

# 직접분사식 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 연료온도에 따른 분무 특성에 관한 실험적 연구

이성욱<sup>1</sup> · 박기영<sup>2†</sup> · 김종민<sup>2</sup> · 박봉규<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 자동차공학과, <sup>2</sup>국민대학교 자동차공학전문대학원, <sup>3</sup>한국폴리텍대학

## An Experimental Study on Spray Characteristics of Directly Injected Bio-Ethanol-Gasoline Blended Fuel By Varying Fuel Temperature

SEANGWOOK LEE<sup>1</sup>, GIYOUNG PARK<sup>2†</sup>, JONGMIN KIM<sup>2</sup>, BONGKYU PARK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Prof, Department of Automotive Engineering, Kookmin University, 861-1 Jeongneung-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-702, Korea

<sup>2</sup>Graduate School of Automotive Engineering, Kookmin University, 861-1 Jeongneung-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-702, Korea

<sup>3</sup>Prof, Department of Automobile, Korea Polytechnic University, 1389-2 Juan-dong, Nam-gu, Incheon 402-200, Korea

**Abstract** >> As environment problem became a worldwide issue, countries are tightening regulations regarding greenhouse gas reduction and improvement of air pollution problems. With these circumstances, one of the renewable energies produced from biomass is getting attention. Bio-ethanol, which is applicable to SI engine, showed a positive effect on the PFI (Port Fuel Injection) type. However, Ethanol has a problem in homogeneous mixture formation because it has high latent heat of vaporization characteristics and in the GDI (Gasoline Direct Injection) type, mixture formation is required quickly after fuel injection. Particularly, South Korea is one of the countries with great temperature variation among seasons. With this reason, South Korea supply fuel additive for smooth engine operation during winter. Therefore, experimental study and investigation about application possibility of blending fuel is necessary. This paper demonstrates the spray characteristics by using the CVC direct injection and setting the bio-ethanol blending fuel temperature close to the temperature during each seasons: -7, 25, 35°C. The diameter and the width of the CVC are 86mm and 39mm. High-pressure fuel supply system was used for target injection pressure. High-speed camera was used for spray visualization. The experiment was conducted by setting the injection pressure and ambient pressure according to each temperature of bio-ethanol blending fuel as a parameter. The result of spray visualization experiment demonstrates that as the temperature of the fuel is lower, the atomization quality is lower, and this increase spray penetration and make mixture formation difficult. Injection strategy according to fuel temperature and bio-ethanol blending rate is needed for improving characteristics.

**Key words** : Fuel temperature(연료온도), Ethanol(에탄올), GDI(가솔린 직접분사식), CVC(정적연소기), Spray characteristics(분무특성)

## 1. 서 론

<sup>†</sup> Corresponding author : speed3926@kookmin.ac.kr

[ 접수일 : 2014.01.17 수정일 : 2014.12.05 게재확정일 : 2014.12.31 ]

Copyright © 2014 KHNES

지구온난화로 인한 대기 환경 문제와 에너지 자원  
의 한정문제로 인하여, 고연비 차량의 개발 및 이산화

탄소 배출 감축을 목표로 하여, 전 세계적으로 많은 연구들이 이루어지고 있다. 대표적으로 클린 디젤 차량의 보급 확대와 하이브리드 기술의 적용 등이 있으며, 연료 측면에서는 대체에너지 및 바이오매스 자원의 활용 등이 이루어지면서 연료 다변화 시대가 도래되고 있다<sup>(1-2)</sup>. 스파크 점화 기관에서는 연료를 연소실로 직분사하는 GDI 기술이 도입 되어, 흡기관내 연료 분사방식인 PFI 기술에 비해 출력 상승 및 연료 소비량 감소와 이산화탄소 배출량 감소 효과를 나타내고 있다. 하지만, GDI 기술에는 분사된 연료가 빠른 시간 안에 혼합기를 형성해야하는 제약적인 문제가 있으며, 비 균질한 혼합기의 형성은 기관출력저하 및 유해 배출가스 생성의 직접적인 영향을 미치게 된다.

