

EGR 유입방식에 따른 LPLi 엔진 성능 및 배기 배출물 특성에 관한 연구

곽 호 철^{*1)} · 명 차 리¹⁾ · 박 심 수²⁾ · 천 동 필³⁾

고려대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 고려대학교 기계공학과²⁾ · 현대오토넷³⁾

Study on Engine Performance and Characteristics of Exhaust Gas Properties according to various EGR Feeding Methods in LPLi Engine

Ho-Chul Kwak^{*1)} · Cha-Lee Myung¹⁾ · Simsoo Park²⁾ · Dong-Pil Chun³⁾

¹⁾Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Korea University, Seoul 136-701, Korea

²⁾Department of Mechanical Engineering, Korea University, Seoul 136-701, Korea

³⁾Hyundai Autonet Co.,Ltd, San 136-1 Ami-ri, Bubal-eub, Icheon-si, Gyeonggi-do 467-860, Korea

(Received 3 March 2003 / Accepted 16 April 2003)

Abstract : Recently, LPG has been considered as more environmental friendly fuel than liquid fuels for vehicles. However because LPLi engine has the strong point that not only increases the volumetric efficiency and cold startability, but also decreases unburned hydrocarbon exhaust emission in warm-up condition, much attention has moved to development of the Liquid Phase LPG injection (LPLi) system from the mixer type LPG engine. To reduce exhaust NOx, this study investigated the effect of EGR with LPLi engine and determined optimized EGR feeding position and distribution. In addition, engine stability, performance, and exhaust emission level were evaluated.

Key words : LPLi(액상 분사 LPG), COV(연소 균일성), EGR(배기가스 재순환), EGR rate(배기가스 재순환율)

Nomenclature

LPLi : liquid phase LPG injection

COV : coefficient of variation

EGR : exhaust gas recirculation

BMEP : break mean effective pressure

SA : spark advance

1. 서론

최근 몇 년 동안 가솔린 엔진을 대체 연료 엔진으로 바꾸고자 하는 많은 연구 중에 환경 친화적이며 전체적인 성능이 우수한 장점을 가지고 있는 LPG를 이용하여 가솔린 엔진으로 개조하는 시스템은 LPLi(Liquid Phase LPG injection) 방식의 3세대까지

진보하였으며 최근, 자동차 업계에서는 LPG를 연소실 내에 직접 분사하는 4세대 LP-DI(LPG Direct Injection)에 대한 기초 연구가 진행 중에 있다. 하지만 LPG 엔진의 가장 중요한 장치 중에 하나인 연료 공급 장치는 현재까지 대부분의 국가에서 믹서를 이용한 방식이 주로 사용되고 있으며, 우리나라도 현재 폐회로(Closed Loop) 제어의 기체 믹서(Mixer)를 사용하고 있는 현실이기에 LPG의 분사를 정밀 제어하여 배출 가스를 줄이고, 엔진의 효율을 높이며, 또한 희박연소를 실현할 수 있는 폐회로 제어 액상 분사방식에 대한 연구가 활발해지고 있다. 그러므로 점점 강화되어 가는 배기규제의 만족을 위해 LPG 액상 분사 엔진의 배출가스의 성분 및 그 특성을 파악하여서 배출 가스의 적극적인 저감을 위한 노력이 수반되어야 한다.

*To whom correspondence should be addressed.
guak@korea.ac.kr

본 연구에서는 엔진에 유입되는 재 순환 배기가스 양의 변화를 통해 연소실 압력을 측정하여 EGR이 엔진의 연소안정성과 배기 성능에 미치는 영향과 실린더별 분배성을 분석하였고, 그때 발생하는 THC, NOx 등의 배기가스를 측정하였다. 그리고 EGR 적용시 유입위치에 따른 EGR가스의 균일한 분배여부를 확인하여 최적의 유입위치를 결정하는데 주력하였으며, 흡기 매니폴드로 유입되는 EGR 가스의 온도를 변화시켜 가며 엔진의 시동초기 및 엔진의 안정화 이후의 특성 변화에 대해서도 동일한 분석을 수행하였다.

