를  $\theta$  에 관하여 미분하여 0 으로 두어 퍼라미터의 값  $\hat{\theta}_2$  를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dJ_2(\theta)}{d\theta} &= -2H_n^T(Y_n - H_n\theta) + 2M^T M\theta = 0 \\ \hat{\theta}_2 &= (H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T Y_n \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$



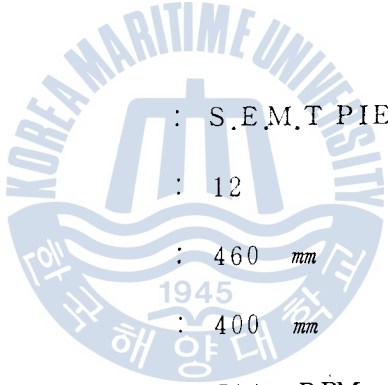


### 제 3 장 수치 계산 및 시뮬레이션

모델엔진을 다음과 같이 선정하여 종래의 최소자승법 (LS) 과 본 연구에서 제안하는 수정된 최소자승법 (MLS) 을 디지털 시뮬레이션을 통해 비교하여 보기로 한다.

#### 3.1 모델의 선정 및 정수계산

##### 3.1.1 엔진 제원



Type	: S.E.M.T PIELSTICK 12PC2-5V
Cyl.No.	: 12
Stroke	: 460 mm
Bore	: 400 mm
Revolution	: 514 RPM
Mean effective pressure:	19.5 kg/cm <sup>2</sup>
F.O consumption	: 146 g/BHP-HR
Moment of inertia	: 510.2 kg-m-sec <sup>2</sup>
Output of rating	: 7100 HP

##### 3.1.2 정수 계산

속도제어에 영향을 주는 각 정수는 NOR-CONTROL 회사의

방법을 15) 참고하여 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{회전 각속도} \quad y = 514 \times (2 \times 3.1415/60) = 53.82 \quad (\text{rad/sec})$$

$$\text{출력 토크} \quad q_m = 7100 \times 75/y = 9892.9 \quad (\text{kg-m})$$

$$\text{연소계통의 시정수} \quad T_c = 0.9/y = 0.0167 \quad (\text{sec})$$

$$\text{연소계통의 이득} \quad K_c = 9892.9/(146 \times 7100/3600) = 34.3573(\text{kg-m/g})$$

$$\text{회전계통의 시정수} \quad T_r = J \times K_r = 510.2 \times 0.0544 = 27.75 \quad (\text{sec})$$

$$\text{회전계통의 이득} \quad K_r = 53.82/(0.1 \times q_m) = 0.0544 (\text{rad/sec-kg-m})$$

초기조건으로 회전각속도를 15[rad/sec]로 하였으며 여기서 회전각속도의 목표치  $r$ 을 53[rad/sec]로 했을 때 정상상태에서의 제어입력인 연료량은 250[g/sec]이었고 이때 마력당 시간당 연료소비량은 145.8[g/BHP-HR]이었다. 또한 부하토크는 엔진 출력토크의 80 [%]에 해당하는 직류분과 주기가 2 [sec]이고 진폭이 직류분의 20 [%]인 정현파로 구성되어 있는 것으로 가정했다.

$$\text{즉, } q(t) = 7914.32 + 1582.86 \sin(\pi t) \dots\dots\dots (18)$$

### 3.2 속도제어 시스템의 최적 퍼라미터 값의 추정

앞 절 3.1에서 선정된 디젤엔진을 모델로하여 퍼라미터 값의 추정에 대한 디지털 시뮬레이션을 행하기 위하여 Fig.2.5에 표시되어 있는 속도제어 계통에 있어서 디지털 제어기로는 식 (19)로

표현되는 PI 알고리즘을 사용하기로 한다.

$$G_c(z) = \frac{K_p [1 + (T/T_i - 1)z^{-1}]}{1 - z^{-1}} \dots\dots\dots (19)$$

단,  $K_p$  : 비례감도  
 $T_i$  : 적분시간

또한 본 시뮬레이션에서 비례감도  $K_p$  는 8, 적분시간  $T_i$  는 1, 샘플링시간  $T$  는 0.05[sec] 와 0.1[sec] 로 하고, 엔진의 회전각속도  $y$  의 측정에 수반되는 잡음은 없는 것으로 가정하며, 제어입력  $u$  및 부하토크  $q$  에 수반되는 잡음  $n_u$  와  $n_q$  는 그 표준편차가 각각  $\sigma_u, \sigma_q$  라고 하여 여러가지 크기의  $\sigma_u$  와  $\sigma_q$  에 대하여 Table 1 과 같이 시뮬레이션을 행하였다.

또한  $Y_n$  과 행렬  $H_n$  의 각 요소의 서로 상관관계를 제거하기 위하여 각 샘플링시간에서 얻어지는 데이터들 모두다는 사용하지 않고 제어계가 2 차이므로 3 개마다 1 개씩 취하여 이것을 측정 데이터로 하였다. 이들 데이터를 벡터 및 행렬로 표시하면 아래와 같다.

$$Y_n = [y_n(k) \ y_n(k+3) \ \dots\dots\dots y_n\{k+3(m-1)\}]^T, \text{ m 차원의 벡터}$$

$$H_n = \begin{pmatrix} -y_n(k-1) & -y_n(k-2) & u_n(k-1) & u_n(k-2) & -q_n(k-1) & -q_n(k-2) \\ -y_n(k+2) & -y_n(k+1) & u_n(k-2) & u_n(k-1) & -q_n(k+2) & -q_n(k+1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ -y_n\{k+3(m-1)\} & -y_n\{k+3(m-3)\} & u_n\{k+3(m-2)\} & u_n\{k+3(m-3)\} & -q_n\{k+3(m-2)\} & -q_n\{k+3(m-3)\} \end{pmatrix}$$

$m \times 6$  차원의 행렬

**Table 1 Simulation schedule**

<b>T</b>	$\sigma_u$	$\sigma_q$
<b>0.05</b>	<b>0.083</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.25</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.42</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.0</b>	<b>2.11</b>
	<b>0.0</b>	<b>6.33</b>
	<b>0.083</b>	<b>2.11</b>
	<b>0.25</b>	<b>6.33</b>
	<b>0.42</b>	<b>10.55</b>
<b>0.1</b>	<b>0.083</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.25</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.42</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.83</b>	<b>0.0</b>
	<b>0.083</b>	<b>2.11</b>
	<b>0.25</b>	<b>6.33</b>
	<b>0.42</b>	<b>2.11</b>
	<b>0.42</b>	<b>10.55</b>
	<b>0.83</b>	<b>2.11</b>
<b>0.83</b>	<b>10.55</b>	

여기서  $k$  는 5 부터 적용하여 시뮬레이션을 행한 결과를 도표로 나타내면 Fig.3.1~Fig.3.33 과 같다.

그리고 Fig.3.1~Fig.3.33 및 Table 5~Table 6 의 시간축의 시간  $t$  값은 샘플링시간  $T$  가 0.05 와 0.1 의 두 경우에 대하여  $3T$  의 간격으로 Table 2 에서와 같이 데이터수를 측정할 때까지의 시간이다. 식으로 표현하면  $t = (3m-1) T$  이다.

단,  $m$  : 데이터 측정회수

Table 2 Time explanation

t \ m	12	13	14	15	16	17	18	19
$t=(3m-1) \times 0.05$	1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80
$t=(3m-1) \times 0.1$	3.50	3.80	4.10	4.40	4.70	5.00	5.30	5.60

또한 Fig.3.1~Fig.3.18 은 Table 3 에 따라 종래의 LS 방법과 본 연구에서 제안하는 MLS 방법으로 추정된 각 퍼라미터의 오차의 제곱을 합하여 비교한 것이다.

그리고 Fig.3.19~Fig.3.33 는 Table 4 에 따라 종래의 LS 와 MLS 에 의해 현재의 회전각속도에 영향을 많이 미치는 퍼라미터  $a_1, b_1, c_1$  의 값을 비교하여 나타낸 것이고 Table 5~Table 9 는 영향을 적게 미치는 퍼라미터  $a_2, b_2, c_2$  의 값을 도표로 나타낸 것이다.

Table 3 Figure explanation  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$ 

Fig.No	T	$\sigma_u$	$\sigma_q$
Fig.3.1	0.05	0.083	0.0
Fig.3.2		0.25	0.0
Fig.3.3		0.42	0.0
Fig.3.4		0.0	2.11
Fig.3.5		0.0	6.33
Fig.3.6		0.083	2.11
Fig.3.7		0.25	6.33
Fig.3.8		0.42	10.55
Fig.3.9		0.083	0.0
Fig.3.10	0.1	0.25	0.0
Fig.3.11		0.42	0.0
Fig.3.12		0.83	0.0
Fig.3.13		0.083	2.11
Fig.3.14		0.25	6.33
Fig.3.15		0.42	2.11
Fig.3.16		0.42	10.55
Fig.3.17		0.83	2.11
Fig.3.18		0.83	10.55

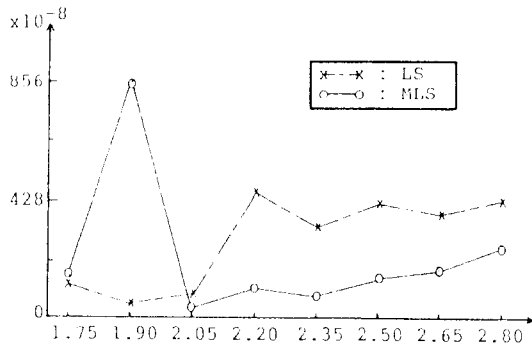


Fig. 3.1 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.083, \sigma_a=0.0$ )

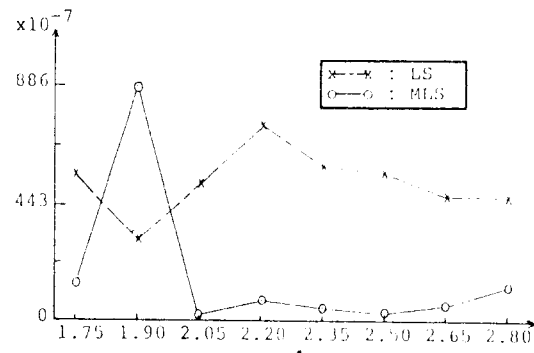


Fig. 3.2 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.25, \sigma_a=0.0$ )