가솔린 연료의 대체물질로 각광 받고 있는 바이오 에탄올은 사탕수수, 옥수수 및 고구마 등의 식물을 발효하여 생산 가능한 물질이다. 기존 PFI 방식 기관에 바이오 에탄올과 가솔린을 일정 비율 혼합하여 사용하였을 경우, 에탄올의 높은 기화잠열 특성으로 혼합기 냉각을 통한 혼합기 밀도 증대와 연료의 함산소 특성으로 인한 연소특성 개선으로 유해 배출가스 저감의 효과를 보이고 있다. 하지만, 에탄올의 높은 점도 및 기화잠열 특성으로 인해, GDI 기술에 적용할 경우 빠른 시간 안에 균질 혼합기를 형성하기에는 어려움이 있다<sup>(3-6)</sup>.

자동차 유해배출물 중 80%가 냉시동시에 배출되며, 이 때 발생하는 유해배출가스를 저감하기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다<sup>(7)</sup>. 특히, 동절기의 낮은 외부온도로 인한 냉시동시 발생하는 유해배출가스 양은 관심의 대상이다. 냉시동에서의 연소품질 개선을 위한 점화시기 변경 외에, 혼합기 균질도 향상을 위한 연구가 필요하다.

이에 본 연구는 정적연소기 내에 각기 다른 혼합율을 지닌 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 극저온 및 상온 조건에 따른 관통거리 및 분사면적의 혼합기 특성을 파악하고, 결과를 분석하여 향후 관련 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

직접분사방식의 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 연료온도에 따른 분사특성을 파악하기 위하여 지름 86mm, 폭 39mm의 정적연소기를 제작하였으며, 연소기 전면부와 후면부에 강화유리로 제작된 관측창을 설치하였다. 고압의 연료를 인젝터로 공급하기 위해서 기어펌프와 방폭형 모터로 구성되어 있는 고압연료 시스템을 제작하였다. 공급되는 고압의 연료는 연료온도 컨트롤러를 통과하게 되며, 목표 온도로 냉각 혹은 가열되어 인젝터까지 공급된다. 실험에 사용된 인젝터는 HMC社의 2.0L급 Theta II GDI 엔진에 적용된 Wall guided 방식의 6 홀 인젝터이며, 인젝터 드라이버를 이용하여 동작되어 연소기 내부로 연료를 분사한다. 연소기 내부로의 분위기 조건을 모사하기 위하여, 고압의 에어붐베에 압력레귤레이터를 연결하고, 온도컨트롤러를 제작하였다. 분사가시화를 위하여 Shadowgraphy 기법을 적용하였으며, 지속광원으로 LED 램프를 사용하였다. 분사이미지 획득을 위해서 초고속 카메라를 연소기의 관측창 전면부에 설치하였다. 초고속카메라 및 실험에서 제어되는 각종 액츄에이터는 PC와 연결된 National Instrument社의 DAQ NI-6251 Board를 이용하였다. 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

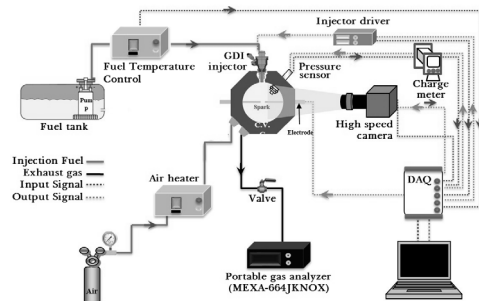


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

**Table 1** Experimental condition

Diameter × Width [mm]	86 × 39
Displacement [cm <sup>3</sup> ]	228
Test Fuel	E0,E10,E20,E100
Fuel Temperature [°C]	-7, 25, 35
Injection pressure [MPa]	9.0
Ambient Pressure [MPa]	0.5
CVC wall Temperature [°C]	30

