

〈技術論文〉

천연가스 기관의 성능 향상에 관한 연구

정동수* · 정진도* · 서승우* · 최교남*

(1991년 5월 6일 접수)

A Study on Performance Improvement of Natural Gas Fueled Engine

Dong soo Jeong, Jin Do Chung, Seong Woo Seo and Kyo Nam Choi

Key Words : Volumetric Efficiency(체적효율), Natural Gas engine(천연가스엔진), Power Loss(출력손실), Performance Improvement(성능향상), Air/fuel Ratio(공기연료 혼합비), Spark Timing(점화시기)

Abstract

Generally speaking, natural gas possesses several characteristics that make it desirable as an engine fuel ; for example (1) lower production cost, (2) abundant commodity and (3) cleaner energy source than gasoline. Due to the physical characteristics of natural gas, the volumetric efficiency and flame speed of a natural gas engine are lower than those of a gasoline engine, which results in a power loss of 10-20% when compared to a conventional gasoline engine. This paper describes the results of a research to improve the performance of a natural gas engine through the modification and controls of air/fuel ratio, spark timing advance and supercharging effect by forced air supply method.

1. 서 론

산업의 발달과 문화수준의 향상에 따라 그 부산물로 발생하는 대기오염은 점차 심각해지고 그중 자동차에 의한 대기오염이 큰 비중을 차지함으로써 이제는 환경보전의 차원에서 대체에너지 개발이 절실히 요구되고 있는 시점을 맞이하였다. 현재까지 사용되고 있는 가솔린이나 디젤 연료로서는 배기 가스를 줄이는데는 많은 어려움이 있으므로 차세대 자동차용 연료의 조건은 저공해성 및 탈석유자원에 맞는 대체에너지를 개발해야 할 것이다.

최근 자동차용 대체연료로 연구되고 있는 것으로는 메탄올, 에탄올, 수소, 천연가스 등 여러가지가 있으나, 다른 연료에 비해 천연가스는 저렴한 가

격, 풍부한 매장량, 저공해성이라는 장점이 있어 세계 여러나라에서 천연가스의 차량이용 기술에 대하여 실용화 및 연구를 계속해 오고 있는 실정이다^{(1,2,3)}}.

가솔린 기관을 천연가스 이용기관으로 개조할 경우 가솔린을 사용할 때 보다 천연 가스를 사용할 때, 전부하 조건에서 10~20%의 출력이 감소되며, 그 원인으로 출력감소 중 약 10%는 액체연료보다 가스연료에 의한 체적효율의 감소이고 나머지는 메탄-공기 혼합기체의 연소속도가 기존 가솔린 기관에 비하여 느리기 때문이다^(4,5,6). 천연가스 기관의 느린 화염 전파속도가 가솔린 기관에 비해 열효율에 있어서 더 큰 손실을 가져오며, 이와 같은 현상은 희박 공기-연료비에서 더욱 심화되는데 그 이유는 천연가스의 화염전파속도가 가솔린에 비해 공기-연료비에 더욱 의존성이 민감하기 때문이다⁽⁷⁾. Karim⁽⁸⁾ 등은 플라즈마제트 점화 장치를 사용해

*정회원, 한국기계연구소, 동력기계시스템실

서, 메탄 연료의 연소과정을 조사했으며, Charlton⁽⁹⁾ 등은 천연가스 기관에서는 희박연소 범위에 관해 실험 및 시뮬레이션을 하였다. 일반적으로 가솔린 기관에서는 녹킹 문제등으로 터보과급기의 사용이 어려우나 천연가스의 경우는 옥탄가가 약 130 정도로 가솔린보다 훨씬 높아 터보 과급기의 사용이 용이하며 출력향상을 위해서 압축비를 높인다는 점 시사기를 진각시키는 것이 바람직하다⁽¹²⁾. 따라서 천연가스를 기존 가솔린 차량에 이용할 경우 기존 가솔린 차량과 유사한 출력을 만족시키기 위해서는 압축비 상승⁽¹¹⁾, 공기연료혼합비조정, 점화시기조정, 터보과급 이용, 전자제어 연료공급방식 등은 해결하여야 하며 디젤 또는 가솔린 기관에 알맞는 변환이 필요할 것이다.