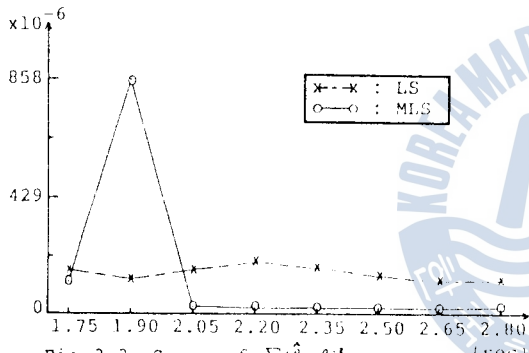


Fig. 3.3 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.42, \sigma_a=0.0$ )

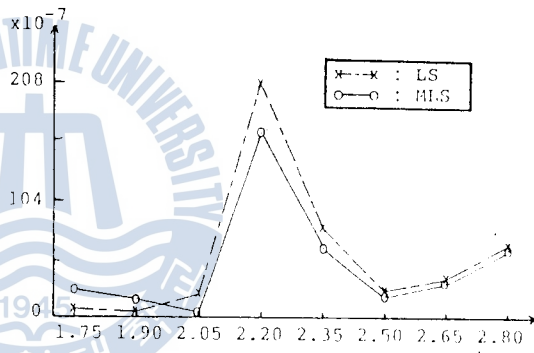


Fig. 3.4 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.0, \sigma_a=2.11$ )

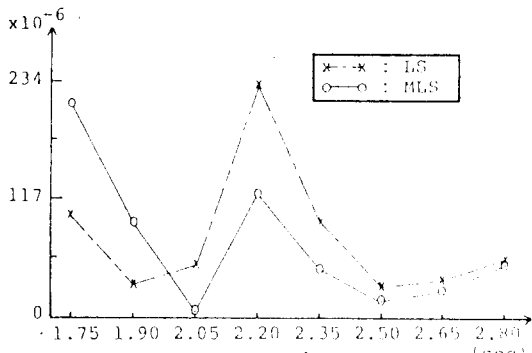


Fig. 3.5 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.0, \sigma_a=6.33$ )

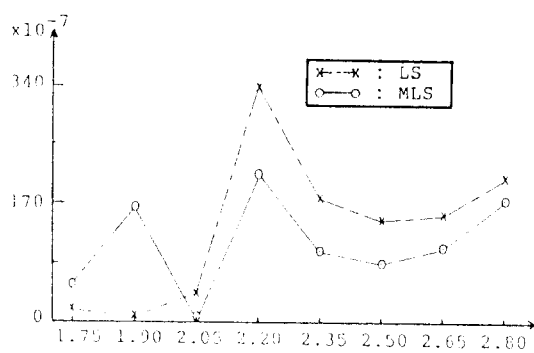


Fig. 3.6 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05, \sigma_v=0.083, \sigma_a=2.11$ )

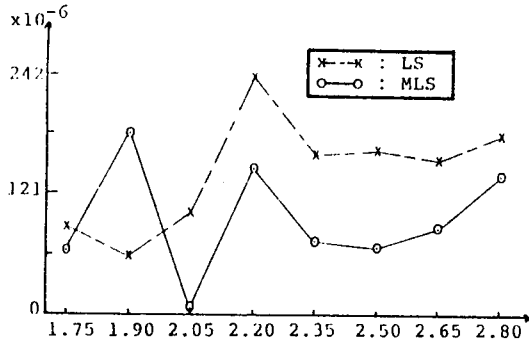


Fig. 3.7 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05$ ,  $\sigma_v=0.25$ ,  $\sigma_1=6.33$ )

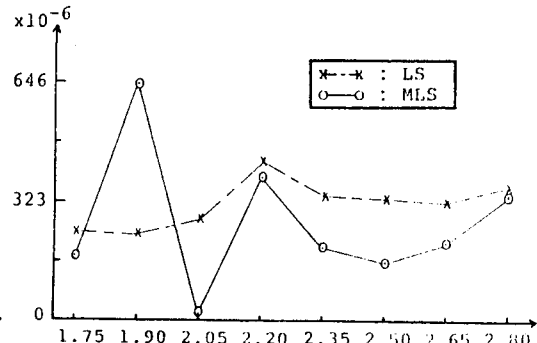


Fig. 3.8 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.05$ ,  $\sigma_v=0.42$ ,  $\sigma_1=10.55$ )

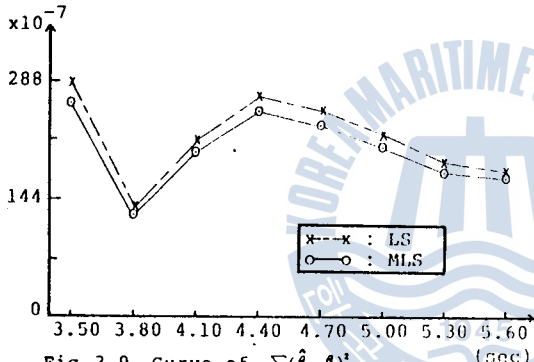


Fig. 3.9 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_v=0.083$ ,  $\sigma_1=0.0$ )

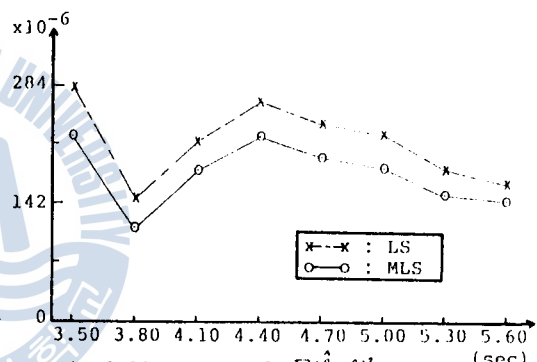


Fig. 3.10 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_v=0.25$ ,  $\sigma_1=0.0$ )

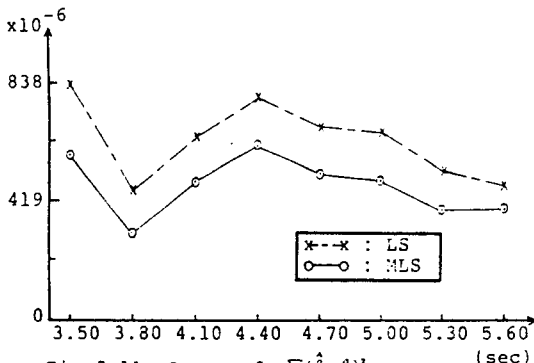


Fig. 3.11 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_v=0.42$ ,  $\sigma_1=0.0$ )

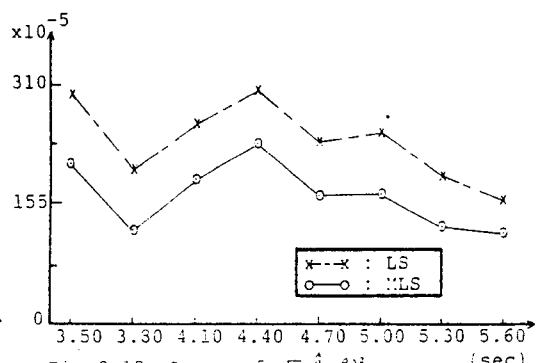


Fig. 3.12 Curve of  $\sum(\hat{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_v=0.93$ ,  $\sigma_1=0.0$ )



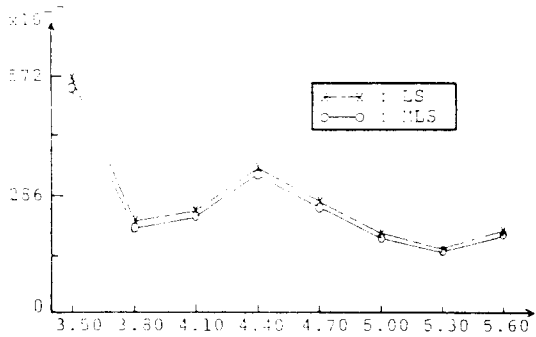


Fig. 3.13 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.083$ ,  $\sigma_2=2.11$ )

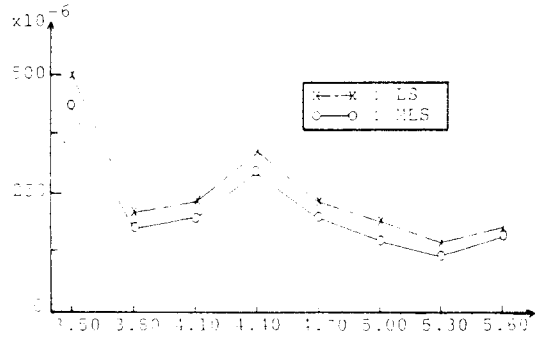


Fig. 3.14 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.15$ ,  $\sigma_2=6.33$ )

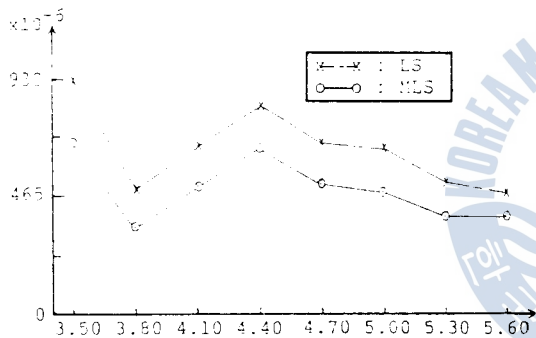


Fig. 3.15 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.42$ ,  $\sigma_2=2.11$ )

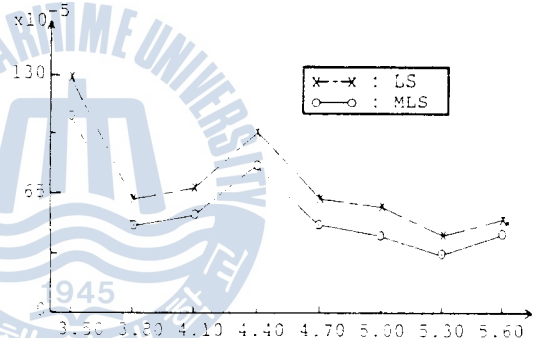


Fig. 3.16 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.42$ ,  $\sigma_2=10.55$ )

