

바이오디젤유를 이용한 CRDI방식 디젤기관의 흡기포트내 선회기 적용 특성에 관한 연구

임 석 연¹⁾ · 정 영 철²⁾ · 오 동 진³⁾ · 류 정 인⁴⁾

충남대학교 대학원 기계공학과, BK21 메카트로닉스사업단¹⁾ · 공주대학교 기계자동차공학부²⁾ ·
대덕대학 자동차과³⁾ · 충남대학교 기계공학부, BK21 메카트로닉스사업단⁴⁾

A Study on the Application Characteristics of Biodiesel Fuel in a CRDI Diesel Engine on the Swirler in Intake Manifold

Seokyeon Im^{*1)} · Youngchul Jung²⁾ · Dongjin Oh³⁾ · Jeongin Ryu⁴⁾

¹⁾Graduate School of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²⁾Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

³⁾Division of Automotive Engineering, Daeduk College, Daejeon 305-715, Korea

⁴⁾Department of Mechanical Engineering, BK21 Mechatronics Group, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

(Received 24 October 2006 / Accepted 4 April 2007)

Abstract : This study aims to investigate the property of engine performance and the material property of exhaust gas by application of the intake swirler. The fuel of BDF 20 was made by mixing 80% of diesel fuel and 20% of biodiesel fuel. These fuels were used and tested in the diesel engine of CRDI type used currently. The swirler was made by streamlined shape to lessen the intake resistance, The three types of its wing angle are 20°, 40° and 60°. From experimental results, we found that the characteristics of engine performance, soot was effective in wing angle of 20° and NOx was effective in 60°.

Key words : Common rail diesel engine(커먼레일 디젤엔진), Biodiesel fuel(바이오디젤유), Swirler vane(선회각), Swirler(선회기), Exhaust emissions(배기배출물)

1. 서론

최근 환경오염 문제가 심각한 사회 문제로 대두됨에 따라 전 세계적으로는 지구 온난화 방지를 위한 기후협약을 체결하고 온실가스의 감축과 유해배출물 규제를 위한 구체적인 법안을 마련하는 등 지구환경 개선의 의지를 분명히 하고 있다. 그 중 바이오디젤유(Biodiesel fuel, BDF)는 많은 대체 에너지들의 개발과 실효 과정 중 현재 가장 주목을 받는

연료로서 식물성 원료를 바탕으로 재생이 가능하며 경유와 연료 성상이 비슷하고 높은 에너지 밀도를 가지고 있어서 현재의 상용 디젤기관의 구조변경 없이도 사용 가능하다는 장점 때문에 많은 관심을 받고 있다. 현재까지 각국의 지역 농산물에 따라 대두유, 폐식용유, 팜유 등 식물성 유지를 이용한 각기 다른 바이오디젤유들이 연구되어 왔다.¹⁾

또한 합산소 연료인 바이오디젤유는 상용디젤유에 가까운 세탄가를 가지고 있고 연료 중에 11% 정도의 산소를 함유하고 있는데, 이것은 기관성능과

*Corresponding author, E-mail: imsy95@hotmail.com

배출가스 특성에 큰 영향을 미치게 된다.²⁾ 이전 연구보고서들에 의하면 바이오디젤유를 사용함으로써 출력은 경유에 비해 동등하거나 이하이지만, 디젤기관의 큰 문제점인 매연은 현저히 감소하고, 반면 활발한 연소에 의한 연소온도의 상승으로 NOx가 증가되어진다고 보고되어 왔다.^{3,4)}

