

<논 문> SAE NO. 943723

공기 보조 연료 분사 장치가 있는 가솔린 기관의 희박 연소에 관한 연구

A Study on the Lean Combustion of the Gasoline
Engine with Air Assisted Fuel Injection System

김 세 응,* 김 응 서**
S. W. Kim, E. S. Kim

ABSTRACT

This paper describes the effect of air assisted fuel injection system(AAI) using compressed air to improve the performance of lean combustion engine. AAI is designed to promote fuel atomization and intake flow. In order to investigate the performance of engine with AAI, experiments are conducted varying the engine revolution speed, lean air-fuel ratio and intake manifold pressure.

Compared with the original engine, the performance of the engine with AAI is improved as the air-fuel mixture becomes leaner or the engine load becomes lower. The decreasing rate of BSFC is propotional to the relative air-fuel ratio and the lean misfire limit extended more than 0.2 relative air-fuel ratio.

주요기술용어 : Lean Combustion(희박 연소), Relative Air/Fuel Ratio(상대 공연비), AAI(Air Assisted Fuel Injection System : 공기 보조 연료 분사 장치), Brake Power(제동 출력), BSFC(제동 연료 소비율), ECU(전자 제어 장치), Intake Manifold Pressure(흡기다기관 압력), Lean Limit(희박 한계)

1. 서 론

희박 연소에 의한 가솔린 기관의 운전은 기관의 열효율을 높일 수 있을 뿐만아니라 배기 중의 유해성분 배출을 감소시키는 효과적인 방법으로 알려져 있다. 그러나 혼합기가 과도하게 희박해지면 화염 전파 속도가 느려져 팽창 행정시 실린더 내의 혼합기의 온도 저하로 인하여 실화가 일어나기 때문에 연소는 불안정해지고 출력도

오크의 변동이 심해지며 경우에 따라서는 연소가 중단되기도 한다. 따라서 희박 연소에서는 연소 안정을 유지하면서 희박 한계를 확장시키는 방법의 개발이 중요하다.

가솔린 기관의 희박 한계는 공기와 연료의 혼합 상태, 실린더 내의 와류, 기화된 연료 입자의 크기, 혼합기의 온도 및 각 실린더 간의 공연비 편차 등 여러가지 인자들의 복합적인 작용으로 결정된다.¹⁻³⁾ 희박 연소에서 출력 변동의 주요인은

* 정회원, 금오공과대학교 기계공학과

** 정회원, 서울대학교 기계공학과

열발생량 변동이며 열발생량 변동은 안정 혼합기에서는 연소 마지막 단계의 연소율에 기인하나 희박 한계 근방에서는 초기 단계의 연소율에 따라 달라진다.^{4,5)} 그러므로 희박 혼합기는 초기 연소가 안정되어야 하며 이를 위해서 압축비를 높이거나 점화 에너지를 강화하기도 한다.⁶⁻⁸⁾

희박 연소 기관 연구는 연료를 공급하는 방법에 따라 흡기관 내 연료 분사와 실린더 내 연료 분사로 나눌 수 있다. 흡기관 내에 연료를 분사하는 경우에는 초음파 무화기, 기관 냉각수 또는 흡기관 부압을 이용한 공기 도입으로 공급된 연료 입자의 미립화를 증진시켜 예혼합 연료의 상태를 개선하거나^{9, 10)} 흡기관의 혼합기 유입 통로를 나선형으로 개조하여 실린더 내에 와류가 발생되도록 하여 연소 속도를 증가시킴으로써 희박 혼합기가 안정하게 연소되도록 한다.¹¹⁻¹³⁾ 실린더 내에 연료를 분사할 때는 점화 플러그가 위치한 예연소실에는 진한 혼합기를 공급하고 연소시 예연소실의 화염이 주연소실로 분출하여 주연소실의 희박 혼합기를 연소시킴으로써 전체적으로 희박 연소시키거나^{14, 15)} 피스톤 상부 흡 내에 충돌부를 두어 연료가 이 충돌부를 향하여 분사되도록 함으로서 비교적 농후한 혼합기가 점화 플러그 근처에 형성되도록 하여 점화를 안정시키고 빠른 연소가 이루어지도록 하기도 한다.¹⁶⁻¹⁸⁾

