

2단연소방식이 디젤엔진의 연소성능 및 배출물 특성에 미치는 영향

정 규 수¹⁾ · 이 동 곤¹⁾ · 연 인 모¹⁾ · 노 현 구²⁾ · 박 성 욱³⁾ · 이 창 식^{*3)}

한양대학교 대학원¹⁾ · 인덕대학 기계자동차과²⁾ · 한양대학교 기계공학부^{*3)}

Effect of Two-stage Combustion Strategy on Combustion Performance and Emission Characteristics in a Diesel Engine

Kyusoo Jeong¹⁾ · Donggon Lee¹⁾ · In Mo Youn¹⁾ · Hyun Gu Roh²⁾ · Sungwook Park³⁾ · Chang Sik Lee^{*3)}

¹⁾Graduate School, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²⁾Department of Mechanical & Automotive Engineering, Induk University, Seoul 139-749, Korea

^{*3)}Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

Abstract : The purpose of this study was to analyze the effect of two-stage injection on combustion performance and NO_x reduction characteristics in a four cylinder diesel engine. The experiment was carried out under various first injection quantity and EGR rate at constant engine speed, load condition. In addition, the combustion and emission results were compared with the case of applied single injection timing at TDC. The experimental results show that NO_x emissions of two-stage combustion strategy were clearly reduced, however, fuel consumption was slightly increased compared with single fuel injection. Also, soot emissions showed similar trends except of the 20% EGR rate.

Key words : Two-stage combustion strategy (2 단 분사 전략), Homogenous Charge Compression Ignition (균일 예혼합 연소), Injection strategy (분사 전략), NO_x emissions (질소산화물)

1. 서 론

디젤 엔진은 압축행정 말기에 연료를 연소실 내부에 직접 분사하여 고압축비로 압축착화하기 때문에 높은 열효율과 양호한 연료 소비 및 우수한 성능을 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 실린더 내부의 공기-연료 혼합이 불균일하게 혼합되어 국부적인 영역에서 입자상 물질(Particulate Matter, P.M.)이 발생하고 이론 공연비 영역에서는 질소 산화물(NO_x)이 발생하는 문제점을 내포하고 있다.¹⁾

균일 예혼합 연소와 부분 예혼합 연소 같은 연소 기술들은 연료를 압축행정 초·중기에 연소실 내부로 분사하여 연료-공기 혼합기가 예혼합된 상태에서 착화시 연소실 전체에서 균일 예혼합 연소가 발

생함에 따라 NO_x와 PM 배출물은 동시에 저감시킬 수 있는 특징이 있다. 그러나 약점으로 탄화수소(HC)와 일산화탄소(CO)가 많이 배출되고, 착화제어가 어려운 문제점이 발생하기도 한다.^{2,4)} 이러한 이유로 많은 연구진들은 HCCI와 PCCI 연소기술의 단점을 해결하고자 흡기온도, 압축비, 분사전략 등 다양한 변수를 제어하여 연구를 수행하고 있으며 Kimura⁵⁾외에 연구진들은 컴퓨터 프로그램을 이용한 수치적 해석과 단기통 압축착화 기관에서 새로운 분사 전략을 통한 신 연소기술 개발에 관한 연구를 수행하였다.^{6,7)}

2단 연소는 2개 연소모드를 결합한 형태로 첫 번째 연소모드는 HCCI 연소의 개념을 적용한 것으로, 조기분사를 통하여 연소실 내에 연료-공기를 예혼합하여 착화 시 PM 생성을 줄이고 산소를 소모하는

* Corresponding Author, E-mail: cslee@hanyang.ac.kr

역할을 수행한다. 두 번째 연소모드는 HCCI 연소를 통해 연소실 내 고온의 저 산소농도 상태에서, 두 번째 연료를 TDC 근처에 분사함으로써 확산 연소를 통해 NO_x 의 생성을 줄인다. 또한, 추가적인 EGR을 적용하거나 저온 연소 반응을 유도하여 NO_x 배출량을 저감하도록 한다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 4기통 커먼레일 디젤엔진에서 2단 분사 전략을 적용하여 2단 연소전략이 연소 및 배기특성에 어떻게 영향을 미치는 지 실험적으로 규명하고, 분석하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