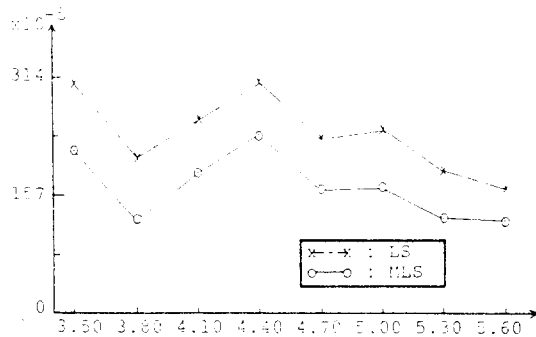


Fig. 3.17 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.83$ ,  $\sigma_2=2.11$ )

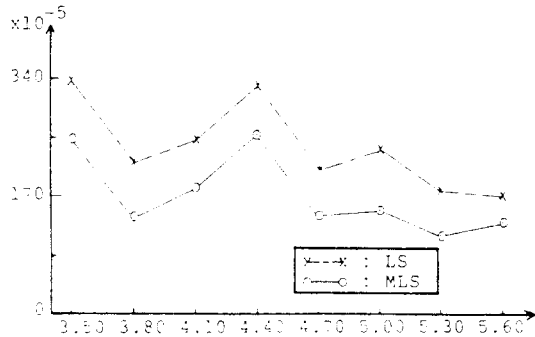


Fig. 3.18 Curve of  $\Sigma(\dot{\theta}-\theta)^2$  (sec)  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_1=0.83$ ,  $\sigma_2=10.55$ )

Table 4 Figure explanation

Fig.No.	T	$\sigma_u$	$\sigma_q$	Parameter
Fig.3.19	0.05	0.25	6.33	a <sub>1</sub>
Fig.3.20				b <sub>1</sub>
Fig.3.21				c <sub>1</sub>
Fig.3.22		0.42	10.55	a <sub>1</sub>
Fig.3.23				b <sub>1</sub>
Fig.3.24				c <sub>1</sub>
Fig.3.25	0.1	0.42	10.55	a <sub>1</sub>
Fig.3.26				b <sub>1</sub>
Fig.3.27				c <sub>1</sub>
Fig.3.28		0.83	2.11	a <sub>1</sub>
Fig.3.29				b <sub>1</sub>
Fig.3.30				c <sub>1</sub>
Fig.3.31	0.83	10.55	a <sub>1</sub>	
Fig.3.32			b <sub>1</sub>	
Fig.3.33			c <sub>1</sub>	

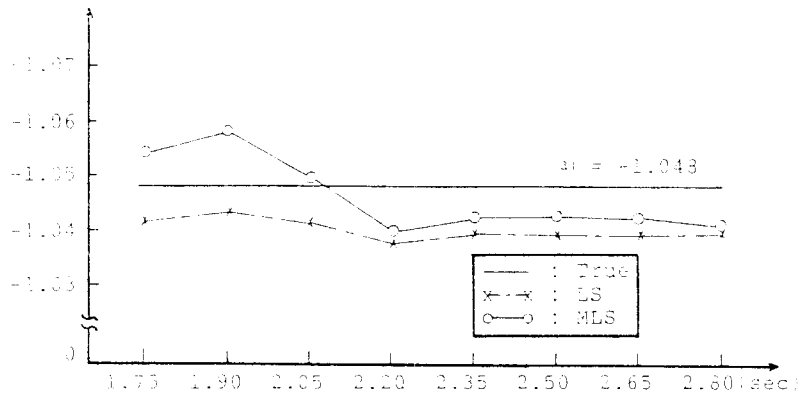


Fig.3.19 Estimated values of parameter  $a_1$   
 ( $T=0.05, \sigma_a=0.25, \sigma_r=6.33$ )

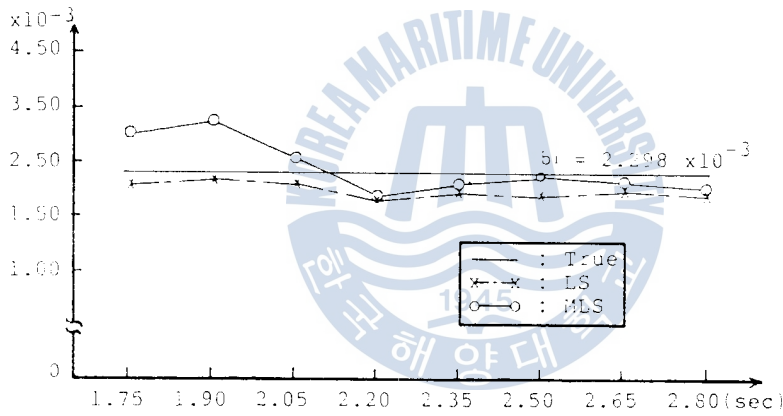


Fig.3.20 Estimated values of parameter  $b_1$   
 ( $T=0.05, \sigma_a=0.25, \sigma_r=6.33$ )

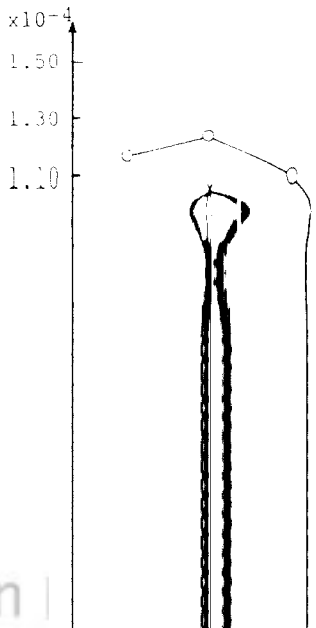


Fig.3.21 Estimated values of parameter  $c_1$   
 ( $T=0.05, \sigma_a=0.25, \sigma_r=6.33$ )

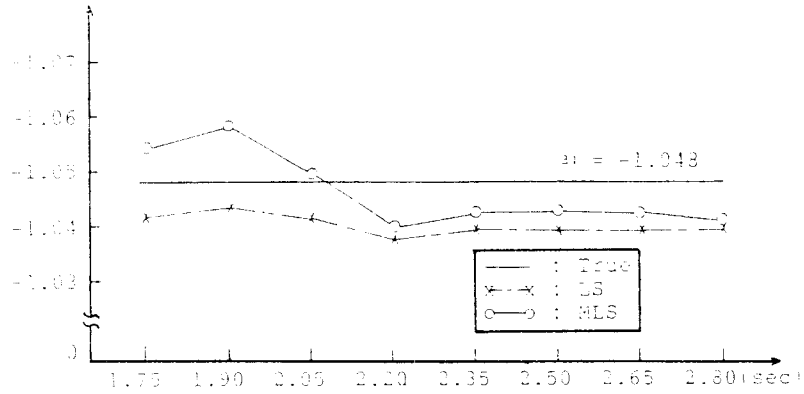


Fig.3.19 Estimated values of parameter  $a_1$ :  
( $T=0.05$ ,  $\sigma_1=0.25$ ,  $\sigma_2=6.33$ )

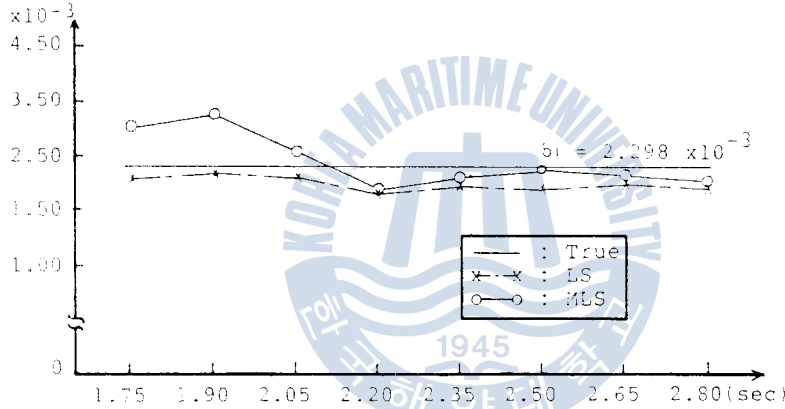


Fig.3.20 Estimated values of parameter  $b_1$ :  
( $T=0.05$ ,  $\sigma_1=0.25$ ,  $\sigma_2=6.33$ )

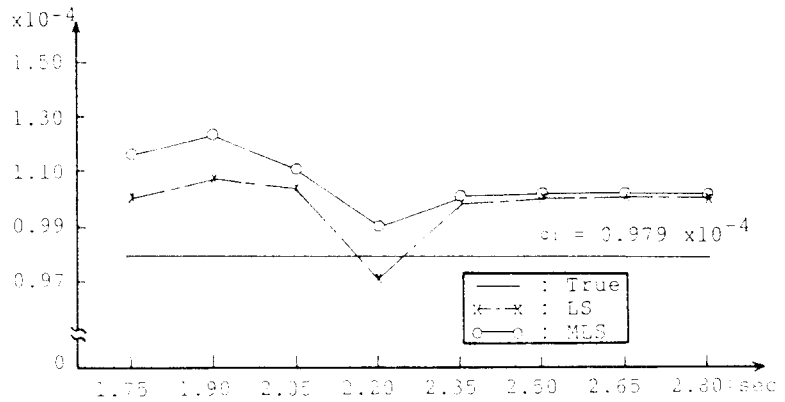


Fig.3.21 Estimated values of parameter  $c_1$ :  
( $T=0.05$ ,  $\sigma_1=0.25$ ,  $\sigma_2=6.33$ )

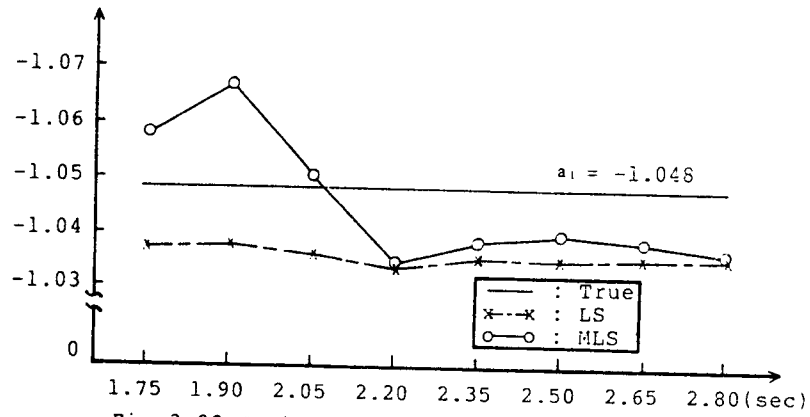


Fig. 3.22 Estimated values of parameter  $a_1$   
( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

