Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 11, No. 2, pp.63-68 (2003)

중형 디젤을 기초한 LPG엔진에서 배기가스온도 저감 연구

최 경 호[1] · 조 웅 래[*2]

계명대학교 기계 · 자동차공학부[1] · 계명대학교 대학원 기계공학과[*2]

A Study on Reduction of Exhaust Gas Temperature in Retrofitted LPG Fueled Engine Based Medium-Duty Diesel Engine

Gyeungho Choi[1] · Unglae Cho[*2]

[1]*Faculty of Mechanical & Automotive Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

[*2]*Department of Mechanical Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea*

(Received 27 March 2002 / Accepted 16 January 2003)

Abstract : The purpose of this study was to investigate reduction of exhaust gas temperature in LPG conversion engine from diesel. A conventional diesel engine was modified to a LPG(Liquified Petroleum Gas) engine that diesel fuel injection pump was replaced by the LPG fuel system. The research was performed with measurement of exhaust gas temperature by varying spark ignition timing, air-fuel ratio, compression ratio, EGR ratio and different compositions of butane and propane. The major conclusion of this work were followed. (i) Exhaust gas temperature was decreased and power was increased with the advanced spark ignition timing. (ii) Exhaust gas temperature was decreased with lean and rich air-fuel ratio. (iii)Exhaust gas temperature was decreased and power was increased with the higher compression ratio. (iv) Engine power and exhaust temperature were not influenced by varied butane/propane fuel compositions. (v) Finally, one of the important parameters in reduction of exhaust gas temperature is spark ignition timing among the parameters in this study.

Key words : Exhaust gas temperature(배기가스온도), MBT(최적 점화시기), Spark ignition timing(점화시기), LPG(액화석유가스), Medium-duty diesel engine(중형 디젤엔진)

1. 서 론

세계적으로 산업 발전과 함께 자동차수 증가로 각 분야에서 석유소비가 증가하면서 석유의존도가 날로 심화되고 있다. 특히 자동차수 증가로 인해 대기오염의 주범이 산업체가 아닌 자동차의 배출가스로 변화되면서 대기환경 개선을 위해 자동차 배출가스 규제가 강화되고 있다. 대기오염의 주범인 자동차 중에서도 특히 디젤차량은 다량의 매연(PM)과 질소산화물(NO_x)을 배출하여 대기질을 악화시키고 있다. 국내의 경우 디젤차량은 전국 자동차대수 중 34%이나 오염물질 배출량은 65%를 차지하며, 오염물질 중 NOx는 90%, PM은 99%를 차지하고 있다. 이러한 이유로 인해 국내외적으로 디젤차량에서 발생되는 질소산화물과 입자상물질을 저감시키기 위한 많은 연구가 진행중이며, 최근에는 청정 대체연료를 사용하는 연구가 활발히 진행중이다.[1-3] 청정 대체 연료자동차를 보급하기 위한 방안으로 저공해성과 경제성에서 우수한 특성을 가지고 있으며 기반시설(Infra-structure)이 이미 충분하게 확보

*To whom correspondence should be addressed.
ghchoi@kmu.ac.kr

되어 있는 LPG연료가 자동차용 대체에너지로서 유력한 대안으로 인식되어 국내에서도 많은 연구와 함께 LPG차량이 운행되고 있다.

디젤차량에 LPG연료를 적용한 저공해 자동차로의 운행은 개조(Retrofit)를 통해 가능하며, 디젤차량의 개조는 가솔린 차량의 개조와 비교하여 다른 연소방식의 차이로 인해 기술적으로 다소 복잡하여 개조가 잘 이루어지지 않았으나 최근 디젤차량의 대기오염 비중 심화로 개조를 통한 LPG연료 적용 연구가 진행되고 있다.[4-6] 디젤차량을 LPG연료 전소차량으로 개발할 경우 저공해성은 우수하지만 배기가스온도는 상승하게 된다. 이렇게 상승된 배기가스온도는 배기계통 부품의 열부하가 커져 이를 줄이는 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 개조된 디젤 LPG엔진에서 점화시기, 압축비, 공연비 및 연료조성 변화가 출력성능 및 배기가스 온도에 미치는 영향에 대해 평가해 보고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 기관은 수냉식 4기통이며 배기량이 3568cc인 2.5톤 트럭용 직접분사식 디젤기관을 LPG기관으로 개조하였다.

