

(技術論文)

부분부하와 무부하에서의 가변 배기량기관의 성능특성

한성빈* · 이성열**

(1992년 12월 15일 접수)

Performance Characteristics of a Variable Displacement Engine at Part-Load and Idle

Sung Bin Han and Songyol Lee

Key Words : Variable Displacement Engine(가변 배기량기관), Pumping Loss(펌프손실), Effective Number of Cylinders(유효 실린더수), Part-Load(부분부하), Idle(무부하), Brake Mean Effective Pressure(제동 평균유효압력)

Abstract

This paper presents an effective way of improving fuel consumption for a variable displacement engine. The improvement of fuel consumption can be accomplished by means of deactivating inlet and exhaust valves, reducing the number of effective cylinders of a four-cylinder gasoline engine that is mounted on a domestic compact automobile.

1. 서 론

자동차 기관의 연료소비를 저감시킬 수 있는 방법에 관한 연구는 오래전부터 대두되고 있는 문제이다. 특히 스파크 점화기관에 관한 연료소비를 저감시키기 위하여는 연소실의 개량, 고압축비화, 흡기유동의 증대 등 여러가지가 실용화되고 있다. 또한 연료소비저감을 추구하기 위해 배기량이 적은 기관을 탑재하는 방법도 취해져 왔으나 이 경우는 등판 등 고출력이 요구되는 경우 동력확보가 어려운 결점을 가지고 있다.^(1,2,3) 따라서 주행상태에 따라 동작 실린더수, 즉 기관 배기량을 바꾸어 동력성능을 확보하면서 연료소비를 저감시킬 수 있는 가변 배기량형 기관에 주목하게 된다.

4사이클 가솔린기관의 부분부하 영역에서의 연료소비를 개선할 수 있는 방법인 가변 배기량기관(variable displacement engine)의 연구는 1973년

오일쇼크 이후 활발히 진행되었다.

Siegla,⁽⁴⁾ Pouliot,⁽⁵⁾ 등은 특수 크랭크기구에 의하여 행정을 가변으로 하여 드로틀 밸브를 완전히 제거한 방법을 제시하였고, 1974년 Eaton사에서는 floating-pivot rocker arm assembly에 착안하여 Eaton Valve Selector System^(6,7)을 개발하였고, 같은 방법으로 Mitsubishi사의 오리온 MD(modulated displacement)기관^(8,9)을 1982년 미라쥬 II의 일부 차종에 탑재시켜 아이들링이나 저속주행 등, 출력을 크게 요구하지 않을 때는 4실린더 중 2실린더만을 가동하여 연료소비의 저감을 실현하였으며, 가속이나 고속주행 등, 고출력을 필요로 할 때는 4실린더를 가동하여 동력성능을 확보하였다.⁽¹⁰⁻¹³⁾

이상과 같은 방법 등이 알려져 있지만, 그 내용의 상세한 점은 명확하지 않은 점이 많다. 그러므로 가변 배기량기관이 연료소비 개선이 이루어지는 지에 대한 진단과 연료소비의 개선이 이루어진다면 그 원인과 내용이 어떠한 것인지 밝힐 목적으로 국내의 4사이클 가솔린기관을 실험용 기관으로 선택하여 4실린더 기관의 일부 실린더의 흡·배기 밸브

*정회원, 인덕전문대학 기계과

**정회원, 성균관대학교 기계공학과

구동을 정지시켜, 유효 실린더수 저감에 대한 연료 소비저감 및 동력성능 등을 연구한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 기관의 주요제원은 Table 1과 같다.

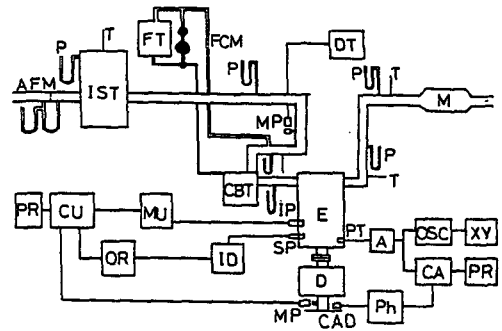
또한 실험장치의 개요를 Fig. 1에 표시한다. 기관의 크랭크축에 최대 흡수마력이 150 ps인 수동력계를 직결하고 동력계로 부하조정과 동력측정을 한다. 기관의 흡입구로부터 흡입공기유량을 측정하기 위하여 오리피스유량계를 설치하였고, 흡입공기의 맥동을 감쇄시키기 위해 실린더 배기량보다 충분히 크게 흡입 서지탱크를 설치하였다. 연료탱크에서 중력공급식으로 공급한 연료는 연료유량계에 의하여 측정하였다. 또한 지압선도의 해석을 위해 2번 실린더에 piezo-electric pressure transducer(601 A, Kistler사)를 삽입시켜 증폭기를 거쳐 해석장치에 입력했다.