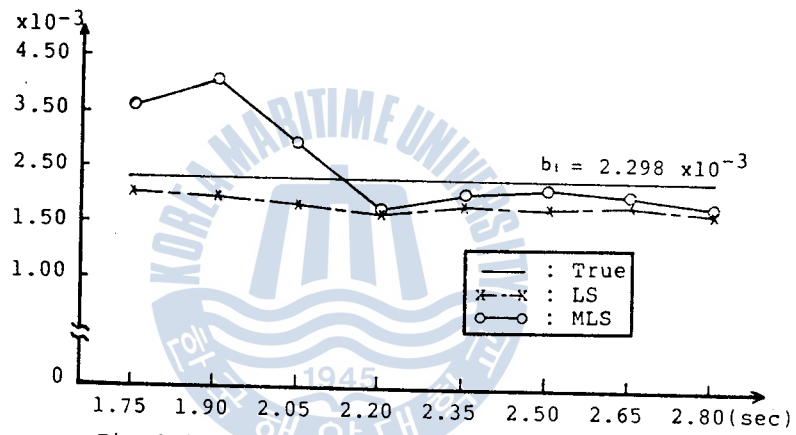


Fig. 3.23 Estimated values of parameter  $b_1$   
( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

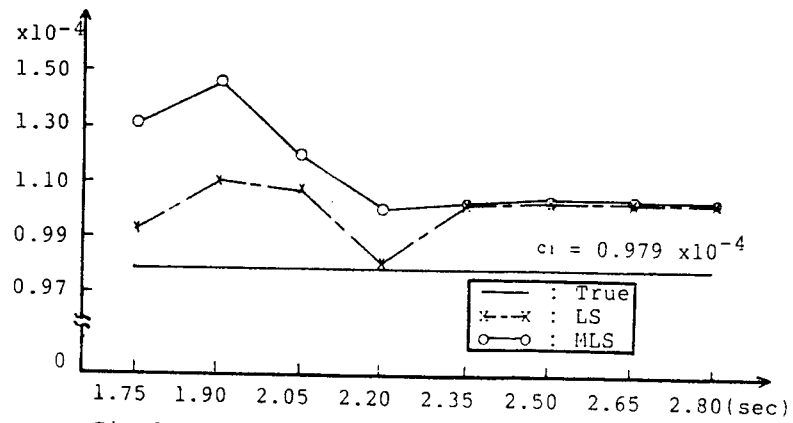


Fig. 3.24 Estimated values of parameter  $c_1$   
( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

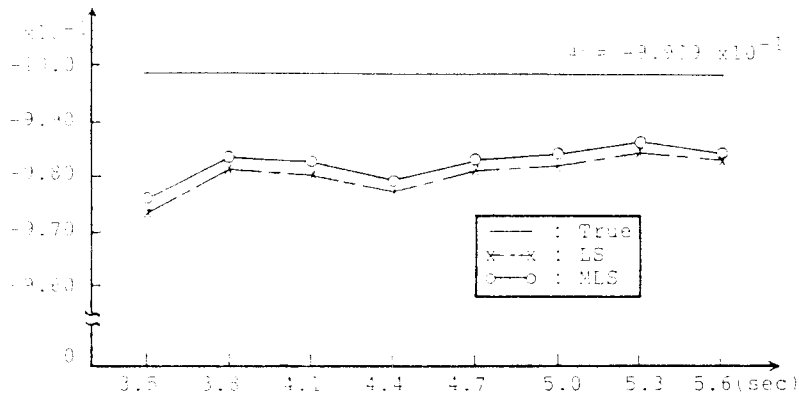


Fig.3.25 Estimated values of parameter  $a_1$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.42$ ,  $\sigma_b=10.55$ )

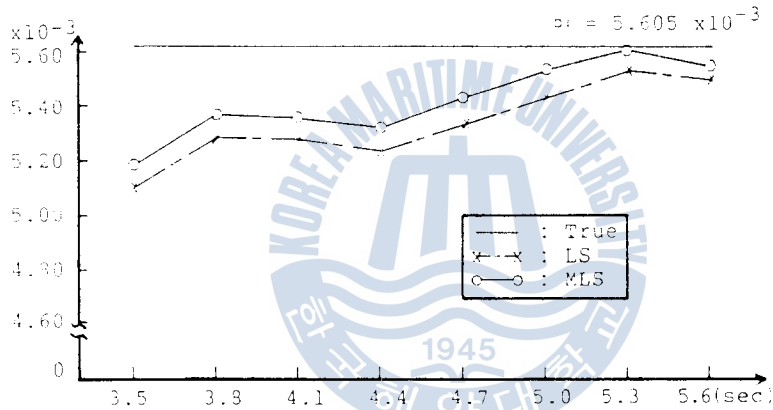


Fig.3.26 Estimated values of parameter  $b_1$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.42$ ,  $\sigma_b=10.55$ )

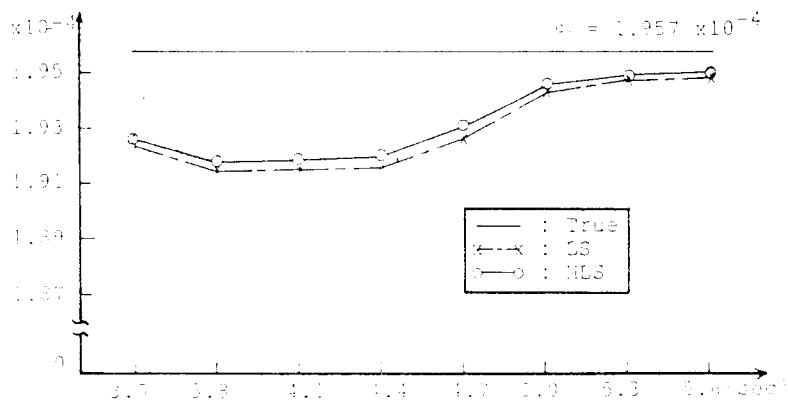


Fig.3.27 Estimated values of parameter  $a_2$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.42$ ,  $\sigma_b=10.55$ )

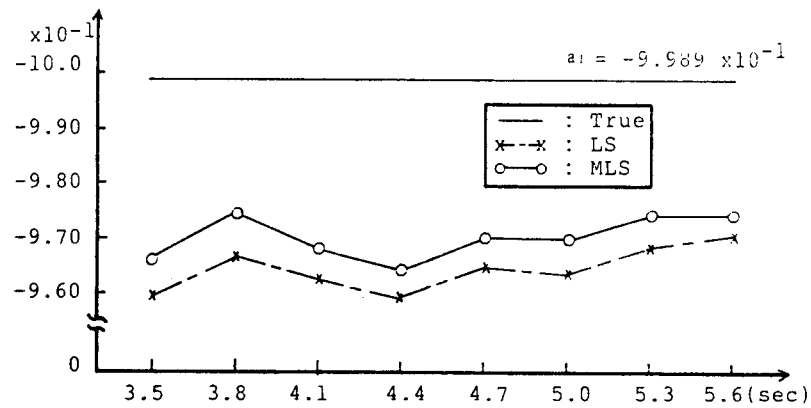


Fig. 3.28 Estimated values of parameter  $a_1$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_u=0.83$ ,  $\sigma_q=2.11$ )

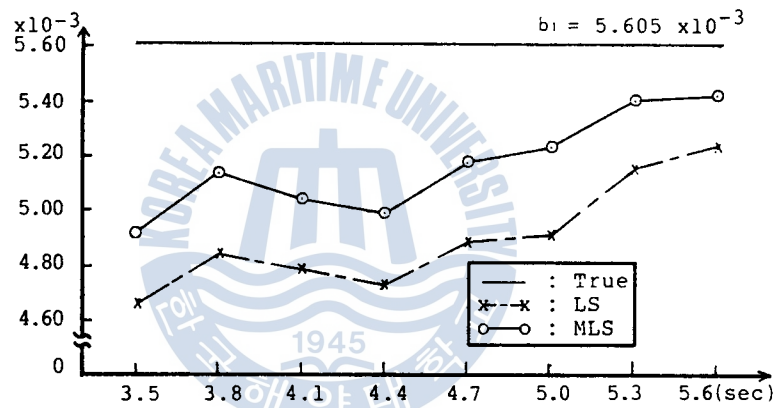


Fig. 3.29 Estimated values of parameter  $b_1$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_u=0.83$ ,  $\sigma_q=2.11$ )

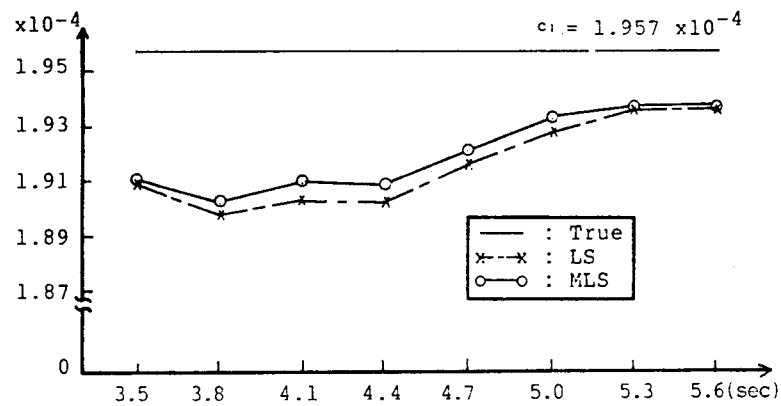


Fig. 3.30 Estimated values of parameter  $c_1$   
( $T=0.1$ ,  $\sigma_u=0.83$ ,  $\sigma_c=2.11$ )