디젤기관을 LPG기관으로 개조하는 것은 가솔린 기관을 LPG기관으로 개조하는 것과는 달리 기술적으로 복잡하다. 즉, 연소방식이 압축착화기관에서 전기점화기관으로 변하므로 기관 부품의 변경이 필요하다. 따라서, 연소방식이 변화함에 따라 압축비를 LPG기관에 적합하도록 피스톤 헤드를 가공하여 디젤기관의 21에서 9로 낮추었다. 피스톤의 가공도면을 Fig. 1에 나타내었으며, 가공높이(x)를 조절하여 압축비를 조절하였다.

또한 연소실로 점화에너지를 공급하기 위해 디젤기관의 헤드에 위치한 분사노즐을 제거하고 분사노즐이 제거된 홀에 냉각수 유로를 고려하여 점화플러그가 장착될 수 있도록 탭가공하여 점화플러그를 조립할 수 있었다. 그리고, 점화플러그로 전기에너지를 공급하기 위해 점화코일과 배전기를 설치하였다. 배전기는 디젤의 연료분사펌프를 제거하고 그 자리에 배전기와 연료펌프 구동기어가 연결될 수 있도록 연결장치를 제작하여 배전기를 장착하였다. 장착된 배전기는 정확한 점화시기와 조정이 용이하도록 슬릿이 많은 옵티컬 타입의 전자제어용 배전기를 사용하였고, 연결도면을 Fig. 2에 나타내었다. 점화시기 제어는 실험용 전자제어 장치를 사용하여 엔진이 운전되는 동안에 자유롭게 점화시기를 조정할 수 있도록 하였다.

기관의 연료 공급은 흡기관에 믹서를 부착하여 기화기(Vaporizer)를 거쳐 대기압상태인 가스를 공기와 혼합하여 연소실로 유입시켰다. 믹서를 통해 유입되는 혼합기는 배기관에 부착된 산소센서의 신호를 입력받아 전자제어장치에서 이론공연비를 제어하여 공급 될 수 있도록 하였으며, 전체적인 실험장치 구성을 Fig. 3에 나타내었다.

본 연구에서는 점화시기, 공연비, 압축비 및 연료조성을 변수로 배기온도 저감 연구를 위하여 배기다기관의 끝단에서 8cm 떨어진 배기가스가 모이는 곳에 열전대를 삽입하여 온도를 측정하였다.

점화시기 변화는 ECU를 통하여 제어하였고, 공

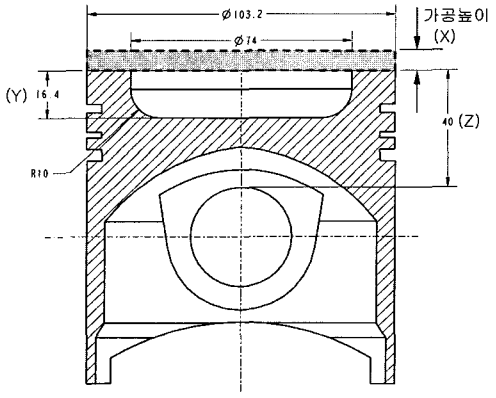

Fig. 1 Drawing of piston

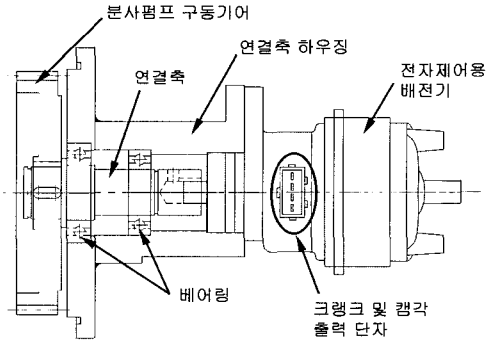

Fig. 2 Composition of electric supplier

연비는 믹서에서의 듀티값을 변화시키거나 연료의 주 통로에 위치한 메인제트의 직경을 변화시켜 조정하였다. 압축비 변화는 앞서 설명한 피스톤의 가공도면을 따라 가공하여 피스톤 교환을 통해 가능하였다.