2. 시험 장치 및 엔진

2.1 LPLi 엔진 시험장치

Fig. 1은 LPLi 시험을 위한 시험장치의 개략도를 나타낸 것이다. LPG 탱크의 액상 LPG는 외장형 LPG 펌프에 의해 공급되며 연료의 분사 압력은 압력조절기에 의해 약 7bar 정도로 전체 연료라인에 일정하게 유지된다. LPG는 연료의 압력과 온도에 의해 액상 및 기상 또는 액·기상이 동시에 존재하게 되므로 연료의 온도와 압력변화에 따라 일정한 공연비를 유지하기 위한 압력·온도 보상 로직을 현재 개발중인 LPLi 전용 ECU를 이용하여 조절하였다. 인젝터는 배이퍼록의 최소화를 위해 bottom feed 방식의 인젝터를 사용하였다. LPG 소모량은 공기유량계 및 공연비의 상관관계를 이용해 측정하였으며 연소현상 해석을 위해 Kistler사의 연소압력 센서를 실린더에 설치하여 연소압력 해석장치를 이용하여 분석하였다. EGR 적용에 따른 흡기압의 변동을 측정하기 위해 저압센서를 흡기부 서지 탱크에 장착하였다. 광역 산소 센서(Wide Range Oxygen Sensor)는 엔진의 BANK 1(실린더 #1, 3, 5)과 BANK 2(실린더 #2, 4, 6)에 각각 설치하였고 촉매 전의 합류점에도 설치하여 실린더간 연소 특성과 분배특성을 지속적으로 모니터링 하였다.

Fig. 2는 흡기 매니폴드의 EGR 유입위치를 나타낸 그림이다. EGR 가스의 유입 위치에 따른 분배성과 연소 안정성을 알아보기 위하여 세가지 경우에 대하여 실험을 수행하였는데, 첫 번째는 스로틀바디 직후(Case A)에 EGR 가스가 1/2in. 라인관을 통해 유입되는 방법이며 두 번째는 서지 탱크 직후의 분

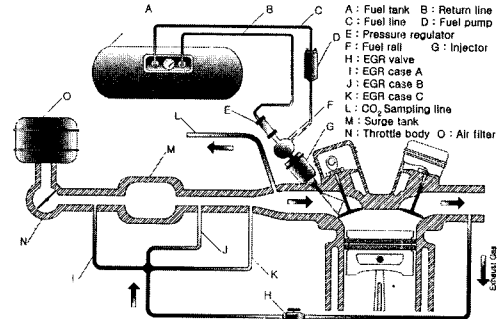


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

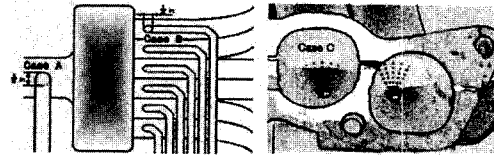


Fig. 2 Schematic diagram of case A, B (left) and case C (right)

기된 6개의 흡기 매니폴드(Case B) 각각에 1/4in. 라인을 통해 EGR 가스를 유입하는 방법으로 유입 전에 EGR 가스 서지 탱크를 추가로 장착하여 충분한 가스의 혼합이 가능하도록 하였고, 마지막으로 각각의 흡기포트 직전(Case C)에 EGR 가스를 1/8in. 라인관을 통해 개별 유입을 하였다. 흡기 포트 직전에 위치한 실린더별 6개의 CO₂ 샘플링 라인관(Fig. 1 L)을 통해 가스 분석을 하여 EGR의 유입량에 따른 엔진 성능의 평가 시험을 수행하였다.

2.2 LPLi 엔진 제원

Table 1은 시험 엔진의 제원을 나타낸 것이다.

LPLi 전용 ECU와 함께 가솔린에 비해 상대적으로 다량의 연료를 분사하기 위해 가스 인젝터 구동용 전압컨트롤 방식의 인젝터 드라이버 모듈이 내장되어 있다.

Table 1 Specifications of test engine

엔진	Sirius 3.0S LPG
형식	V6
배기량	2,972cc
압축비	8.9
Fuel System	MPI with injector driver module
배기 후 처리계	UCC only

3. EGR 시험 결과

3.1 관련이론

지금까지 EGR의 유입위치는 스로틀 바디 직후의 한 점에 EGR 가스를 공급하는 방식이 주류를 이루어 왔으나, 최근에는 보다 높은 정밀성과 더불어 EGR 가스를 각각의 실린더에 균일하게 분배하여 엔진 성능의 안정성을 높이고자 개별 실린더의 흡기 포트나 러너 부위에 각 실린더 별로 따로 공급하는 방식이 점차 확대되고 있다.

Table 2는 두 방식을 비교한 표로서 단일점 유입이 높은 EGR율을 실현할 수 있는 반면, 응답 시간이 길어지고 개별 유입 방식은 그 반대의 결과가 나타나는 특징이 있다.

