

디젤기관에 분사되는 가솔린연료의 압축착화성 향상

최윤종¹, 이준성^{2*}

¹(주)청한이티엔, ²경기대학교 기계시스템공학과

Improvement of Compression Ignition for Gasoline Fuel Injected in the Diesel Engine

Yoon-Jong Choi¹ and Joon-Seong Lee^{2*}

¹Chong Han Electric Total Network

²Dept of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

요약 본 논문은 기존의 스파크 점화 방식이 아닌 bulk combustion 방식을 도입하여 별도의 점화장치 없이 상용 단기통 디젤기관에 유입되는 흡입공기를 가열 및 제어하여 흡기관에 분사되는 가솔린연료의 압축착화성을 향상시킴으로서 기관작동을 가능하게 하였다. 제동열효율의 최대값은 공기-연료비가 35부근에서 나타나며, 35이상의 영역에서는 급격히 감소하고 흡입공기 가열온도가 올라갈수록 제동열효율은 증가한다. 따라서 공기-연료비를 감소시키면서 흡입공기의 가열온도를 상승시키는 방식이 열효율 측면에서 효과적이라는 것을 알 수 있다.

Abstract In this study, it made to run conventional single direct injection(DI) diesel engine, which adapted bulk combustion system not following spark ignition system without any ignition apparatus. It was heated and controlled inlet-air into conventional single DI diesel engine. The maximum value of brake thermal efficiency was at 35 region of air-fuel ratio. On the contrary, when the region of air-fuel ratio leaner than 35, brake thermal efficiency was decreased suddenly. And brake thermal efficiency was increased as much as inlet-air heating temperature increased. So, when air-fuel ratio was decreased and inlet-air heating temperature was higher, the engine was in optimal operation condition.

Key Words : Diesel Engine, Gasoline Fuel, Compression Ignition

1. 서론

세계적으로 환경오염문제의 심각성과 점차 강화되는 배기가스 규제에 의하여 초 저배기 배출 및 연료경제성을 가진 저연비 자동차기관 출현에 대한 사회적인 요구가 점차 강해지고 있다. 특히 배기가스 배출물 저감 및 기관 성능 향상 측면에서 새로운 점화방식에 의한 여러 가지 시도로 배기성능 향상을 이루고자 많은 연구가 진행되고 있다[1-3]. 또한 CO₂규제가 적용되면서 연료경제성이 우수한 경유 자동차에 대한 관심이 급속하게 커지고 있으며 급속한 시장 팽창이 이루어지고 있다. 하지만 디젤엔진은 질소산화물과 입자상 물질이 가솔린엔진에 비해 다량 발생하는 특성이 있다[4].

가솔린기관의 배기 배출물 저감과 초 저연비 실현을 위하여 스파크 점화 방식 대신에 bulk combustion 개념의 압축점화 연소방식에 대한 연구들이 진행되고 있다 [5-11].

Bulk combustion은 기존의 가솔린기관 연소형태나 디젤기관 연소와는 다른 새로운 개념의 연소방식으로서 균일한 공기-연료 혼합기가 연소실 전체에 퍼져 압축과정 말에 연소실 전체적으로 다점적 동시자발화로 인해 연소되는 방식이며 "HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition)[5]", "PCCI(Premixed Charge Combustion Ignition) [6]", "ATAC(Active Thermo Atmosphere Combustion) [8]", "AIC(Auto-Ignition Compression)[9]" 등 여러 이름으로 연구되어져 왔다.

*교신저자 : 이준성(jslee1@kyonggi.ac.kr)

접수일 10년 10월 25일

수정일 (1차 10년 12월 02일, 2차 10년 12월 16일)

게재확정일 11년 01월 13일

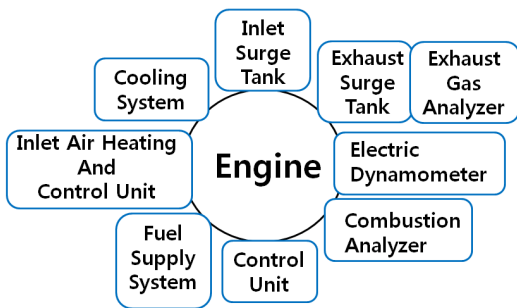
본 연구는 기존의 스파크 점화방식이나 압축착화방식이 아닌 bulk combustion 방식을 도입하여, 별도의 점화장치 없이 상용 단기통 디젤기관에 유입되는 흡입공기를 가열 및 제어하여 흡기포트에 분사되는 가솔린연료의 압축착화성을 향상시킴으로서 기관 작동을 가능하게 하였다. 또한, 기관회전수, 공기연료비, 흡기 가열온도 등의 변화에 따라 디젤기관에 분사되는 가솔린연료의 압축착화성 향상을 검증하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

그림 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로서 실험기관, 흡배기장치, 흡입공기 가열 및 제어장치, 냉각장치, 전기동력계(electric dynamometer), 연료공급장치, 연소해석장치, 제어장치로 구성되며, 각 부분의 압력과 온도를 측정할 수 있도록 구성되어 있다.