2.2 실험방법

본 연구의 실험용 기관은 OHC(overhead camshaft)형의 기관으로써 밸브 및 캠축이 실린더 헤드에 설치된 것으로 캠이 로커암을 통해 밸브를 개

Table 1 Specification of test engine used

Item	Engine
Type	4 Stroke cycle,
No. of cylinder	Overhead camshaft 4 cylinder
Cooling system	Water cooled
Method of ignition	Battery
Firing order	1—3—4—2
Bore×stroke	73×74 mm
Displacement volume	1238 cc
Compression ratio	9.0
Length of con. rod	153.7 mm
Maximum torque	9.4/4500, kg·m/rpm
Maximum power	66.4/5500, ps/rpm



- A : Charge amplifier
- AFM : Air flow meter
- CA : Combustion analyzer
- CAD : Crank angle detector
- CBT : Carburetor
- CU : Control unit
- D : Water brake dynamometer
- DT : Digital tachometer
- E : Test engine
- FCM : Fuel consumption meter
- FT : Fuel tank
- ID : Ignition detector
- IST : Inlet surge tank
- M : Muffler
- MP : Magnetic pick up
- MU : Measuring unit
- OR : Optical receiver
- OSC : Oscilloscope
- PR : Printer
- PH : Photo couple
- PT : Pressure transducer
- SP : Spark plug
- X-Y : X-Y recorder

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

폐하는 형식이다.

가변 실린더수, 즉 유효 실린더수의 저감은 흡·배기 밸브의 로커암을 제거하여 시행하였다. 유효 실린더수를 3실린더로 하는 경우는 1번 실린더를 정지시켰으며, 유효 실린더수를 2실린더로 하는 경우는 1번 및 4번 실린더를 정지시켜 2번 및 3번 실린더로 운전하였다.

자동차의 부분부하 운전의 토크변화는 동력계로 부하조정과 드로틀밸브 조정으로 기관회전수를 일정하게 놓고 각각 성능 비교했다.

3. 기관성능과 연료소비율의 개선

3.1 가변 배기량기관의 성능개선 특성

Fig. 2~Fig. 4는 기관 회전속도 $N=1500, 2000, 2500$ rpm에 대해서 토크변화에 따른 제동도 열효율, 연료소비율, 체적효율, 브루스트압력(흡입관의 압력)의 관계를 표시한 것이다. Fig. 2~Fig. 4에서 알 수 있듯이 토크의 증대로 유효 실린더수 감소와 함께 체적효율은 증가하고 브루스트압력은 커진다. 또한 4실린더를 기준으로 한 연료소비율 개선을 보면 유효 실린더수의 저감에 따라 연료소비율이 저부하 영역에서 30%까지도 개선됨을 알 수 있다. 연료소비율 곡선이 토크 증대로 최종적으로 4실린

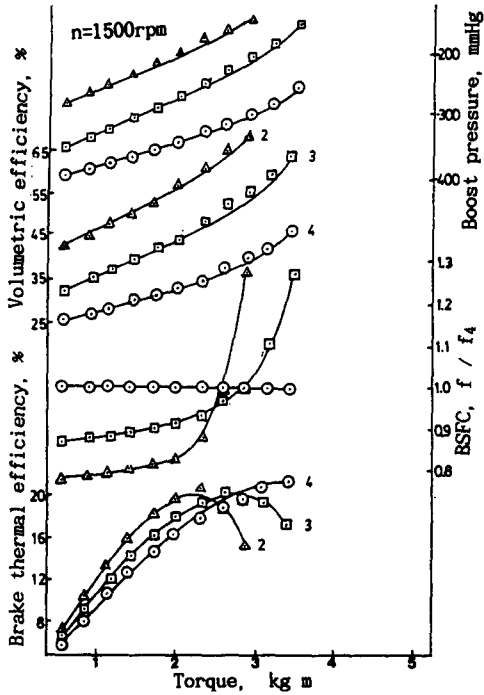


Fig. 2 Effect of number of effective cylinders on the brake thermal efficiency, BSFC, volumetric efficiency and boost pressure at various torque, at N=1500 rpm

