

< 해 실 >

디젤 기관의 실린더 사이클 계산법

高 大 權

釜山水産大學校

(1991년 10월 1일 접수)

A Method for the Calculation of Cylinder Cycle in Diesel Engines

Dae-Kwon KOH

National Fisheries University of Pusan

(Received October 1, 1991)

1. 서 론

디젤기관의 실린더 사이클은 일반적으로 단흡기간과 열림기간의 두개의 기간으로 나눌 수 있다. 단흡기간은 흡·배기밸브 또는 소·배기공이 모두 닫혀 있는 기간이고, 열림기간은 흡·배기밸브 또는 소·배기공 중 하나 이상이 열려 있는 기간을 말한다. 이들 중 전자는 디젤기관의 출력에 큰 영향을 미치는 기간이다.

디젤기관의 성능 시뮬레이션을 할 때에, 일반적으로 공기를 작동가스로 하고 열발생률을 입력데이터로 하여 실린더의 압력 및 온도 변화등을 계산하고 있으며, 계산결과는 실험결과와 어느정도 일치한다. 그러나, 보다 더 정확한 계산결과를 얻기 위해서는 작동가스를 실제의 연소가스와 가깝게 하여야 하고, 열발생률을 입력데이터로 하는 것 보다는 연료분사율을 입력데이터로 하여 열발생률을 구하는 방식으로 모델링을 하는 것이 바람직하다고 생각된다. 따라서, 본고에서는 Whitehouse와 Way에 의해 개발된 비교적 간단한 단일영역 연소 모델을 이용하여 단흡기간 동안의 실린더 사이클 계산 방법에 대해서 기술하고자 한다.

2. 단일영역 디젤 연소 모델^{1),2)}

N.D. Whitehouse와 R.J.B. Way는 단일영역 디젤 연소 모델링을 위해 다음과 같은 가정을 설정하

였다.

1. 실린더를 단일영역으로 한다. 즉, 실린더의 연료, 공기, 연소가스는 균일하게 혼합되고, 실린더 가스의 압력, 온도도 실린더 전영역에서 균일하다.

2. 실린더 가스는 완전가스의 상태방정식을 따르고, 가스의 비열은 변화한다.

3. 실린더 가스는 산소(O_2), 질소(N_2), 수증기(H_2O), 이산화탄소(CO_2)만으로 구성되어 있다.

4. 실린더에 분사된 연료는 완전연소를 하고 열해리현상은 발생하지 않으며, 연소가스의 각성분은 이에 준해서 변화한다.

5. 실린더 연소가스에서 실린더벽으로의 열전달은 Annand의 열전달식을 따른다.

연소과정에는 물리적·화학적 영향이 모두 포함된다. 실린더에 분사된 액체연료는 연소하기 전에 가열되어 증발하고, 연소에 필요한 충분한 양의 산소와 혼합된다. 이와 같은 연료의 가열 및 주위공기와의 혼합과정을 연소 준비 과정(preparation)이라 한다. 연소 준비된 연료(prepared fuel)는 주어진 화학반응속도식에 준한 속도로 연소를 한다.

주연소기간 중의 연소가스의 온도는 고온으로 상승되기 때문에, 연소기간은 연소준비기간에 비해 극히 짧게 되어 무시할 수 있다. 따라서, 대부분 연소기간 동안의 열발생률은 연소준비율의 측정만으로 구할 수 있다. 즉, 연소준비율과 열발생률이 동일한 값을 갖는다고 볼 수 있다. 한편, 연소 초기에는 실린더 가스의 온도가 매우 낮아 주연소기간 동안의 급속한 연

소형태와는 다르기 때문에, 다른 형태의 화학반응속도식의 지배를 받는다.

연료의 분사 직후에는 실린더 가스의 온도가 매우 낮아 연소속도가 느리고, 분사된 연료가 증발하면서 주위의 열을 흡수하기 때문에, 열발생률은 음의 값을 갖는다. 점차로 실린더 가스온도가 상승함에 따라, 연소속도가 증가하고 연소가스의 온도상승이 가속된다. 초기연소에서 화학반응속도식에 준한 초기열발생률은, 연소 준비된 연료가 완전히 연소될 때까지 계속된다. 연소 준비된 연료가 완전히 연소된 후의 연소는, 연소준비율과 동일한 속도로 진행된다. 위에서 설명한 연소 메커니즘에 대해서 Fig. 1에 나타내었다.