본 연구에서는 흡기다기관 연료 분사 기관에서 연료를 분사할 때 흡기관에 연료를 직접 분사하지 않고 일차적으로 혼합실에 연료를 분사한 다음, 압축 공기를 이용하여 연료를 불어냄으로서 작은 구멍들로 이루어진 혼합실의 출구를 통과하는 연료가 더욱 미립화되고 공기와의 혼합이 촉진될 수 있는 공기 보조 연료 장치를 고안하였으며, 이 장치의 희박 연소 특성을 실험을 통하여 검토하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 공기 보조 연료 분사 장치

흡기다기관 연료 분사 기관은 연료를 분사할 때 분사 압력이 높으면 분무 입자의 직경은 작아지나 분무 거리가 길어지기 때문에 흡기다기관

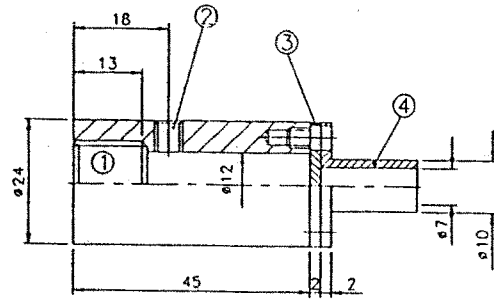


Fig.1 Fuel-air mixing room
 ①thread for fuel injector
 ②air inlet
 ③plate with holes
 ④mixture outlet

벽에 연료가 부딪혀 관벽에 젖어흐르게 되며 분사 압력이 낮은 경우에는 연료의 무화가 불량해진다.

공기 보조 연료 분사 장치는 압축 공기를 이용하여 연료 분사를 개선하기 위한 장치로 분사 밸브에서 공급된 연료와 압축 공기를 혼합하여 보다 미립화된 연료 분무를 만들어주는 연료·공기 혼합실과 압축 공기의 공급 시기와 공급량을 통제하기 위한 제어 장치로 구성된다.

Fig.1은 분사된 연료와 압축 공기가 혼합되는 연료·공기 혼합실을 보인다. 그림의 ①에는 연료 분사 분사 밸브가 설치되며 ②를 통하여 압축 공기가 공급된다. ③은 혼합된 공기와 연료가 빠져나가는 출구이다. 출구 형상은 구멍의 크기와 구멍수가 다른 여러 가지 모형에 대한 실험으로부터 직경이 작고 그 수가 많을수록 기관 성능이 양호한 것으로 밝혀져¹⁹⁾ 본 실험에서는 직경이 0.5mm이고 구멍이 17개인 모형을 사용하였다. ④는 흡기다기관에 혼합실을 설치하기 위한 출구 통로이며 연료 분사 밸브가 끼워진 혼합실은 기존의 연료 분사 밸브가 설치된 위치에 재조립하였다.

Fig.2는 공기 공급용 솔레노이드 밸브를 제어하기 위한 컨트롤러의 제어 회로를 보인다. 공기 솔레노이드 밸브 컨트롤러는 기관의 전자 제어 장치가 연료 분사 밸브를 구동하기 위하여 보내는 신호를 받아 공기 솔레노이드 밸브 구동 신호를 만들어주며 혼합실 내의 압력 상승으로 인한 연료

