

〈論 文〉

## 터보과급 디젤기관의 과도운전시 응답성능에 관한 연구

최낙정\* · 이창식\*\*

(1992년 4월 8일 접수)

### A Study on the Response Performances under Transient Operating Conditions in a Turbocharged Diesel Engine

Nag Jung Choi and Chang Sik Lee

**Key Words :** Response Performances(응답성능), Turbocharged Diesel Engine(과급 디젤기관),  
Moment of Engine Inertia(기관 관성모멘트), Moment of Turbocharger Inertia(과  
급기 관성모멘트)

#### Abstract

This study describes the response performances of actual engine speed, turbocharger speed, air mass flow rate through engine, boost pressure ratio, exhaust temperature and combustion efficiency for a six-cylinder four-stroke turbocharged diesel engine during the change in operating conditions by using the computer simulation with test bed. In order to obtain the transient conditions, a suddenly large load was applied to the simulation engine with the several kinds of inertia moment in turbocharger and engine, and engine set speed. From the results of this study, the following conclusions were summarized. The inferior response performances was mainly caused by turbocharger lag, and air mass flow rate and boost pressure ratio were closely related to the turbocharger speed. A reduced moment of turbocharger inertia resulted in less transient speed drop and much faster recovery to the steady state of the engine. The increase of moment of engine inertia reduced cyclic variation of engine speed. When a large load was applied to the engine at high speed, the engine could be fastly recovered. However, when the same load was applied to the engine at low speed, the engine was stalled.

#### 1. 서 론

기관의 출력을 증가시키기 위해서는 기관 실린더 내로 흡입되는 공기를 적극적인 압축방법을 이용하여 고밀도의 공기로 공급하는 것이 필요하며, 이러한 방법으로 연소후 대기 중으로 버려지는 배기가

스를 작동유체로하여 기관성능을 향상시키고 있다. 이와 같이 기관의 비출력을 증가시킬 목적으로 사용되고 있는 배기과급 디젤기관은 실린더내로 유입되는 공기량을 증가시켜 기관의 출력성을 향상시킬 뿐만 아니라 연료 소비율, 배기성능 등을 개선시킬 수 있는 특성을 가지고 있으므로 오늘날 널리 사용 되어지고 있다. 그러나 이러한 과급기관도 급격한 부하변동이나 급가속 등의 과도 운전상태에서는 과급기의 응답지연으로 연소, 기관작동 불량 등

\* 정회원, 한양대학교 대학원

\*\* 정회원, 한양대학교 기계공학과

의 여러가지 문제점이 초래되어 오히려 기관의 성능을 악화시키는 요인으로 작용되는 경우가 있다. 따라서 운전조건의 급격한 변동시에 발생되는 기관과 과급기의 응답 특성을 규명하고, 이를 개선하기 위한 연구는 다른 무엇보다도 중요한 과제가 되고 있다. 배기과급 디젤기관의 동특성에 관한 연구로는 박용기관과 발전장치용 기관의 조속성능에 관한 연구를<sup>(1),(2)</sup>비롯하여 연료액과 부하변동에 따른 과도특성<sup>(3),(4)</sup>, 출발 시의 기동특성<sup>(5)</sup>에 관한 연구들이 발표되고 있으나, 과도현상 규명 및 과도성능 향상을 위한 응답성 등에 관해서는 아직 더욱 많은 연구가 요망되고 있다. 본 연구에서는 정상운전 중인 4사이클 6실린더 터보과급 디젤기관에 갑자기 큰 부하가 작용하였을 경우, 기관 및 과급기 관성 모멘트의 변화가 기관과 과급기의 실제 회전속도, 압축기 압력비, 실린더내 공기유량, 연소효율, 배기온도 등의 과도 응답성능에 미치는 영향을 시뮬레이션해석과 실험을 통하여 규명하였다.

## 2. 과도응답 특성 해석

본 연구의 응답성능 해석을 위하여 적용된 시뮬레이션모델<sup>(6)</sup>은 Fig. 1과 같은 흡·배기 시스템을 가진 4행정 6실린더 배기과급 디젤기관이며 압축기, 실린더, 터빈의 유동과정에서 다음과 같은 가정을 두었으며, Quasi-steady 방법으로 계산하였다

(1) 밸브오버밸브시 실린더내로 유입되는 질량과 유출되는 질량은 같다.