연료조성 변화는 질량 비율로 하였으며, 방법으로는 탱크하나에 원하는 양의 부탄을 충전한 후 조성에 맞는 양의 프로판을 충전하여 조성을 변화시켰다. 연료조성은 연료탱크의 압력과 온도를 측정하여 연료조성에 따른 증기압 선도와 비교하여 검증하였다. Fig. 4는 부탄/프로판의 연료조성 변화에 대한 증기압선도와 실험시 측정한 온도에 따른 연료의 압력을 나타내었다. 측정한 결과 실험에 사용한 연료의 증기압이 연료조성에 따른 증기압선도와 일치하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 실험에는 부탄100%, 프로판100%, 부탄50+프로판50%, 부탄70+프로판30% 및 부탄30+프로판70%로 조성된 연료를 사용하여 실험하였다.

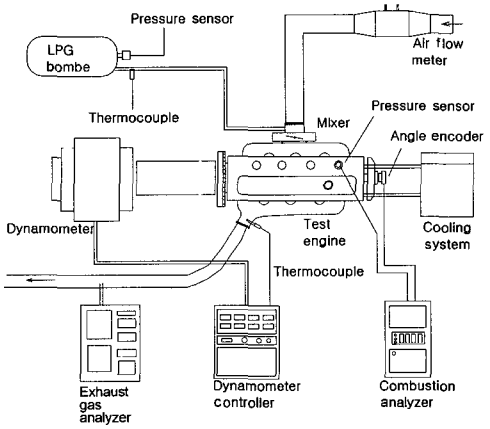

Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

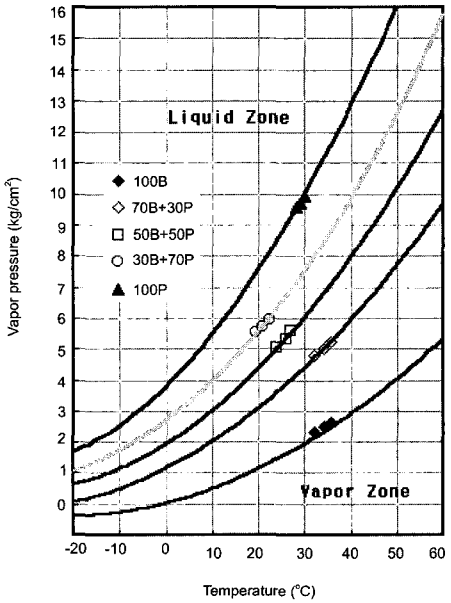

Fig. 4 Vapor pressure of butane/propane fuel composition

3. 실험 결과

Fig. 5는 전부하조건에서 점화시기 변화에 따른 출력과 배기온도 특성을 나타내었다. 그림에서 MBT 점화시기는 21°BTDC이며, 출력은 MBT 점화시기 이전에서 10°정도 진각됨에 따라 평균 5마력 정도 상승하는 것으로 나타났다. 배기온도는 점화시기가 4° 진각됨에 따라 평균 30℃ 정도 감소하는 경향이 나타났다. 이는 점화시기가 지각되면 점화가 늦게 시작되어 팽창행정에서 연소과정이 길어져 고온의 가스가 배기관을 통해 배출되나 점화시기가 진각될수록 팽창행정시 연소기간이 짧아져 상대적으로 배기온도가 낮아지는 것으로 생각된다. 또한, 점화시기가 진각됨에 따라 연소실의 최고 압력의 상승으로 인해 출력이 상승되며, 높은 압력으로 인한 배기시 팽창비가 증가하여 팽창냉각 효과가 커 배기온도가 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 3000rpm, 전부하상태에서 점화시기 변화에 따른 연소실 압력을 나타내었다. 그림에서 점화시기가 진각됨에 따라 최고 압력은 높아지고, 최고 압력이 나타나는 크랭크각도 역시 진각됨을 알 수

