

프로판-디젤 혼소 시 디젤 분사전략 및 프로판 비율 변화에 따른 연소기간 및 배기 특성 분석

이정우 · 주상현 · 민경덕[†]

Investigation into the combustion duration and emissions characteristics of propane-diesel dual-fueled combustion as varying diesel injection strategy and propane premixed ratio

Jeongwoo Lee, Sanghyun Chu, Kyoungdoug Min[†]

Key Words : 디젤 연료, 프로판 가스, 혼합연소(dual fuel combustion), 예혼합 압축착화 연소(PCCI, Premixed Charge Compression Ignition), 연소기간

일반적인 디젤 연소에서 확산화염 (diffusive flame)에 의해 발생하는 PM(particulate Matters, 입자상 물질)의 저감을 위해 가스 연료인 프로판을 흡기포트에 공급하여 예혼합율(premixed ratio)를 향상하였다. 그러나 반응성이 낮은 프로판 연료를 공급할수록 연소상이 지각되어, 팽창과정 중 연소가 발생하므로 이에 따른 연소효율의 저하 및 미연소 물질 배출 증대를 초래할 수 있다.[1] 따라서 프로판의 예혼합 비율을 증대시키는 데에 한계가 있다.뿐만 아니라 연소효율의 향상을 위해서 디젤 분사시기 및 EGR(exhaust gas recirculation, 배기재순환)율의 조정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 0.5 L 고속 직분사식 단기통 디젤 엔진을 이용하여 프로판-디젤 혼합연소를 구현하였다.

실험 장치에 관한 개략도는 Fig.1에 그리고 사용된 엔진의 제원은 Table 1에 설명되어 있다. CO₂(carbon dioxides, 이산화탄소), CO(carbon monoxide, 일산화탄소), THC(Total hydrocarbon, 미연탄화수소), NO_x(Nitrogen oxides, 질소산화물) 등의 배기물질 분석을 위해 배기분석기(HORIBA 7100DEGR)이 사용되었고, PM 측정에는 스모크 미터(Smoke meter, AVL415S)가 사용되었다. 프로판 가스는 흡기포트에 자연흡기방식으로 공급되었으며, 프로판 전용 유량계(TSM-230)를 이용하여 연료량 측정 및 제어를 하였다.

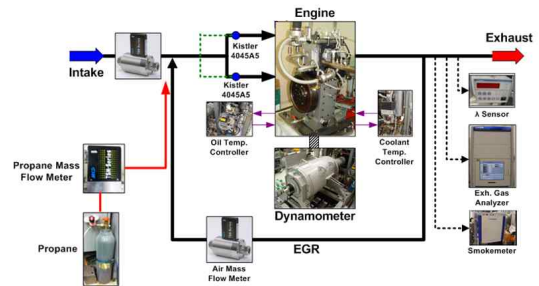


Fig. 1 Schematic diagram of single cylinder engine experimental setup

Table 1 Engine specifications

Engine Type	Single cylinder diesel engine
Displacement [L]	0.499
Bore x Stroke [mm]	86 x 92
Compression Ratio	15.5
Fuel Injection System	Bosch Piezo (Pmax=1,600 bar)

본 실험은 1500 rpm/IMEP(indicated mean effective pressure) 5.5 bar 조건에서 수행되었으며, 프로판 공급 비율은 공급되는 연료의 전체 발열량 대비 30~50 % 로 변경하였다. 이에 따라 각 프로판 비율에서 안정적인 연소가 가능하도록 디젤 분사 전략을 조절하였다. NO_x 배출량은 모든 경우에서 50 ppm 이하(EURO 5 기준 일반 디젤 연소 시 배출 수준), PM 배출량은 0.2 FSN(filtered smoke number) 이하로 유지될 수

서울대학교 기계항공공학부

[†] 연락저자, kadmin@snu.ac.kr

TEL : (02)880-1661 FAX : (02)874-2001

있도록 EGR을 역시 조절되었다.