(2) 실린더내의 연소는 定積연소이다.

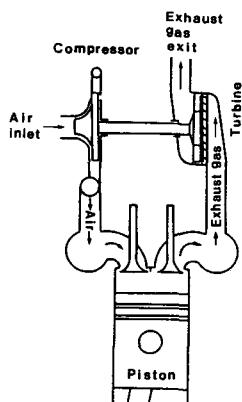


Fig. 1 Schematic representation of simulation model

(3) 흡·배기기간 중 실린더 및 배기관내의 가스는 유입된 가스와 순간적으로 완전 혼합한다.

(4) 압축기출구와 실린더 사이에는 냉각기가 없다.

(5) 흡기밸브 닫힘에서 급기온도는 실린더입구 온도보다 70K 높으며, 급기압력은 실린더입구 압력보다 10% 높다.

### 2.1 초기값 가정

배기과급 디젤기관의 과도성능을 해석하기 위해서는 정상 운전상태의 흡·배기 시스템에서 압력, 온도, 압축기 압력비 등의 초기값을 가정하고, 기본적인 기관 실험 데이터 값을 이용하여 처음 정상 상태에서의 기관성능을 먼저 계산한 후 설정된 과도상태의 조건을 적용 시간의 함수로서 과도성능을 구하여야 한다.

본 시뮬레이션에서는 일정한 회전속도로 운전 중인 기관에 10<sup>2</sup> KPa의 부하가 작용하였을 경우, 주위압력을 101.3 KPa, 압축기 압력비를 1.013, 배기압력을 110 KPa, 주위온도를 296 K, 배기온도를 500K, 연소효율을 100%, 기관의 가속도크를 0, 연료액 위치는 식(1)과 같이 초기 정상상태의 값을 가정하였다.<sup>(4)</sup>

$$q = 9.25 \times 10^{-4} \times N_E + 0.185 \quad (1)$$

여기서  $N_E$ 는 기관의 초기 회전속도이다.

과도상태는 동력계를 이용하여 기관 크랭크축에 부하가 식(2)와 같이 시간에 따라 변화하도록 설정하여 계산하였다.<sup>(4)</sup>

$$P_A = \frac{P_M - P_I}{DL} \times T_f + P_I \quad (2)$$

여기서,  $P_A$ 는 기관에 실제 적용되는 부하(Pa),  $P_I$ 는 처음 설정부하(Pa),  $P_M$ 는 나중 최대 설정부하(Pa),  $DL$ 는 동력계 응답시간(sec),  $T_f$ 는 1회 폭발에 소요되는 시간이다. 본 시뮬레이션에서는 폭발기간에 소요되는 기간을 time step으로 식(3)과 같이 설정하였으며, 적용되는 부하가 나중 설정부하보다 클 경우에는 위 식(2)에 관계없이 나중부하가 기관에 작용되도록 하였다.

$$T_f = \frac{240}{(N_{E1} + N_{E2})Z} \quad (3)$$

여기서  $N_{E1}, N_{E2}$ 는 폭발전후의 기관 회전속도,  $Z$ 는 실린더 수이다.

## 2.2 기관의 과도응답

### (1) 기관 회전속도

기관 크랭크축에 작용하는 가속토크는 기관출력과 부하에 흡수·소비된 소비 출력과의 차로서 기관 회전속도의 과도 응답성능은 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{dN_E}{dt} = \frac{30(L_E - L_A)}{\pi(I_E + I_L)} \quad (4)$$

이 식에 폭발기간동안 소요되는 시간을 적용하여 Euler method로 폭발 직후의 기관 회전속도를 구하면

$$N_{E2} = \sqrt{N_{E1}^2 + \frac{7,200(L_E - L_A)}{\pi Z(I_E + I_L)}} \quad (5)$$

가 된다.