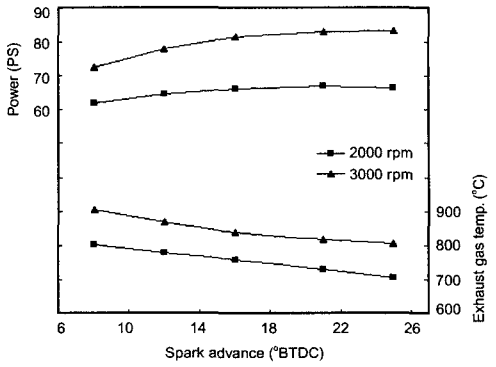

Fig. 5 Power and exhaust gas temperature with varying spark ignition timing

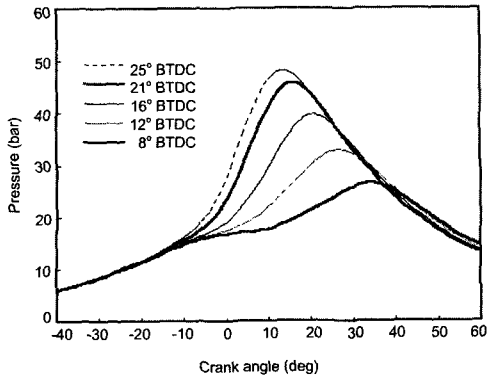

Fig. 6 Cylinder pressure curves with varying spark ignition timing on 3000rpm, full load condition

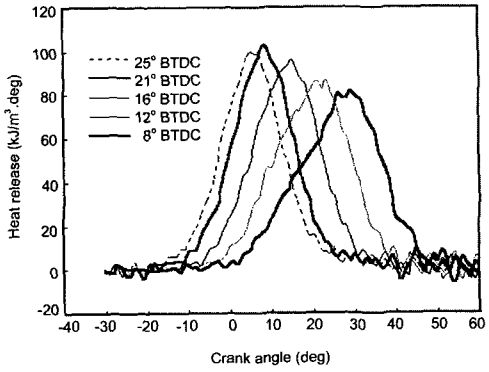

Fig. 7 Heat release curves with varying spark ignition timing on 3000rpm, full load condition

있었다. 점화시기가 8°BTDC인 경우 과도한 지각으로 인해 연소 압력이 급격히 감소하여 MBT 점화시기인 21°BTDC와 비교하여 42%의 압력저감이 있었다. 최고 압력 발생 시점 역시 MBT 점화시기의 경우 점화시점으로부터 37° 이지만 8°BTDC의 경우 41°로 늦어짐을 확인할 수 있었으며, 이로인해 점화시기가 지각 될 경우 배기온도가 상승하는 원인으로 생각된다.

Fig. 7은 압력선도를 바탕으로 열발생율 선도를 나타내었다. 열발생의 시작은 점화진각과 비례하여 나타났으며, 점화시기가 지각될수록 열발생 구간이 증가하여 종료시점이 더 지각됨을 알 수 있었다. 그림에서 보는 바와 같이 크랭크 각도가 4° 지감됨에 따라 점화시점으로부터 최고 열발생 시점이 2~3° 정도 더 지연되는 것으로 나타났다. 점화시기가 8°, 12°BTDC로 과도하게 지각된 경우 최고 열발생율

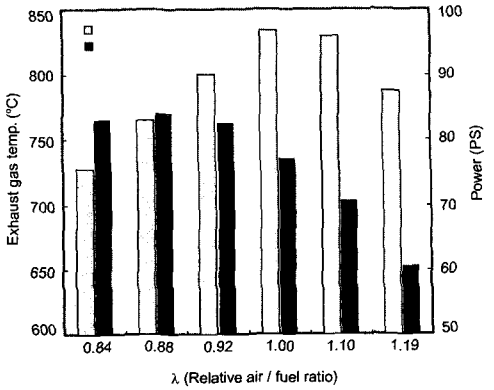

Fig. 8 Power and exhaust gas temperature with varying air-fuel ratio on 3200rpm, full load condition

은 낮지만 열발생 구간이 길고, 종료시점이 역시 40° ATDC를 넘어 배기가스 온도가 높게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 8은 3200rpm, 전부하 조건에서 공연비 변화에 따른 배기온도와 출력의 변화를 나타내었다. 실험시 공연비 변화만에 대한 특성을 파악하기 위하여 점화시기는 λ=1의 MBT 점화시기인 21°BTDC로 일정하게 두고 실험하였다.

실험결과 공연비가 농후하거나 희박한 경우 모두 배기온도는 낮아지나 농후할 경우 배기온도 저감효과가 크게 나타났다. 또한, 공연비를 농후하게 할 경우는 출력이 상승되나 희박하게 할 경우 출력은 감소하는 것으로 나타났다. 공연비가 λ=0.92일때 배기온도는 λ=1일때와 비교해서 30℃정도 감소하고 출력은 5마력정도 증가하나 λ=1.1일때 배기온도는 4℃정도 미미하게 낮아졌으며 출력은 6마력 정도 감소하는 것으로 나타났다. 또한, λ=1.2정도에서는 불완전 연소로 인해 배기온도와 출력이 모두 급격히 떨어지는 것으로 나타났다.

