

LPG 직분사 엔진에서 시동성 개선을 위한 연료 시스템 및 연료 제어 최적화에 관한 연구

임 종 석^{*1)} · 김 도 완¹⁾ · 박 한 용¹⁾ · 송 진 오²⁾ · 한 정 환²⁾, 육 철 수²⁾, 박 성 민²⁾, 신 용 남³⁾

콘티넨탈 오토모티브 시스템(주)¹⁾·현대기아자동차 연구개발본부²⁾·모토닉 기술연구소³⁾

A Study on Startability Improvement of LPG Direct Injection(LPDI) Engine by Optimization of Fuel System and Control Strategy

Jongsuk Lim^{*1)}·Dowan Kim¹⁾·Hanyong Park¹⁾·Jinoh Song²⁾·Junghwan Han²⁾·Chulsoo Yook²⁾·Seongmin Park²⁾·Yongnam Shin³⁾

^{*1)} Continental Automotive Systems Corporation, 45-29 Saeum-ro, Icheon-si, Gyeonggi-do, 467-080, Korea

²⁾ Hyundai and Kia Corporate R&D Division, 772-1 Jangduk-dong Hawseong-si, Gyeonggi-do, 445-706, Korea

³⁾ Research & Development Center, Motonic Corporation 1195-11 Sindang-dong Dalseo-gu Daegu-si, 704-920, Korea

Abstract : The LPG direct injection (LPDI) engine has showed a good potential in terms of the fuel economy and driving performance compared with LPG port fuel injection engine. Moreover, LPG fuel engine emit lower emissions include particle matter(PM) than gasoline engine due to its atomization characteristic. However, in case of hot soaking condition after engine stop, the fuel temperature and pressure change in closed fuel rail of LPDI engine can cause restart-ability problem called vapor lock phenomenon due to vaporized LPG fuel in fuel rail. In this paper, we focus on improvement of the LPDI engine restart-ability in hot soaking condition via optimization of fuel system and fuel control strategy. As a consequence, the design optimized fuel components include a high pressure pump and a fuel rail shows 80% of improved restart-ability. Furthermore, we confirmed 16% of additional restart-ability improvement with optimized control strategy for fuel injection during engine start.

Key words : LPG(Liquefied Petroleum Gas), LPDI(Liquefied Petroleum Direct Injection, 액화석유가스 직접분사), Startability(시동성), PCD(Partial Cool Down), Vapor Lock Phenomenon(베이프 로크 현상)

1. 서 론

가솔린 연료 대비 무화성능이 좋은 LPG 연료에 고압연료분사 시스템을 채용한 LPDI (Liquefied Petroleum Gas Direct Injection) 엔진은 가솔린 엔진 수준의 성능은 유지함과 동시에 가솔린 연료 대비 낮은 배기 배출물 및 입자상 물질(Particle

Matter) 수준을 보이는 것으로 알려져 있어 관련 연구가 지속적으로 진행 중에 있다.^{1,2)} LPDI 엔진의 경우 고압연료레일 내의 LPG 연료가 액상으로 유지되어야만 인젝터를 통한 안정된 연료 분사가 가능하다. 하지만 엔진이 충분히 Warm up 된 후 엔진을 정지한 Partial Cool Down(PCD) 조건의 경우 고압연료레일 내의 압력과 온도의 거동은 LPG 연료의 기화 가능한 영역을 지나게 되므로 Vapor Lock 현상으로 인해 엔진의 재시동 시 연소불안 및 시동불량을 초래하여 배기 배출물 증가

* 임종석, E-mail : jongsuk.lim@continental-corporation.com

의 원인이 될 것으로 예상 된다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 LPDI 엔진을 위한 고압연료시스템의 설계 최적화 및 고압연료제어의 최적화를 통해 LPDI 엔진 적용 차량의 시동성능 개선효과를 확인하고자 하였다.