여기서  $L_E, L_A$ 는 기관 출력토크와 부하 흡수토크이고,  $I_E, I_L$ 은 기관과 동력계의 관성모멘트로서 각 기관에 따라 주어지는 독립변수이다. 따라서 폭발 직후의 기관 회전속도는 위 식(5)에 다음과 같은 가속토크식을 대입하여 구할 수 있다.

$$L_E - L_A = K_1(P_t - P_f - P_A) \quad (6)$$

여기서,  $P_t$ 는 도시 평균 유효압력,  $P_f$ 는 마찰 손실압력,  $P_A$ 는 과도설정시 기관에 적용되는 압력으로 식(2)에서 구한다.  $K_1$ 은 이 압력들과 관련된 상수이다.

### (2) 실린더내 공기 및 연료유량

본 시뮬레이션에서는 냉각기가 없는 모델을 설정하였으므로 압축기 출구온도와 실린더 입구온도는 같다고 보았으며, 흡기밸브 닫힘에서 급기온도는 실린더 입구 온도보다 70K, 급기압력은 실린더 입구압력보다 10% 높고, 소기비는 1.05로 일정하다고 가정하였다. 따라서 사이클 당 실린더로 유입되는 총 흡입공기유량  $\dot{m}_a$ 은 다음식으로 표시된다.

$$\dot{m}_a = \frac{K_2 N_E P_r P_o V_{tr} Z}{R(T_2 + \Delta T)} \quad (7)$$

여기서  $P_r$ 은 압축기 압력비,  $P_o$ 은 주위압력,  $N_E$ 는 기관 회전속도이다.

연료유량  $\dot{m}_f$ 은 연료랙 위치와 기관 회전속도의 함수로서 여기서는 식(8)과 같이 계산하였다.

$$\dot{m}_f = K_3(2q - 1) \times \frac{N_E}{120} \quad (8)$$

여기서  $q$ 는 연료랙 위치,  $K_3$ 는 상수이다.

### (3) 실린더내 연소율

실린더내 연소율은 예혼합연소와 확산연소를 고려하여 다음 식으로 구한다.<sup>(7)(8)</sup>

$$\frac{dm_{bf}}{dt} = \beta \left( \frac{dm_{bf}}{dt} \right)_p + (1 - \beta) \left( \frac{dm_{bf}}{dt} \right)_d \quad (9)$$

$$(m_{bf})_p = 1 - (1 - \tau_b^{C_{p1}})^{C_{p2}} \quad (10)$$

$$(m_{bf})_d = 1 - \exp(-C_{d1} \cdot \tau_b^{C_{d2}}) \quad (11)$$

여기서  $m_{bf}$ 는 연소된 질량분율,  $\tau_b$ 는 무차원 시간이고, 첨자  $p, d$ 는 예혼합 및 확산연소를 나타내며,  $\beta$ 는 전체연소에 대한 예혼합 연소비율을 표시한다.

한편  $C_{p1}, C_{p2}, C_{d1}, C_{d2}$ 는 실험적으로 구해지는 상수이다.

### (4) 터빈 입구온도

터빈 입구온도  $T_5$ 는, 급기온도  $T_3$ 와 기관 온도 상승  $\Delta T_E$ 의 합이 되며, 기관 온도 상승은 엔탈피 변화량으로부터 다음과 같이 구한다.

$$\Delta T_E = \frac{x}{(1 + \varepsilon_o)} \frac{H_u \eta_R}{C_{p2}} \quad (12)$$

여기서  $\varepsilon_o$ 는 공연비,  $H_u$ 는 연료의 저위발열량,  $x$ 는 배기 중에 나가는 에너지 율로서 공기연료비와 기관 회전속도에 따라 실험적으로 정해지는 상수이며,  $\eta_R$ 은 상대 열효율로서 공기연료비에 대한 효율선도로부터 보간법을 이용하여 구하였다.<sup>(9)</sup>

따라서 터빈입구의 온도는 다음 식으로 구한다.

$$T_5 = T_3 + \Delta T_E \quad (13)$$

## 2.3 과급기의 과도응답

### (1) 터빈특성

터빈동력은 정상류 에너지방정식으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$P_T = \eta_T \dot{m}_5 C_{p5} T_5 \left[ 1 - \left( \frac{P_6}{P_5} \right)^{(\kappa_5 - 1)/\kappa_5} \right] \quad (14)$$

여기서 첨자 5, 6은 터빈 입구와 출구를 표시한다.