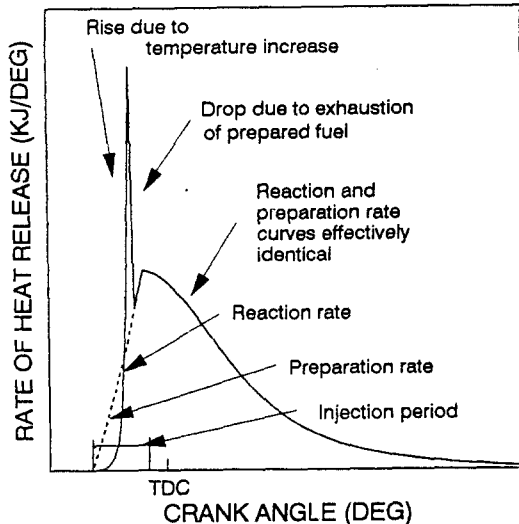
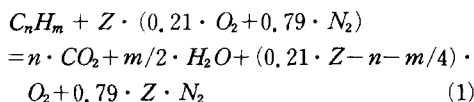


Fig. 1. Whitehouse and Way's combustion model

3. 실린더 가스의 성분 변화^{3),4)}

연료의 분자식이 C_nH_m 이고, 연소에 사용된 공기는 체적백분율로 산소 21%·질소 79%로 구성되어 있으며, 디젤기관의 연소에서는 공연비가 매우 크기 때문에 완전연소가 이루어진다고 가정하면, 연소반응식은 다음식으로 주어진다.



여기에서, Z : 공기의 몰수

(1) 연소가스의 몰수 증가

1kg-mol의 액체연료가 연소하였을 경우, 실린더 가스의 몰수증가, $\Delta AMOLT$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\begin{aligned} \Delta AMOLT &= n + m/2 + (0.21 \cdot Z - n - m/4) + 0.79 \cdot Z - Z \\ &= m/4 \text{ (kg-mol/kg-mol of fuel)} \end{aligned} \quad (2)$$

위식에서 반응물질(연료+공기)의 몰수는, 액체연료인 경우에는 Z kg-mol이고, 기체연료인 경우에는 $(1+Z)$ kg-mol이다.

1kg의 액체연료가 연소하였을 경우, 실린더 가스의 몰수증가, $\Delta AMOLT_f$ 은 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta AMOLT_f = 0.25 \cdot m / (12n + m) \text{ (kg - mol/kg of fuel)} \quad (3)$$

한편, 1kg의 기체연료가 연소하였을 경우, 실린더 가스의 몰수증가, $\Delta AMOLT_g$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\Delta AMOLT_g = (m/4 - 1) / (12n + m) \text{ (kg - mol/kg of fuel)} \quad (4)$$

파라핀계 연료(C_nH_{2n+2}) 또는 나프텐계 연료(C_nH_{2n})를 사용하였을 경우, 식 (3) 및 식 (4)를 이용하여, 탄소(C) 수의 변화에 따른 연소가스의 몰수증가에 대한 계산 결과를 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이, 나프텐계 연료의 경우 연소가스의 몰수증가, $\Delta AMOLT_f$ 은 탄소수에 관계없이 0.0357142 몰이며, 파라핀계 연료의 경우에는 탄소수가 무한대일때 나프텐계 연료의 경우와 같은 값을 갖는다. 디젤 연료유는 나프텐계와 파라핀계가 주종을 이루고 있으며 탄소 수가 비교적 크기 때문에, 1kg의 디젤연료가 연소하였을 경우 연소가스의 몰수증가를 0.0357142 몰로 단일화하여도 무방하리라 사료된다. 그러나, 기체연료의 경우에는 탄소수의 변화에 따른 몰수 증가폭이 크므로 단일값을 사용하기에는 곤란하다.