2. 본 론

1) 고압연료시스템 최적화

고압연료시스템 중 고압펌프의 경우 가솔린 직분사 엔진용 고압펌프 대비 고압시동 압력증대 응답성 개선을 위한 Orifice return line 적용, 연료증기 순환을 위한 Return line 유로저항 최소화, 고압펌프 내 연료증기 잔존 방지를 위한 댐퍼 위치 변경(내부→외부), 펌프 내부 체적축소, 저압 연료입구부의 위치변경, 고압연료레일 압력변동에 대한 기밀성 증대 등의 설계 최적화가 적용 되었다. 또한 고압연료레일의 경우 고압 연료시스템 내 발생된 연료증기의 순환이 요구되는 LPDI 엔진 특성에 맞게 고압연료레일의 내경 축소, 인젝터 체결부 상부로 Main Hole 위치변경, 연료증기 잔존 가능한 체적의 최소화 등의 설계 개선이 적용되었다.

2) 고압 연료제어 최적화

고압 연료제어 최적화를 위해서는 PCD 이후 재시동 조건에 따른 인젝터 연료분사 허용압력 및 연료 분사량에 대한 최적화를 진행하였다. PCD 재시동 조건에서 인젝터 연료분사 허용압력의 경우 연료증기 발생 시 연료압력 상승지연을 고려하여 30bar에서 12bar로 하향조정 되었으며, 연료 분사량은 연료압력에 따라 최대 35% 상향 조정하여 Vapor Lock에 의한 시동지연을 최소화하였다.

3) 시동 성능 평가

냉각수온 기준 95℃이상 Warm up 된 LPDI 엔진 장착 차량의 Hot Soaking 시 고압연료레일 내부 온도 및 압력 거동의 측정결과를 토대로 프로판 30%, 부탄 70% 기준 LPG 연료의 기화 가능 영역에 머무는 기간 중 PCD 30분 조건에 대한 시동성능 개선 효과를 평가하였다. 초기 PCD 30분 조건의 시동시간은 9.82s로 Vapor Lock 현상에 의해 상당히 긴 시동지연을 보였다. 반면 고압연료시스템에 설계 최적화를 적용한 후 PCD 30분 재시동

시 80%의 시동지연 기간이 단축되었으며, 연료제어 관련 최적화를 통해 추가로 16%의 시동시간을 단축하여 Vapor Lock에 의한 시동지연을 개선할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구에서는 개발된 1.4L T-LPDI 엔진의 시동성능개선을 위한 고압연료시스템 및 연료제어전략과 관련하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 고압연료시스템 중 시동 시 연료압력 증대 응답성 개선 및 연료증기 순환을 위한 고압펌프의 설계 개선과 연료레일 내부 연료증기 발생 및 잔존을 방지하기 위한 최적설계 적용을 통하여 PCD 30분 후 재시동 시 Vapor Lock에 의해 지연 되는 시간을 80% 단축하였다.

2) 고압연료제어 전략으로는 PCD 시동 조건에 따라서 인젝터 연료분사 허용압력 및 연료압력에 대한 연료분사량의 최적화를 통해 추가로 약 16%의 시동지연을 개선하였다.

결론적으로 LPDI 엔진의 시동성능개선과 관련하여 고압연료시스템 및 고압연료제어 전략의 최적화를 통해 PCD 30분 재시동 조건에서의 Vapor Lock에 의한 시동지연을 96% 개선하여 0.4s의 정상시동 결과를 얻을 수 있었다.

References

- 1) C. L. Myung, H. Lee, K. Choi, Y. J. Lee and S. Park, "Effects of Gasoline, Diesel, LPG and Low-carbon Fuels and various Certification Modes on Nanoparticle Emission Characteristics in Light-Duty Vehicle", Int. J. Automotive Technology, Vol. 10, No. 5, p.537-544, 2009.
- 2) Y. Kim, Y. Kim, J. Kang, S. Jun, S. R., "An Investigation about Particle Emission Characteristics of a Direct Injection Engine using Different Fuels", KSAE Annual Conference Proceeding, pp.456-456, 2012.
- 3) I. Hwang, Y. Choi, J. Jeon, Y. Song, D. Lee, "A study on the vapor lock phenomenon in LPG direct injection system", KSAE 2014 Annual Conference.