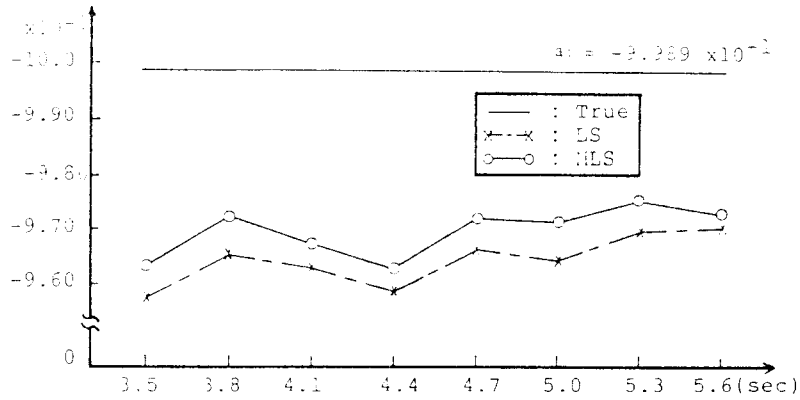


Fig. 3.31 Estimated values of parameter  $a_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_s=10.55$ )

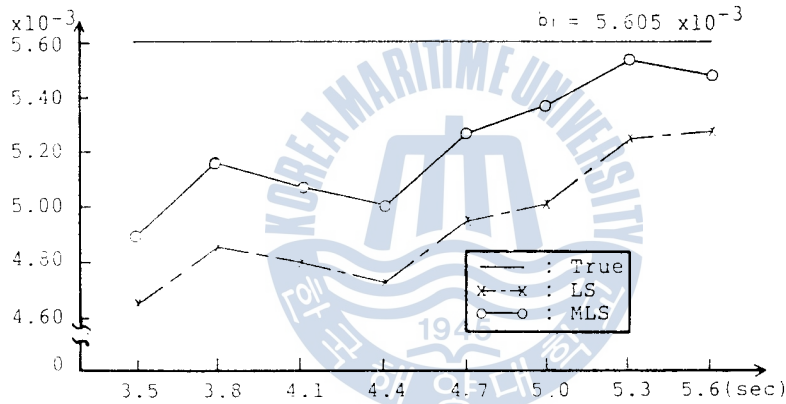


Fig. 3.32 Estimated values of parameter  $b_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_s=10.55$ )

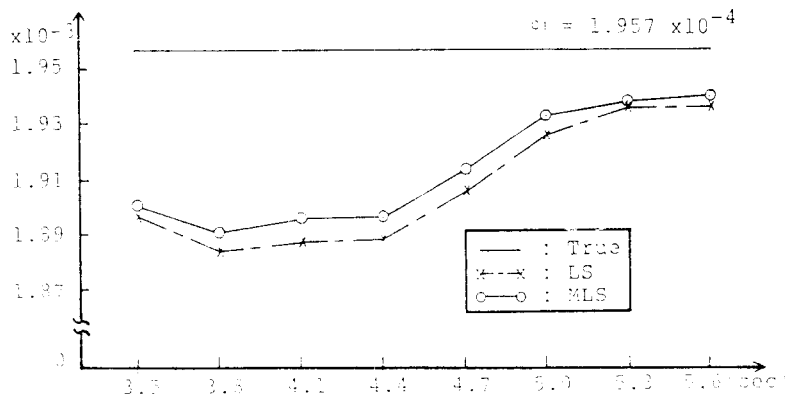


Fig. 3.33 Estimated values of parameter  $c_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_s=10.55$ )



Table 5 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.25$ ,  $\sigma_a=6.33$ )

		t		1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80
		LS	MLS								
$a_2$ (5.00)	LS			4.34	4.44	4.28	3.92	4.11	4.10	4.12	4.06
	MLS			5.53	5.89	5.03	4.15	4.39	4.42	4.34	4.16
$b_2$ (0.90)	LS			1.09	0.10	1.14	1.46	1.29	1.29	1.27	1.32
	MLS			0.13	-0.16	0.54	1.27	1.07	1.05	1.12	1.25
$c_2$ (-4.91)	LS			-6.21	-13.9	-10.3	-3.62	-6.26	-6.49	-6.68	-6.35
	MLS			-23.3	-30.7	-16.8	-5.38	-7.63	-7.84	-7.34	-6.62

Table 6 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

		t		1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80
		LS	MLS								
$a_2$ (5.00)	LS			3.92	3.89	3.80	3.54	3.70	3.71	3.73	3.66
	MLS			5.86	6.67	5.05	3.61	4.01	4.10	3.97	3.68

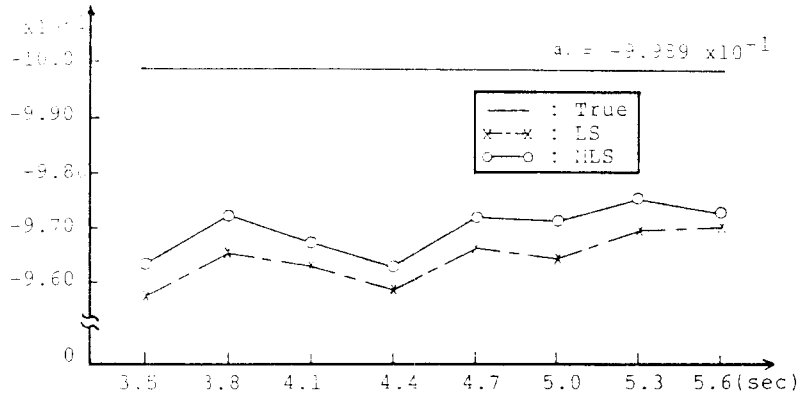


Fig. 3.31 Estimated values of parameter  $a_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

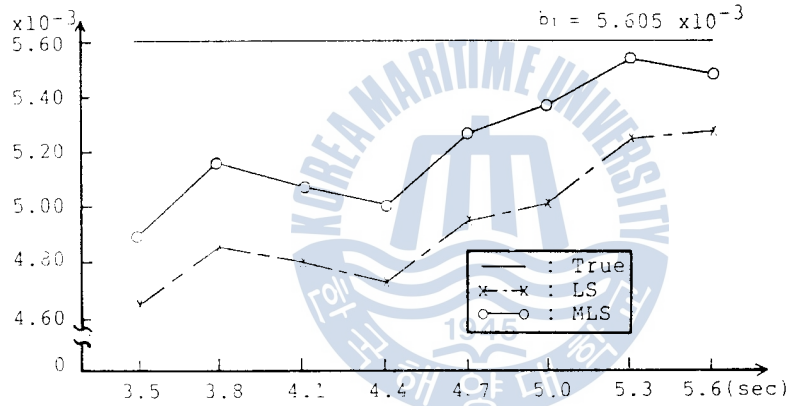


Fig. 3.32 Estimated values of parameter  $b_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_b=0.83$ ,  $\sigma_b=10.55$ )

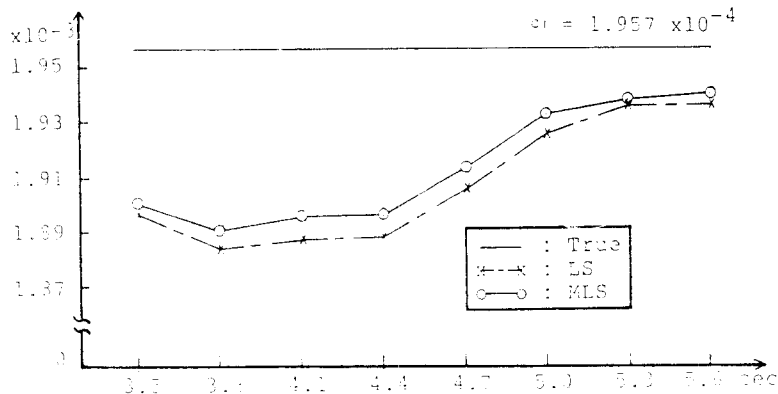


Fig. 3.33 Estimated values of parameter  $c_1$ .  
( $T=0.1$ ,  $\sigma_c=0.83$ ,  $\sigma_c=10.55$ )

Table 5 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.25$ ,  $\sigma_q=6.33$ )

		t		1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80
		LS	MLS								
$a_2$ (5.00)	LS			4.34	4.44	4.28	3.92	4.11	4.10	4.12	4.06
	MLS			5.53	5.89	5.03	4.15	4.39	4.42	4.34	4.16
$b_2$ (0.90)	LS			1.09	0.10	1.14	1.46	1.29	1.29	1.27	1.32
	MLS			0.13	-0.16	0.54	1.27	1.07	1.05	1.12	1.25
$c_2$ (-4.91)	LS			-6.21	-13.9	-10.3	-3.62	-6.26	-6.49	-6.68	-6.35
	MLS			-23.3	-30.7	-16.8	-5.38	-7.63	-7.84	-7.34	-6.62

Table 6 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.05$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_q=10.55$ )

		t		1.75	1.90	2.05	2.20	2.35	2.50	2.65	2.80
		LS	MLS								
$a_2$ (5.00)	LS			3.92	3.89	3.80	3.54	3.70	3.71	3.73	3.66
	MLS			5.86	6.67	5.05	3.61	4.01	4.10	3.97	3.68
$b_2$ (0.90)	LS			1.24	1.27	1.35	1.67	1.49	1.49	1.47	1.53
	MLS			-0.48	-1.16	0.24	1.54	1.20	1.13	1.25	1.48
$c_2$ (-4.91)	LS			-4.80	-16.9	-13.7	-4.30	-7.98	-7.91	-8.16	-7.66
	MLS			-38.0	-55.1	-26.6	-6.55	-10.0	-10.2	-9.29	-8.18

Table 7 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.1$ ,  $\sigma_u=0.42$ ,  $\sigma_q=10.55$ )

		t		3.50	3.80	4.10	4.40	4.70	5.00	5.30	5.60
		LS	MLS								
$a_2$ (0.25)	LS			-2.28	-1.52	-1.59	-1.96	-1.52	-1.45	-1.22	-1.34
	MLS			-2.05	-1.29	-1.38	-1.76	-1.31	-1.20	-1.02	-1.22
$b_2$ (1.10)	LS			1.79	1.55	1.57	1.64	1.51	1.40	1.29	1.33
	MLS			1.69	1.46	1.47	1.54	1.40	1.28	1.20	1.27
$c_2$ (-0.49)	LS			7.13	7.11	7.14	7.96	6.08	4.54	4.12	4.16
	MLS			6.79	6.69	6.70	7.53	5.69	4.19	3.88	3.95