(2) 연소가스 각 성분의 몰수 변화

a. 산소(O_2): 0.1074128 (kg-mol/kg of fuel) 감소

식(1)에서, 연료 1kg-mol 연소시 $(n+m/4)$ kg-

Table 1. Increase in mole number of combustion gas in case of C_nH_{2n+2}

n	$2n+2$	$\Delta AMOLT_{(g)}$	$\Delta AMOLO$	$\Delta AMOLC$
1*	4	0.0	0.125	0.0625
2*	6	0.01667	0.117	0.06667
3*	8	0.02227	0.114	0.06818
4*	10	0.02586	0.112	0.06897
5	12	0.04167	0.111	0.06944
6	14	0.04070	0.1105	0.06977
7	16	0.04000	0.1100	0.07000
8	18	0.03947	0.1096	0.07018
9	20	0.03906	0.1094	0.07013
10	22	0.03873	0.1092	0.07042
11	24	0.03846	0.1090	0.07051
12	26	0.03825	0.1088	0.07059
13	28	0.03804	0.1087	0.07065
14	30	0.03788	0.1086	0.07071
15	32	0.03774	0.1085	0.07075
16	34	0.03761	0.1084	0.07080
20	42	0.03723	0.1082	0.07092
40	82	0.03648	0.1077	0.07117
100	202	0.03602	0.1073	0.07133
∞	∞	0.0357142	0.1071428	0.0714285

* : These are gaseous at a room temperature

Table 2. Increase in mole number of combustion gas in case of C_nH_{2n}

n	$2n$	$\Delta AMOLT_{(g)}$	$\Delta AMOLO$	$\Delta AMOLC$
2*	4	0.01071	0.1071428	0.0714825
3*	6	0.01190		
4*	8	0.01786		
5	10	0.0357142		
6	12			
7	14			
8	16			
9	18			
10	20			
11	22			
12	24			
13	26			
14	28			
15	32			
16	32			
17	34			
20	40			
30	60			
50	100			
100	200	0.0357142	0.1071428	0.0714825
∞	∞	0.0357142	0.1071428	0.0714285

* : These are gaseous at a room temperature

mol 의 산소가 소모되므로, 연료 $1kg$ 연소시에는 $(n+m/4)/(12n+m)kg-mol$ 의 산소가 소모된다. 파라핀계 연료 (C_nH_{2n+2}) 및 나프텐계 연료 (C_nH_{2n}) $1kg$ 연소시, 탄소(C) 수의 변화에 따른 산소의 몰수 변화, $\Delta AMOLT$ 에 대해서 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 연소가스의 몰수 변화에서 언급한 바와 같이, 산소의 몰수 감소는 탄소수의 변화에 관계 없이 $0.1071428kg-mol$ 로 하여도 무방하리라 사료된다.

b. 이산화탄소(CO_2) : $0.0714285(kg-mol/kg$ of fuel) 증가

식(1)에서, 연료 $1kg-mol$ 연소시 $nkg-mol$ 의 이산화탄소가 생성되므로, 연료 $1kg$ 연소시에는 $n/(12n+m)kg-mol$ 의 이산화탄소가 생성된다. 파라핀계 연료 (C_nH_{2n+2}) 및 나프텐계 연료 (C_nH_{2n}) $1kg$ 연소시, 탄소(C) 수의 변화에 따른 이산화탄소의 몰수 변화, $\Delta AMOLC$ 에 대해서 Table 1 및 Table 2에 나타내었다. 산소의 몰수 변화에서 언급한 바와 같이, 이산화탄소의 몰수 증가는 탄소수의 변화에 관계 없이 $0.0714285kg-mol$ 로 하여도 무방하리라 사료된다.