Table 2 Characteristics of EGR feeding

Throttle body feeding	Individual feeding
<ul style="list-style-type: none"> • Singular feeding • Uniform distribution • High EGR rates → High temp. load • Long response time → Critical load step behavior → Throttle & EGR valve response adaption 	<ul style="list-style-type: none"> • Before cylinder head feeding • Individual EGR distribution → Needs to well tuning • Short response time • Possibly EGR flow through cylinder head

다음은 본 실험에서 EGR율을 조절하는데 사용된 식이다.

$$EGR율(\%) = \frac{CO_2농도(흡기 매니폴드) - CO_2농도(배기)}{CO_2농도(배출) - CO_2농도(흡기 매니폴드)} \times 100$$

3.2 EGR 도입에 따른 연소현상

3.2.1 연소압

본 실험에서는 엔진 운전 조건을 1800rpm, BMEP는 2.0bar로 고정된 상태에서 $\lambda=1.0$, EGR 유입온도는 60°C에서 점화시기와 EGR율을 변화시켜 가면서 엔진 성능의 변화를 관찰하였다. Fig. 3은 상기한 실험 조건 하에서 동일한 30° CA BTDC 상태에서 EGR율을 5%와 10%로 변화시켰을 때의 압력 변화 곡선이다. EGR을 유입하지 않은 상태(W/O EGR)에서의 연소압은 13° CA ATDC에서 약 17bar 정도의

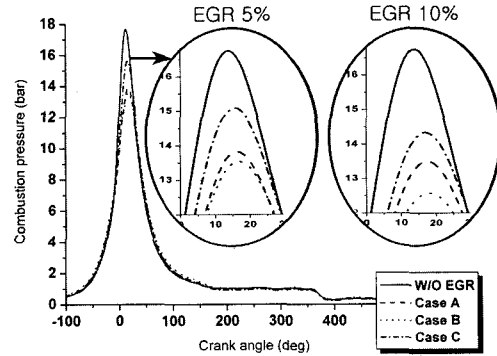


Fig. 3 Combustion pressure at S/A 30°CA BTDC EGR 5% and 10%

최고 압력을 보이거나 EGR 5%를 유입한 경우 Case A, B는 거의 비슷한 CA 위치에서 13.5bar ~ 13.8bar 정도의 압력을, Case C는 15° CA에서 약 16bar 정도로 세 가지 Case중에 가장 높은 최고 압력을 나타내었다. 그러나 EGR을 10%로 늘려서 유입한 경우 Case B의 연소압이 Case A보다 더욱 많이 낮아지면서 연소압의 크기는 Case C > A > B의 순서가 되었는데 이러한 경향은 EGR율을 15%로 높였을 때도 Case A와 C가 비슷하게 나타나고 Case B가 가장 낮은 연소압을 나타내었다. 결국 동일한 점화 진각 상태에서 EGR율의 증가에 따라 실린더 내의 연소 가능한 신기가 줄어들어 연소 압력은 낮아지고 있으며 최고 압력이 발생하는 크랭크 각도 역시 TDC 각도보다 더욱 지각된 위치에서 나오고 있다. 각각의 유입 방법을 비교해 보면 단일 점으로 유입한 Case A와 실린더 바로 직전 흡기 포트에 유입한 Case C의 경우가 비슷하게 연소압이 높고, 개별 유입을 하였던 Case B의 연소압이 가장 낮았으며 이를 통해 Case B는 EGR 가스가 들어감에 따라 연소압이 낮아지는 경향에 비추어 볼 때 다른 Case에 비해 신기와와 혼합 및 연소에 가장 불리함을 알 수 있다.

3.2.2 COV

각 Case간의 연소 안정성을 비교하기 위하여 연소 안정성의 척도라 할 수 있는 COV값을 EGR율에 대하여 비교하여 보았다. Fig. 4는 점화 시기를 20°, 30°, 40° CA BTDC와 함께 EGR을 유입하지 않았을 때의 MBT 각도와 MBT+5°, MBT+10°의 조건에서 실험을 하였다. 각 Case 모두 전체적으로 EGR율이

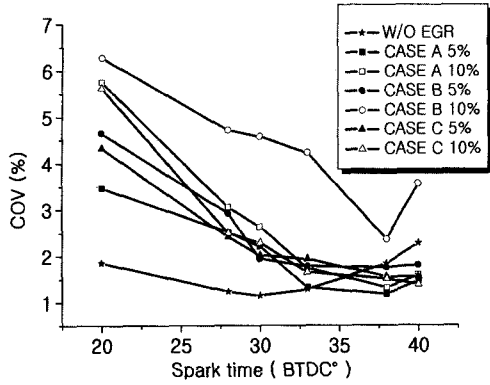


Fig. 4 COV at various spark time and EGR rate

증가할수록 COV값이 증가하며 연소 안정성이 떨어지는데 점화시기에 대해서는 모든 Case들이 MBT를 지나 MBT+5° ~ MBT+10° 정도에서 가장 안정된 COV값을 보여 주고 있다. 또한 앞의 연소압 결과와 동일하게 같은 점화시기에서 Case B의 연소가 가장 불안함을 알 수 있다.