2. 연구목적

천연가스 사용 기관은 천연가스 연료의 특성상 가솔린기관에 비하여 체적효율이 낮고 화염전파속도가 느려, 기관 출력에 있어서 약 10~20%의 출력 손실을 가져온다.

본 연구에서는, LPG 기관을 천연가스 이용기관으로 변경하고자 할 때 발생하는 출력 감소를 보완하기 위하여, 공기연료혼합비 조절, 점화시기조정, 과급효과 방법에 의한 출력향상 효과를 파악하였다.

3. 실험방법 및 장치

본 실험에 사용된 기관은 배기량 1500cc, LPG 사용기관으로 제원 및 실험조건은 Table 1과 같으며, 실험장치는 그림 1과 같다. 동력계는 230kw 와전류식을 사용하였으며, 공기연료혼합비를 측정하기 위하여 Cussons사의 LAMDASCAN III을 사용하였다. 이 LAMDASCAN의 공기과잉을 값을 확인해가면서 공기량과 연료량을 조절하였으며, 기관 속도와 부하에 따라 공급되는 연료의 양을 측정하기 위하여 최대 유량이 400Nlit/min인 일본 특수계기제작소의 디지털 유량계를 사용하였다. 메탄 연료의 기관속도와 공연비에 대한 최적 점화진각을 찾기 위하여 디스트리뷰타의 진공 막에 흡입 진공력 대신에 진공펌프를 연결하여 점화진각을 조절하였다. 메탄연료와 자동차용 LPG 연료에 대하여 전 부하, 공기과잉율이 0.8, 1.0, 1.2에서 기관속

Table 1 Specification of experimental engine

Cylinder Bore×Stroke, mm	75.5×82
Compression Ratio	9.5 : 1
Stroke Volume, cc	1468
Cooling Water Inlet Temp.℃	70~85
Cooling Water Outlet Temp.℃	80~95
Oil Temp.	70~85
Fuel	n-butane methane propane
Excess Air Ratio	0.8, 1.0, 1.2

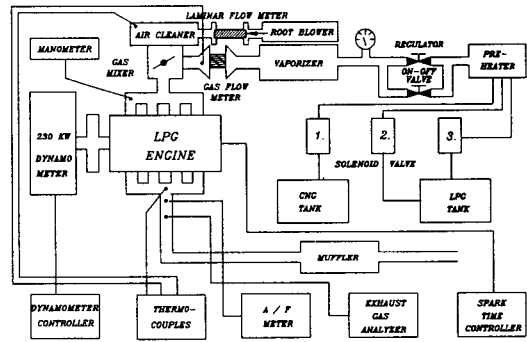


Fig. 1 Engine test apparatus

도가 1500, 2000, 2500, 3000, 3500rpm일때 기관 출력, 연료소비율 및 점화시기를 측정하였다. 그리고 천연가스 기관의 성능향상 방안으로서의 과급효과와 영향을 검토하기 위하여 root blower로 공기를 강제 송입시키는 방법으로 과급효과 실험을 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 메탄과 자동차용LPG 연료의 공기연료 혼합비 변화에 따른 기관 특성

그림 2와 그림 3은 LPG 자동차 부탄연료와 메탄연료에 대한 MBT, 전 부하, 기관회전수 1500, 2000, 2500, 3000, 3500rpm일때, 또 공기과잉율이 0.8, 1.0, 1.2에서의 기관출력을 나타내고 있다. 이 결과에서 보듯이 메탄과 LPG연료 모두 전체 회전속도 영역에서 이론 공연비일때 기관출력이 가

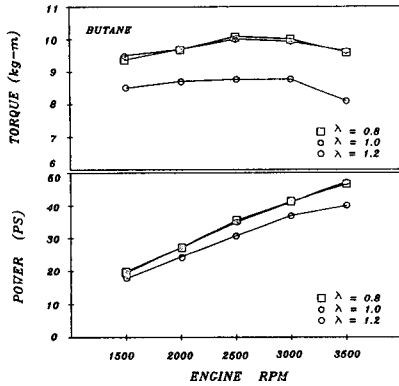


Fig. 2 Torque & power variations of butane fueled engine for $\lambda=0.8, 1.0$ and 1.2