Table 8 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_a=2.11$ )

		t							
		3.50	3.80	4.10	4.40	4.70	5.00	5.30	5.60
$a_2$ (0.25)	LS	-3.67	-2.96	-3.35	-3.68	-3.16	-3.27	-2.85	-2.64
	MLS	-3.04	-2.27	-2.82	-3.21	-2.62	-2.64	-2.27	-2.25
$b_2$ (1.10)	LS	2.31	2.08	2.17	2.24	2.06	2.03	1.78	1.68
	MLS	2.01	1.74	1.88	1.96	1.73	1.68	1.48	1.47
$c_2$ (-0.49)	LS	9.82	10.1	10.3	11.0	8.90	7.97	7.13	7.11
	MLS	9.30	9.20	9.52	10.4	8.45	7.56	6.99	6.98

Table 9 Estimated values of parameter  $a_2(x10^{-2})$ ,  $b_2(x10^{-3})$ ,  $c_2(x10^{-6})$  ( $T=0.1$ ,  $\sigma_a=0.83$ ,  $\sigma_a=10.55$ )

		t							
		3.50	3.80	4.10	4.40	4.70	5.00	5.30	5.60
$a_2$ (0.25)	LS	-3.84	-3.05	-3.31	-3.81	-3.01	-3.20	-2.75	-2.68
	MLS	-3.30	-2.39	-2.77	-3.35	-2.43	-2.51	-2.14	-2.32
$b_2$ (1.10)	LS	2.34	2.09	2.15	2.26	1.98	1.94	1.67	1.64
	MLS	2.07	1.76	1.84	1.97	1.63	1.55	1.35	1.42
$c_2$ (-0.49)	LS	11.8	12.1	12.2	13.3	10.2	8.67	7.77	7.76
	MLS	11.2	11.4	11.3	12.6	9.59	8.05	7.47	7.52

## 제 4 장 검토 및 고찰

### 4.1 인디셜 응답에 대한 검토

이상에서 추정된 디젤엔진의 퍼라미터 값들을 검토하기 위하여 종래의 LS 방법과 본 연구에서 제안하는 MLS 방법에 의해 추정된 퍼라미터의 값으로 얻어지는 회전각속도  $y_{e1}$  과  $y_{e2}$  를 엔진의 회전각속도  $y$  와 비교해 본다. Table 10 은 샘플링시간  $T$  가 0.05, Table 11 은 샘플링시간  $T$  가 0.1 인 경우에 여러가지 크기의 측정잡음들이 포함되어져 있을 때 추정되어진 퍼라미터의 값으로 얻어지는 회전각속도  $y_{e1}$  과  $y_{e2}$  의 값을 엔진의 회전각속도  $y$  와 비교하여 나타낸 것이다.

이들 경우 중 Fig.4.1 은  $T$  가 0.05 일때  $\sigma_y = 0$ ,  $\sigma_u = 0.42$ ,  $\sigma_q = 10.55$  인 표준편차가 비교적 큰 경우에 대해서, 그리고 Fig. 4.2 는  $T$  가 0.1 일때  $\sigma_y = 0$ ,  $\sigma_u = 0.83$ ,  $\sigma_q = 10.55$  인 경우를 그린 것이다. 이들 Table 및 Fig. 에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 제안한 방법 (MLS) 이 종래의 방법 (LS) 보다 엔진 본래의 퍼라미터값 및 회전각속도에 더욱 잘 추정함을 알 수 있다.

Table 10 Step responses of the estimated systems  
(T:0.05,  $\gamma$ :True,  $Y_{e1}$ :LS,  $Y_{e2}$ :MLS)

t	$\gamma$	$\sigma_u = 0.083 \sigma_q = 0.9$		$\sigma_u = 0.25 \sigma_q = 0.9$		$\sigma_u = 0.42 \sigma_q = 0.9$	
		$Y_{e1}$	$Y_{e2}$	$Y_{e1}$	$Y_{e2}$	$Y_{e1}$	$Y_{e2}$
.25	15.931	15.917	15.923	15.878	15.923	15.840	15.947
1.00	24.897	24.882	24.887	24.839	24.882	24.798	24.899
1.75	40.681	40.667	40.673	40.629	40.671	40.591	40.691
2.50	52.145	52.131	52.136	52.093	52.133	52.056	52.152
3.25	60.603	60.591	60.597	60.556	60.600	60.522	60.626
4.00	66.107	66.095	66.102	66.055	66.112	66.017	66.153
4.75	64.013	63.998	64.007	63.949	64.019	63.902	64.069
5.50	62.337	62.321	62.332	62.264	62.353	62.210	62.422
6.25	58.665	58.643	58.657	58.572	58.681	58.504	58.763
7.00	53.452	53.427	53.442	53.343	53.468	53.264	53.560
7.75	52.791	52.763	52.781	52.670	52.813	52.581	52.921
8.50	50.377	50.344	50.364	50.239	50.395	50.138	50.508
9.25	50.089	50.054	50.075	49.942	50.109	49.836	50.231
10.00	52.404	52.368	52.391	52.248	52.428	52.135	52.561
10.75	51.590	51.550	51.574	51.422	51.610	51.301	51.745
11.50	53.833	53.792	53.818	53.661	53.860	53.537	54.007
12.25	54.857	54.814	54.840	54.674	54.884	54.542	55.038
13.00	53.694	53.649	53.677	53.503	53.721	53.366	53.880
13.75	55.653	55.607	55.637	55.457	55.687	55.315	55.859
14.50	54.265	54.216	54.247	54.056	54.296	53.906	54.472

t	$\gamma$	$\sigma_u = 0.9 \sigma_q = 2.11$		$\sigma_u = 0.0 \sigma_q = 6.33$		$\sigma_u = 0.083 \sigma_q = 2.11$	
		$Y_{e1}$	$Y_{e2}$	$Y_{e1}$	$Y_{e2}$	$Y_{e1}$	$Y_{e2}$
.25	15.931	15.898	15.898	15.830	15.834	15.883	15.888
1.00	24.897	24.867	24.868	24.805	24.809	24.850	24.855
1.75	40.681	40.653	40.653	40.593	40.597	40.637	40.642
2.50	52.145	52.117	52.117	52.058	52.062	52.101	52.106
3.25	60.603	60.573	60.574	60.511	60.516	60.560	60.565
4.00	66.107	66.067	66.068	65.984	65.991	66.053	66.060
4.75	64.013	63.964	63.965	63.861	63.870	63.946	63.954
5.50	62.337	62.276	62.277	62.146	62.159	62.256	62.266
6.25	58.665	58.588	58.590	58.427	58.442	58.562	58.576
7.00	53.452	53.365	53.367	53.183	53.201	53.335	53.350
7.75	52.791	52.692	52.695	52.484	52.505	52.659	52.676
8.50	50.377	50.268	50.271	50.040	50.063	50.230	50.249
9.25	50.089	49.974	49.977	49.733	49.757	49.933	49.954
10.00	52.404	52.280	52.283	52.019	52.046	52.237	52.259
10.75	51.590	51.460	51.463	51.188	51.216	51.413	51.436
11.50	53.833	53.697	53.700	53.412	53.441	53.650	53.674
12.25	54.857	54.712	54.716	54.409	54.440	54.662	54.687
13.00	53.694	53.545	53.548	53.232	53.265	53.492	53.518
13.75	55.653	55.495	55.499	55.165	55.200	55.441	55.469
14.50	54.265	54.100	54.104	53.755	53.791	54.042	54.072

t	y	$\sigma_u = 0.25 \sigma_q = 6.33$		$\sigma_u = 0.42 \sigma_q = 10.55$	
		y <sub>e1</sub>	y <sub>e2</sub>	y <sub>e1</sub>	y <sub>e2</sub>
.25	15.931	15.778	15.801	15.699	15.712
1.00	24.897	24.749	24.771	24.672	24.685
1.75	40.681	40.542	40.564	40.472	40.485
2.50	52.145	52.008	52.028	51.937	51.948
3.25	60.603	60.466	60.489	60.397	60.412
4.00	66.107	65.935	65.965	65.848	65.869
4.75	64.013	63.800	63.837	63.691	63.718
5.50	62.337	62.076	62.125	61.945	61.983
6.25	58.665	58.339	58.398	58.174	58.220
7.00	53.452	53.080	53.148	52.893	52.946
7.75	52.791	52.370	52.448	52.159	52.221
8.50	50.377	49.910	49.995	49.675	49.741
9.25	50.089	49.595	49.686	49.349	49.421
10.00	52.404	51.873	51.971	51.608	51.685
10.75	51.590	51.031	51.133	50.753	50.833
11.50	53.833	53.252	53.360	52.965	53.051
12.25	54.857	54.239	54.352	53.933	54.022
13.00	53.694	53.055	53.173	52.739	52.832
13.75	55.653	54.983	55.108	54.654	54.753
14.50	54.265	53.561	53.690	53.213	53.315

Table 11 Step responses of the estimated systems  
(T:0.1, y:True, y<sub>e1</sub>:LS, y<sub>e2</sub>:MLS)

t	y	$\sigma_u = 0.25 \sigma_q = 0.0$		$\sigma_u = 0.42 \sigma_q = 0.0$		$\sigma_u = 0.83 \sigma_q = 0.0$	
		y <sub>e1</sub>	y <sub>e2</sub>	y <sub>e1</sub>	y <sub>e2</sub>	y <sub>e1</sub>	y <sub>e2</sub>
.20	15.469	15.442	15.449	15.421	15.439	15.363	15.422
1.10	26.659	26.615	26.622	26.582	26.600	26.496	26.557
2.00	45.492	45.446	45.454	45.411	45.431	45.323	45.386
2.90	57.182	57.140	57.146	57.108	57.124	57.028	57.079
3.80	66.299	66.262	66.268	66.235	66.250	66.164	66.215
4.70	64.804	64.772	64.778	64.748	64.762	64.687	64.733
5.60	62.469	62.437	62.443	62.412	62.428	62.348	62.398
6.50	56.318	56.286	56.292	56.260	56.277	56.193	56.248
7.40	52.489	52.450	52.457	52.418	52.437	52.338	52.398
8.30	50.649	50.606	50.614	50.573	50.594	50.485	50.554
9.20	49.596	49.546	49.554	49.507	49.529	49.408	49.478
10.10	52.238	52.187	52.196	52.147	52.171	52.043	52.121
11.00	51.942	51.887	51.895	51.844	51.867	51.735	51.809
11.90	55.299	55.243	55.253	55.200	55.224	55.087	55.168
12.80	53.858	53.801	53.810	53.756	53.781	53.643	53.721
13.70	55.793	55.734	55.744	55.687	55.713	55.568	55.652
14.60	53.920	53.860	53.870	53.813	53.839	53.694	53.778
15.50	54.430	54.366	54.377	54.317	54.343	54.189	54.276
16.40	53.679	53.616	53.626	53.566	53.594	53.438	53.529
17.30	53.182	53.114	53.125	53.061	53.089	52.926	53.016