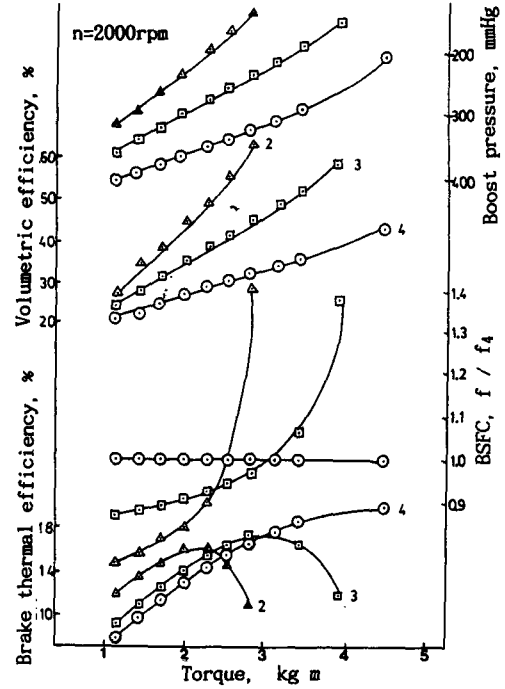


Fig. 3 Effect of number of effective cylinders on the brake thermal efficiency, BSFC, volumetric efficiency and boost pressure at various torque, at N=2000 rpm

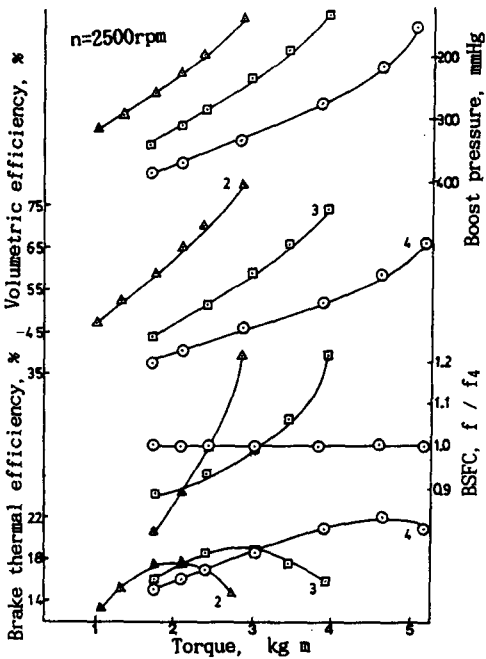


Fig. 4 Effect of number of effective cylinders on the brake thermal efficiency, BSFC, volumetric efficiency and boost pressure at various torque, at N=2500 rpm

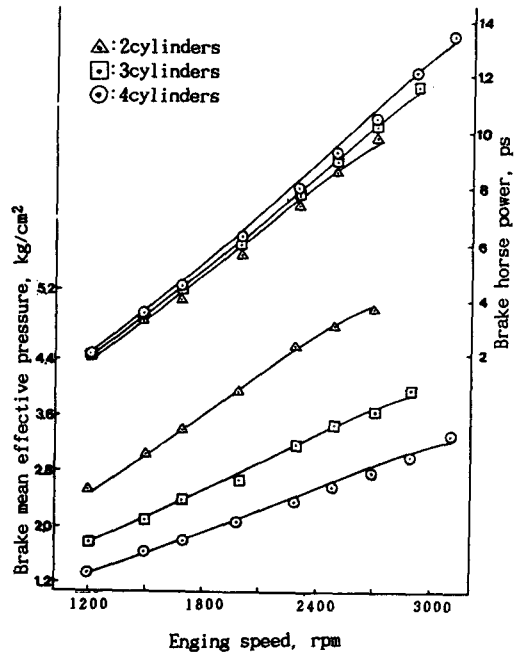


Fig. 5 Comparison of BHP and BMEP for different number of effective cylinders

더의 기준 연료소비율 곡선에서 급격히 상승하는 경향은 브루스트 곡선에서 알 수 있듯이 고부하 운전 전에 기인하는 농후혼합기 공급에 의한 것으로 생각되어 진다.