터빈 겉보기효율은 터빈입구와 압축기입구에서의 질량유량과 기체상수가 같다고 하면, 터빈과 압축기가 동일축 상에 있으므로 위 식(14)로부터 아래와 같이 표시된다.

$$\eta_{TA} = \frac{\frac{\kappa_1}{\kappa_1 - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{(\kappa_1 - 1)/\kappa_1} - 1 \right] T_1}{\eta_T \cdot \eta_C \frac{\kappa_5}{\kappa_5 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{P_6}{P_5} \right)^{(\kappa_5 - 1)/\kappa_5} \right] T_5} \quad (15)$$

여기서 첨자 1, 2는 압축기 입구와 출구를 나타내며,  $\eta_r$ ,  $\eta_c$ 는 터빈 및 압축기의 등엔트로피 효율이고,  $(P_2/P_1)$ ,  $(P_6/P_5)$ 는 압축기 압력비와 터빈 팽창비이다.

본 연구에서는 압축기입구 비열비  $\kappa_1$ 을 1.40, 터빈입구의 비열비  $\kappa_5$ 를 1.30으로 가정하였으며 터빈 블레이드 속도비의 함수인 터빈효율은 다음 식을 이용하여 터빈 효율 특성선도로부터 구하였다.<sup>(10)</sup>

$$\frac{U}{C} = \frac{\pi N_r R_r}{30 \left[ 2 C_{p5} T_5 \left[ 1 - \left[ \frac{P_6}{P_5} \right]^{(\kappa_5-1)/\kappa_5} \right] \right]^{1/2}} \quad (16)$$

여기서  $U$ 는 블레이드팁 속도,  $C$ 는 배기ガ스 등엔트로피 팽창속도,  $R_r$ 는 터빈휠 반경,  $N_r$ 는 과급기 회전속도이다.

#### (2) 과급기 회전속도

과급기축에 작용하는 실제 토크는 터빈 출력토크와 압축기 및 베어링 마찰에 흡수된 토크와의 차로서 다음 식과 같이 표시된다.

$$\frac{dN_r}{dt} = \frac{30}{\pi I_r} (L_r - L_c - L_b) \quad (17)$$

여기서  $I_r$ 는 과급기 관성모멘트로 독립변수이고,  $L_r$ 는 터빈·출력토크,  $L_c$ 는 압축기 흡수토크,  $L_b$ 는 베어링의 마찰 손실토크이다.

따라서, 폭발 직후의 과급기 회전 속도는 다음식으로 표시된다.

$$N_{r2} = N_{r1} + \frac{30}{\pi I_r} (L_r - L_c - L_b) T_r \quad (18)$$

#### (3) 압축기 특성

압축기를 통과하는 공기온도의 상승은 압축기 효율에의한 영향을 크게받으며 압축기 출구의 공기온도는 압축기 압력비를 계산하여 다음 식으로부터 구한다.

$$T_2 = T_1 \left[ 1 + \frac{1}{\eta_c} \left[ \frac{P_2}{P_1} \right]^{(\kappa_1-1)/\kappa_1} - 1 \right] \quad (19)$$

여기서  $T_2$ 는 압축기 출구온도,  $T_1$ 은 압축기 입구온도이다.

한편, 압축기동력은 터빈동력과 마찬가지로 에너지식으로부터 다음과 같이 표시된다.

$$P_c = \dot{m}_1 C_{p1} T_1 \left[ \left( \frac{P^2}{P_1} \right)^{(\kappa_1-1)/\kappa_1} - 1 \right] \frac{1}{\eta_c} \quad (20)$$

#### 2.4 조속기의 과도응답

##### (1) 연료랙 위치

본 연구에 적용된 조속기는 비례식 조속기로 연료랙 속도는 기관의 요구 회전속도와 실제 회전속도와의 차에 비례하는 함수로서 다음과 같이 표시된다.<sup>(11)</sup>

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{\tau_2} K_4 (N_d - N_a) + K' - q \quad (21)$$

여기서  $\tau_2$ 는 조속기 시정수,  $K'$ 는 상수,  $q$ 는 연료랙 위치이다.