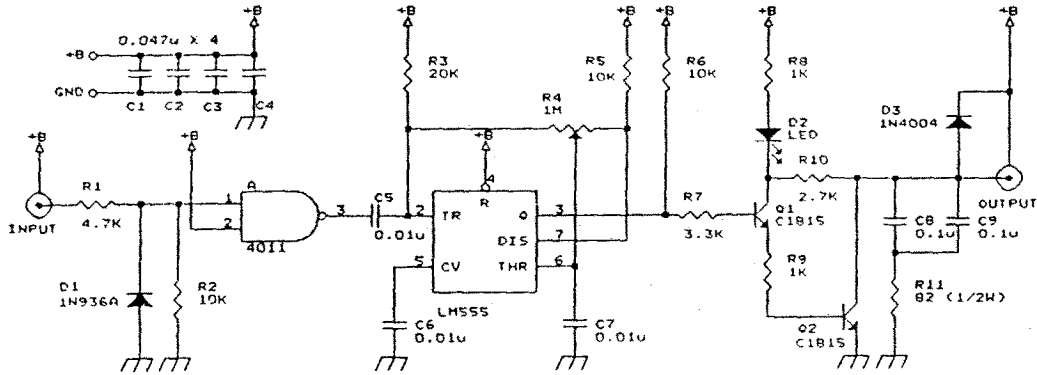


Fig.2 Circuit for air solenoid valve

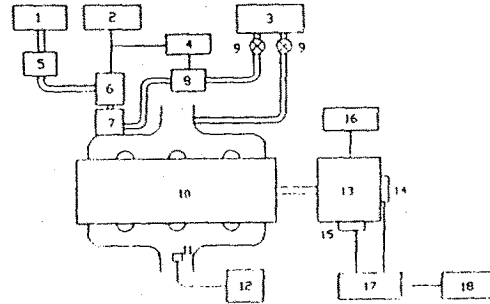
분사량의 감소를 피하기 위하여 연료 분사 밸브의 구동 신호가 끝남과 동시에 공기 솔레노이드가 작동되도록 하였고 구동 시간은 가변 저항을 이용하여 2~40ms까지 조정 가능하게 설계하였다. 공기 공급용 솔레노이드 밸브는 12V용으로 정상 유량이 0.16m³/min인 FESTO MCH-3-1/8을 사용하였다.

2.2 기관 및 성능 측정 장치

Fig.3은 실험장치의 개략도를 보이며, 실험에 사용된 기관은 수냉식 4행정 4기통 전기 점화 기관으로 주요 제원은 Table 1과 같다. 기관의 회전 속도와 출력 측정은 최대 흡수 동력이 130 kW이고 최고 회전 속도가 10000rpm인 와전류식 동력계를 사용하였다. 공연비는 측정 범위가 상대 공연비(λ)0.5~2.5인 HORIBA MEXA-101 λ 로 측정하였다.

Table 1 Engine Specification

Items	Specification
Engine type	4Cycle, 4Cylinder Water Cooled In-Line OHC
Bore×Stroke(mm)	75.5×82.0
Displacement(cc)	1468
Compression Ratio	9.5
Max. Power(ps)	87 at 5500rpm
Fuel Injection Type	MPI
Fuel Injection Time	75° BTDC



- 1. fuel tank
- 2. ECU
- 3. compressed air tank
- 4. air solenoid valve controller
- 5. fuel consumption meter
- 6. fuel injector
- 7. fuel air mixing
- 8. air solenoid valve
- 9. air valve
- 10. test engine
- 11. wide band λ sensor
- 12. λ sensor indicator
- 13. dynamometer
- 14. magnetic pickup
- 15. load cell
- 16. dynamometer controller
- 17. A/D converter
- 18. PC

Fig.3 Schematic diagram of experimental apparatus

2.3 실험 방법

실험은 이론 공연비보다 희박한 공연비에서 공기 보조 연료 분사 장치가 부착된 기관과 기존 기관의 성능을 비교하기 위하여 공연비, 기관 회전 속도, 흡기다기관 압력을 변화시켜 가면서 행하였다. 기존 기관의 전자 제어 장치는 기관의 공기 유량계에서 계측되는 공기량을 근거로 이론 공연비에 해당하는 연료량을 산정하기 때문에 희박 공연비를 만들어주기 위해서는 분사 연료량을 감소시키거나 공급 공기량을 증가시켜야 한다. 본 실험에서 공연비 조정은 후자의 방법을

택했다. 즉, 주어진 기관 회전 속도와 흡기다기관 부압에서 상대 공연비가, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3 및 1.4가 되도록 하기 위하여 기존 기관에서는 기관의 공기 유량계를 통과하지않고 직접 흡기다기관에 공급되는 공기량을 증가시켰고, 공기 보조 연료 분사 장치가 부착된 기관에서는 혼합실에 공급되는 공기압이 과도하게 되지 않도록 공기압을 2kg/cm²로 하고 밸브로 공기량을 조정하여 공연비를 맞췄으며 희박도가 커져 공기 수요가 많아지면 여분의 공기를 우회 통로를 거쳐 공급되도록 했다. 연료 소비량은 연비계를 사용하여 직접 측정하고 기관의 출력과 회전 속도는 PC와 A/D변환기를 이용하여 4ms 간격으로 4000개의 자료를 읽어 들여 그 평균값을 구하고 이러한 과정을 4회 반복 측정한 평균을 실험값으로 하였다.