Table 2 Experimental results [2, 3]

Propane ratio [%]	30	30	50	50
EGR rate [%]	35	35	30	30
Diesel injection timing [BTDC CA]	5	31	5	27
CoV_IME P [%]	4.82	3.11	5.05	5.18
CO [ppm]	3793	2487	2115	2556
THC [ppmC1]	8750	3233	5969	7106
Combustion duration [deg]	35.17	27.22	29.52	24.44

Table 2는 프로판 비율 별 분사시기를 조절하였을 경우, CO, THC 배기 결과 및 연소기간을 나타낸 표이다. 모든 혼합연소의 경우 일반 디젤 연소 시 CO, THC (1300 ppm/500 ppmC1)보다 연소 효율이 저하되는 현상을 보였다. 이는 틸세 체적(crevice volume)으로 들어간 프로판 연료들에 의해 연소 효율이 저하되었기 때문으로 파악된다.[4, 5] 또한 프로판 비율이 70 %인 경우에는 디젤 단발 분사 시, 분사 시기를 조정하여도 불완전 연소가 심하게 발생하였다. 이는 반응성이 낮은 프로판 비율의 증가로 인해 압축착화에 필요한 국부적인 당량비를 맞추지 못하였기 때문인 것으로 파악된다.[6]

결과적으로 프로판 비율이 상대적으로 높아지는 경우 EGR율을 낮추고, 디젤 분사시기를 전각하는 운전 조건이 연소 기간을 최대 24 deg까지 줄일 수 있음을 확인 할 수 있었다. (이 때에 연소기간은 MFB(mass fraction burnt)5-90%로 계산하였다.)이는 디젤연료만 사용한, 해당 운전조건인 일반 디젤연소 기간인 27 deg보다 짧은 것

으로 연소 효율은 저하되었지만 빠른 연소 (Fast burn) 효과로 인해 연소 엑서지(Exergy of combustion)의 파괴(deterioration) 현상을 최소화할 수 있음을 유추할 수 있다.[7] 따라서 이른 시기에 디젤 연료를 분사함에 따라 손실되는 연소 에너지를 줄일 수 있는 가능성을 확보할 수 있다.

후 기

본 연구는 서울대학교 정밀기계연구소(IAMD)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사를 표합니다.

참고 문헌

- [1] Kokjohn, S., and Reitz, R., "Characterization of Dual-Fuel PCCI Combustion in a Light-Duty Engine", Proceedings of the International Multi-Dimensional Engine Modeling User's Group Meeting. 2010.
- [2] Lee, J., Choi, S., Kim, H., Kim, D., Choi, H., and Min, K., "REDUCTION OF EMISSIONS WITH PROPANE ADDITION TO A DIESEL ENGINE", Int. J. Automotive Technology, Vol. 14, 2013, pp. 551-8, doi: 10.1007/s12239-013-0059-2.
- [3] Lee, J., Chu, S., Cha, J., Choi, H., Min, K., "An Investigation into the Operating Strategy for Combustion Optimization of Dual-fuel PCCI Combustion with a Heavy EGR rate in a Diesel Engine", SAE technical paper 15PFL-0603, 2014. (Submitted)
- [4] Curran, S., Prikhodko, V., Cho, K., Sluder, C., "In-Cylinder Fuel Blending of Gasoline/Diesel for Improved Efficiency and Lowest Possible Emissions on a Multi-Cylinder Light-Duty Diesel Engine," SAE Technical Paper 2010-01-2206, 2010, doi: 10.4271/2010-01-2206.
- [5] Curran, S., et al., "Drive Cycle Efficiency and Emissions Estimates for Reactivity Controlled Compression Ignition in a Multi-Cylinder Light-Duty Diesel Engine", Proceedings of the 2011 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference, Morgantown, West Virginia USA, October 2-5, 2011. ICEF 2011-60227.
- [6] Inagaki, K., Fuyuto, T., Nishikawa, K., Nakakita, K. et al., "Dual-Fuel PCI Combustion Controlled by In-Cylinder Stratification of Ignitability," SAE Technical Paper 2006-01-0028, 2006, doi: 10.4271/2006-01-0028.
- [7] Teh, K., Miller, S., and Edwards, C., "Thermodynamic requirements for maximum internal combustion engine cycle efficiency. Part 1: optimal combustion strategy", Int. J. Engine Res., Vol. 9, 2008, pp.449-65, doi: 10.1243/14680874JER01508.