### 3. 적용 기관

본 연구의 과도 응답성능에 적용한 기관은 반경류형 과급기를 갖는 4행정 6실린더 기관으로서 기관 및 과급기의 주요제원은 Table 1과 같다.

### 4. 결과 및 고찰

#### 4.1 기관 및 과급기의 과도 성능

Fig. 2에서 Fig. 5까지는 1800 rpm으로 정상운전 중인 배기 터보과급 디젤기관에 부하를 0.1 MPa에서 1 MPa까지 갑자기 변화시켰을 경우, 기관과 과급기 회전속도, 부스트압력비, 공기유량의 과도성능에 대한 수치계산 및 실험 결과를 나타낸 것이다.

이 선도들에서 보는 바와 같이 실험치가 계산결과보다 모두 약간 느리게 회복 되고있는데, 이것은 부하저항에 의한 열적손실 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 2의 과급기 회전속도는 정상상태로 회복되는 시간이 Fig. 3의 기관 회전속도보다 길어지고 있으며, Fig. 3의 기관 회전속도는 부하가 걸린 직후 급격히 떨어지다가 약 1.7초 이후부터 회복되기 시작하여 대략 3초에서 정상상태로 회복된다.

Fig. 4의 부스트 압력비와 Fig. 5의 공기유량은 약 1초정도 경과 후 증가 하고 있는데, 이것은 빠른 연료분사에의한 연소실내의 공기부족 현상으로 불완전연소를 초래하여 과급기가 늦게 응답하기 때문인 것으로 생각된다.

#### 4.2 과급기 관성모멘트의 효과

Fig. 6에서 Fig. 9까지는 기관 회전속도가 1800

Table 1 Specifications of engine and turbocharger

Engine model	Four storke, turbocharged diesel engine
Combustion chamber	Direct injection
Number of cylinder	6
Bore (cm)	12.5
Stroke (cm)	15.0
Piston displacement (cc)	11040
Compression ratio	15 : 1
Fuel injection timeing [BTDC]	$24 \pm 1^\circ$
Fuel injection pressure (MPa)	24.520
Initial trapped pressure (KPa)	101.325
Initial trapped temperature (K)	296
Moment of engine inertia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	4.88
Moment of turbocharger inertia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )	$4 \times 10^{-4}$
Governor gain constant	0.085