또한 내연기관의 연소는 연료의 분사, 분사된 연료 입경의 미세화, 미립화된 연료와 공기의 혼합, 미립화된 연료의 기화, 기화된 연료와 공기의 균질한 혼합 등의 영향을 받는다. 특히 디젤기관은 분무된 연료와 공기의 균질한 혼합의 따라 인한 기관출력 향상 및 배기가스 유해성분 저감이 이루어 질 수 있다.⁵⁾ 그러므로 기관성능의 향상을 가하려면 연료와 공기의 혼합율에 영향을 미치는 난류의 영향에 대하여 세밀한 분석이 이루어져야 한다. 지금까지의 연구로는 연소과정에 중요한 영향을 미치는 압축말기 연소실 내 난류강도는 흡입과정 시 생성된 유동 에너지가 압축과정을 거치면서 작은 스케일의 와(eddy)로 깨어져 열로 소산 되는데, 이 와들은 연소과정 중 초기화염 생성을 촉진시키고 화염전파 속도를 증진시키는 역할을 하므로, 실린더 내의 평균 속도 및 난류유동을 측정하는 연구들이 많이 진행되고 있다.⁶⁾

최근에는 디젤엔진에 연료분사 압력의 고압화와 분사시기의 전자제어기술을 도입한 커먼레일 연료 분사장치가 개발됨에 따라 파일럿 분사가 가능하게 되어 입자상물질(PM :Particulate matter)등 오염물질을 획기적으로 저감시키게 되었다.⁷⁾

따라서 본 연구는 위와 같은 사항들에 착안점을 두고 상용경유와 바이오디젤유를 사용 최근 상용엔진인 커먼레일 기관에 적용하고 흡기 선회기를 각도 별로 제작하여 흡기포트 내에 장착함으로써 기관성능특성 및 배기배출물 특성을 확인하여 부하 및 기관회전수에 따른 적절한 선회각을 규명하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험에 사용된 선회기로서 공기 흡입시 강한 스웰을 일으킬 수 있도록 고안하였다. 또한, 부하 및 기관회전수에 따른 선회각의 영향을 확인할

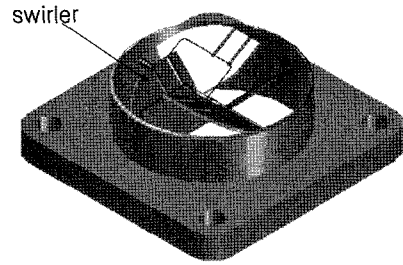


Fig. 1 Schematic diagram of intake swirler

수 있도록 선회기각을 조절하여 실험하였다. 선회각은 20°, 40° 및 60°로 조정하여 흡기포트 내에 장착하여 실험하였다.

실험에 사용된 기관은 현재 상용화된 엔진으로 SOHC 4밸브 직접분사식 디젤엔진 CRDI(Common rail direct injection ;D-2.0 ℓ)으로 실험 엔진의 주요 제원은 Table 1과 같고, 본 실험 장치의 개략도는 Fig. 2와 같다. 실험은 와전류식 동력계 (Hwanwoong Co. Model DYTEK-130)를 이용하여 엔진부하를 고정시킨 후 기관의 회전속도를 가변시키는 방법을 사용하였다. 엔진 부하는 25%, 50%, 75%, 100%의 4가지로 하였으며 APS(acceleration position sensor)의 개도량으로 측정하였으며 기관의 회전속도를 1,000rpm에서 3,500rpm까지 500rpm 간격으로 6단계 조정하였다. 사용된 연료는 Table 2와 같이 유황분이 0.05% 포

Table 1 Specification of test engine

Items	Specifications
Engine type	4-stroke/DI
Total displacement (cc)	1,979
Bore × Stroke (mm)	81.0 × 96.0
Power output (ps/rpm)	115/4,000
Peak torque (kg · m/rpm)	25.5/2,000
Compression ratio	17.7
Air charging	Turbo-After cooled
Max. injection pressure (bar)	1,450

Table 2 Properties of test fuels

Item	Diesel fuel	BDF20
Flash point (PM, °C)	44	48
Pour point (°C)	-17.5	-17.5
Ash (wt. %)	0.001	0.001
Sulfur(wt. %)	0.022	0.018
Cetane number	51.8	50.5