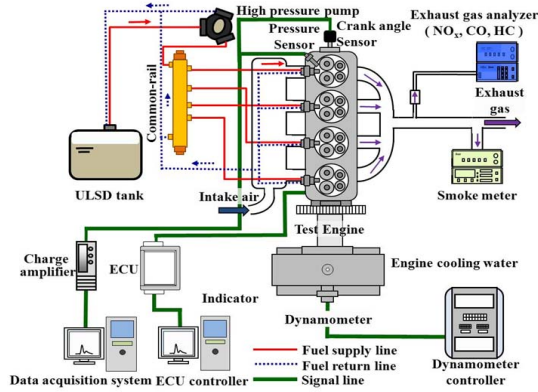


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

본 연구에서는 2단 연소전략을 적용하였을 때, 배기특성을 분석하고자 다음 Fig. 1과 같이 실험 장치를 구성하였다. 실험 장치는 직접 분사식 커먼레일 디젤엔진과 연료 공급 장치, 엔진의 부하를 제어하는 EC 동력계, 엔진 제어장치, 데이터 취득 장치 및 배기가스 분석 장치로 구성하였다.

엔진 제어 장치로 INCA V5.4 프로그램과 ECU를 사용하였다. 그리고 엔진의 연소 특성을 분석하기 위해 예열 플러그식 압력 센서와 크랭크 각 센서를 장착하여 DAQ보드와 데이터 취득 프로그램을 사용하여 데이터를 취득하였다. 한편, 엔진에서 배출되는 배기가스를 분석하기 위해 배기가스 분석장치(Horiba, MEXA-554JK)와 매연 측정기(AVL, Smoke meter 415s)를 이용하여 측정하였고 EGR율을 적용하기 위해 흡기 통로에는 열막식 공기유량 센서를, 흡기

와 배기매니폴드사이에는 EGR 밸브를 설치하였다.

본 실험에서는 엔진회전속도를 1,500rpm, 부하 조건은 50Nm로 동일하게 유지한 상태에서 2단 분사시기를 각각 첫 번째 분사시기로 BTDC 50°, 두 번째 분사시기를 ATDC 5°에 고정하였다. 그리고 첫 번째 분사량은 2mg간격으로 증가시켜 첫 번째 분사량이 배기 배출물에 어떤 영향을 미치는 지 살펴보고 동등 조건에서 20%의 EGR율을 적용하여 저용량 EGR 효과에 대한 실험도 수행하였다. 또한, 2단 연소 전략의 결과를 비교 분석하기 위해 분사시기가 TDC인 단 분사 실험을 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 2단 연소 전략의 배기 특성

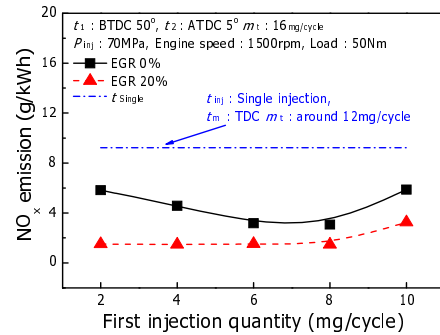


Fig. 2 Effect of two-stage combustion strategy on NO_x emissions

Fig. 2는 2단 연소전략에 따른 배기특성으로 첫 번째 분사량에 따른 NO_x 배출을 나타낸 그래프이다. NO_x 배출 특성은 첫 번째 분사시기에서 분사량이 증가할수록 NO_x 배출량은 점차 감소하다 후반부에서 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한, 단 분사를 적용하였을 때의 NO_x 배출량과 비교하여 최대 약 56% 감소하였다. 이는 빠른 분사시기에 따른 2단 연소로 인하여 연소실에서의 저온 연소 반응과 함께 연소실 내 산소 농도를 감소시켜줌으로써 NO_x 배출 저감에 중요한 인자로 작용하고 있는 것으로 판단된다.⁹⁾ 그러나 분사량이 10mg/cycle에서 NO_x 배출은 다시 증가하였고, 20%의 EGR율을 적용한 경우, 후반부까지 비슷한 경향으로 NO_x 가 배출하다

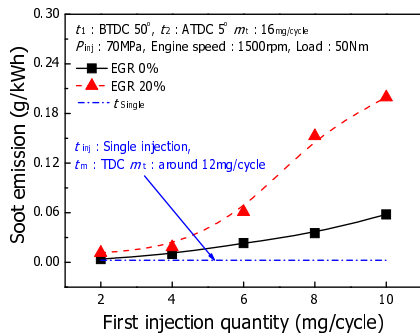


Fig. 3 Effect of two-stage combustion on Soot emissions

10mg/cycle부터 증가하는 것으로 나타내어졌다.

