

Internal EGR과 LP-EGR 전략을 이용한 기존 HP- / LP-EGR 대체 타당성에 대한 연구

김재현¹⁾ · 배충식^{*1)}
한국과학기술원 기계공학과¹⁾

The feasibility study of replacing conventional HP- / LP-EGR with Internal EGR / LP-EGR strategy

Jaeheun Kim¹⁾ · Choongsik Bae^{*1)}

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
291 Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea

Abstract : The late intake valve closing (LIVC) strategy was implemented in a single-cylinder research diesel engine to improve the emission characteristics. The retardation of intake valve closing (IVC) timing brought advantages in improving the conventional trade-off relation between NO_x and smoke emission. The LIVC tended to deteriorate the fuel economy due to the reduced effective compression ratio. Therefore, the intake boosting was applied. However, the increase of intake boost pressure yielded the increase of backpressure due to the requirement of high-pressure loop exhaust gas recirculation (HP-EGR). The pumping mean effective pressure (PMEP) increased as the intake boost pressure increased, because the increase rate of backpressure was higher than the increase rate of intake boost pressure when maintaining the intake O₂ concentration constant. An alternative configuration composed of internal EGR and low-pressure loop EGR (LP-EGR) was evaluated to examine its feasibility of replacing the conventional HP- / LP-EGR configuration. The potential advantage of eliminating the HP-EGR was that, the exhaust pressure was no longer required to be higher than the intake pressure to drive the EGR from exhaust to intake manifold. In such way, the negative portion of PMEP was reduced. In addition, the limit of intake boost pressure was no longer restricted by the concern of increasing PMEP. Despite the hot internal EGR gas, the NO_x was able to be maintained at an equal level to that with conventional HP- / LP-EGR configuration. Lower O₂ concentration trapped inside the cylinder effectively decreased the NO_x formation with internal EGR / LP-EGR combination. Further extending the degree of IVC retardation with increased boost pressure above 0.3 MPa showed an effective improvement of trade-off relation between NO_x and smoke emission at an engine load of around 1.1 MPa indicated mean effective pressure (IMEP), when compared with the case of conventional HP- / LP-EGR condition. The IMEP was able to be maintained at an equal level, as far as the IVC retardation and the boost pressure were matched to target an equal effective compression ratio.

Key words : Internal EGR, HP-LP EGR, LIVC (late intake valve closing), O₂ concentration (산소농도), intake boosting (흡기 과급)

Nomenclature

EGR: Exhaust gas recirculation

HP-: High-pressure loop

IMEP: Indicated mean effective pressure

LP-; Low-pressure loop

NO_x: Nitrogen oxides

PMEP: Pumping mean effective pressure

* 발표자 성명, E-mail: type e-mail address.

1. 서론

가변 밸브 시스템이 가솔린 엔진에서는 VVT (Variable valve timing), VVL (Variable valve lift) 등의 기술과 같이 이미 보급화 되어 널리 사용하고 있다. 가변 밸브 기술을 통해 가솔린 엔진에서 부분 부하 운전 영역의 연비를 향상할 수 있고, 전부하 운전 영역에서 충전 효율을 최적화하여 연비 및 엔진의 최대 출력 성능을 향상시킬 수 있기 때문에, 필수 요소 기술로 자리매김하고 있다.

승용 디젤 엔진에서 가변 밸브 시스템이 장착되어 상용화된 사례는 아직 없다. 하지만 강화된 배기 연비 규제에 의해 가변 밸브 시스템을 디젤 엔진에 응용하고자 하는 연구 사례를 많이 찾아 볼 수 있다. 디젤 엔진은 고압축비로 인해 효율이 가솔린 엔진 보다 높지만, 고온 고압의 연소 환경으로 인해 질소산화물 (NOx)와 확산 화염 연소로 인한 매연 (smoke)가 많이 발생한다. 디젤 엔진의 효율 향상 보단 배기 개선을 위해 가변 밸브 시스템의 도입에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다.

2. 본론

단기통으로 개조한 실험용 디젤 엔진을 사용하여 IVC (intake valve closing) timing에 대한 영향을 고찰하였다. 유효 압축비를 동일하게 하기 위해 IVC timing 지각에 따라 흡기 과급 압력을 증가하였으며, 모터링 시의 실린더 최고 압력을 유지하였다.

기존 엔진 EGR (Exhaust gas recirculation) 시스템과 같이 우선 HP-EGR (High pressure loop EGR)에 대한 고찰을 진행하였고, 그에 따른 문제점을 제시하였다. 문제점을 해결할 수 있는 대안으로써 Internal EGR / LP-EGR (Low pressure loop EGR)를 제시하였고 그 가능성 및 타당성에 대한 연구를 수행하였다. 주요 평가 항목으로는 엔진의 출력 성능 지표인 IMEP (Indicated mean effective pressure), 배기 배출물인 NOx와 smoke 중심으로 다루었다.

3. 결론

LIVC 전략을 통해 NOx-smoke trade-off 관계를 개선할 수 있지만, 유효 압축비 감소로 인해 효율

저하가 동반된다. 흡기 과급을 통해 보상할 수 있는데, 기존 EGR 시스템과 같이 HP-EGR를 사용할 경우 배압의 증가속도가 흡기압 증가속도보다 빠르기 때문에 펌핑 손실이 증가하여 흡기과급의 제한이 발생하게 된다. 이를 해결하고자 HP-EGR를 제거하고 Internal EGR / LP-EGR 전략에 대한 가능성 및 타당성을 연구하였다.

- 1) Internal EGR / LP-EGR 전략을 통해 NOx-smoke trade-off 관계를 동등수준으로 유지할 수 있는 것을 확인하였다. Internal EGR의 높은 온도에도 불구하고, 실린더 내부 실제 간히는 산소 농도가 단일 화염 온도 결정에 더 지배적이기 때문에 NOx를 동등 수준으로 유지할 수 있었다.
- 2) IVC timing 지각에 따라 흡기 과급 압력을 증가하여 모터링 시의 실린더 최고 압력을 유지, 즉 유효 압축비를 유지할 경우, 엔진의 성능 저하 없이 효율을 유지하며 NOx-smoke의 상관 관계를 개선할 수 있다.
- 3) HP-EGR를 사용하지 않는 가정과, 배압이 흡기 압력보다 낮게 가져갈 수 있다는 가정이 존재하기 때문에, 터보차저의 뒷받침이 가능할 시, 최대 흡기압 증가의 제약이 없어지게 된다. IVC timing을 더욱 지각하여, 흡기 과급 압력을 0.3 MPa 이상으로 가져갈 경우, 기존의 HP-EGR 시스템 대비 엔진 성능은 유지하되, NOx-smoke를 추가 개선할 수 있는 여지를 관찰할 수 있었다.

References

- 1) J.B. Heywood, Internal combustion engine fundamental, McGrawHill, 1988
- 2) S.L. Plee, T. Ahmad, J.P. Myers, Diesel NOx emissions - A simple correlation technique for intake air effects, 19th Symposium (International) on combustion, pp. 1495-1502, 1982
- 3) Xin He, Russel P. Durrett, Late Intake Valve Closing as an Emissions Control Strategy at Tier 2 Bin 5 Engine-Out NOx Level, SAE 2008-01-0637