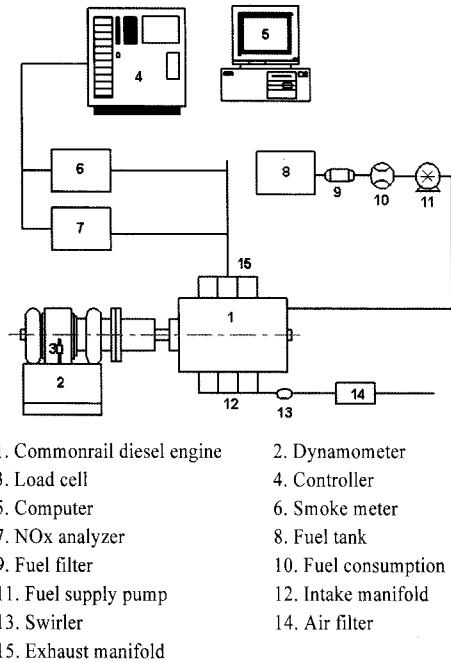


Fig. 2 Schematic diagram of test engine equipment

함된 상용경유 80%와 바이오디젤유 20%를 혼합한 연료(이하BDF 20이라 한다.)를 사용하였고, 엔진의 출력향상을 위하여 Turbo-After cooled장치를 작동 하였고, 자동 EGR장치는 고정시켜 실험하였다.

기관 회전수는 동력계 축에 부착된 로터리엔코더로 측정하였고, 토크는 동력계에 설치된 로드셀(load cell)로 측정한 다음 PC 및 데이터 획득장치로 처리하였다. 연료소비율은 1분 동안 기관에 공급된 연료의 부피를 디지털 체적 유량계 및 전기 타이머로 이루어진 연료유량계(Hwanwoong Co. Model Fuel Consumption Meter)를 이용하여 측정하였고, NOx는 비분산적외선 방식식의 배기가스 분석기(MAHA GmbH & Co. KGType MGT-5)를 이용하여 측정하였으며, 매연은 광투과식 매연측정기 OP-120(Eplus Co. Type OP-120)을 이용하였다. 배기가스의 측정은 배기 매니폴드로 부터 약 500mm 하류에서 가스를 채취하였고 3회 반복 측정하여 평균치를 구하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 선회기 각도에 따른 결과 - 상용 경유

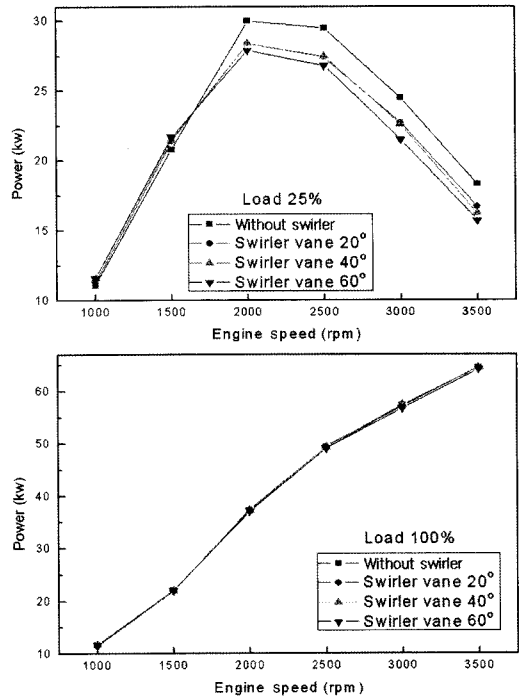


Fig. 3 Comparison of engine Power under various engine speed at engine Load 25%, 100%

Fig. 3은 상용 경유에서 엔진 부하별 기관회전수에 따른 기관출력 변화를 나타낸 것이고, Fig. 4와 Fig. 5는 각각 제동연료소비율(BSFC)과 매연 배출량을 나타낸 것이다.

25% 부하조건에서 상용 경유에 선회기를 장착한 경우, 기관회전수 2,000rpm 이상에서는 최대 10%의 기관출력의 저하와 함께 BSFC도 악화됨을 볼 수가 있었다.