Fig. 5에 기관 회전수변화에 대한 기관출력 및 제동 평균유효압력을 나타냈다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 유효 실린더수를 저감시킴에 따라 약간의 출력저하를 볼 수 있고, 3실린더 운전에서는 2900 rpm 정도가 한계이고, 2실린더 운전에서는 2700 rpm 정도가 한계라고 생각되는데 이는 연소 해석장치의 최고 압력값의 표준편차가 3.0을 기준으로 임의로 선정한 값으로써, 그 이상 드로틀밸브를 열면 기관운전이 매우 불안정하게 되었다. 그리고 유효 실린더수 저감에 따라 제동평균 유효압력이 개선됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 유효 실린더수의 저감에 따른 펌프손실

의 동태와 체적효율 및 제동 평균유효압력의 개선 효과를 4실린더 운전의 경우에 대한 비교치로써 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 유효 실린더수의 저감에 따라 체적효율이 개선되며, 또한 펌프손실이 감소된다. 체적효율의 개선 및 펌프손실의 감소가 제동 평균유효압력을 향상시키는 요인이 된다.

유효 실린더수의 저감에 따라 펌프손실이 감소되는 이유는 흡기압력이 증가되기 때문이다. Fig. 7에서 보는 바와같이 대기압력 P_a 와 흡기압력 P_i 와의 비 P_i/P_a 가 유효 실린더수의 저감에 따라 증가하며, 또한 체적효율이 향상되는 이유는 흡기압력 P_i 에 대한 배기압력 P_e 와의 비, P_e/P_i 가 유효 실린더수의 저감에 따라 감소하기 때문으로 생각된다. ⁽¹⁴⁾

3.2 가변 배기량기관의 연료소비율 개선 특성

Fig. 8에 가변 배기량기관의 제동 연료소비율의 개선효과를 나타냈다. 유효 실린더수의 저감에 따라 제동 연료소비율은 저속영역에서 크게 개선됨을

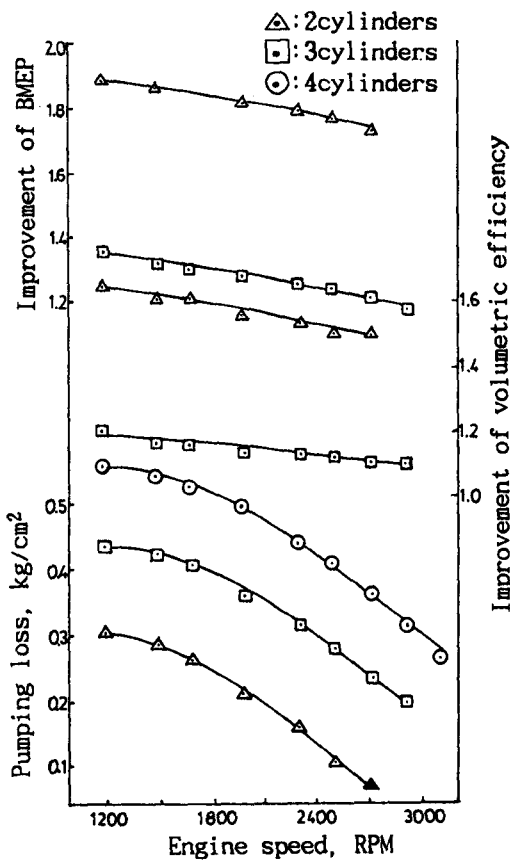


Fig. 6 Improvement of BMEP, volumetric efficiency and pumping loss for the effective number of cylinder

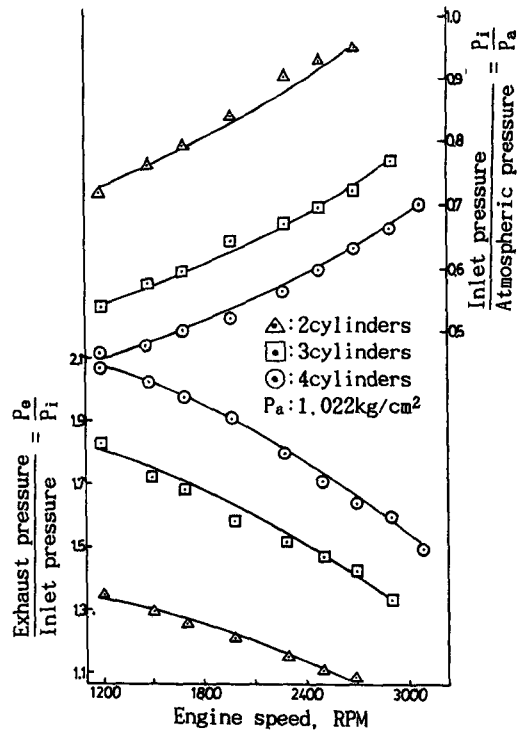


Fig. 7 Ratio of inlet pressure to exhaust pressure and ratio of inlet pressure to atmospheric pressure for different number of effective cylinders