3.2.3 연소 속도

Fig. 5는 동일한 점화시기에서 서로 다른 EGR율의 경우에 따른 연소 속도의 변화를 보인 그림으로 실린더내 연료의 0~90%가 연소되는데 걸리는 시간이 W/O EGR에서 14° CA ATDC인 것에 비해 EGR 5%, 10%인 경우 각각의 Case들이 19° ~ 24°, 25° ~ 31° CA ATDC로 지연되고 있음을 보이는데, 이 경우도 마찬가지로 앞에서 EGR의 유입의 영향이 가장 크게 나타난다고 여겨진 Case B의 경우가 가장 느린 연소속도를 보이며 A와 C는 비슷한 경향을 보이고 있다.

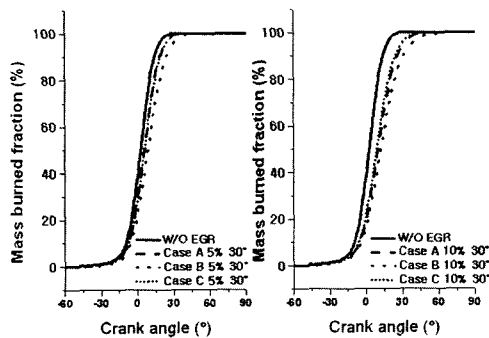


Fig. 5 Mass burned fraction of 30°CA BTDC at EGR rate 5% and 10%

3.2.4 흡기압

Fig. 6은 SA (Spark time Advance) 30° CA BTDC인 경우 EGR의 유입에 따른 흡기압의 변화를 각 Case들에 대하여 비교해 본 그림이다. EGR의 유입에 따라 전체적으로 흡기압이 상승한 것은 동일하나 EGR이 유입되지 않은 경우의 서지탱크내의 평균 압력이 0.39bar 정도임에 비하여 Case A는 0.46bar, Case B 0.49bar이고 Case C는 0.45bar를 나타낸다. 이는 EGR 10%의 경우에서도 마찬가지로 Case A와 Case C는 거의 동일한 압력 분포를 나타내고 있으나 Case B가 다른 Case들과 비교하여 가장 큰 압력 증가를 보이고 있어 EGR 가스의 유입의 영향을 가장 크게 받는 것을 알 수 있다.

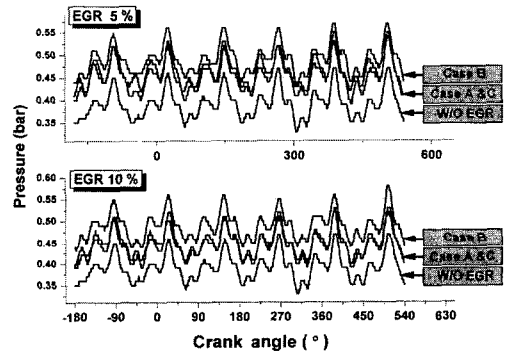


Fig. 6 Intake surge tank pressure of each case with different EGR rate

3.2.5 P-V Diagram

Fig. 7은 30° CA BTDC인 경우 각 Case 별로 EGR율이 10%일 때의 P-V 선도이며 흡기 행정 부분을

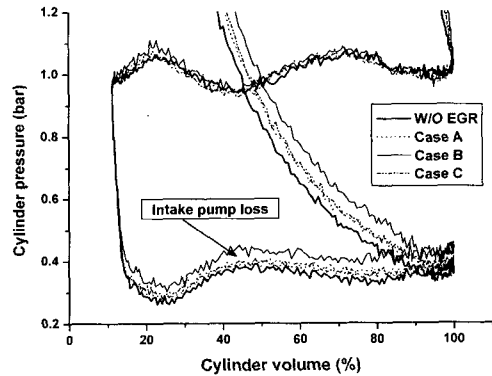


Fig. 7 Indicate diagram of engine with respect to EGR cases

확대하여 나타낸 그림이다. EGR 도입에 의해 펌핑 로스가 감소되고 있음을 알 수 있으며 이는 EGR 유입을 통해 추가적인 연비 개선 효과를 얻을 수 있음을 의미한다. EGR을 유입하지 않은 경우에 비해 Case B가 가장 큰 차이를 보였으며 Case A와 C는 거의 동일한 분포를 보였다.