부하조건 100%에서 기관출력은 동일하거나 다소 상승하였고, BSFC는 최대 6%까지 개선되었다. 이는 고부하조건인 경우 선회기 장착 시 흡입공기의 강한 스윙 현상으로 활발한 연소가 이루어져 흡입공기의 충전효율이 좋아져 출력 향상과 함께 BSFC의 개선이 이루어진 것으로 생각된다. 또한 스윙 효과로 인해 활발한 연소가 되어 매연은 줄어들었다. 흡입되는 공기의 유속이 작을 경우 선회기 효과가 적게 나타나며 오히려 흡입유동에 방해가 되나 흡기유속이 큰 고회전수, 고부하 영역에서는 선회기의 스윙 효과로 인해 매연이 저감된 것으로 사료된다. 또한 선회각이 작을수록 전구간에서 대

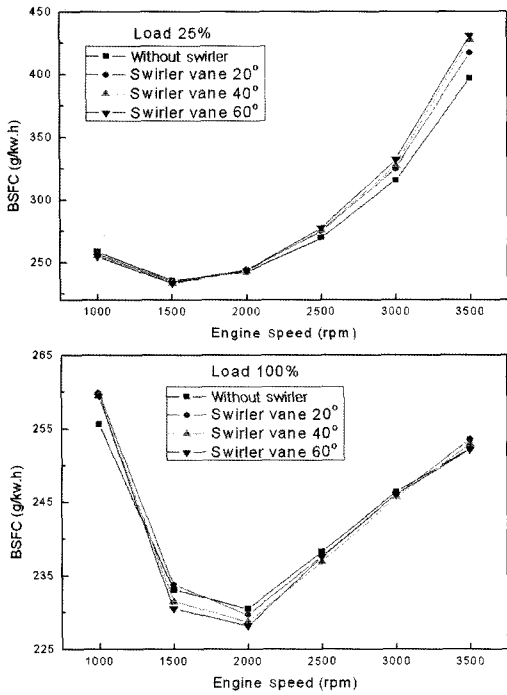


Fig. 4 Comparison of BSFC under various engine speed at engine Load 25%, 100%

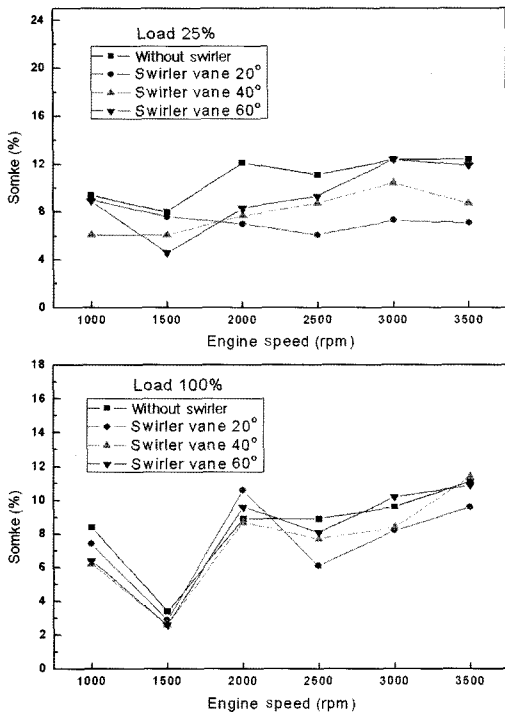


Fig. 5 Comparison of Smoke under various engine speed at engine Load 25%, 100%

체적으로 효과가 좋게 나타남을 알 수가 있었는데, 이는 선회각이 크게 되면 선회각도에 의한 스웰 발생이 약하게 되기 때문으로 생각되어진다.

3.2 선회기 각도에 따른 결과 - BDF 20

Fig. 6은 BDF 20에서 선회기 각도에 따른 기관 출력 및 배기배출물 특성을 나타낸 것이다.