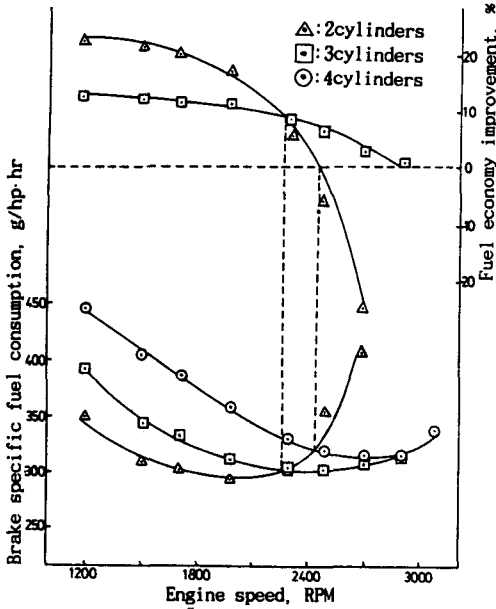


Fig. 8 Comparison of BSFC for different number of effective cylinders

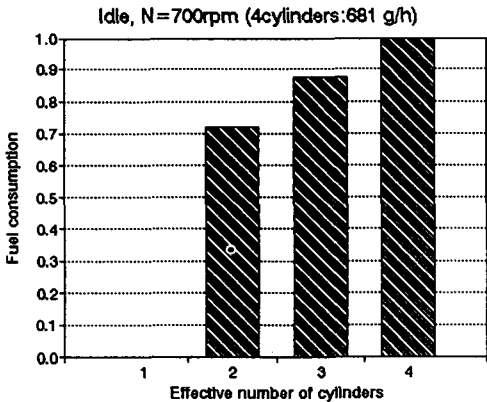


Fig. 9 Effect of number of effective cylinders on the idle fuel consumption at N=700 rpm

알 수 있으며, 유효 실린더수를 2실린더로 한 경우는 1200~1800 rpm에서 약 20%정도 연료소비율 개선이 되며 2400 rpm에서 개선효과가 없게 되며 그 이상의 기관 회전수에서는 오히려 연료 경제효과가 부로 된다. 그러나 유효 실린더수를 3실린더로 할 경우는 개선효과는 10% 미만이지만 운전범위가 넓어진다.

이것이 자동차의 연료소비율(km/ℓ)을 개선할 수 있는 주된 이유가 될 것으로 생각된다. 이와 같

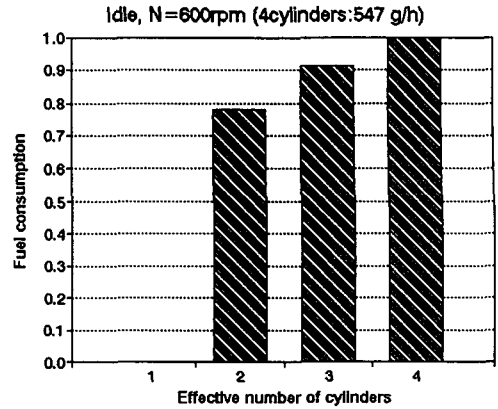


Fig. 10 Effect of number of effective cylinders on the idle fuel consumption at N=600 rpm

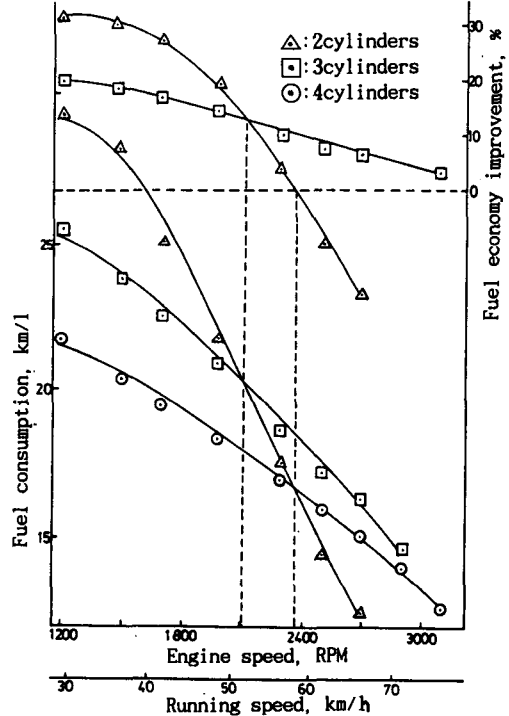


Fig. 11 Effect of fuel economy on the running speed with number of effective cylinders

이 유효 실린더수 저감에 따라 기관의 제동 연료소비율이 크게 개선되는 이유는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

유효 실린더수 저감에 따라 흡·배기밸브의 구동 동력의 감소와 정지 실린더의 펌프손실이 없게 되고, 또한 동작 실린더의 브루스트압력의 증가로 동

작 실린더의 펌프손실의 감소가 있어, 이들의 종합된 효과로 생각할 수 있다.