(3) 연소가스 각 성분의 물분율 변화

위에서 언급한 연소가스의 몰수 변화로부터, 연소가스 각 성분의 물분율 변화는 다음 식으로 주어진다.

a. 연소가스의 몰수 변화

$$AMOLTE = AMOLTI + 0.0357142 \cdot \Delta AMF \quad (5)$$

여기에서,
 $AMOLTE$: 연료 $\Delta AMF kg$ 연소후 실린더 가스의 몰수
 $AMOLTI$: 연소전 실린더 가스의 몰수
 ΔAMF : 연소실에 분사된 연료의 질량

b. 연소가스 중 산소의 몰수 변화

$$AMLO2E = AMLO2I - 0.1071428 \cdot \Delta AMF \quad (6)$$

여기에서,
 $AMLO2E$: 연료 $\Delta AMF kg$ 연소후 실린더 가스 중 산소의 몰수

$AMLO2I$: 연소전 실린더 가스 중 산소의 몰수

c. 연소가스 중 산소의 물분율 변화

$$XO2 = AMLO2E / AMOLTE \quad (7)$$

여기에서,

$XO2$: 연료 ΔAMF kg 연소후

실린더 가스 중 산소의 물분율

d. 연소가스 중 질소의 물분율 변화

$$XN2 = AMOLN2 / AMOLTE \quad (8)$$

여기에서,

$XN2$: 연료 ΔAMF kg 연소후

실린더 가스 중 질소의 물분율

$AMOLN2$: 연소가스 중 질소의 몰수, 열해리를

무시하였기 때문에 질소의 몰수는 일정하다.

e. 연소가스 중 이산화탄소의 물분율 변화

$$XCO2 = (AMLCOI + 0.714285 \cdot \Delta AMF) / AMOLTE \quad (9)$$

여기에서,

$XCO2$: 연료 ΔAMF kg 연소후

실린더 가스 중 산소의 물분율

$AMLCOI$: 연소전 실린더 가스 중 이산화탄소의 몰수

f. 연소가스 중 수증기의 물분율 변화

$$XH2O = 1 - XO2 - XN2 - XCO2 \quad (10)$$

여기에서, $XH2O$: 연료 ΔAMF kg 연소후 실린더 가스 중 수증기의 물분율

(4) 연소가스의 분자량

연료 ΔAMF kg 연소 후의 연소가스의 분자량, WMR 은 다음 식으로 주어진다.

$$WMR = XO2 \cdot 32.0 + XN2 \cdot 28.016 + XCO2 \cdot 44.01 + XH2O \cdot 18.016 \quad (11)$$

4. 실린더 가스의 비열 및 비열비^{(3),(4)}

Benson 이 제안한 실린더 가스의 엔탈피 변화에 대한 다항식은 다음 식으로 주어진다.

$$h = R(a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 + a_5 \cdot T^5) + h_0 \quad (12)$$

여기에서,

h : 실린더 가스의 엔탈피 (kj/kg-mol)

h_0 : $T=0K$ 일 때의 실린더 가스의 엔탈피 (kj/kg-mol)

T : 실린더 가스의 온도 (K)

R : 일반기체상수 (8.3143 kj/kg-mol · K)

$$C_p = (\partial h / \partial T)_{p=const.} = R(a_1 + 2a_2 \cdot T + 3a_3 \cdot T^2 + 4a_4 \cdot T^3 + 5a_5 \cdot T^4) \quad (13)$$

여기에서,

C_p : 실린더 가스의 정압비열 (kj/kg-mol · K)

$$\kappa = C_p / C_v \quad (14)$$

$$R = C_p - C_v \quad (15)$$

$$\kappa = C_p / (C_p - R) \quad (16)$$

여기에서,

κ : 실린더 가스의 비열비

C_v : 실린더 가스의 정적비열 (kj/kg-mol · K)

$$C_v = C_p / \kappa \quad (17)$$

$$a_j = XO2 \cdot a_{j,O2} + XN2 \cdot a_{j,N2} + XCO2 \cdot a_{j,CO2} + XH2O \cdot a_{j,H2O} \quad (18)$$

여기에서,

a : 다항식의 계수

첨자 j : 1~5

한편, 1kg의 실린더 가스에 대한 기체상수, 정압비열, 정적비열은 다음 식으로 주어진다.