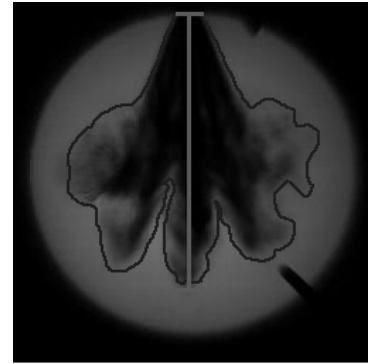
**Table 2** Test fuel properties

	Gasoline	Bio-ethanol	
Chemical formula	C <sub>n</sub> H <sub>1.87n</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	
Molecular weight (kg/kmol)	114.15	46.07	
Oxygen (%wt)	0	35	
Octane Number	86-94	98-100	
Density (kg/m <sup>3</sup> at 20°C)	732	792	
Viscosity	@ -70°C / [cp]	2.92	12
	@ 37.8°C / [cp]	0.71	1.2
Vapor pressure @ 37.8 °C kPa	61.0	15.5	
Latent heat of vaporization (kJ/kg)	420	854	
Auto-ignition temperature (°C)	257	423	
LHV (MJ/kg)	43.47	26.87	
A/F ratio (by volume)	14.7	9.00	

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 분무가시화

바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 연료온도에 따른 분사특성을 파악하기 위해 실험 조건을 Table 1 과 같이 설정하였다. 실험 조건은 국내 연중 최저기 온과 평균기온, 최고기온으로 하여, -7°C, 25°C, 35°C 로 설정하였다. 실험에 사용된 연료는 에탄올의 체적 비율에 의해 정의 되었으며, 연료의 에탄올 혼합율에 따라 E0, E10, E20, E100으로 명명 하였다. 바이오에 탄올과 가솔린의 물성치는 Table 2에 나타내었다. 연 료 분사 압력은 4.5MPa, 9.0MPa로 설정하였으며, 분 위기 압력은 0.5MPa로 설정하였다. 고압으로 빠르게 이루어지는 분사 특성을 파악하기 위해서 지속광원



— Penetration depth  
□ Spray Area

**Fig. 2** Definition of parameter for the analysis of spray geometry

으로 LED 다이오드를 사용하였고, 초고속카메라를 사용하여 촬영하였다. 촬영속도는 4,000fps로 설정 하였으며, 촬영 해상도는 256×256픽셀이다. 이는 초 고속 카메라의 제원 및 정략적인 가시화 데이터 확 보를 위해 설정하였다. 연료 분사시기와 촬영 시기는 Labview 프로그램을 사용하여 제어하였다.

### 2.2.2 이미지 분석

바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 각 연료온도에 따른 분사실험으로 촬영된 이미지를 이용하여, 관통 거리 및 분사면적에 대한 분사특성을 파악하였다. 연 소기 상단의 인젝터 노즐로부터 연료의 분무 미단까 지의 길이를 관통거리로 정의 하였다. 분사면적은 분 사가 종료된 시점에서 연료의 액적 분포가 존재하는 영역으로 정의하였으며, Fig. 2에 나타내었다.

분사된 연료의 관통거리 및 분사면적을 분석하기 위해서 MATLAB code를 이용하여 이미지 처리를 하였다. 이미지 처리는 연료의 분사가 촬영된 이미지 에서 연소실만 촬영된 이미지를 감하여, 연료의 분사 만 나타나는 이미지를 바이너리 이미지로 변경하여 분사에 대한 경계를 찾았다. 분사된 연료의 관통거리 및 분사면적을 픽셀단위의 데이터로 취득한 뒤에, mm 단위로 변환하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 실험결과

##### 3.1.1 연료온도에 따른 결과

바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 연료 온도에 따른 분사특성 파악을 위해 실사 촬영하였으며, 그 결

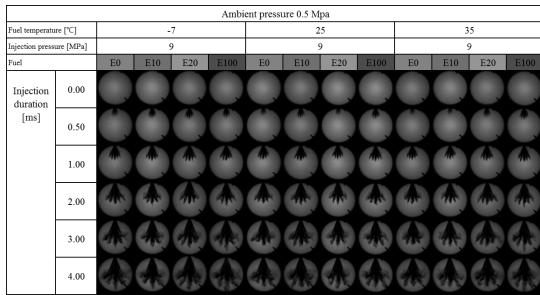


Fig. 3 Spray visualization of various fuel temperatures and ethanol blending rate