3.2.6 실린더별 COV

Fig. 8은 EGR의 유입에 따라 엔진 성능에 영향을 줄 수 있는 EGR의 균일 분배 정도를 알아보기 위해 각 실린더간의 COV를 비교해 본 그림으로 좌측은 Case A, 우측은 Case C에 대한 그림이다. 양쪽 모두 EGR의 변화에 따라 3번 실린더의 COV값이 가장 크게 나타남에 따라 EGR 가스가 가장 잘 유입되는 곳으로 볼 수 있는데 이는 흡기 매니폴드의 형상에 따른 것으로 3번 실린더로 이어진 흡기 매니폴드의 길이가 1, 5번의 길이보다 짧아 나타나는 결과이다.

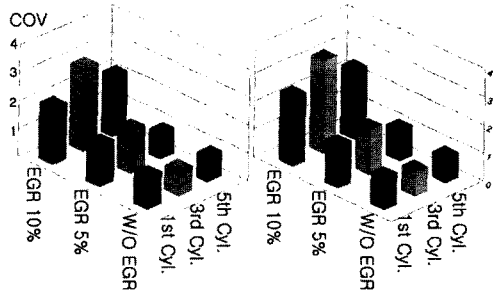


Fig. 8 COV of cylinders with respect to EGR rate

3.2.7 최고 압력과 IMEP

Fig. 9와 10은 1800rpm, BMEP 2.0 bar, SA 30°의 운전 조건에서 EGR을 유입시키지 않은 경우의 MBT 점화시기에 대하여 100 사이클동안 Case A의 EGR을 증가에 따른 θ_{pmax} 에 대한 P_{max} 와 imep의 관계를 보여주는 그림이다. Fig. 9에서는 점화시기가 일정한 경우에 대하여 EGR을 유입하지 않은 경우는 약 12° CA ATDC의 위치에 P_{max} 의 값들이 집중되어 있으나 EGR 유입량의 증가에 따라 5%인 경우와 10%인 경우 P_{max} 의 위치가 TDC로부터 점차 지각되어 나타나며 분포 위치 역시 EGR이 유입되지 않은 경우에 비해 조밀하지 않은 분포를 보이고 있으며 연소 시간이 느려지고 있다. Fig. 10에서 EGR이 유입되지 않은 경우는 EGR이 유입된 경우에 비해

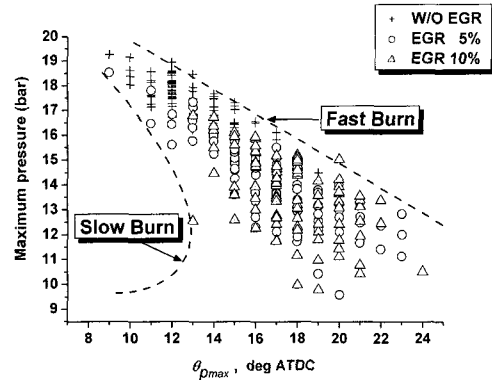


Fig. 9 Individual-cycle maximum pressure vs. crank angle at which pmax occurs for different EGR rate

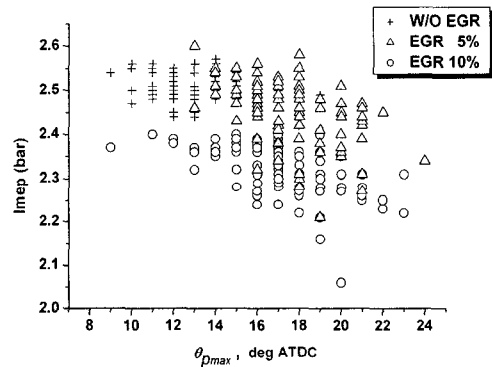


Fig. 10 Individual-cycle indicated mean effective pressure vs. θ_{pmax} for different EGR rate

비교적 평균 IMEP에 모여 있으나 EGR율의 증가에 따라 5%보다는 10%의 경우에 더욱 전체적인 IMEP 값은 하강하고 그 분포 역시 더욱 넓게 나타나므로 이는 결국 COVIMEP의 증가를 의미하여 연소의 불안정성을 초래하게 된다.