아이들링 운전에서 유효 실린더수의 저감에 따라 연료소비율은 Fig. 9와 같이 700 rpm의 아이들링 운전에서 4실린더 운전에서 2실린더 운전이 30%정도까지 개선되며, Fig. 10의 600 rpm의 아이들링 운전에서 20%까지 개선된다. 이는 아이들링의 경우, 유효 실린더 수를 저감시키는 것이 연료소비율을 저감시킬 수 있으며 아이들링 회전속도도 저하시킬 수 있는 가능성이 있다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 유효 실린더 수의 저감에 따라 자동차의 연료소비율(km/l)⁽¹⁵⁾이 저속운전 영역에서 크게 개선됨을 알 수 있다. 즉, 유효 실린더수를 2실린더로 하는 경우, 50 km/h 이하의 주행속도에 있어서 최대 30% 정도의 자동차 연료소비율의 개선이 있고, 유효 실린더수를 3실린더로 하는 경우는 연료소비율의 개선은 10% 미만이지만 75 km/h 정도까지 운전범위가 넓어진다.

Fig. 12는 자동차 연료소비율을 유효 실린더수 및 행정체적에 관해서 주행속도를 매개변수로 하여

표시한 실험결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 약 50 km/h 까지는 2실린더를 정지시키는 것이 매우 효과적이지만 그 이상의 주행속도에서는 도리어 불리하게 되며, 이 경우는 1실린더의 정지가 효과적이다. 그러나 이것도 약 75 km/h가 한계로 생각된다.