과를 Fig. 3에 나타내었다. 각기 다른 혼합연료 및 연료온도 실험조건에서 분사시간은 4ms로 설정 하였으며, 촬영된 이미지를 1.0ms 간격으로 배열하였다. 분사 가시화된 결과를 보면 연료의 온도가 낮을수록 분무 미단의 폭이 좁은 형태이며, 분사된 연료의 관통거리가 길어지며, 바이오 에탄올 혼합율이 증가할수록 연료의 관통거리가 길어짐을 확인할 수 있다. 이와 같은 특징은 이미지 분석을 통하여, 정량적 차이를 명확하게 알 수 있다. 연료 온도에 따른 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 각 혼합연료 마다 연료 온도가 낮을수록 관통거리가 증가됨을 알 수 있다. 이는 연료의 온도가 낮을수록 점도 특성의 증가 및 기화특성이 저하되어 연료의 입자 크기가 증대됨으로써, 분사된 연료가 갖는 운동에너지가 크게 되어 나타난 결과로 판단된다.

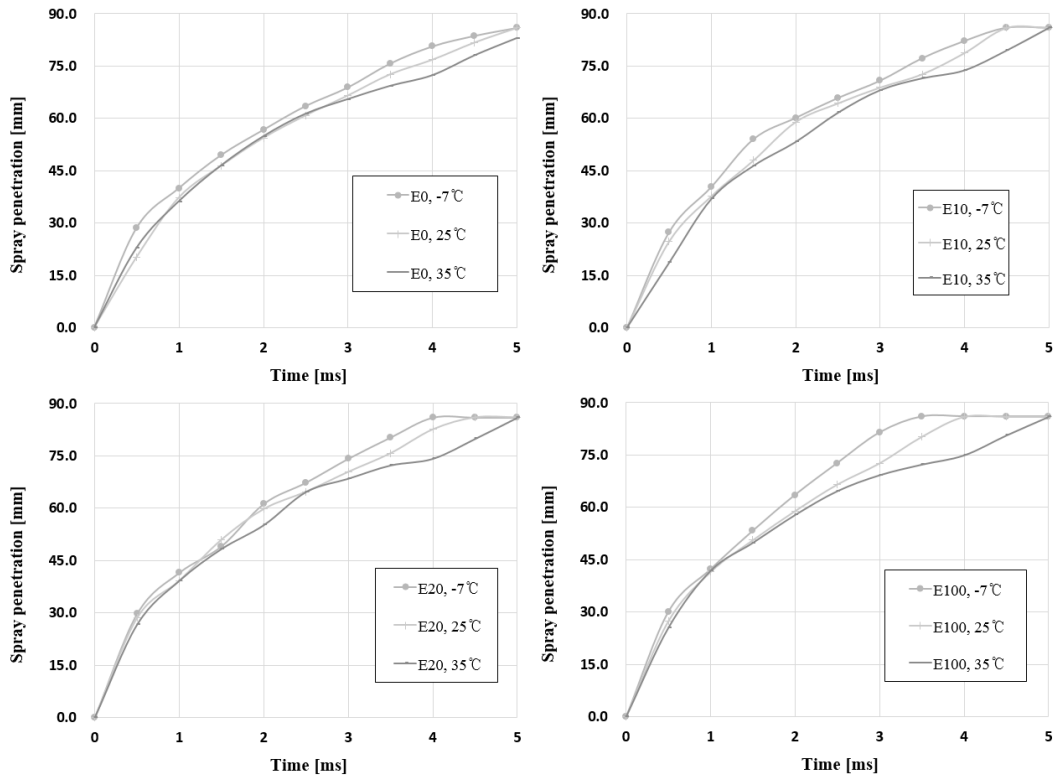


Fig. 4 Spray penetration in various temperatures of ethanol blended fuel

3.1.2 바이오 에탄올 혼합율에 따른 결과

각각의 -7°C, 25°C, 35°C 온도조건에서 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 혼합율에 따른 관통거리 결과를 Fig. 5에 나타내었으며, 분사면적에 대한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 각 연료온도조건에서 바이오 에탄올의 혼합율이 증가할수록 관통거리가 증가하는 결과를 보이며, 분사면적 역시 증가하는 결과를 보인다<sup>(8-10)</sup>. 