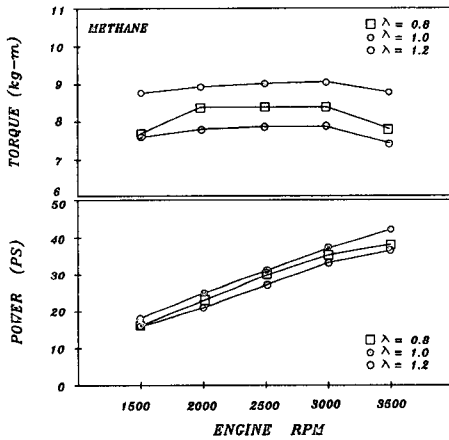


Fig. 3 Torque & power variations of methane fueled engine for $\lambda=0.8, 1.0$ and 1.2

장 크게 나타나고 있으며, 공기 과잉율이 1.2인 희박혼합기 상태에서는 저속에서 보다 고속에서 더욱 큰 출력 감소 현상을 보이고 있다. 이 실험 결과에서 공기과잉율이 각각 0.8, 1.0, 1.2인 전체 회전 속도 영역에서 메탄의 출력이 부탄보다 약 10% 떨어지는 것을 알 수 있는데 그림4는 공기과잉율이 1인 경우 두 연료간의 출력을 비교한 것이다.

메탄의 이론 공기연료 혼합비가 체적기준으로 1 : 9.52이고 부탄이 1 : 30.96이며, 공기에 대한 비중이 각각 0.552와 2.0이며, 메탄의 저발열량이 11954(kcal/kg)이고 부탄은 10927(kcal/kg)이므로, 메탄과 부탄의 체적효율에서 생기는 출력감소분은 약 7.5%이며, 나머지는 메탄연료의 물성상 느린 화염전파 속도에 의한 출력이다.

이것은 부탄보다 늦은 화염전파속도에 의한 출력

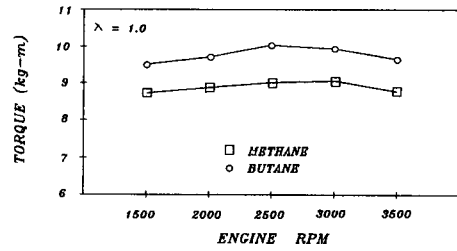


Fig. 4 Torque comparison at $\lambda=1.0$

감소의 영향분과 메탄의 체적효율이 부탄보다 작기 때문에 생긴 출력감소의 결과라고 사료된다⁽¹²⁾. 또한 메탄이 화염전파 속도가 느리므로 MBT를 얻기 위해서는 점화시기를 앞당겨야 하고, 부탄연료의 경우보다 점화시기를 앞당김으로써 피스톤이 TDC에 도달하기 전에 피스톤에 더 많은 일을 하게 되므로 생기는 에너지 손실도 큰 원인이라 생각된다⁽¹³⁾.

4.2 메탄 연료와 자동차용 LPG연료의 연료 소비율

공기과잉율이 0.8, 1.0, 1.2인 조건에서 각각의 기관회전속도에 대한 연료소비율(BSFC)을 비교한 결과가 그림 5이다. 이 실험 결과에서 전체적으로 메탄의 경우가 부탄보다 8~13%정도 연료소비율의 감소를 보이고 있다. 이것은 메탄이 부탄보다 체적효율의 감소에 의한 연료공급량의 감소로 출력은 감소하나 메탄의 발열량(11954kcal/kg)이 부탄(10927kcal/kg)보다 크기 때문에 전체적으로는 연료소비율의 향상을 보인다⁽¹³⁾.