먼저 상용 경유에 비해 BDF 20 적용 시는 출력이 저하되는 일반적인 경향을 나타내었고, 부하 25%, 기관회전수 1,500rpm~2,500rpm 구간에서 BDF 20에 선회기를 적용하여 BDF 20 적용 시 보다 최대 6%의 출력 상승이 발생하였고, 상용 경유에 비해 BDF 20을 적용하여 출력저하가 발생하였지만 선회기의 장착으로 인해 출력저하의 비율을 크게 감소시킬 수 있었다. 이는 상용 경유에 비해 발열량이 낮은 바이오디젤유 적용으로 출력이 저하되었으나 선회기에 의해 발생된 강한 스웰 효과에 의해 충전효율이 상승되어 기관출력이 상승한 것으로 생각된다.

Fig. 7의 BSFC를 보면 상용경유에 비해 BDF 20에 선회기를 장착하여도 모든 구간에서 전반적으로 BSFC가 상승하는 것을 볼 수가 있는데, 이는 전술한 바와 같이 바이오디젤유의 낮은 발열량에 기인한 것으로 볼 수가 있었다. 또한 기관출력의 경우 선회각에 따라 출력의 효과가 거의 비슷하게 나타났으나 BSFC는 고부하로 갈수록 더 효과가 큰 것을 볼 수가 있었다. 이는 고부하일수록 흡입공기의 유속이 빨라져 오히려 선회각이 작으면 흡입유동 저항이 생기기 때문으로 생각된다.

Fig. 8의 매연 배출물 특성을 보면, 바이오디젤유 적용 시 매연이 감소하는 일반적인 경향을 볼 수가 있었고, 선회기 장착 시 충전효율의 증가로 인한 연소촉진으로 BSFC와 마찬가지로 고부하일 수록 선회각이 작은 선회기가 더 큰 효과를 볼 수가 있었다.

Fig. 9를 보면, 전구간에서 대체적으로 상용경유에 바이오디젤유 적용 시 NOx가 증가하였고, 또한 선회각이 작을수록 모든 구간에서 상용 경유에 비해서는 NOx가 더 많이 발생되지만 바이오디젤유 적용에 비해서는 저하됨을 볼 수가 있었다. 이는 바이오디젤유에 함유된 산소와 선회기 장착으로 인한