t	y	$\sigma_u = 0.33 \quad \sigma_q = 2.11$		$\sigma_u = 0.25 \quad \sigma_q = 6.33$		$\sigma_u = 0.42 \quad \sigma_q = 2.11$	
		$y_{+1}$	$y_{+2}$	$y_{+1}$	$y_{+2}$	$y_{+1}$	$y_{+2}$
.20	15.469	15.464	15.465	15.454	15.460	15.424	15.443
1.10	26.659	26.648	26.649	26.626	26.633	26.585	26.604
2.00	45.492	45.484	45.485	45.466	45.472	45.418	45.437
2.90	57.182	57.175	57.176	57.160	57.165	57.114	57.130
3.80	66.299	66.295	66.296	66.286	66.292	66.242	66.258
4.70	64.804	64.800	64.801	64.792	64.797	64.755	64.769
5.60	62.469	62.465	62.465	62.454	62.459	62.418	62.433
6.50	56.318	56.312	56.313	56.297	56.303	56.263	56.281
7.40	52.489	52.479	52.480	52.456	52.462	52.420	52.439
8.30	50.649	50.637	50.638	50.611	50.618	50.574	50.595
9.20	49.596	49.580	49.581	49.546	49.554	49.507	49.529
10.10	52.238	52.223	52.224	52.189	52.197	52.148	52.171
11.00	51.942	51.923	51.924	51.884	51.892	51.843	51.866
11.90	55.299	55.281	55.282	55.242	55.251	55.199	55.224
12.80	53.858	53.838	53.839	53.796	53.804	53.755	53.779
13.70	55.793	55.773	55.774	55.729	55.738	55.686	55.712
14.60	53.920	53.898	53.899	53.852	53.861	53.811	53.837
15.50	54.430	54.407	54.408	54.356	54.366	54.313	54.340
16.40	53.679	53.655	53.656	53.604	53.614	53.562	53.590
17.30	53.182	53.156	53.157	53.100	53.109	53.057	53.085

t	y	$\sigma_u = 0.42 \quad \sigma_q = 10.55$		$\sigma_u = 0.33 \quad \sigma_q = 2.11$		$\sigma_u = 0.83 \quad \sigma_q = 10.55$	
		$y_{+1}$	$y_{+2}$	$y_{+1}$	$y_{+2}$	$y_{+1}$	$y_{+2}$
.20	15.469	15.441	15.457	15.367	15.427	15.384	15.444
1.10	26.659	26.601	26.619	26.500	26.562	26.516	26.579
2.00	45.492	45.445	45.463	45.329	45.393	45.357	45.421
2.90	57.182	57.142	57.157	57.034	57.086	57.062	57.115
3.80	66.299	66.275	66.290	66.172	66.223	66.205	66.256
4.70	64.804	64.782	64.794	64.694	64.740	64.721	64.767
5.60	62.469	62.441	62.455	62.353	62.404	62.377	62.428
6.50	56.318	56.280	56.296	56.197	56.253	56.214	56.270
7.40	52.489	52.431	52.448	52.340	52.401	52.351	52.413
8.30	50.649	50.582	50.602	50.487	50.557	50.496	50.566
9.20	49.596	49.509	49.529	49.408	49.479	49.411	49.482
10.10	52.238	52.152	52.173	52.044	52.122	52.049	52.128
11.00	51.942	51.841	51.862	51.734	51.809	51.733	51.809
11.90	55.299	55.200	55.223	55.087	55.169	55.088	55.171
12.80	53.858	53.749	53.771	53.641	53.720	53.637	53.717
13.70	55.793	55.681	55.705	55.567	55.651	55.563	55.648
14.60	53.920	53.802	53.825	53.691	53.776	53.684	53.769
15.50	54.430	54.302	54.327	54.186	54.274	54.176	54.265
16.40	53.679	53.550	53.575	53.435	53.526	53.424	53.515
17.30	53.182	53.039	53.065	52.921	53.013	52.906	52.998



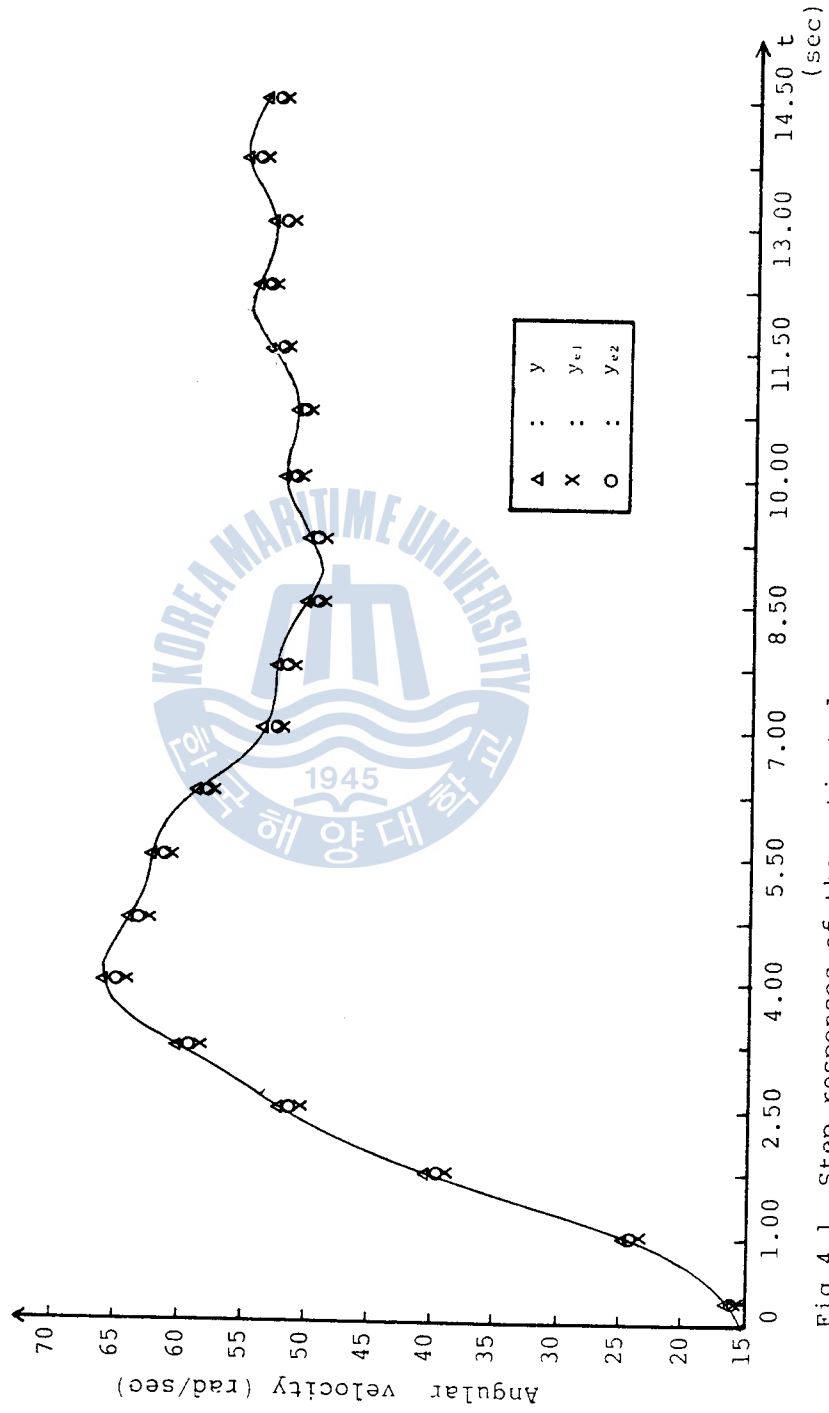


Fig.4.1 Step responses of the estimated systems ( $\tau:0.05, \sigma_v:0.42, \sigma_a:10.55$ )

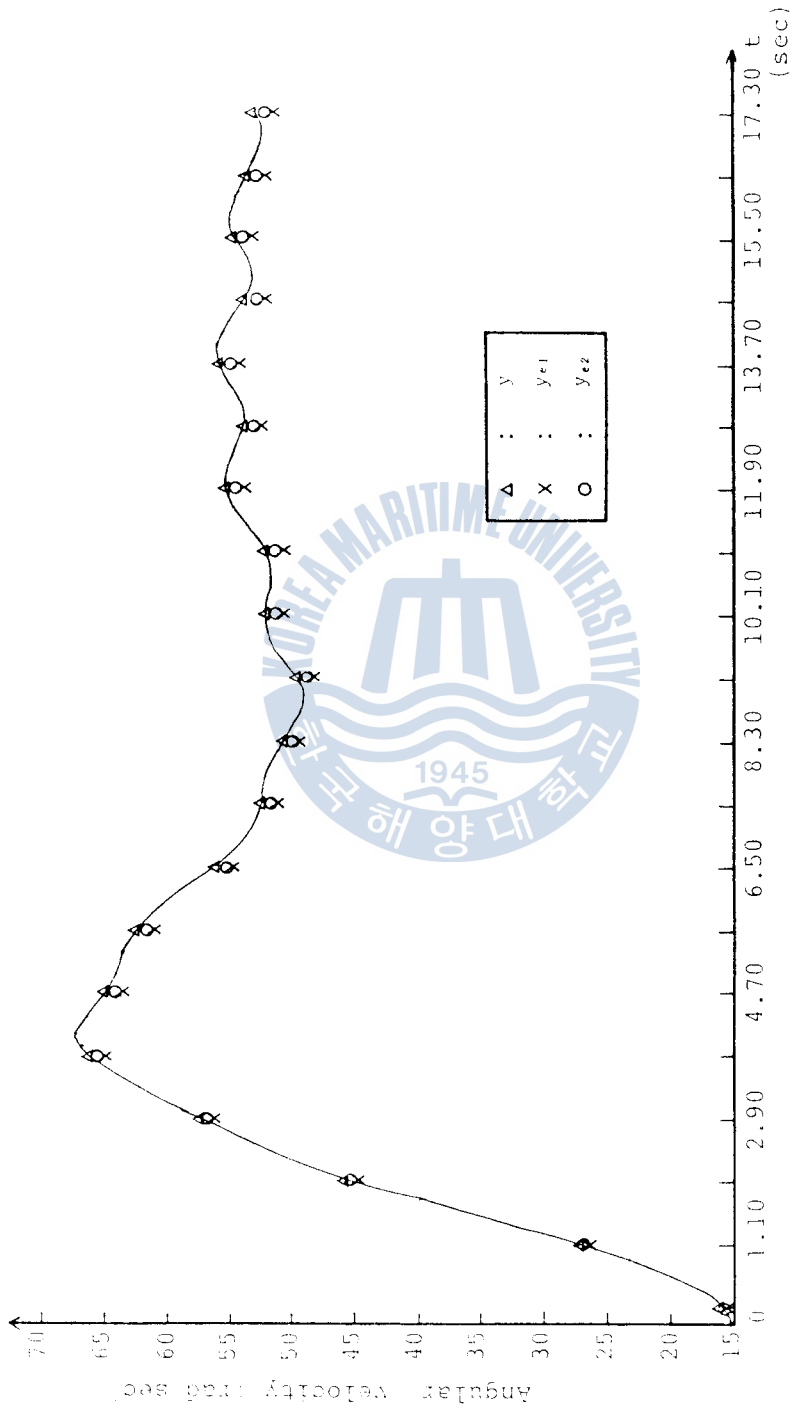


Fig.4.2 Step responses of the estimated systems (T:0.1,  $\sigma_u$ :0.83,  $\sigma_q$ :10.55)