3.2.8 EGR 유입 온도

실린더내에서 연소 후 배출되는 배기가스의 온도는 배기 매니폴드의 시작 부에서 약 700°C 정도의 온도를 가지는데 EGR 공급 라인을 지나면서 주위로의 열전달에 의해 EGR 가스의 온도는 저하된다. 흡기 매니폴드에 유입되는 EGR 가스의 온도를 엔진 시동 초기와 워밍업이 완료된 조건에서의 효과를 비교하기 위해 EGR 가스의 온도를 60°C와 80°C로 선정하여 실험을 하였다.

Fig. 11은 SA 30° CA BTDC의 경우 Case B에 대하여 흡기 매니폴드에 유입되는 EGR 가스의 온도

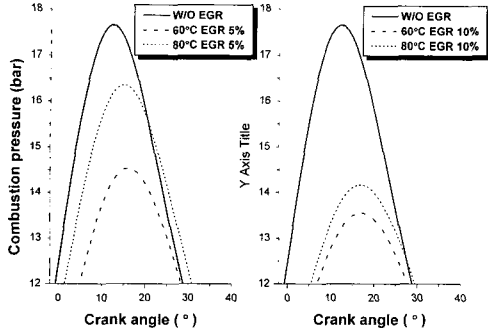


Fig. 11 Combustion pressure of case B with various EGR rate and temperature

를 변화 시켜가며 연소압을 비교한 그림으로 각 Case들 모두 동일한 EGR율에 대해 EGR 가스의 온도가 높을 경우 연소 압력이 더 크게 측정되는 현상을 보이는데 이는 액상으로 분사된 LPG 연료가 흡입된 공기와 섞이는 과정에서 EGR 온도가 낮은 경우에 기체 상으로의 증발이 촉진되어 연소를 더 원활하게 하여 연소압이 상승하는 것으로 여겨진다.

Fig. 12는 Case A에 대하여 EGR 유입 가스의 온도 변화가 각각의 실린더의 연소 안정성에 주는 영향을 알아보기 위한 그림으로 연소압 곡선 비교에서 전술하였듯이 EGR가스의 온도 상승에 따라 각 실린더들의 연소 안정성 또한 개선되는 효과를 알 수 있다. Case A의 경우에 EGR이 적게 들어가는 5%의 경우 서지 탱크를 지나 흡기 매니폴드를 거치는 과정에서 온도의 하강이 추가적으로 일어나므로 EGR 온도에 따른 COV 변화가 크지 않고 오히려 COV가

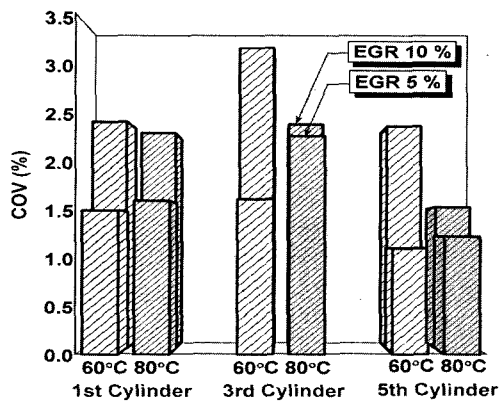


Fig. 12 COV of cylinders with various EGR temperature for case A

약간 더 크게 나오지만 좀 더 많은 EGR 가스가 유입되는 10%의 경우에는 80°C의 EGR이 60°C의 경우보다 더 낮은 COV 값이 나타나고 있다.

3.3 배기 가스 특성

3.3.1 촉매전 배출 가스 특성

Fig. 13은 EGR의 유입에 따른 배기 가스의 특성을 알아보기 위해 시행한 점화시기 변화에 따른 Case별 THC와 NOx의 배출량의 그림이다. 각 Case별로 동일한 EGR율에 따른 배출가스량의 변화를 알아보기 위해 EGR율을 10%로 고정하였을 때 점화시기의 변화에 따른 배출가스의 변화를 살펴보면 점화시기가 진각됨에 따라 TDC이후까지 긴 시간 연소가 지연되므로 미연의 THC가 증가하고 실린더 내에서 연료가 타는 순간의 온도가 증가하므로 NOx 역시 증가하게 된다. THC의 경우, 그림에서 제일 앞에 위치한 W/O EGR에 비해 Case B가 가장 높게 나타나고 NOx는 Case B가 다른 Case들에 비해 두배 이상 낮게 배출됨에 따라 NOx 저감을 위한 EGR의 적용 의도에 가장 부합하는 것으로 보인다.