$$R' = R / WMR \quad (19)$$

$$C_p' = R'(a_1 + 2a_2 \cdot T + 3a_3 \cdot T^2 + 4a_4 \cdot T^3 + 5a_5 \cdot T^4) \quad (20)$$

$$\kappa = C_p' / (C_p' - R') \quad (21)$$

$$C_v' = C_p' / \kappa \quad (22)$$

여기에서,

R' : 실린더 가스의 기체상수 (kj/kg · K)

C_p' : 실린더 가스의 정압비열 (kj/kg · K)

C_v' : 실린더 가스의 정적비열 (kj/kg · K)

5. 실린더 사이클 계산

(1) 압축행정

실린더 가스의 압축과정을 단열변화로 가정하면, 실린더 가스의 압력 및 온도변화는 다음 식으로 주어

진다.

$$P_i = P_{i-1} \cdot (V_{i-1}/V_i)^{N_c} \quad (23)$$

$$T_i = T_{i-1} \cdot (V_{i-1}/V_i)^{N_c-1} \quad (24)$$

여기에서,

N_c : 실린더 가스의 폴리트로프 지수

P : 실린더 압력 (bar)

T : 실린더 온도 (K)

V : 실린더 체적 (m^3)

첨자 i : 계산 시각

폴리트로프 지수, N_c 는 온도 함수이므로 실린더 가스의 평균온도를 구하여 계산한다. 실린더 체적, V_i 는 다음 식으로 주어진다.

$$V_i = V_{cl} + V_{sw}/2 \cdot \{1 + l/r - \cos\theta_i - \sqrt{(l/r)^2 - \sin^2\theta_i}\} \quad (25)$$

여기에서,

l : 연결봉 길이 (m)

r : 크랭크암 길이 (m)

V_{cl} : 간극용적 (m^3)

V_{sw} : 행정용적 (m^3)

(2) 연소행정

실린더 가스에 대한 열역학 1 법칙은 다음 식으로 주어진다.

$$dU_i = Rr_i - Q_i - W_i \quad (26)$$

여기에서,

dU : 내부에너지 변화

Q : 실린더 밖으로의 전열량

Rr : 열발생량

W : 팽창 일

a. 열발생량, $Rr_i^{(1),(2),(4)}$

연료분사시점의 초기연소형태는 주연소기간의 확산 연소와는 다른 예혼합연소이므로, Arrhenius 반응식에 기초를 둔 화학반응식이 초기열발생물의 지배반응식으로 이용된다.

$$Rr_i = \left[\frac{AKDD}{6N} \cdot \frac{P_{O_{2i}}}{T_{m_i}} \cdot \text{EXP}\left(-\frac{act}{\sqrt{T_{m_i}}}\right) \cdot \int_{\theta_{in}}^{\theta_{out}} (Pr - Rr) d\theta \right] \cdot d\theta_i \quad (27)$$

여기에서,

Rr : 열발생량 (kJ)

inj : 연료분사 시작점 ($deg C. A.$)

N : 기관 회전속도 (rpm)

P_{O_2} : 실린더 산소분압 (bar)

Pr : 분사된 연료의 연소 준비량 (kg)

T_m : 계산 시각 동안의 실린더 가스 평균온도 (K)

$d\theta$: 계산 시간 간격 ($deg C. A.$)

$AKDD, act$: 실험 상수

$\int_{\theta_{in}}^{\theta_{out}} (Pr - Rr) d\theta$: 연소준비된 연료중 미연연료의 양

예혼합연소후의 연소형태는 확산연소이므로, 열발생물은 식 (27) 대신에 다음 식의 지배를 받는다.

$$Pr_i = AKD \cdot Mfi_i^{(1-x)} \cdot Mfu_i^x \cdot P_{O_{2i}}^m \cdot CV \cdot d\theta_i \quad (28)$$

여기에서,

Pr : 분사된 연료의 연소 준비량 (kg)

Mfi : 분사된 연료의 질량 (kg)

Mfu : 분사된 연료 중 미연 연료의 질량 (kg)

CV : 연료의 저위발열량 (kJ/kg)