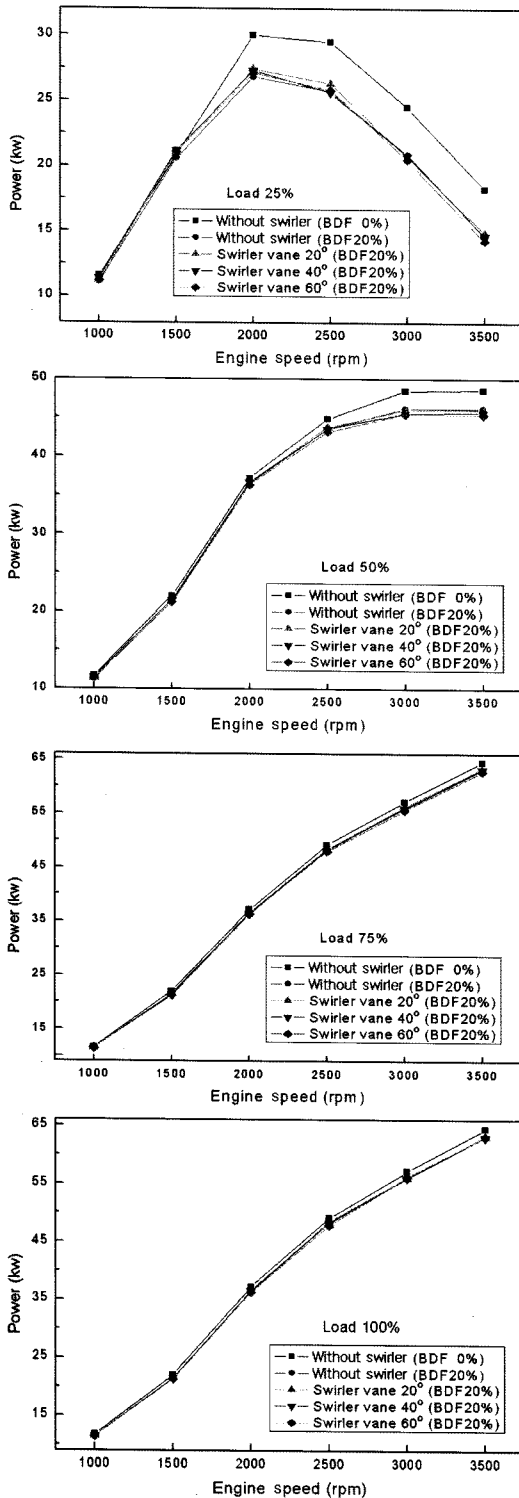


Fig. 6 Comparison of engine Power under various engine speed at engine Load 25%, 50%, 75%, 100%

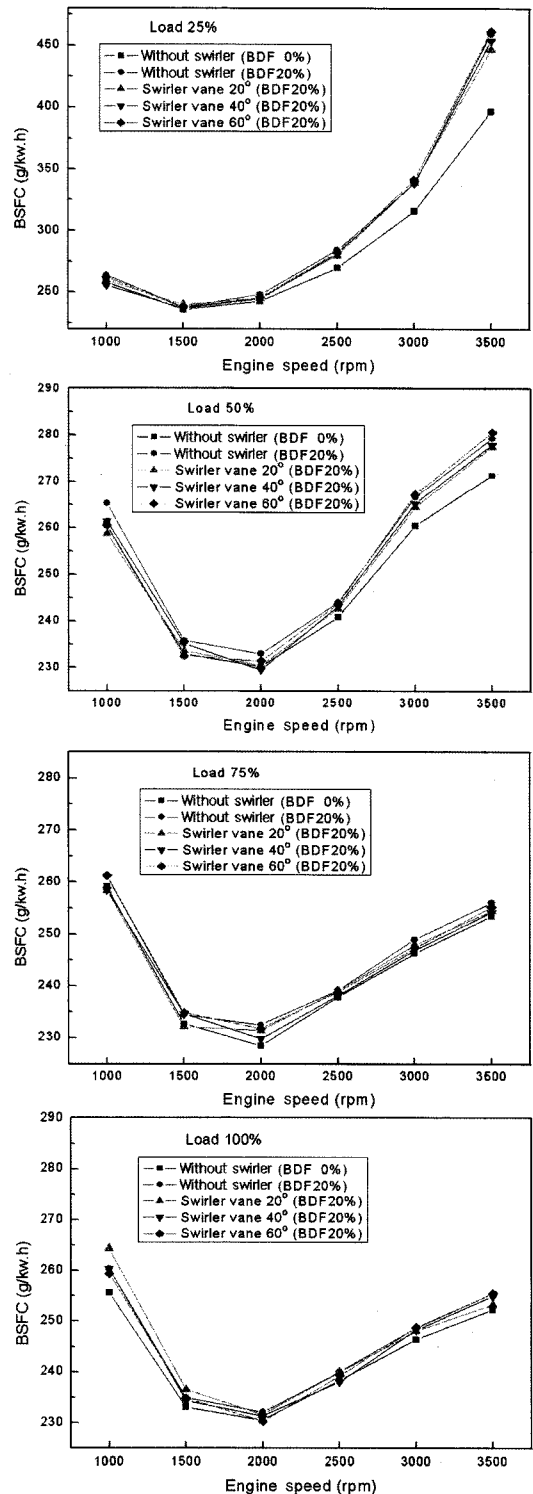


Fig. 7 Comparison of BSFC under various engine speed at engine Load 25%, 50%, 75%, 100%