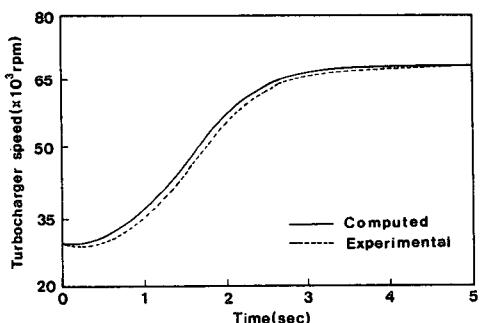


Fig. 2 Response performance of turbocharger speed under a sudden load

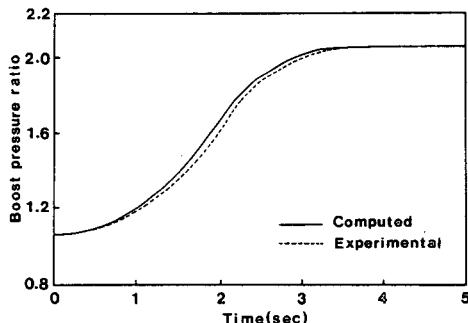


Fig. 4 Response performance of boost air pressure ratio under a sudden load

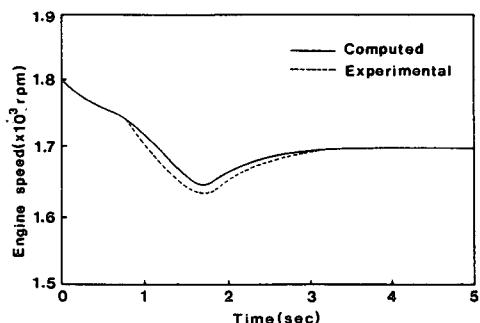


Fig. 3 Response performance of engine speed under a sudden load

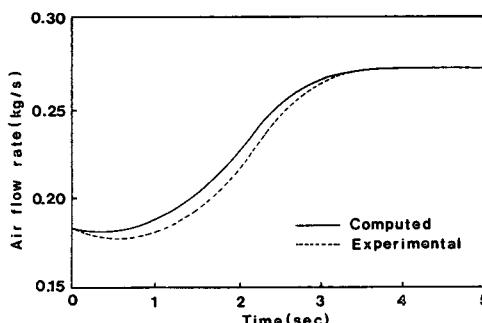


Fig. 5 Response performance of air flow rate under a sudden load

rpm으로 정상운전 중인 기관에 1500 ms의 응답지원을 갖는 동력계로 갑자기 부하를 0.1 MPa에서 1 MPa까지 변화 시켰을 경우, 과급기 관성모멘트비의 변화가 기관과 과급기의 회전속도, 부스트 압

력비, 연소효율, 배기온도 등의 과도응답 성능에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 기관 회전속도의 과도현상은 과급기 관성모멘트가 증가함에 따라 길

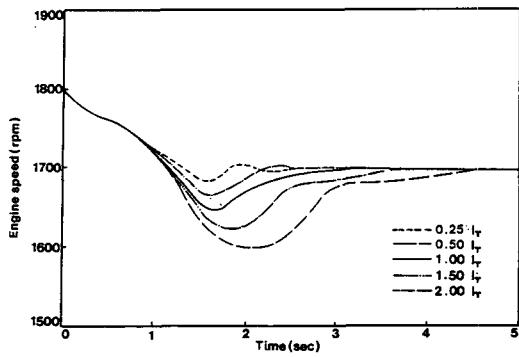


Fig. 6 Reponse performance of engine speed

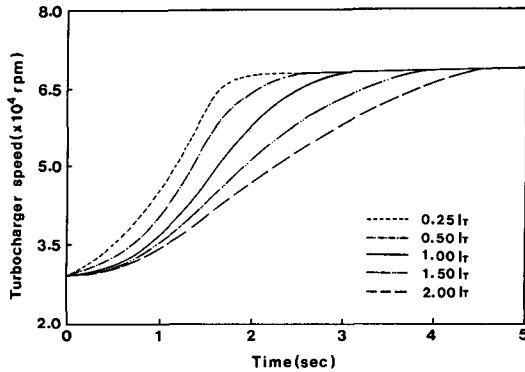


Fig. 7 Reponse performance of turbocharger speed

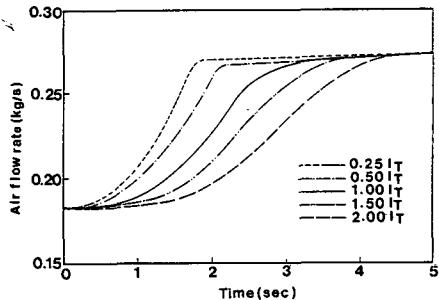


Fig. 8 Response performance of air flow rate through engine

어지고 있는데, 이것은 과급기 관성모멘트가 클수록 기관의 작동관성을 크게 하기 때문인 것으로 보인다.

Fig. 7은 과급기 회전속도의 과도응답 특성을 나타낸 것으로 과급기 관성모멘트가 작을수록 응답시간이 빨라지고 있다. 이것은 과급기 관성모멘트가 과도운전시 성능악화의 주요인이 되고 있는 과급기 응답지연에 크게 영향을 미치고 있음을 보여준다.

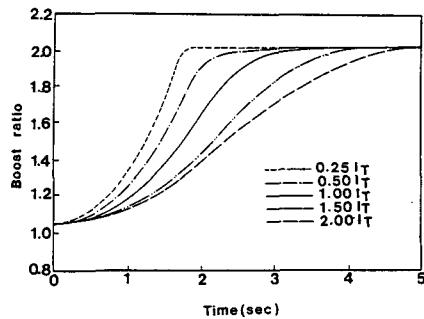


Fig. 9 Response performance of boost pressure ratio

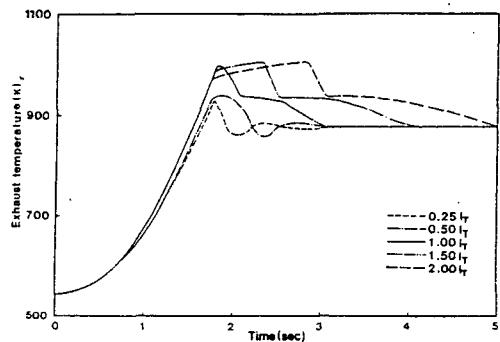


Fig. 10 Response performance of exhaust temperature

Fig. 8과 Fig. 9은 과급기 관성모멘트 변화에 따른 공기유량과 압축기 압력비의 응답 특성을 나타낸 것으로 과급기 관성모멘트가 작을수록 과도기간은 짧아지고 유량과 압력비는 증가하고 있다.