3. 실험 결과 검토

Fig.4와 Fig.5는 기관 회전 속도 2500rpm에서 흡기다기관 내의 압력을 일정하게 유지하면서 과잉공기량을 조정하여 공연비를 변화시켰을 때, 기존 기관과 AAI 기관(공기 보조 연료 분사 장치가 설치된 기관)의 제동 출력과 제동 연료 소비 성능을 비교한 곡선이다. Fig.4는 흡기다기관 부압이 300mmHg의 경우로 AAI 기관은 공연비가 증가하더라도 안정된 운전이 가능했지만 기존 기관은 상대 공연비 1.4 이상에서 실화 현상을 보이면서 성능이 급격히 저하되었다. 이것은 기관의 부하가 작을 때에는 흡기관 내의 흡입 공기 유동이 약하고 분사된 연료 입자의 미립화가 불량하게 되며 또한 공연비가 희박해질수록 실린더 내에서의 연료 밀도가 낮아져 연료의 착화가 곤란해지기 때문이다. 그러나 AAI 기관은 압축 공기에 의해 분사된 연료의 미립화가 촉진되고 흡기관 유동이 강화되기 때문에 기존 기관에 비하여 희박 한계가 연장되고 성능이 개선되는 것으로 보인다. AAI 기관은 흡기다기관 부압 300mmHg에서 평균 10% 이상의 성능 향상을 나타냈고 상대 공연비 1.3에서는 제동 출력이 17.3% 상승되고 제동 연료 소비율은 19.7% 감소되었다. Fig.5는 부하를 증가시켜 흡기다기관 부압을 100

mmHg로 하였을 때의 성능 곡선으로 흡기다기관 부압 300mmHg의 경우보다는 성능 향상이 둔화되지만 공연비에 따른 곡선의 양상은 유사하며 상대 공연비 1.4의 경우 AAI 기관은 6.3%의 제동 출력 상승과 6.7%의 제동 연료 소비율 감소를

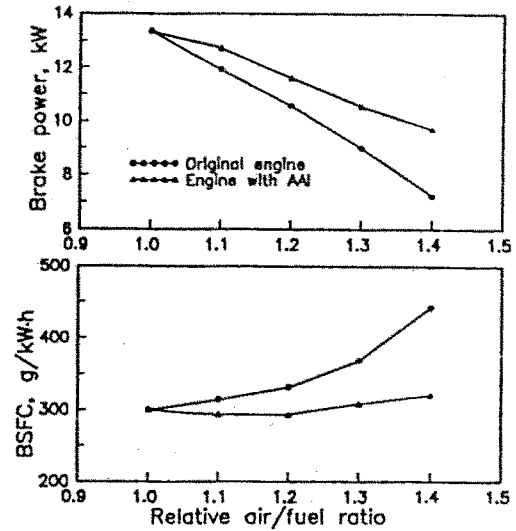


Fig.4 1/Performance of engine with and without AAI at 2500rpm and intake manifold pressure = -300mmHg

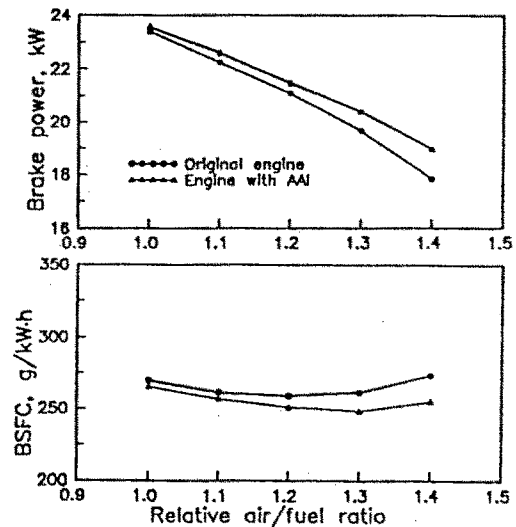


Fig.5 Performance of engine with and without AAI at 2500rpm and intake manifold pressure = -100mmHg