Fig. 3은 Soot 배출특성을 나타낸 그래프로 첫 번째 분사량을 2mg씩 증가할수록 Soot 배출량도 점차 증가하나 증가한 양은 미미한 수준으로 단 분사를 실시한 결과와 비교했을 때에도 배출량은 확연히 차이가 없는 것으로 나타내었다. 그러나 20%의 EGR율을 적용하였을 경우 Soot 배출 결과는 분사량을 증가할수록 EGR을 적용하지 않았을 경우와 비교하여 배출량은 많은 차이가 나타나는 것을 볼 수 있다. 특히 분사량이 6mg/cycle이후에 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있으며 이는 연소실내 적은 산소 농도와 EGR율에 의한 불활성 기체가 다시 연소실 내로 유입되어 농후한 혼합기 형성에 기인하여 EGR율을 적용하지 않은 결과에 비하여 많이 배출된 것으로 판단되어진다.

4. 결 론

NO_x 배출 특성은 2단 연소 전략에서 첫 번째 분사가 NO_x 저감에 중요한 인자로 작용하고 있다는 것을 알 수 있었다. 그러나 분사량이 많은 경우에는 NO_x 배출이 다시 증가하였고 20%의 EGR율을 적용시킨 경우에는 후반부까지 거의 비슷한 경향을 나타내었다. Soot 배출특성은 첫 번째 분사량이 2mg씩 증가할수록 Soot 배출량도 점차 증가하였으나 증가한 양은 미미한 수준으로 단 분사를 실시한 결과와 비교했을 때 배출량은 확연히 차이가 없는 것으로 나타내었다. 그러나 20%의 EGR율을 적용하였을 경우 Soot 배출 결과는 EGR을 적용하지 않은 경우와 비

교하여 배출량은 많이 차이 나는 것을 볼 수 있었다.

후 기

본 연구는 환경부 Eco-STAR project(무·저공해 자동차 사업단), 2단계 두뇌한국 21사업의 지원으로 진행되었으며 연구를 지원하여 주신 기관에 감사드립니다.

References

- 1) S. H. Park, H. J. Kim, S. H. Kim, C. S. Lee, "Effect of high-pressure multiple injection on spray-atomization characteristics of biodiesel fuel", KSAE spring Conference proceeding, pp. 446~452, 2009.
- 2) S. Kook, C. Park, C. Bae, "The Effect of Two-Stage Diesel Fuel Injection on combustion and exhaust gas characteristics in a Single-Cylinder HCCI Engine equipped with Common-rail Injection System", KSAE spring Conference proceeding, pp. 404~409, 2003.
- 3) S. Tanaka, F. Ayala, J. C. Keck, J. B. Heywood, "Two-stage ignition in HCCI combustion and HCCI control by fuels and additives", Combustion and Flame, Vol. 132, pp. 219-239, 2008.
- 4) T. W. Ryan III and T. J. Callahan, "Homogeneous Charge Compression Ignition of Diesel Fuel", SAE technical paper, No. 961160, 1996.
- 5) S. Kimura, O. Aoki, Y. Kitahara and E. Aiyoshizawa, "Ultra-Clean Combustion Technology Combining a Low-Temperature and Premixed Combustion Concept for Meeting Future Emission Standards", SAE technical paper, No. 2001-01-0200, 2001.
- 6) H. Yokota, Y. Kudo, H. Nakegawa and T. Suzuki, "A New concept for Low Emission Diesel Combustion", SAE technical paper, No. 970891, 1997.
- 7) Y. Sun and R. D. Reitz, "Adaptive Injection Strategies (AIS) for Ultra-Low Emissions Diesel Engines", SAE technical paper, No. 2008-01-0058, 2008.
- 8) Y. Sun and R. D. Reitz, "Modeling Diesel Engine NO_x and Soot Reduction with Optimized Two-Stage Combustion", SAE technical paper, No. 2006-01-0027, 2006.
- 9) R. Hasegawa, H. Yanagihara, "HCCI Combustion in DI Diesel Engine", SAE technical paper, No. 2003-01-0745, 2003.