본 실험에 사용된 기관은 4사이클 수평형 단기통 수냉식 직접분사 디젤기관(대동엔진, ND-80)에 흡기가열장치 및 인젝터를 설치하여 가솔린 압축착화 기관으로 개조한 것이며 표 1에 기관의 제원을 나타내었다.



[그림 1] 실험장치 개략도

기관에 공급되는 공기량은 흡입유도관에 오리피스 유량계를 설치하여 오리피스 전 후의 압력차로서 측정하였으며, 가솔린은 포트 분사식으로 로터리 엔코더의 각도 신호를 기준으로 매 사이클마다 일정한 크랭크 각도에서 분사가 시작되도록 하였으며 분사시작 크랭크 각도로부터 0.1 ms 간격으로 지정된 기간 동안 연료가 분사되도록 하여 연료량을 조절하였다.

또한 흡기포트 가열에 따른 연료 인젝터의 과열을 방지하기 위해 얇은 구리관을 이용한 수냉식으로 인젝터를 냉각시켰다. 그리고 공기 연료비는 오리피스 유량계를 사용해 측정된 공기와 메스실린더로 측정된 연료의 중량비

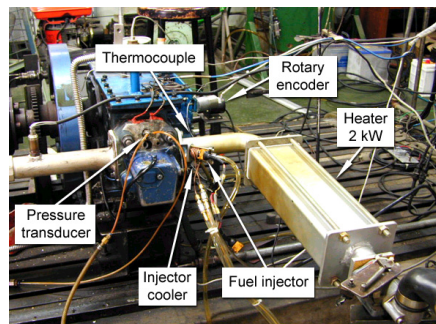
로서 산출하였다.

흡입공기 가열 및 제어장치는 1 kW 용량의 니크롬선을 세라믹 보빈(bobbin)에 감아 2개를 병렬로 설치한 흡기 가열장치, 2 kW 전압조절기, 온도를 검출하는 열전대(K-type), 가열온도를 실시간으로 표시하는 디스플레이로 구성하였으며, 1 ℃ 단위로 조절 가능하도록 하였다. 이와 같이 구성한 흡기 가열장치의 기초실험을 수행한 결과 혼합기 온도를 1800 rpm에서 250 ℃까지 높일 수 있음을 확인하였다.

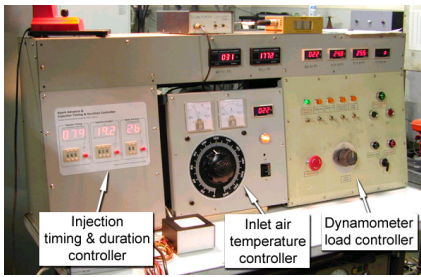
[표 1] 실험 엔진의 제원

Number of cylinder	1
Bore × Stroke	92 × 95 mm
Displacement volume	631 cm ³
Cooling system	Water cooling
Combustion chamber	Toroidal type
Compression ratio	18
Injection timing	60°BTDC
Fuel	Gasoline
Fuel injection	Inlet port
Injection pressure	3 kgf/cm ²

본 실험에 사용한 압력센서는 Piezo-electric (Kistler C6 Type 601A)압력센서를 사용하였으며, 전압을 증폭시키기 위해서 증폭기(Kistler Co. Type 5011)를 사용하였다. 이렇게 얻은 압력신호는 연소해석장치(Onosokki Co. Type CB-366)를 사용하여 해석하였으며 본 연구에 사용한 실험기관 및 실험기관 제어장치를 그림 2와 3에 각각 나타내었다.