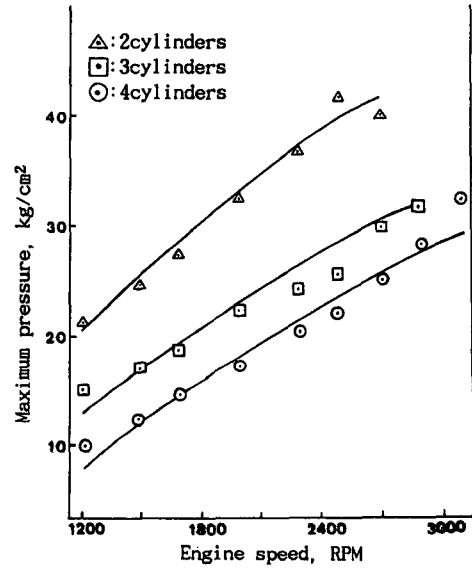


Fig. 13 Comparison of maximum pressure on the number of effective cylinders

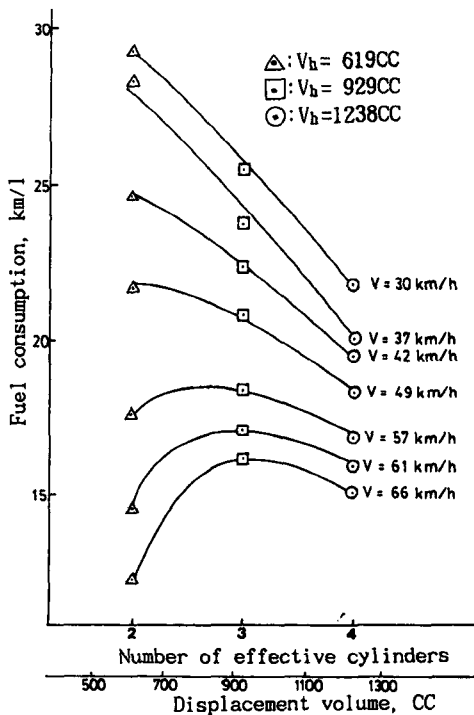


Fig. 12 Effect of fuel economy on the engine displacement

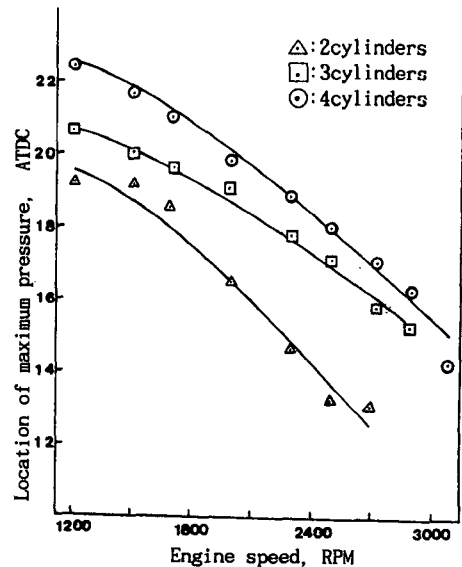


Fig. 14 Location of maximum pressure on the number of effective cylinders

이상과 같이 자동차의 평지주행의 부분부하 운전 에 있어서 유효 실린더수를 저감시킴에 따라 자동차의 연료소비율이 크게 향상되는데 이것은 전술한 바와 같이 흡기압력의 증대로 펌프손실이 감소되는 것으로 생각되며, 더우기 흡·배기밸브를 닫은 상태의 유효 실린더수를 저감시키는 방식에 의하여 흡입저항이 줄어들어 작동 실린더의 펌프손실이 줄어든 결과로 생각된다.

3.3 기관성능 및 연료소비율 개선에 관한 연소 해석

지압선도 해석결과를 Fig. 13~15에 제시하였다. Fig. 13에서 유효 실린더수 저감에 따라 최고 압력이 Fig. 5의 제동 평균유효압력과 유사히 향상됨을 알 수 있다. 또한, 유효 실린더수 저감에 따라 평균 최고압력 P_{max} 값이 놓이는 위치도 상사점에 가까워짐을 Fig. 14에서 알 수 있다. 상사점에 가까운 곳에서 P_{max} 가 나타나므로 유효 실린더수를 감소시키면 급격연소가 되며, 정적연소에 접근하게 되므로 열효율이 증진된다.

Fig. 15에서 질량연소율 곡선에서 10~90%까지의 구간을 주연소 기간이라고 정의한다면, 연소기간의 길이는 연소기간 중의 열전달 손실에 영향을 주게 되며, 연소기간이 짧아지므로 열손실이 감소

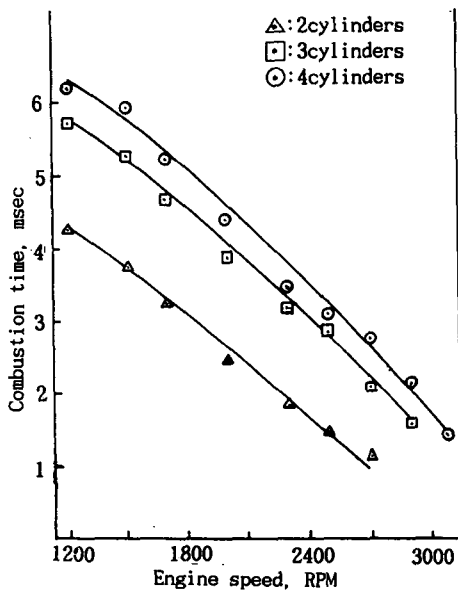


Fig. 15 Combustion duration for different number of effective cylinders

될 것이며, 최고 압력이 유효 실린더수 감소로 증가되므로 이것은 곧 사이클의 최고온도 T_{max} 의 증가를 가져올 것으로 생각되며 이것에 의한 연소기간 중 열손실이 증가될 것으로 판단된다.

Fig. 16, 17에 흡·배기과정의 압력을 채취하여서 P-V 선도를 작성하였다. Fig. 7에서도 알 수 있듯이 기관 회전수 증대로 펌프손실은 점차 감소하며, 유효 실린더수의 저감에 따라 펌프손실은 감소한다.