4.3 메탄 연료와 자동차용 LPG연료의 점화 시기 변화의 영향

가솔린 기관을 연료공급 시스템만 변경하여 천연가스 사용기관으로 개조한 경우, 점화시기의 조절이 필요하다. 그림 6은 기관회전속도는 1500, 2000, 2500, 3000, 3500rpm이고 공기과잉율이 1.0일 경우에 있어서의 MBT(Minimum spark advance for Best Torque)를 비교한 것이다. 이 결과로 공기과잉율이 1.0인 상태에서 메탄의 점화시기가 부탄보다 13~15° 정도의 점화진각이 필요함을 알 수 있다. 이것은 천연가스 연료의 특성상 느린 화염전파 속도에 의한 연소기간이 더 길어지기 때문이다. 이 결과는 Karim⁽⁷⁾등의 연구결과와

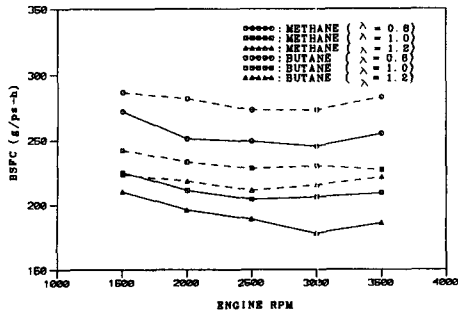


Fig. 5 BSFC Comparison at $\lambda=0.8, 1.0, 1.2$ for Methane and Butane

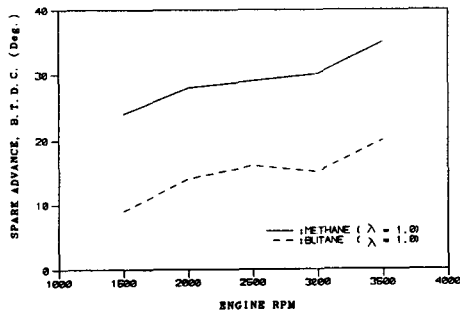


Fig. 6 Spark advance with methane and butane at wide-open throttle and $\lambda=1.0$

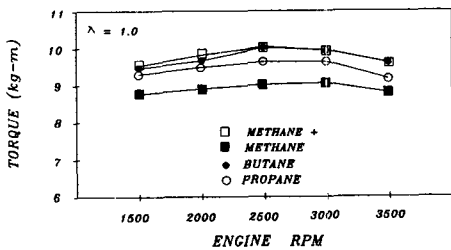


Fig. 7 Torque comparisons for various fuels at $\lambda=1.0$

비슷한 경향을 보이고 있다.

4.4 천연가스엔진의 과급효과에 의한 기관 성능 실험

천연가스 기관의 성능을 기존 가솔린 기관의 성능에 도달하기 위하여 그림 7은 메탄연료를 사용한 경우 과급효과를 준 경우와 주지 않은 메탄, Butane, 그리고 Propane을 비교한 실험결과이다. 여기서, Methane+는 과급효과를 준 메탄연료의 경우를 나타낸 것이다. 메탄과 부탄만을 비교해 보

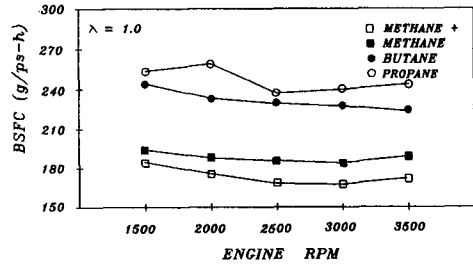


Fig. 8 Bsfcc comparisons for various fuels at $\lambda=1.0$

면 과급효과가 없을 경우 약 15% 정도의 출력차이가 있는데 과급효과를 준 메탄연료의 경우는 출력이 부탄연료의 출력과 거의 유사함을 알 수 있다. 그림 8은 그림 7과 같은 조건에서 연료소비율을 비교한 것으로 과급효과를 준 상태에서의 메탄연료가 가장 효율적임을 알 수 있다. 이 결과로부터 과급이 천연가스 기관의 출력 및 연료소비율향상을 위한 한 방법임을 알 수 있다.