[그림 2] 실험장치



[그림 3] 실험 제어장치

2.2 실험방법

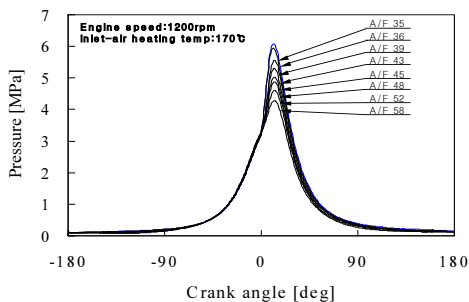
실험은 압축비 18, 가솔린 분사시기는 BTDC 60°, 냉각수 출구온도 75±5 °C로 유지하면서 기관회전수(1000 rpm, 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm)와 흡입 공기 가열온도(150°C, 160°C, 170°C, 180°C) 및 공기연료비를 노킹발생 전부터 기관회전수 정상 작동 범위까지 변화시키며 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 지압선도와 최고연소압력

대표적으로 기관회전수 1200 rpm, 흡입공기 가열온도가 170 °C일 경우의 실린더 내의 압력경과 곡선을 그림 4에 나타내었다. 제시된 선도에서 보는 바와 같이 실린더 내로 공급되는 가솔린 공기연료비가 감소할수록 실린더 내의 압력은 점차적으로 상승하며 최고압력 발생시기가 조금씩 진각되는 것을 알 수 있다.

가솔린 공기연료비가 높아질수록 실린더 내의 압력은 높아지지만, 가솔린 공기연료비가 35 이하에서는 모든 기관회전수에서 연료가 자발화되어 노킹이 발생하기 때문에 각 조건에서 공기연료비가 농후한 영역에서 35까지로 제한되어졌다.



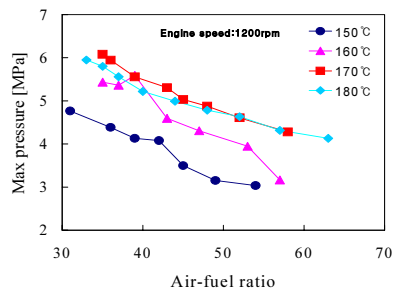
[그림 4] 지압선도

또한 공기연료비가 65 이상으로 공급된 경우에는 너무 희박하여 기관회전수가 불안정하기 때문에 더 이상의 실험이 불가능하므로 공기연료비를 65까지 제한하였다.

그림 5는 기관회전수 1200 rpm, 흡입공기 가열온도를 150 °C부터 180 °C까지 10 °C씩 네 단계로 변화시켰을 경우 공기연료비 변화에 대한 최고연소압력을 나타낸 것이다.

실린더 내의 최고압력은 그림에서 보여주듯이 공기-연료비가 감소할수록 높아지는 경향을 나타내고 있다. 흡입공기 가열온도의 변화에 대한 최고연소압력의 변화는 가열온도가 170 °C와 180 °C일 때의 차이는 거의 없지만 가열온도가 150 °C에서 160 °C로 증가시킬 때에는 최고연소압력의 증가폭의 차이가 상당히 크다는 것을 알 수 있다.

또한 일정기관회전수일 때 최고연소압력을 나타내는 흡입공기 가열온도는 서로 상이한 것으로 보아 흡입공기 가열온도의 변화가 실린더 내의 연소압력에 상당한 영향을 미치고 있는 것으로 사료된다.



[그림 5] 최고연소압력

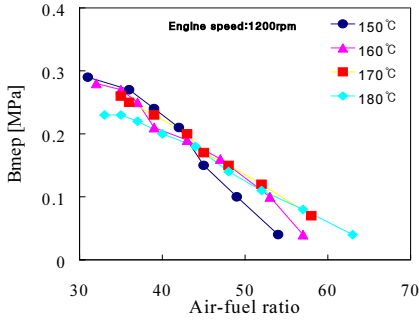
3.2 제동평균유효압력

그림 6은 기관회전수 1200 rpm인 경우 흡입공기 가열온도를 150 °C부터 180 °C까지 10 °C단위로 높여가며 가솔린 공기연료비를 변화시켰을 경우의 제동평균유효압력의 변화를 나타내었다.

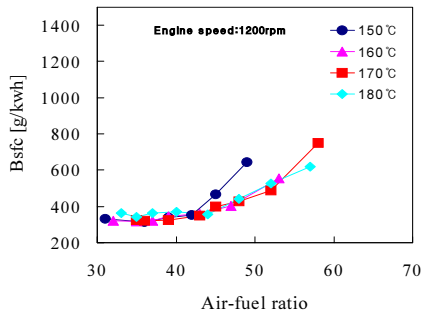
제동평균유효압력의 변화는 전반적으로 공기-연료비가 농후해질수록 점차적으로 증가한다. 흡입공기 가열온도의 변화에 따른 경우에는 제동평균유효압력의 변동폭의 큰 차이가 거의 없는 것으로 나타났다. 따라서 본 실험범위 내에서 제동평균유효압력은 기관으로 공급되는 연료량에 따라 달라지며 흡입공기 가열온도의 변화에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림 7은 기관회전수 1200 rpm이고 흡입공기 가열온도를 150 °C부터 180 °C까지 변화시켰을 경우 공기-연료비의 변화에 따른 제동연료소비율의 특성을 나타내고 있다.