## 4.2 추정 퍼라미터 값의 불편의(Unbias)에 대한 검토

먼저 종래의 LS에 의해 추정된 퍼라미터 값  $\hat{\theta}_1$ 에 대한 오차의 기대치(Expectation)  $E_1$  및 분산  $P_1$ 을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E_1 &= E(\hat{\theta}_1 - \theta) \\
 &= E[(H_n^T H_n)^{-1} H_n^T (H_n \theta + E_n) - \theta] \\
 &= E[(H_n^T H_n)^{-1} H_n^T E_n] \\
 &\quad (H_n^T H_n)^{-1} H_n^T \text{와 } E_n \text{는 서로 독립이므로} \\
 E_1 &= E[(H_n^T H_n)^{-1} H_n^T] \cdot E(E_n) = 0 \dots\dots\dots (20)
 \end{aligned}$$

이 되어  $\hat{\theta}_1 = \theta$ 가 된다.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= E[(\hat{\theta}_1 - \theta)(\hat{\theta}_1 - \theta)^T] \\
 &= E\{[(H_n^T H_n)^{-1} H_n^T E_n][E_n^T H_n (H_n^T H_n)^{-1}]\} \\
 &= E[(H_n^T H_n)^{-1} H_n^T \alpha I H_n (H_n^T H_n)^{-1}] \\
 &= E[(H_n^T H_n)^{-1}] \alpha I \dots\dots\dots (21)
 \end{aligned}$$

$$\text{단, } \alpha = (1 + a_1^2 + a_2^2) \sigma_y^2 + (b_1^2 + b_2^2) \sigma_u^2 + (c_1^2 + c_2^2) \sigma_v^2$$

또한 수정된 방법에 의해 추정된 퍼라미터 값  $\hat{\theta}_2$ 에 대한 오차의 기대치  $E_2$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 E_2 &= E(\hat{\theta}_2 - \theta) \\
 &= E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T (H_n \theta + E_n) - \theta]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T H_n - I] \theta + E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T E_n] \\
 &= E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T H_n - I] \theta \dots\dots\dots (22) \\
 &\quad \therefore E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T E_n] = E[(H_n^T H_n - M^T M)^{-1} H_n^T] \cdot E(E_n) \\
 &\quad \quad \quad = 0
 \end{aligned}$$

식 (22)에서 보는 바와 같이 ML S에 의한 오차의 기대치는 0이 아니므로 그 분산은 간단한 형으로는 표시되지 않는다.

식 (20)과 식 (22)를 비교하여 보면 식 (20)은 0이 되어 종래의 LS에 의해 추정된 퍼라미터의 값은 편의가 생기지 아니하나 식 (22)는 0이 아니므로 ML S에 의해 추정된 퍼라미터의 값은 편의가 생길수도 있다. 그러나 이는 측정데이터의 수가 무한히 많은 경우에 한하고 실제로는 무한히 많은 데이터를 측정할 수 없으며 유한개의 측정데이터 밖에 사용할 수 없으므로 본 연구에서 제안한 방법이 더욱 유용할 것으로 생각된다.

## 제 5 장 결 론

이상과 같이 본 논문에서는 PI 제어기와 디젤엔진으로 디젤엔진의 속도제어 시스템을 구성하고 제어입력인 연료량, 그리고 회전각속도 및 부하토크를 측정할때 수반되는 측정잡음들의 통계적 성질을 미리 알고 있는 경우에 대하여 종래의 LS 방법으로부터 측정잡음행렬 ( $M$ )의 제곱을 미리 제거하여 퍼라미터 값을 추정하는 MLS 방법을 제안하고, 이 방법과 종래의 LS 방법을 이용하여 여러가지 크기의 측정잡음에 대하여 디젤엔진의 이산화 모델에 대한 퍼라미터 값을 추정하여 디지털 시뮬레이션을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 측정데이터의 수가 적을 때는 차이가 없었으나 측정 데이터의 수가 많을 때는 MLS 방법이 LS 방법보다 정도가 높았다.
2. 엔진의 회전각속도에 영향을 크게 미치는 퍼라미터  $a_1, b_1, c_1$ 에 대해서는 MLS 방법이 LS 방법보다 비교적 추정의 정도가 높았고, 영향을 적게 미치는 퍼라미터  $a_2, b_2, c_2$ 에 대해서는 어느 방법이나 추정의 정도가 낮았다.
3. MLS 방법에 의하여 추정된 퍼라미터 값에 대한 디젤엔진의 회전각속도  $y_{e2}$ 는 LS 방법에 의한 회전각속도  $y_{e1}$ 보다 진치  $y$ 에 더욱 가까웠다.

따라서 본 연구에서 제안한 방법으로 추정된 퍼라미터의 값을 제어기의 설계 및 조정에 이용한다면 더욱 개선된 속도제어가 가능할 것이며 본 방법을 확장하면 잡음의 분산이 미지일 경우에도 적용이 가능할 것이다.

그러나 회전각속도의 측정에 잡음이 수반되는 경우에 대하여 검토를 하지 못한 점과 연속모델의 퍼라미터 값 즉,  $K_c$ ,  $K_r$  및  $T_c$ ,  $T_r$  등을 추정하지 못한 점 등은 앞으로 연구해야 할 과제라고 생각된다.



## 參 考 文 獻

1. 田村直樹, “電子ガバナ制御パラメータ決定システムの開発”, 日本船舶機関學會 第42回(昭和63年春季)學術講演.
2. Robert C.K. Lee, "Optimal Estimation, Identification, and Control", Research Monograph No.28, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1964, pp.35-125.
3. M.G. Singh, A. Titli, "System : Decomposition, Optimisation and Control", Pergamon Press., 1978, pp.447-524.
4. P.W. Gallier, "Process Identification for Control: A Review", ISA Transactions, Vol.13, No.1, 1974, pp.50-58.
5. Kashyap, R.L., "Maximum Likelihood Identification of Stochastic Linear Dynamic System", IEEE Transactions on Automatic Control, Feb., 1970, pp.25-34.
6. Mehra, R.K., "Maximum Likelihood Identification of Aircraft Parameters", Joint Automatic Control Conference, June, 1970, pp.24-26.
7. Scheppe, F.C., "Evaluation of Likelihood Function for Gaussian Signals", IEEE Transaction of the Information Theory, Jan, 1965.
8. Gene F. Franklin, J. David Powell", Digital Control of Dynamic Systems", Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1980, pp. 207-244.
9. Tsutomu Tabe, Masahiro Ohba, Eiichi Kamei, and Hideaki Namba, "On the Application of Modern Control Theory to Automotive

- Engine Control", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.IE-34, No.1, Feb. 1987.
10. Kailath, T., "An Innovation Approach to Least Square Estimation-Part I and Part II", IEEE Transactions on Automatic Control, Dec. 1968, pp.646-661.
  11. Hastings-James, R. and Sage, M.W. "Recursive Generalized Least-Squares Procedure for on Line Identification of Process Parameters", Proc. IEE., Vol.116, Dec. 1969, pp.2057-2062.
  12. Mehra, R.K., "On-Line Identification of Linear Dynamics Systems with Applications to Kalman Filtering", Joint Automatic Control Conference, IEEE. Transactions on Automatic Control, Vol. AC-16, Feb. 1971, pp.12-21.
  13. 하주식·노창주, "선박에 있어서의 내연기관 구동 발전기의 속도안정에 관한 연구", 대한전기학회지 Vol.24, No.4, 1975, pp.63-70.
  14. Norcontrol Document No. 0759A, 1983.
  15. Digital Governor System DGS 8800, Nor-control, Ship Automation Group, 1983.
  16. Rolf Isermann, "Digital Control System", Spring-Verlag, 1981, pp.74-76, pp.85-87.
  17. Katsuhiko Ogata, "Modern Control Engineering", Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. pp.621-662.
  18. Sinha, N.K. and Lawton, J.S. "Unbiased Estimates for On-Line System Identification", Proc, IEEE, Vol.59, Nov., 1971, pp. 1631-1632.



# DC CHOPPER用 轉流回路 改善에 關한 研究

A Study on The Improvement of Commutating Circuit for DC Chopper

吳 珍 錫

## < 目 次 >

1. 序 論	3.2 實驗裝置 系統圖
2. 本 論	3.3 INTERFACE 回路
2.1 電動機 速度式	3.4 GATE 回路
2.2 回路의 構成	4. 實驗結果
2.3 動作 原理	參考文獻
2.4 轉流 鮮析	5. 結 論
2.4.1 回路 鮮析	附 錄
2.4.2 抵抗值 決定	1. 電流의 連續 不連續의 定義
2.4.3 INDUCTANCE와 CAPACITANCE決定	2. 制御 PROGRAM
3. 實 驗	2.1 PROGRAM 作成 및 ALGORITHM
3.1 實驗裝置의 概要	2.2 BLOCK DIAGRAM