5. 결론

가솔린 기관을 연료공급시스템만 변경하여 메탄 연료와 LPG 자동차용 연료인 부탄을 사용해서 실험한 기관 특성 결과 및 천연가스의 주성분인 93% 순도의 메탄을 연료로 사용할 경우에 예상되는 출력저하를 극복하기 위한 여러방법중 공기연료 혼합비, 점화시기조절 및 과급효과등에 대한 영향을 검토해 본 결과는 다음과 같다.

(1) 93% 메탄연료는 LPG엔진용 연료인 부탄보다 점화시기가 공기과잉율이 1.0에서 13~15° 정도의 점화진각이 요구된다.

(2) 메탄의 단위질량당 발열량이 부탄보다 높기 때문에 연료소비율은 메탄이 부탄 보다 낮게 나타났다. 기관성능은 공기과잉율이 1.0 부근에서 최대 상태로 나타났다.

(3) 공기연료혼합비와 점화시기를 같게 하였을 경우 전체회전속도 영역에서 메탄의 출력이 부탄보다 11~20%정도 저하 했고, 희박혼합상태에서는 저속에서보다 고속에서 더욱 큰 출력 감소 현상을 보이고 있다.

(4) 메탄연료의 과급효과로서 출력은 10~13% 정도 증가되어서 부탄연료의 출력에 도달할 수 있었다.

(5) 과급 효과를 준 경우 연료소비율이 약간 적

게 나타나고 있으므로, 과급효과는 출력향상과 더불어 연비절감면에서도 효율적인 방법임을 알 수 있다.

본 연구에서 시도하지 못한 압축비의 증가 및 최적연소실 설계를 위한 급속 연소시스템의 채택을 추가하면 천연가스 기관의 성능을 보다 더 향상할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) Pearce, M., 1949, "Liquid Methane as a Motor Fuel", Proc. Automobile Division, I. Mech. E., pp.155~157.
- (2) 정동수, 서승우, 최교남, 정진도, 1990, "LPG와 천연가스를 연료로 하는 S.I. 기관의 성능비교," 한국자동차공학회 기관부문 위원회 학술강연초록집, pp. 23~26.
- (3) 정진도, 정동수, 서승우, 최교남, 1990, "천연가스 엔진의 성능향상책에 대한 고찰," 대한기계학회 에너지 및 동력부문 학술강연회 초록집, pp. 14~18.
- (4) Moore, N.P.W., Roy, M.B.N., 1956, "Comparative Studies of Methane and Propane as Engine Fuels", Proc. I. Mech. E., Vol. 170, pp. 1137~1140.
- (5) Karim, G.A., Ali, I.A., "The Effects of Low Ambient Temperatures on the Combustion of Natural Gas in a Single Cylinder Spark Ignition Engine, "SAE 730084.
- (6) Baets, J. E., 1982, "Combustion of Natural Gas and Gasoline in A Spark-Ignited Engine", UBC Report, AFL-82-02.
- (7) Karim, G. A., and Wierzba, I., "Comparative Studies of Methane and Propane as Fuels for Spark Ignition and Compression Ignition Engines", SAE 831196.
- (8) Karim, G.A. Al-Himyary J.J. and Dale J.D., "An Examination of the Combustion Processes of a Methane Fuelled Engine When Employing Plasma jet Ignition", SAE 891639.
- (9) Charlton, S.J. D.J.Jager and M. Wilson, "computer Modeling & Experimental Investigation of a Lean Burn Natural Gas Engine", SAE900228.
- (10) Perry, C., Evans, R. L., and Hill, P. G., 1982, "A Review of Performance of Natural Gas Fueled Otto Cycle Engines", UBC Report, AFL-82-05.
- (11) 김봉석, 이영재, 고창조, 1991, "압축비 변경에 따른 CNG 기관의 성능 특성 연구, "한국자동차공학회 논문집, Vol.13, No.3, pp.49~57.
- (12) Jones, 1990 K. "New Zealand's Experience with Natural Gas for Automobiles-A Technical Perspective", R & D Forum '90 Osaka, Japan November
- (13) Evans, R.L., Goharian, F. and Hill, P.G. 1984 "The Performance of a Spark-Ignition Engine Fuelled with Natural Gas and Gasoline", SAE 840234.