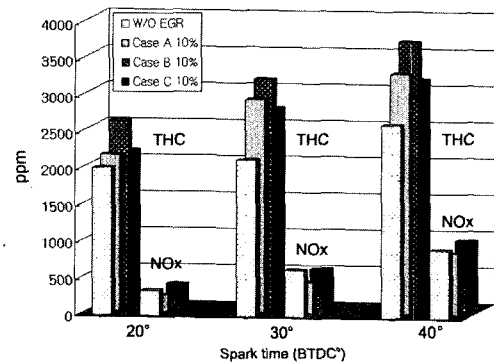


Fig. 13 Characteristics of emission at various S/A and cases

3.3.2 촉매 전후의 배출가스 특성

Fig. 14는 점화시기 30° CA BTDC, EGR율을 10%로 고정한 후 각 Case들과 EGR을 유입시키지 않은 상태에서 촉매 전과 후의 배출 가스 량의 변화를 비교한 그림이다. 그림에서와 같이 EGR을 유입하지 않은 경우와 비교하여 모든 Case들이 촉매 전에서는 THC가 증가하였으며 EGR의 특성상 NOx는 모

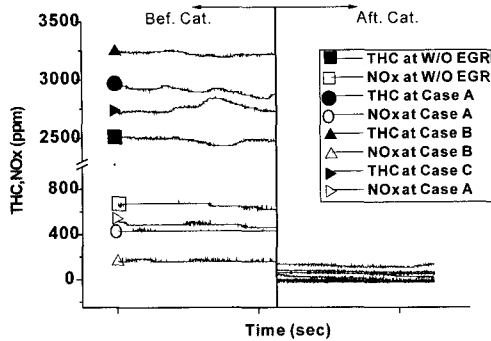


Fig. 14 Exhaust emission of raw and after the catalyst

두 감소하였다. 또한 그 편차는 Case B가 가장 큰 폭으로 변화하였는데 THC는 EGR을 유입하지 않은 경우보다 약 30%정도 증가하였고 NOx는 약 1/4수준으로 감소하였으며 촉매후 배출 가스 수준은 모두 국내의 LEV 기준을 만족할 만한 수준이었다.

3.3.3 배기 온도 특성

Fig. 15는 EGR율이 10%인 경우에 대하여 여러 가지 점화시기에 대해 나타나는 배기 가스의 온도 변화를 촉매전(Ex)과 촉매 담체(Cat)에서 각각 측정된 그림이다. 배기 가스와 촉매 담체에서의 온도 특성은 거의 유사한 경향을 보이며 MBT(28°)+5° CA의 온도에서 모든 Case들이 W/O EGR시의 온도와 가장 근접하고, 앞에서 연소속도가 가장 느린 Case B의 온도가 전체적으로 가장 낮게 나타났다.

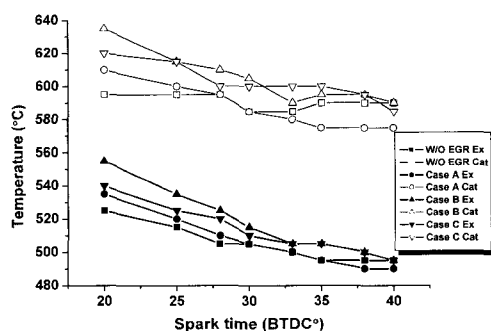


Fig. 15 Temperature of exhaust gas and catalyst at EGR 10% with respect to spark time

4. 결론

기존의 믹서 타입의 LPG 엔진에서 더욱 정확한 공연비 제어를 통해 배기 가스 저감을 실현하고자

개조한 액상 분사식 LPG 엔진에 EGR을 추가적으로 적용하여 추가적인 유해 배기가스 감소가 가능성을 알아보려고 수행한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

4.1 유해가스 저감 효과

EGR의 유입을 통해 환경에 치명적인 유해 요인으로 작용하는 NOx의 배출량을 EGR을 10%인 경우에 Case A의 경우에는 각 점화시기에 대하여 평균적으로 약 30%, Case B의 경우에는 70%, Case C의 경우에는 15% 정도를 감소시킬 수 있었다. 이는 EGR율을 15%까지 증가시킬 경우 그 이상의 저감효과도 가능하였으나 COV가 급격하게 증가하여 연소 안정성이 악화되므로 실제 엔진에서 사용하기에는 적절치 못한 결과였다.

그리고 THC는 EGR을 10%인 경우에 Case A의 경우에는 각 점화시기에 대하여 평균적으로 약 20%, Case B의 경우에는 30%, Case C의 경우에는 60% 정도가 증가하는 양상을 보였다.