제동연료소비율은 공기-연료비가 증가할수록 조금씩 상승하지만 45이상에서는 제동연료소비율의 상승폭이 급격히 증가하고 있다. 또한, 흡입공기 가열온도의 변화에 대해서는 가열온도 변화에 대한 제동연료소비율의 변화는 그다지 크지 않음을 알 수 있었다.



[그림 6] 제동평균유효압력

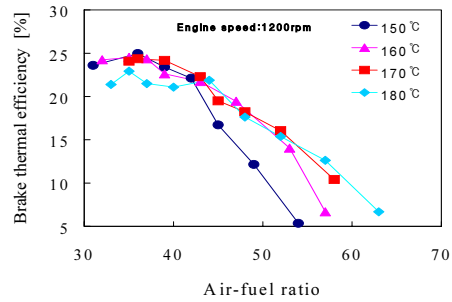


[그림 7] 제동연료소비율

3.3 제동열효율

그림 8은 기관회전수 1200 rpm 시에 흡입공기 가열온도를 150 °C부터 180 °C까지 변화시켰을 경우 가솔린 공기-연료비를 변화에 따른 제동열효율의 특성을 나타내고 있다.

제동열효율은 공기연료비가 감소할수록 증가하고 공기-연료비가 35부근에서 대체로 제동열효율의 최고값을 나타내고 있다. 공기-연료비가 35 이상의 희박영역에서는 다시 제동열효율이 저하되지만 흡입공기 가열온도가 상승할수록 대체적으로 증가한다. 반면에 공기-연료비가 35 이하에서는 기관 내로 흡입되는 공기의 가열온도가 상승하게 되면 오히려 효율은 떨어지고 있다.



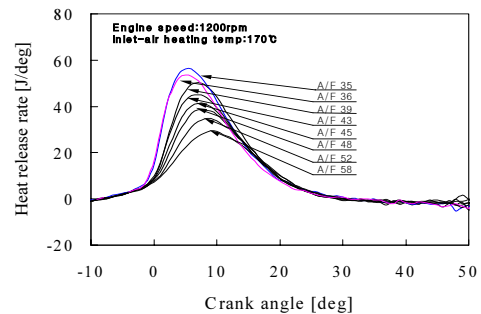
[그림 8] 제동열효율

3.4 열발생율과 질량연소율

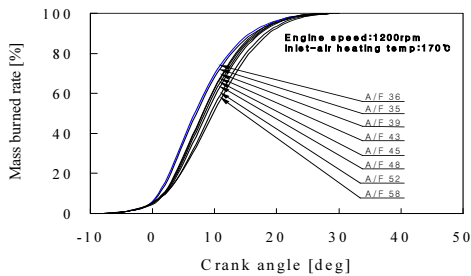
그림 9는 기관회전수가 1200 rpm에서 흡입공기 가열온도가 170 °C일 때 가솔린 공기연료비를 변화시켰을 경우의 실린더 내의 열발생율을 나타낸 것이다.

제시된 선도에서 알 수 있듯이 공기연료비가 감소할수록 열발생율이 점진적으로 증가한다. 또한 열발생율의 최고값이 점차적으로 진각되고 있음을 알 수 있다.

그림 10은 기관회전수가 1200 rpm에서 흡입공기 가열온도가 170 °C일 때 가솔린 공기연료비를 변화시켰을 경우의 실린더 내의 질량연소율을 나타낸 것이다. 제시된 선도에서 보는 바와 같이 기관 내의 연소기간은 공기연료비가 감소할수록 단축되는 경향을 보이며 전술한 바와 같이 열발생율에서 공기연료비가 감소할수록 열발생율의 최고값이 진각되므로 실린더로 공급되는 연료가 농후할수록 기관 내의 연소기간이 단축되며 더불어 빠른 연소가 이루어지고 있음을 알 수 있다.