AKD, m, x : 실험 상수

실린더에 분사된 연료 중 미연 연료의 양은 다음 식으로 주어진다.

$$Mfu_i = Mfi - \int_{\theta_{in}}^{\theta_{out}} (Pr/CV) d\theta \quad (29)$$

실린더 가스중 산소의 분압은 다음 식으로 주어진다.

$$P_{O_{2i}} = \frac{M_{O_{2i-1}}}{M_{g_{i-1}}} \cdot P_{i-1} \quad (30)$$

여기에서,

M_{O_2} : 실린더 산소의 몰수

M_g : 실린더 가스의 몰수

b. 실린더 밖으로의 열전달, Q_i

실린더 밖으로의 전열량, Q_i 에 대한 Annand 식은 다음 식으로 주어진다.^{4),5)}

$$Q_i = \frac{A_i}{6N} \left[a \cdot \frac{k}{D} \cdot (Re_i)^b \cdot (T_{m_i} - T_w) + c(T_{m_i}^4 - T_w^4) \right] \cdot d\theta_i \quad (31)$$

여기에서,

Q : 실린더 밖으로의 전열량 (kJ)

A : 실린더 표면적 (m^2)

D : 실린더 직경 (m)

k : 실린더 가스의 열전도계수 ($kJ/m \cdot s \cdot K$)

Re : 레이놀드수

T_w : 실린더 표면 온도 (K)

a, b, c : 실험 상수

실린더의 전열면적, A_i 는 다음 식으로 주어진다.

$$A_i = \frac{2(V_i + V_{i-1})}{D} + \frac{\pi \cdot D^2}{2} \quad (32)$$

레이놀드수, Re_i 는 다음 식으로 주어진다.

$$Re_i = \rho_i \cdot V_m \cdot D / \mu_i \quad (33)$$

여기에서,

ρ : 실린더 가스 밀도 (kg/m^3)

V_m : 피스톤 평균속도 (m/s)

μ : 실린더 가스의 점성계수 ($N \cdot s/m^2$)

한편, 실린더 가스의 점성계수, μ_i 는 다음 식으로 주어진다.⁶⁾

$$\mu_i = \mu_{air} / (1 + 0.027 \phi_i) \quad (34)$$

여기에서,

μ_{air} : 공기의 점성계수

$$= 3.3 \times 10^{-7} \times T_m^{0.7} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

ϕ : 당량비 (equivalence ratio)

c. 실린더 가스의 팽창일, W_i

실린더 가스의 팽창일, W_i 는 다음 식으로 주어진다.

$$W_i = \frac{P_i + P_{i-1}}{2} \cdot (V_i - V_{i-1}) \cdot 100 \quad (35)$$

여기에서,

W : 실린더 가스의 팽창 일 (kJ)

따라서, 위의 식(27) 또는 (28), 식(31) 및 식(35)를 식(26)에 대입하여 정리하면, 실린더 가스의 내부에너지 변화를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} dU_i &= C_{vi} \cdot dT_i \cdot Mg_i \\ &= C_{vi} \cdot (T_i - T_{i-1}) \cdot Mg_i \end{aligned} \quad (36)$$

여기에서,

C_v : 실린더 가스의 정적비열 ($kJ/kg \cdot mol \cdot K$)

dT : 실린더 가스의 온도 변화 (K)

$$T_i = T_{i-1} + \frac{(Rr_i - Q_i - W_i)}{C_{vi} \cdot Mg_i} \quad (37)$$

$$P_i = P_{i-1} \cdot \frac{V_{i-1}}{V_i} \cdot \frac{T_i}{T_{i-1}} \cdot \frac{Mg_i}{Mg_{i-1}} \quad (38)$$

(3) 팽창행정

실린더 가스의 팽창과정을 압축과정과 동일하게 단열변화로 가정하면, 실린더 가스의 압력 및 온도변화는 다음 식으로 주어진다.

$$P_i = P_{i-1} \cdot (V_{i-1}/V_i)^{N_e} \quad (39)$$

$$T_i = T_{i-1} \cdot (V_{i-1}/V_i)^{N_e-1} \quad (40)$$

여기에서,

N_e : 실린더 가스의 폴리트로프 지수

폴리트로프 지수, N_e 는 온도 함수이므로 실린더 가스의 평균온도를 구하여 계산한다.