보였다. 이상의 곡선에서 보여주는 바와같이 AAI 기관은 부하가 낮고 공연비가 희박할수록 성능 개선 효과가 높게 나타났으며 희박 공연비 한계가 확장되었다. 또한 최소 제동 연료 소비율은 흡기다기관 부하에 따라 기존 기관의 경우는 상대

공연비 1.0~1.2에서 얻어지지만 AAI 기관은 1.1~1.3으로 기존 기관보다 0.1 정도 희박한 상대 공연비에서 나타났다.

Fig.6은 2500rpm에서 기존 기관에 대한 AAI 기관의 제동 연료 소비율 개선 정도를 보인 곡

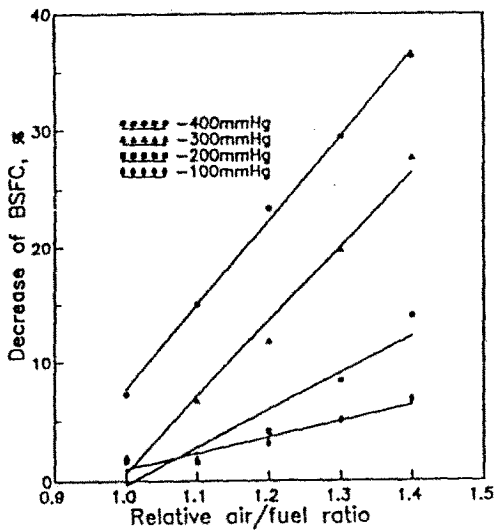


Fig.6 Effect of AAI at 2500rpm

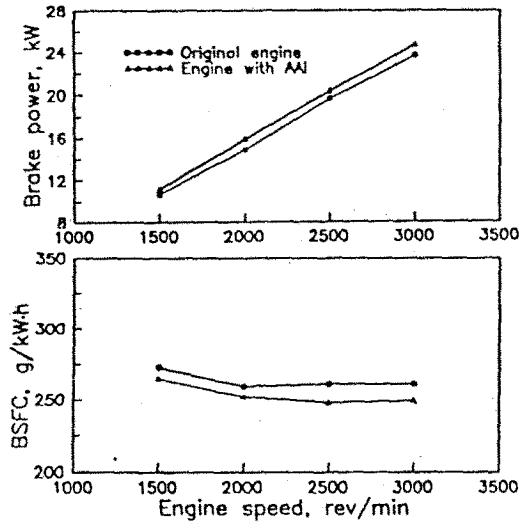


Fig.8 Performance of engine with and without AAI at relative air/fuel ratio=1.3 and intake manifold pressure=-100mmHg

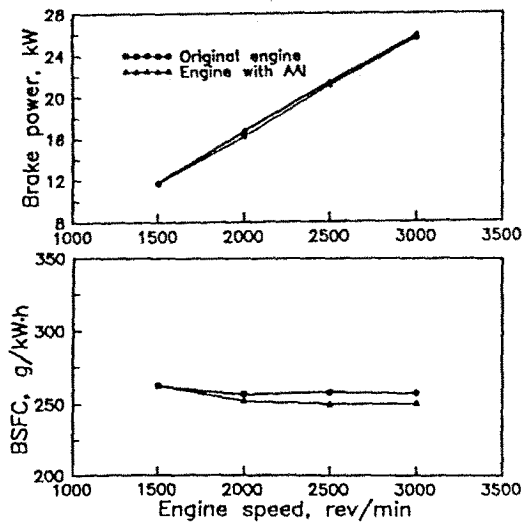


Fig.7 Performance of engine with and without AAI at relative air/fuel ratio=1.2 and intake manifold pressure=-100mmHg