[그림 9] 열발생율



[그림 10] 질량연소율

4. 결론

상용 단기통 디젤기관에 별도의 점화장치 없이 기관에 유입되는 흡입공기를 가열 및 제어할 수 있는 시스템을 설치하고, 흡기관에 분사되는 가솔린 연료의 압축착화성을 향상시켜 압축점화 성능 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 일반적으로 기관 내로 공급되는 연료가 농후할수록 실린더 내의 연소압력은 증가한다. 또한 흡입공기 가열온도를 상승시킬수록 최고연소압력은 증가하고, 가열온도가 상승할수록 변동폭의 차이가 작아지고 있다.

2) 제동평균유효압력은 공기-연료비가 감소할수록 증가하는 경향을 보이며 흡입공기 가열온도의 변화에 대해서 변동폭의 차이가 거의 없는 것으로 보아 본 실험범위 내에서 흡입공기 가열온도의 변화가 제동평균유효압력 변화에 거의 영향을 미치지 않았다.

3) 열발생율과 질량연소율 곡선으로부터 알 수 있는 것은 공기-연료비가 연소에 큰 영향을 미치고 있으며, 공기-연료비가 감소할수록 열발생율과 질량연소율이 점차적으로 진각되므로 빠른 연소가 이루어진다.

4) 공기-연료비가 45이상에서는 제동연료소비율이 급격하게 상승한다. 또한 흡입공기 가열온도가 올라갈수록 확연하게 감소하는 경향을 보인다. 따라서 공기-연료비가 감소하는 경우에는 흡입공기 가열온도에 영향을 거의 받지 않지만 공기-연료비가 증가할수록 기관을 운전하는데 흡입공기 가열온도가 상당히 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

5) 기관으로 유입되는 흡입공기를 높은 온도로 가열시켜 압축점화시키는 연소방식으로 기존 기관에서의 희박한 영역에서의 연소가 불가능한 공기-연료비의 한계를 훨씬 폭넓게 확장시켜 기관의 정상작동을 가능하게 하였다.

참고문헌

- [1] Kim, D.S., "A Study of Lean Combustion and Exhaust Emission Characteristics in a SI Engine Fueled with Ethanol According to Air-Fuel Ratio and Ethanol-Gasoline Fuel blending Ratio", Master Thesis, Hanyang University, 2010.
- [2] Jun, C.H., "Development of a Methanol Reformulated Gasoline Fuel for Low Emission", Research Paper, Pusan University, 2004.
- [3] Seplyarskii, B. S., Brauer, G. B. and Kostin, S. V., "Combustion of bulk density powder mixtures in a coflow of inert gas", Int. J. of self-propagating high-temperatures synthesis, Vol. 17, pp. 199-205, 2008.
- [4] Kim, N.Y., "A Study on the Characterization of SCR System for NOx Reduction of Diesel Engine", Master Thesis, Kyonggi University, 2007.
- [5] Thring, R. H., "Homogeneous-charge compression-ignition (HCCI) engines", SAE No. 892068, 1989.
- [6] Taro, A., Yoshiaki, H., and Junichi, M., Yasuo, S., "An Experimental Study on Premixed-Charge Compression Ignition Gasoline Engine", SAE No. 960081, pp. 1-7, 1996.
- [7] Magnus, C., and Bengt, J., Per A., and Fabian, M., "Supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition," SAE No. 980787, pp. 129-1144, 1998.
- [8] Onishi, S., et al., "Active Thermo-Atmosphere Combustion (ATAC)-A new combustion process for internal combustion engine", SAE No. 790501, 1999.
- [9] Ma, T.;Zhao, H.;Li, J.;Ladommatos, N. "Experimental Investigation of Controlled Auto-Ignition Combustion in a 4-Stroke Multi-Cylinder Gasoline Engine and Drive Cycle Simulations", IFP International Congress 2001.
- [10] Myung-Jun Lee, Jong-Youl Kim, Jong-Sang Park, "A Study on the Rapid Bulk Combustion of Premixture Using the Radical Seeding", KSME International Journal Vol.18 No. 9, pp. 1623-1629, 2004.
- [11] Yu YongGang, CHANG XueXia, ZHOU YanHuang, MANG ShanShan, "Experiment and Numerical Simulation of Combustion and Propulsion of Bulk-loaded Energetic Liquid", Journal of engineering thermophysics, Vol. 29 No. 3, 2008.

최 윤 종(Yoon-Jong Choi)

[정회원]



- 2000년 2월 : 경기대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 2002년 2월 : 숭실대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 경기대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : (주)청한이티엔

<관심분야>

구조해석, 건전성평가

이 준 성(Joon-Seong Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수

- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, Neural Network