공연비가 농후한 경우 연소속도가 빨라지고 연소압력이 증가되어 팽창비 증가에 따른 냉각효과 증가와 짧은 연소기간으로 배기온도는 낮아지고 출력은 증가하는 것으로 판단된다. 공연비가 희박한 경우는 연소실의 연료량 감소와 연소속도가 늦어져 연소압력이 낮아 연소온도는 낮지만 팽창비가 저감되어 냉각효과가 적으며, 연소기간이 길어져 상대적으로 높은 배기가스가 배출되어 연소온도 저감에 비해 배기온도 저감효과가 적은 것으로 판단된다.

Fig. 9는 전부하 조건에서 압축비 변화에 따른 출력과 배기온도 특성을 나타내었다. 실험시 압축비 변화만에 대한 특성을 파악하기 위하여 점화시기는 압축비 9일경우의 MBT점화시기로 설정하여 동일한 조건으로 실험하였다.

실험결과 압축비가 8에서 9로 증가함에 따라 각 회전수에서 출력은 평균 3마력 정도 증가하였고, 배기가스 온도는 평균 18℃정도 저감되었다. 이것은 압축비가 증가함에 따라 연소시 최고 압력이 증가하여 출력 상승을 가져오고, 압력상승으로 인한 배기시 팽창비 증가로 배기온도는 낮아지는 것으로 생각된다. 따라서, 배기온도를 저감시키고 출력을 상승시키기 위해서는 노킹(knocking)이 발생하지 않는 범위 내에서 압축비를 증가시키는 것이 유리한 것으로 판단된다. 그러나, 압축비 증가시 MBT점화시기 변화에 따른 배기온도 변화가 고려되어야 할 것으로 생각된다.

Fig. 10은 기관회전수 변화에 대해 부탄/프로판의 연료조성 변화에 따른 출력과 배기온도 특성을 나타내었다. 실험결과 출력과 배기온도는 연료조성 변화에 대하여 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 연료조성에 따라서 옥탄가의 차이는 있으나, 압축비가 9로 고정된 경우에서 MBT점화시기가 노크한계 점화시기 보다 낮은 것이 원인으로 생각된다. 따라서, MBT값이 변하지 않아 점화시기가 동일하여 나타나는 것으로 판단된다. 부탄100%의 배기온도가 1200rpm에서 조금 높게 나타난 것은 부탄 100%가 1200rpm에서 노킹으로 인한 점화시기 지각으로 발생한 것으로 생각되며, 나머지 영역에서는 모든 연료조성에 대하여 노킹이 발생하지 않아 같은 특성이 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 11은 연료조성 변화에 따른 질량연소율을 나타내었다. 연소율 또한 연료조성 변화에 따라서 큰 차이가 없는 것으로 나타났고, 10% 연소가 이루어지는 크랭크 각도가 3° BTDC, 90%연소가 이루어지는 각도가 17° ATDC로 거의 일치하며, 10~90% 연소가 이루어지는 크랭크각도도 20° 정도로 거의 동일 하였다. 따라서, 같은 압축비인 9에서 연료조성을 변화시키는 것은 출력과 배기온도에 큰 영향을 줄 수 없다고 생각되며, 프로판100%의 노크한계 점화시기가 부탄100%와 비교해서 평균 3° 정도 더 진각되는 것을 고려할 때 높은 압축비에서 효과가 나타날 것으로 판단된다.