6. 계산 결과

Fig. 2 내지 Fig. 5는 기관회전수(1200 rpm), 연료분사량(0.0796 g) 및 분사시간(12 deg C.A.)은 일정하게 하고, 분사시작점만을 상사점전 30 deg C.A. 에서 5 deg C.A. 간격으로 지연시켰을 경우, 열발생률, 실린더 압력 및 온도, 지시평균유효압력의 변화를 나타낸 그림이다. Fig. 2에서 연료분사시기가

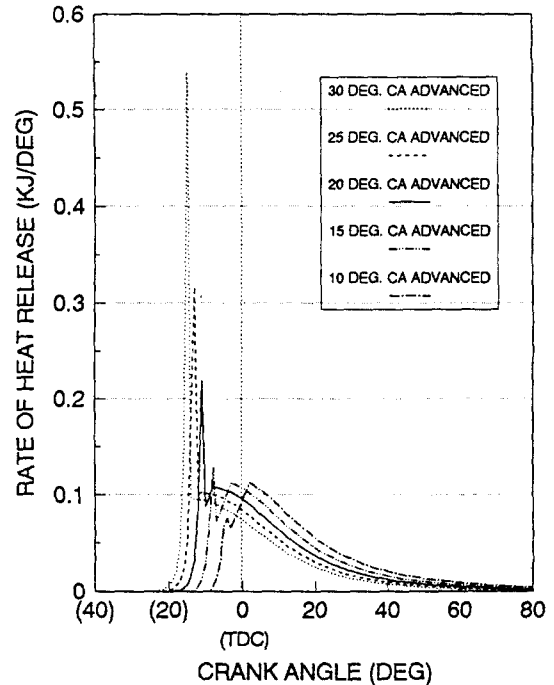


Fig. 2. Rate of heat release distribution against crank angle by changing fuel injection timing

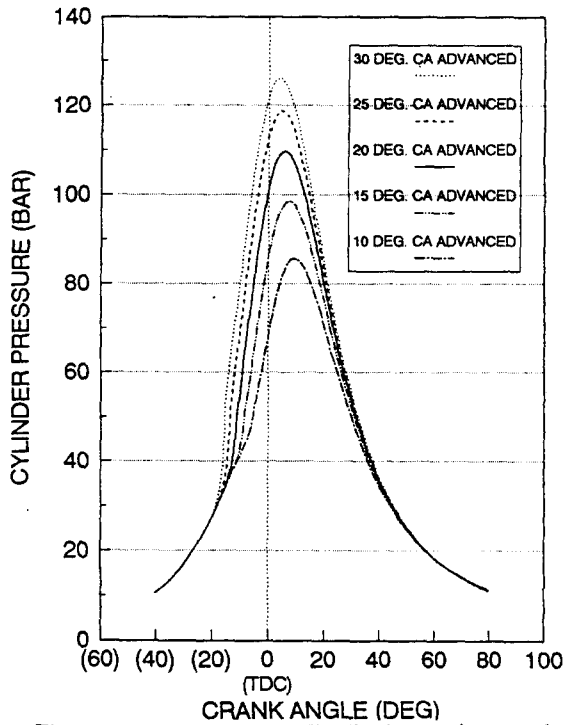


Fig. 3. Cylinder pressure distribution against crank angle by changing fuel injection timing