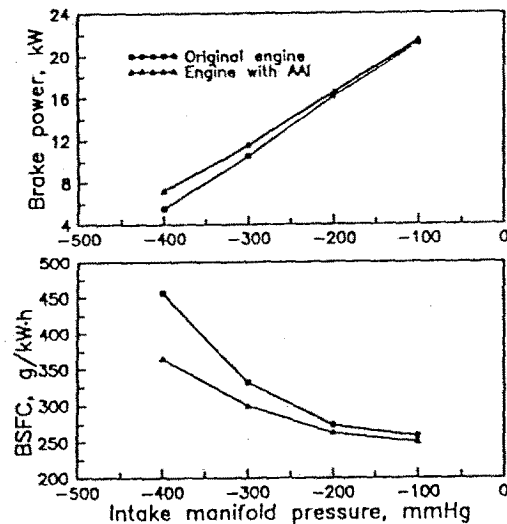


Fig.9 Performance of engine with and without AAI at relative air/fuel ratio=1.2 and 2500rpm

선으로, 흡기다기관 부압이 높은 저부하일수록 제동 연료 소비율 감소 효과가 크게 나타났다. 또한 공연비 변화에 대한 AAI 기관의 연료 소비율 개선 효과는 상대 공연비의 증가에 따라 제동 연료 소비 감소율이 거의 선형적으로 나타나 혼합기가 희박할수록 그 효과가 컸다.

Fig.7과 Fig.8은 흡기다기관 부압 100mmHg에서 상대 공연비가 각각 1.2, 1.3일 때 기관 속도에 따른 성능 곡선을 보인다. 두 곡선은 기관의 부하가 비교적 큰 조건에서의 실험이므로 저부하에서보다는 AAI의 효과가 높지않지만 전반적으로 기존 기관에 비하여 성능 개선이 이루어졌다. 상대 공연비가 1.2보다는 혼합기가 희박한 상대 공연비 1.3에서의 AAI 기관의 성능 개선 효과가 컸으며, 이 경우 제동 출력 상승 3.7~7.0%와 제동 연료 소비율 감소 2.5~5.0%를 보였다. AAI 기관은 압축 공기에 의해 미리 공기와 연료가 혼합되고 무화되기 때문에 희박 혼합기와 예혼합 시간이 짧은 고회전 속도에서 그 효과가 높게 나타났다.

Fig.9는 상대 공연비 1.2에서 기관 회전 속도가 2500rpm일 때 흡기다기관 부압에 따른 성능 변화를 나타낸 것이다. 이 곡선에서 AAI 기관은 제동 출력 상승 1.8~30.8%와 제동 연료 소비율 감소 4.0~23.3%를 보였다. AAI의 흡기다기관 부압에 따른 성능 개선 효과는 부압이 높은 저부하일수록 크게 나타났다. 이것은 공연비에 따른 실험 결과 검토에서 언급했던 바와같이 기존 기관의 희박 운전은 희박도에 비례하여 분사 연료가 감소하므로 연료의 미립화가 악화되고 실린더 내의 연료 밀도가 낮아질 뿐만아니라 저부하일수록 공기 유량과 연료량이 감소하여 흡입 유동이 약화되지만 AAI 기관은 기존기관의 이러한 문제점을 압축 공기에 의해 해결해 주기 때문으로 생각된다.

Fig.10은 상대 공연비 1.2에서 흡기다기관 압력에 따른 제동 연료 소비 감소율을 나타낸 곡선으로 2500rpm에서의 성능 향상이 가장 양호하며 기관 회전 속도가 증가하거나 감소하면 제동 연료 소비 감소율이 낮아지는 경향을 보였다.