4.2 엔진의 연소 안정성

EGR 유입에 따른 연소 불안정으로 인해 EGR율의 증가에 따라 COV값이 증가하는 경향을 보이고 있으며 점화시기가 진각됨에 따라 COV값이 감소하는 추세를 보인다. 세가지 Case중에 Case B의 경우가 가장 COV값이 크게 나타남에 따라 연소 안정성에 가장 문제가 됨을 알 수 있다. 그리고 가장 안정된 COV값의 위치는 W/O EGR의 경우에 비하여 점화시기가 약 5°~10° CA 정도 진각된 위치에서 나타나고 있다.

4.3 EGR 분배성

가장 효율적인 EGR 유입 위치를 찾기 위해 행한 Case별 실험 결과, Case A는 단일점으로 유입되었으나 흡입 길이가 길어 신기와 혼합되는 시간이 충분하였기에 적절한 분배성을 보여 주었으며 Case B의 경우는 세 가지 Case중에 가장 낮은 연소압이 나타나므로 이에 따라 NOx의 저감 효과는 가장 크게 나타났다으나 흡입 신기와 혼합성이 좋지 않아 COV가 가장 불안하게 나타났다. 흡기포트 바로 직전에

개별적으로 EGR 가스를 공급한 Case C는 흡기와의 혼합 시간은 길지 않으나 흡기 매니폴드 형상의 문제로 인해 EGR가스의 유입이 원활하지 못하여 EGR 가스를 유입하지 않은 경우와 큰 차이를 나타내지 못하였다.

결국 최근의 연구 동향에서 보였던 단일점 유입 방식의 균일 분배와 짧은 응답시간과 높은 EGR율을 적용할 수 있는 개별 유입 방식의 특성이 본 실험에서도 동일하게 나타났으며, 이에 따라 원하는 NOx의 저감 효과와 연소 안정성을 최적화하기 위해 두 방식의 적절한 조합이 필요함을 의미한다.

4.4 EGR 온도의 효과

EGR 가스의 온도를 변화 시켜 가며 행한 실험의 결과로는 EGR 가스의 온도가 60°C보다 80°C의 경우에 더 높은 연소압을 야기 시켜 그만큼 NOx 저감의 효과는 줄어들지만 COV는 낮아지므로 연소의 안정성에는 유리함을 나타낸다. 따라서 원하는 NOx 저감효과와 연소 안정성을 동시에 이끌어내기 위해서는 좀더 세분화된 온도 영역에서 그 효과를 분석하여야 할 것이다.

또한 Case간의 비교에 의해 EGR가스가 흡기 매니폴드를 지나는 시간이나 거리에 의해 추가적인 온도 감소가 있으므로 흡기 포트 직전의 Case C가 가장 큰 온도 효과를 나타내는 것을 보아 EGR 유입 위치에 따른 온도 보상과 설계가 병행되어야 함을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 SK 가스(주), LG-Caltex 가스(주), 한국 LP가스 공업협회의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

1) G. R. Neame, D. P. Gardiner, R. W. Mallory,

V. K. Rao, M. F. Bardon, V. Battista, "Improving the Fuel Economy of Stoichiometrically Fuelled S.I. Engines by Means of EGR and Enhanced Ignition - A Comparison of Gasoline, Methanol and Natural Gas," SAE 952376, 1995.

2) M. J. Throopl, J. A. Cook, D. R. Hamburg, "The Effect of EGR System Response Time on NOx Feedgas Emission during Engine Transients," SAE 850133, 1985.

3) E. Watanabe, I. Fukutani, "Knock Reduction of Spark-Ignition Engines by EGR," SAE 860034, 1986.

4) I. J. Berry, M. F. J. Brunt, "Improved Control of EGR During Speed/Load Transients," SAE 960068, 1996.

5) M. Tabata, T. Yamamoto, T. Fukube, "Improving NOx and Fuel Economy for Mixture Injected SI Engine with EGR," SAE 950684, 1995.

6) H. Ono, "Research and Development of LPG Liquid Fuel Injection System(1st. Report)," JSAE 20025034, 2002.

7) C. Bae, "EGR Effect upon Single Cylinder Liquid-phase LPG Injection Engine," 2002 International Symposium on LPG Vehicles, KIMM, 2002.

8) K. Kang, "A Heavy-Duty LPG Lean Burn Engine Using LPLi System," 2002 Internal Symposium on LPG Vehicles, KIMM, 2002.

9) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, pp.582-585, McGraw-Hill, 1988.

10) Japan LP Gas Association, LP Gas Technical Comprehensive Bibliography, pp.26-53, BoDang Press, 1981.

11) R. Stone, Introduction to Internal Combustion Engines, pp.472-482, MACMILLAN, 1992.