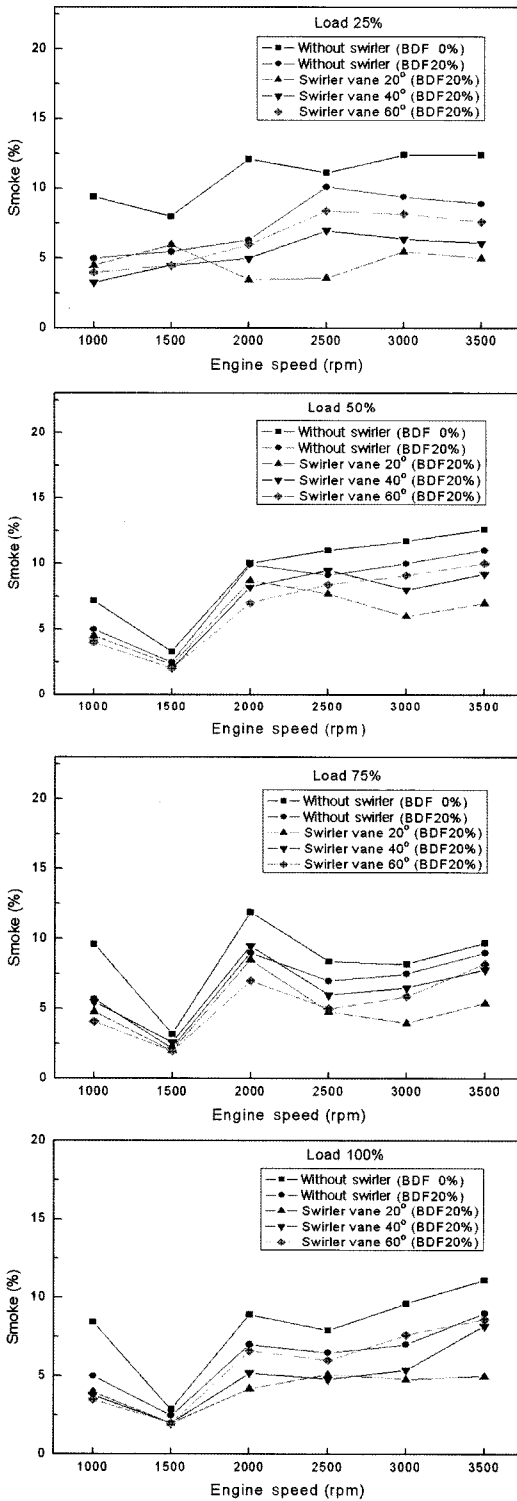


Fig. 8 Comparison of Smoke under various engine speed at engine Load 25%, 50%, 75%, 100%