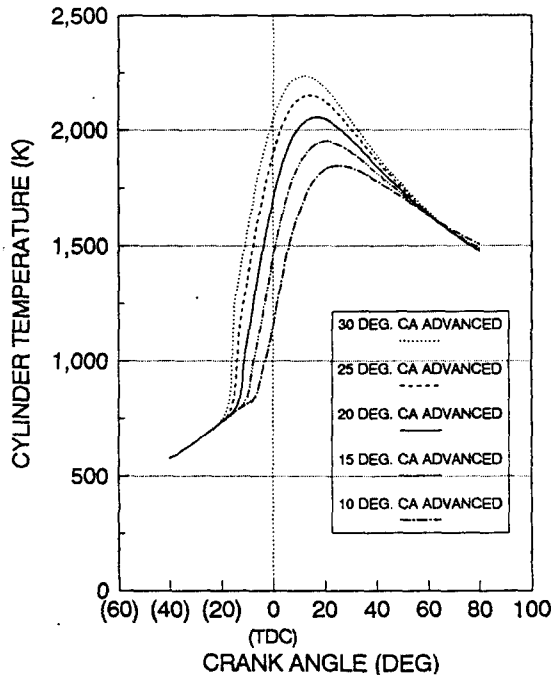


Fig. 4. Cylinder temperature distribution against crank angle by changing fuel injection timing

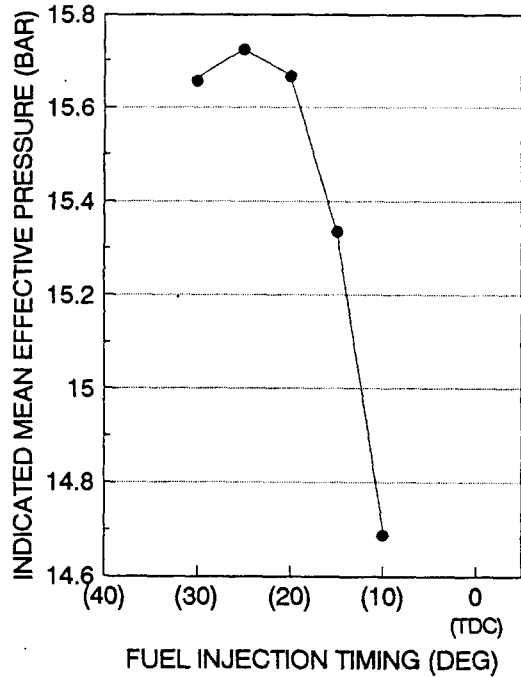


Fig. 5. Distribution of indicated mean effective pressure against fuel injection timing

빨라지면, 착화지연기간이 길어져서 예혼합연소량이 증가하고 상대적으로 확산연소량이 감소함을 알 수 있다. Fig. 3 및 Fig. 4에서 보면, 연료분사시기가 빨라지면 실린더 가스의 최고압력은 증가하고 최고압력점은 늦어지는 경향을 보이고 있으며, 실린더 온도도 이와 같은 경향을 나타내고 있다. Fig. 5에서는 분사시작점이 빨라짐에 따라 지시평균유�효압력은 증가하다가 25 deg C.A.에서 감소함을 알 수 있다.

본고에서는 연료분사시작점이 기관성능 및 연소특성에 미치는 영향만을 고찰하였으나, 연료분사시작점 외에 연료분사량 및 분사기간, 기관회전수, 흡·배기 밸브개폐시기, 흡입공기의 온도, 연료유의 종류, 압축비등이 기관성능 및 연소특성에 미치는 영향등에 대해서도 고찰할 수 있다.

참고문헌

- 1) Whitehouse, N.D. and Way, R.J.B.(1970) : Rate of Heat Release in Diesel Engines and its correlation with Fuel Injection Data, Proc. Instn. Mech. Engrs. Symposium on Diesel Engine Combustion, Vol. 184, Pt 3J, 17-27.

- 2) Whitehouse, N.D. and Way, R.J.B.(1971) : A Simple Method for the Calculation of Heat Release Rates in Diesel Engines based on the Fuel Injection Rate, SAE Paper No. 710134.
- 3) Benson, R.S.(1977) : Advanced Engineering Thermodynamics, 2nd Edition, Pergamon Press, 63-206.
- 4) Benson, R.S. and Whitehouse, N.D.(1979) : Internal Combustion Engines, Pergamon Press, 25-95.
- 5) Annand, W.J.D.(1963) : Heat Transfer in the Cylinder of Reciprocating Internal Combustion Engines, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 177, No. 36, 973-990.
- 6) Heywood, J.B.(1988) : Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, 62-72.