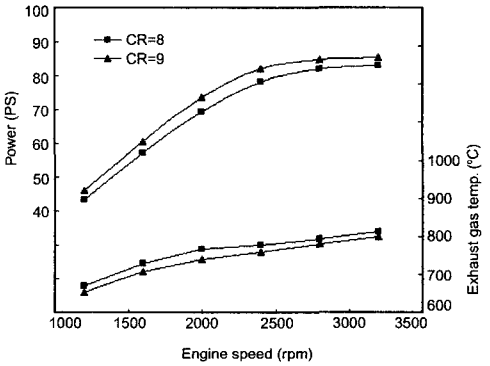

Fig. 9 Power and exhaust gas temperature with varying compression ratio on full load condition

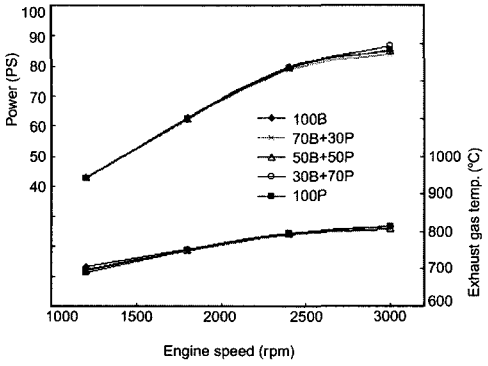

Fig. 10 Power and exhaust gas temperature with varying butane/propane fuel composition on full load condition

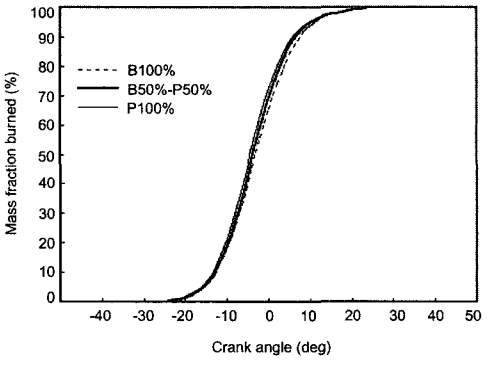

Fig. 11 Mass fraction burned versus crank angle curves with varying butane/ propane fuel composition on 2400rpm, full load condition

4. 결 론

디젤엔진을 전기점화기관인 LPG연료 전소기관으로 개조하여 출력과 배기온도에 대하여 각 변수에 대한 실험한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) MBT 점화시기 이전에서 4° 진각됨에 따라 출력은 평균 4%정도 상승하고, 배기온도는 점화시기 4° 진각됨에 따라 평균 30℃정도 저감됨을 알 수 있었다.

2) 공연비가 λ=0.92일때는 배기온도는 λ=1일때와 비교해서 30℃정도 감소하고 출력은 7%정도 증가하나 λ=1.1일때는 배기온도는 4℃정도로 미미하게 낮아졌으며 출력은 8%정도 감소함을 알 수 있었다.

3) 압축비가 8에서 9로 증가함에 따라 각 회전수에서 출력은 4%정도 증가하고 배기온도는 평균 18℃정도 저감됨을 알 수 있었다.

4) 압축비 9로 동일한 조건에서의 연료조성 변화에 대해서 MBT 점화시기의 차이는 큰 변화를 발견할 수가 없었으며, 이로 인해 출력 및 배기온도 특성이 유사하게 나타남을 알 수 있었다.

5) 본 연구를 종합할 때 연료조성에 따른 최적의 압축비를 선정하고, 그에 대한 MBT 점화시기를 찾는다면 최적의 기관출력과 배기온도 저감 특성을 만족시킬 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터와 LPG보급협의회의 지원에 의한 것입니다.

References

1) E. Bass, B. Bailey, S. Jaeger, "LPG Conversion and HC Emissions Speciation of a Light-Duty Vehicle," SAE 932745, 1993.
2) M. S. Newkirk, L. R. Smith, M. E. Payne, J. S. Segal, "Reactivity and Exhaust Emissions from an EHC-Equipped LPG Conversion Vehicle Operating on Butane/ Propane Fuel Blends," SAE 961991, 1996.
3) G. T. Kalghatgi, P. Snowdon, C. R. McDonald, "Studies of Knock in a Spark Ignition Engine with "CARS" Temperature Measurements and Using Different Fuels," SAE 950690, 1995.
4) C. U. Kim, K. Y. Kang, S. M. Oh, "The Fundamental Study on Liquid phase LPG Injection System for Heavy-Duty Engine(Ⅱ)," Transactions of KSAE, Vol.9, No.6, pp.1-7, 2001.
5) Y. H. Seo, W. Kang, "Development of an LPG Engine for Medium-Duty Commercial Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.8, No.5, pp.1-11, 2000.
6) H. S. Sim, M. H. Sunwoo, "Development of an Engine Modeling and an Engine Control Module for an LPG Engine," Transactions of KSAE, Vol.7, No.9, pp.1-9, 1999.