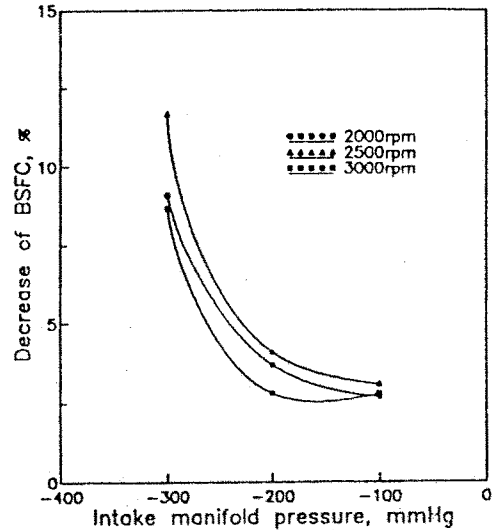


Fig.10 Effect of AAI at relative air/fuel ratio=1.2

4. 결 론

본 연구에서는 가솔린 기관의 희박 연소 성능을 개선하기 위하여 압축 공기를 이용한 공기 보조 연료 분사 장치를 개발하였고, 그 특성과 효과를 실험을 근거로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 공기 보조 연료 분사 장치는 분사된 연료의 미립화와 혼합기의 유동을 촉진함으로써 기관의 성능을 개선할 수 있는 장치이다.
- 2) 공기 보조 연료 분사 장치는 기관의 희박 공연비 한계를 확장할 수 있으며 성능 개선 효과는 상대공연비에 거의 비례한다.
- 3) 같은 기관 회전 속도에서 기관의 부하가 작을수록 공기 보조 연료 분사 장치의 성능 개선율은 증가한다.
- 4) 일정 공연비에서 기관 회전 속도에 따른 공기 보조 연료 분사 장치의 효과는 예혼합 시간이 짧은 고회전 속도에서 크다.

참 고 문 헌

1. T. Yamauchi and T. Nogi, "Engine Control Sys-

- tem for Lean Combustion", SAE Paper 870291, 1987.
2. H.J. Jun, R. S. Lo and T.Y. Na, "Theoretical Studies of Fuel Droplet Evaporation and Transportation in a Carburetor Venturi", SAE Paper 760289, 1976.
 3. "Improving Fuel Vaporization", Automotive Engineering, June 1976, pp.37-43.
 4. H. Yamamoto and M. Misumi, "Analysis of Cyclic Combustion Variation in a Lean Operating S.I. Engine", SAE Paper 870547, 1987.
 5. A. Douand, G. Soete and C. Henault, "Experimental Analysis of the Initiation and Development of Part-Load Combustion in Spark-Ignition Engine", SAE Paper 830338, 1983.
 6. M.G. May, "Lower Specific Fuel Consumption with High Compression Lean Burn Spark Ignited 4 Stroke Engines", SAE Paper 790386, 1979.
 7. R.W. Anderson and J.R. Asik, "Ignitability Experiments in a Fast Burn, Lean Burn Engine", SAE Paper 830477, 1983.
 8. J. Kupe, H. Wilhelmi and W. Adams, "Operational Characteristics of a Lean Burn SI-Engine : Comparison Between Plasma-Jet and Conventional Ignition System", SAE Paper 870608, 1987.
 9. 김세웅, "Lean Burn System에 의한 Emission Control 및 연료 경제", 서울대학교 석사 논문, 1978.
 10. F. Quissek, W. Bandel and L.A. Mikulic, "The AVL High Compression Lean Burn Engine-Engine Development and Passenger Car Application", SAE Paper 880575, 1988.
 11. S. Furno, S. Iguchi, K. Oishi and T. Innoue, "The Effect of Inclination Angle of Swirl Axis on Turbulence Characteristics in a 4-Valve Lean Burn Engine with SCV", SAE Paper 902139, 1990.
 12. R.R.J. terRele and J.J. Seppen, "Analysis of the Performance and Exhaust Gas Emission of Four HD Gaseous Fuelled Engines, Using Engine Test Data and Computer Simulation", SAE Paper 901494, 1990.
 13. E.L. Chau et al, "Effect of Intake Valve Configuration on Lean Combustion", SAE Paper 880202, 1988.
 14. S.J. Charton, D.J. Jager and M. Wilson, "Computer Modelling and Experimental Investigation of a Lean Burn Natural Gas Engine", SAE Paper 790440, 1979.
 15. J.A. LoRusso and H.A. Cikanek, "Direct Injection Ignition Assisted Alcohol Engine", SAE Paper 880495, 1988.
 16. T. Seko, S. Kobayashi and Y.K. Kim, "A New Direct Injection Combustion System for Heavy-Duty Methanol Engine", SAE Paper 881238, 1988.
 17. S. Kato and S. Onishi, "New Mixture Formation Technology of Direct Fuel Injection Stratified Combustion SI Engine(OSKA)", SAE Paper 871689, 1987.
 18. 김세웅, "공기 보조 분사 장치에 의한 가솔린 기관의 성능 개선", 금오공과대학교 생산기술연구소 논문집 제9집, 1993.