결국, 흡·배기밸브를 닫은 상태에서의 유효 실린더수를 저감시키는 방식에 있어서는 이상과 같은

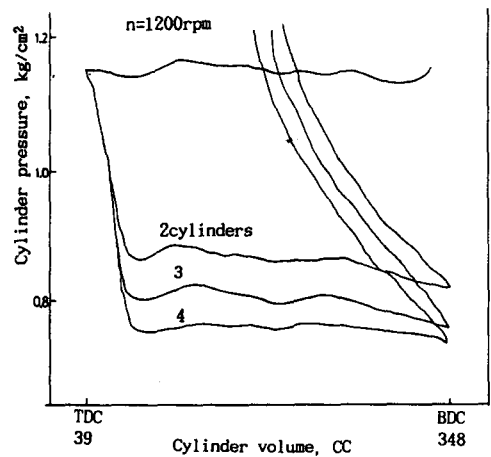


Fig. 16 Comparison of pressure-volume diagram at N = 1200 rpm

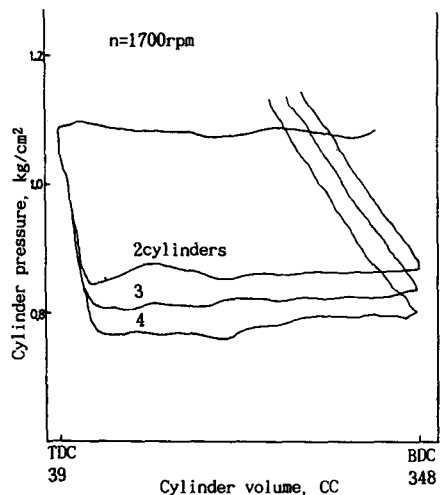


Fig. 17 Comparison of pressure-volume diagram at N = 1700 rpm

효과에 의하여 가변 배기량기관이 연료소비를 저감시킬 수 있을 것으로 생각한다.

4. 결론

부분부하와 무부하에서, 4실린더 4행정 사이클 가솔린기관을 사용하여 흡·배기밸브의 구동을 정지시켜 유효 실린더 수를 변화시킨 가변 배기량기관의 실험결과로부터 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 흡·배기밸브를 정지시켜 유효 실린더수의 저감에 의한 연료소비율의 개선은 흡·배기밸브구동 동력 및 펌프손실의 저감과 체적효율 향상에 의한 상호효과에 의존한다.

(2) 아이들링의 경우, 유효 실린더수를 저감시키는 것이 연료소비율을 저감시킬 수 있으며, 아이들링 회전속도도 저하시킬 수 있는 가능성이 있다.

(3) 가변 배기량기관을 이용하여 유효 실린더수를 저감시킨 경우는 부분부하와 무부하에서 크게 연료소비율 개선이 가능하다.

참고문헌

(1) 小野田, 1979, “ガソリンエンジンの燃費低減について,” 自動車工学, Vol. 33, No. 5, pp. 308~315.
 (2) 金原杉浦, 1978, “自動車の燃費低減についての一考察,” 自動車技術, Vol. 32, No. 5, pp. 379~387.
 (3) 山田尚之, 伊東忠彦, 1980, “自動車の燃費改良について,” 自動車技術, Vol. 34, No. 10, pp. 1004~1012.
 (4) Siegl, D. C. and Siewert, R. M., 1978, “The

Variable Stroke Engine Problems and Promises,” SAE Paper No. 780700, pp. 2271~2736.
 (5) Pouliot, H. N., Delameter, W. R. and Robinson, C. W., 1977, “A Variable Displacement Spark-Ignition Engine,” SAE Paper 770114, pp. 446~464.
 (6) Givens, L., 1977, “A New Approach to Variable Displacement,” Automotive Engineering, pp. 33~35.
 (7) Givens, L., 1980, “Engineering HighLights of the 1981 Automobiles,” Automotive Engineering, pp. 51~54.
 (8) 遠藤, 1982, “三菱 MD 1400”, 自動車工学, pp. 46~47.
 (9) 遠藤 外 5人, 1983, “可變氣筒エンジン,” 自動車技術, Vol. 37, No. 3, pp. 301~305.
 (10) 和田垣雄三, 1980, “スズキ, GMの可變シリンダシステム, 自動車工学, pp. 77~85.
 (11) 正福谷格, 正渡部英, 1981, “有効シリンダ數低減によるけサイクルガソリンエンジンの部分負荷燃費の改善,” 自動車技術, 811A3.
 (12) Watanabe, E. and Fukutani, I., 1982, “Cylinder Cutoff of 4-Stroke Cycle Engines at Part-Load and Idle,” SAE Transaction No. 820156.
 (13) 한성빈, 이성열, 1985, “가변 실린더수에 의한 자동차 연료소비의 개선” 대한기계학회춘계학술대회논문집, pp. 547~553.
 (14) Taylor, C. F., 1982, “The Internal Combustion Engine in Theory and Practice,” Vol. 1, MIT Press, pp. 149~154.
 (15) 近藤正市, 1969, “自動車工学,” 養賢堂, p. 57.