Fig. 10은 터빈 입구온도의 과도특성을 나타낸 것으로 과급기 관성모멘트가 증가할수록 과도 기간 중의 온도 상승은 현저하게 증가하며, 온도 변동기간도 길어지고 있다. 이것은 부하가 증가함에 따라 연소실내에 공기 부족현상을 초래하여 불완전 연소를 하기 때문인 것으로 볼 수 있다.

#### 4.3 기관 관성모멘트의 영향

Fig. 11부터 Fig. 13까지는 급부하 변동의 과도운전시 기관 관성모멘트가 기관 회전속도, 과급기 회전속도, 연소효율 등의 응답성능에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 기관 회전속도의 과도특성은 기관 관성모멘트가 증가할수록 회전속도의 낙하폭은 적어지고 있으며, Fig. 12의 과급기 회전속도는 관성 모멘트가 클수록 응

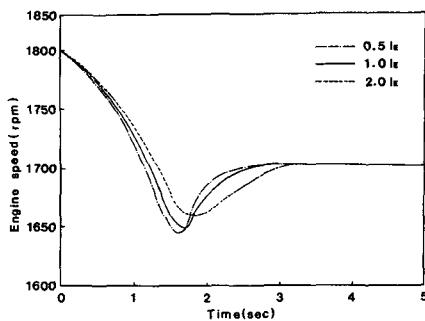


Fig. 11 Reponse performance of engine speed

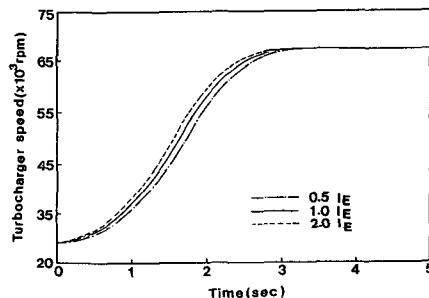


Fig. 12 Response performance of turbocharger speed

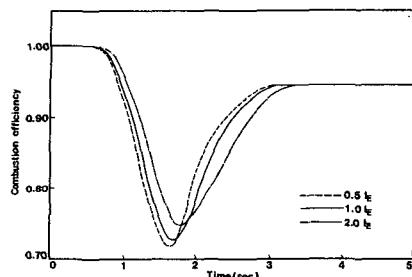


Fig. 13 Response performance of combustion efficiency

답성능이 빨라지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 13은 과도운전시의 연소효율을 나타낸 것으로 과도기간 동안 연소효율은 급격히 떨어지고 있으나, 기관 관성모멘트가 클수록 그 폭은 감소한다. 이것은 기관의 관성모멘트가 클수록 부하변동에 따른 영향을 비교적 적게 받기 때문인 것으로 생각된다.

#### 4.4 기관 회전속도와 부하변동과의 관계

Fig. 14와 Fig. 15은 기관 회전속도 1000 rpm의

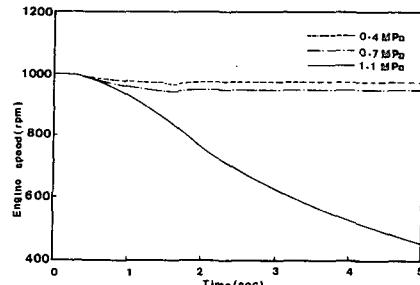


Fig. 14 Response performance of actual engine speed at 1000 rpm

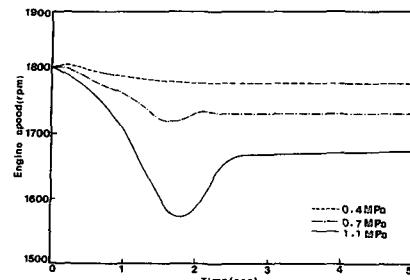


Fig. 15 Response performance of actual engine speed at 1800 rpm

저속과 1800 rpm의 고속에서 부하를 0.4, 0.7, 1.1 MPa까지 순차적으로 증가시켜 본 경우이다.