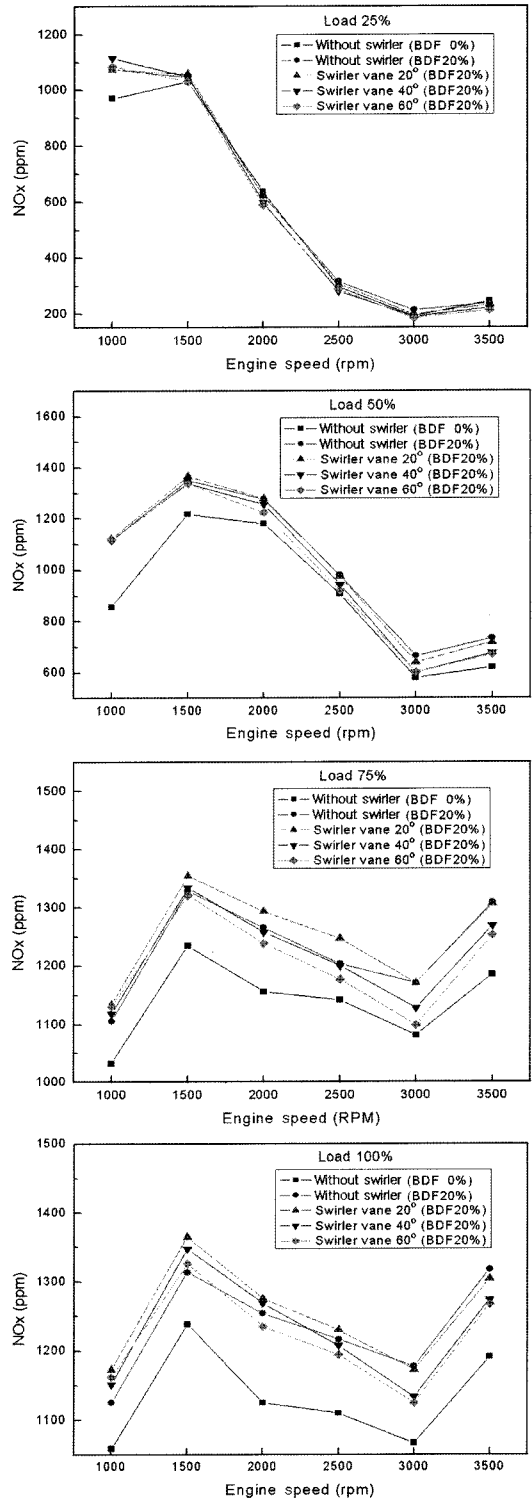


Fig. 9 Comparison of NOx under various engine speed at engine Load 25%, 50%, 75%, 100%

충진효율의 증가로 인하여 연소가 촉진되었기 때문으로 생각된다.

4. 결론

바이오디젤유를 이용한 CRDI형 디젤기관의 흡기포트 내 선회기를 장착하여 선회각도 변화에 따른 기관성능 및 배기배출물 특성에 관한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 상용 경유에 선회기를 장착한 경우, 기관출력은 기관회전수 1,500 rpm, 25% 부하조건에서 최대 10%, BSFC는 2000rpm 이상에서 최대 10% 악화되었으나, 100% 부하조건에서 기관출력은 동등하고, BSFC는 최대 6%, 매연은 최대 8%까지 개선되었다.
- 2) BDF 20 적용 시 기관출력과 BSFC는 악화되었으나, BDF 20에 선회기를 장착하여 기관출력과 BSFC는 BDF 20 적용 시보다 최대 6%의 개선효과를 보였다.
- 3) NOx의 배출량은 모든 부하영역에서 경유보다 BDF 20에서 증가하였으며, 선회기 장착 시 선회각이 작을수록 NOx의 배출량이 증가되었다.

상기를 종합해 볼 때, 커먼레일 디젤기관의 상용 구간이 2,000rpm~2500rpm임을 고려했을 경우 기관성능 특성은 선회각도 20°인 선회기가 가장 효과적이라 말할 수 있고, NOx 저감측면에서는 선회각도 60°인 선회기가 효과적이라 말할 수 있다. 따라서 배기 배출물을 최소화시키면서 기관 성능을 극대화시킬 수 있는 선회각을 찾아 능동적으로 보다 더 정밀하게 제어할 수 있는 시스템을 구축한다면 더 좋은 개선 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- 1) W. S. Kyle and C. S. Spencer, "Combustion of Soybean Oil Methyl Ester in a Direct Injection Diesel Engine," SAE 930934, 1993.
- 2) M. E. Feldman and C. L. Peterson, "Fuel Injector Timing and Pressure Optimization on a DI Diesel Engine for Operation on Biodiesel," Liquid Fuels From Renewable Resources-Proceeding of an Alternative Energy-131-Conference, ASAE, pp.111-123, 1992.
- 3) Y. Yoshimoto, M. Onodera and H. Tamaki, "Reduction of NOx, Smoke, and BSFC in a Diesel Engine Fueled by Biodiesel Emulsion with Used Frying Oil," SAE 1999-01-3598, 1999.
- 4) D. S. Baik, Combined Effects of BD20, "Low Sulfur Diesel Fuel and Diesel Oxidation Catalyst in a HD Diesel Engine," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.6, pp.653-658, 2006.
- 5) S. Boff, "The Effect of Engine Speed on the TDC Flow Field in a Motored Reciprocating Engine," SAE 860023, 1986.
- 6) I. Nagayama, Y. Araki and Y. Lioka, "Effect of Swirl and Squish on S. I. Engine Combustion and Emission," SAE 770217, 1977.
- 7) M. Y. Kim, H. P. Heo, C. I. Kim and K. H. Choi, "Development of Medium-Duty Diesel Engine with CP3.3 Common Rail - Concept Study and Initial Experimental Work," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, pp.69-74, 2003.