Fig. 14에 나타난 바와 같이 저속에서 기관에 갑자기 큰 부하가 작용하면 기관이 실속 하였으나, 고속에서는 Fig. 15와 같이 회전속도만 큰 폭으로 낙하하였을 뿐 기관이 실속되지는 않았다. 이것은 기관의 초기 회전속도가 과도상태에 크게 영향을 미치고 있음을 뜻한다.

## 5. 결 론

터보과급 디젤기관의 과도운전시 응답성능에 영향을 미치는 과급기 및 기관의 관성 모멘트, 기관 회전속도 등의 변화와 함께 과도특성을 규명한 본 연구의 결과로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 과도 운전시 과급기 응답지연은 기관성능 악화의 주원인이 되고 있으며, 과급기 관성모멘트가 감소 할수록 정상상태에 빨리 회복되고, 기관 및 과급기의 과도성능에 향상을 가져온다.

(2) 기관 관성모멘트 변화에 따른 과도특성은 관성모멘트가 증가 할수록 기관 회전 속도의 사이클당

변동을 적게하고, 회복시간을 단축시킨다.

(3) 과급기 관성모멘트가 기관 관성모멘트보다  
과도운전 성능향상에 더많은 영향을 미친다.

(4) 기관의 부하변동에 따른 회전속도 변동 및  
과도현상 기간은 기관 회전속도의 영향을 크게 받는  
다.

### 참고문헌

- (1) Miki, T., Nakatsuka, T., Nito, S., Watanabe, M., Asada, T. and Tsujita, K., 1978, "Computer Simulation of a Turbocharged Four-stroke Diesel Engine for Electric Power Unit under Transient Load conditions," Journal of MESJ, Vol.13, No.11, pp. 827~836.
- (2) Watson, T. and Marzouk, M., 1977, "A Non-Linear Digital Simulation of Turbocharged Diesel Engine under Transient Conditions," SAE paper No. 770123, pp. 491~508.
- (3) Matsumoto, R., Shibata, A. and Nunami, T., 1980, "Dynamic behavior of 4 Cycle Diesel Engine with Turbocharger for Marine Generator," Internal Combustion Engines, Vol.19, No. 234, pp. 9~15.
- (4) Ogata, R., Fukusi, A. and Minami, M., 1977, "Dynamic Characteristics of an Exhaust Turbocharged Diesel Engine," Journal of MESJ, Vol. 12, No.11, pp. 49~56.
- (5) Ogata, K. and Minami, M., 1978, "Starting Characteristics of Diesel Engine," Journal of MESJ, Vol.13, No.7, pp. 32~39
- (6) Horlock, J. and Winterbone, D., 1986, "The Thermodynamics and Gas Dynamics of Internal Combustion Engines," Clarendon Press, Vol.2, No.11, pp. 49~56.
- (7) Woschni, G., 1987, "Engine Cycle Simulation for the Developement of Medium Speed Diesel Engines", SAE paper No 870570, pp. 46~71
- (8) Watson, N., 1984, "Dynamic Turbocharged Diesel Engine Simulator for Electronic Control System Development," Trasactions of ASME, Vol. 106, pp. 117~131.
- (9) whitehouse, N., Stotter, A. and Prentice, B., 1982, "Methods of Prediting some Aspects of Performance of a Diesel Engine using Digital Computer," Proc.I.Mech.E., Vol.176, pp. 195 ~211.
- (10) Watson, N., 1984, "Dynamic Turbocharged Diesel Engine Simulator for Electronic Control system Development," Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Vol.106, pp. 31 ~46.
- (11) Benson, R., Leader, J., Whitehouse, N. and Walmsley, S., 1973, "Comparison of Experimental and Simulated Transient Response of a Turbocharged Diesel Engine," SAE Paper No. 730666, pp. 2424~2446.