이는 바이오 에탄올이 갖는 가솔린 대비 높은 점도 특성 및 기화잠열 특성으로 인해 분사된 연료의 입자가 크게 된 결과로 판단된다<sup>(11)</sup>. -7°C에서는 바이오 에탄올의 혼합율이 높을수록 분사된 연료의 관통거리 특성이 제일 크게 나타났다. 하지만, 영상 온도조건인 25°C와 35°C에서는 영하의 온도보다 관통거리의 차이는 작게 나타났으며, 이는 영상온도에서 바이오 에탄올의 점도 특성이 급격히 저하되어, 가솔린과 비슷한 점도 특성을 갖기 때문으로 판단된다. 이러한 점도 및 기화잠열 특성은 연료분사면적에도 직접적인 영향을 미치게 되며, 분무 미단의 폭이 좁은 형태를 보이며, 관통거리가 길어짐을 확인할 수 있다.

3.2 실험고찰

각기 다른 혼합율을 지닌 바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 연료온도에 따른 연료의 관통거리 및 분사면적에 대한 결과로부터 연료의 온도는 점도특성에 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. Table 2의 연료 물성치에서 37.8°C 점도를 보면 바이오 에탄올이 가솔린 보다 약간 큰 값을 보인다. 반면에 온도가 낮을수록 바이오에탄올이 점도 차이가 더욱 커지게 된다. 실험에 이용된 정적연소기의 보어 사이즈는 86mm이며, 분사된 연료가 갖는 최대의 관통거리는 86mm이다. 연료 온도가 낮고, 바이오 에탄올의 혼합율이 높은 연료일수록 분사된 연료의 관통거리 크게 되어 분사종료가 되기 전에 Wall wetting이 발

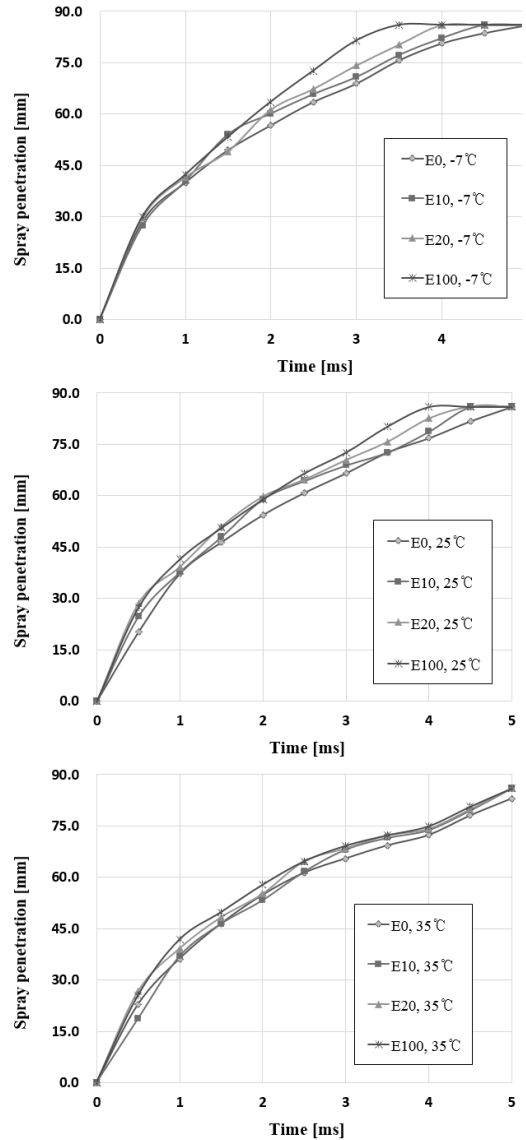


Fig. 5 Spray penetration in various temperatures of ethanol blended fuel

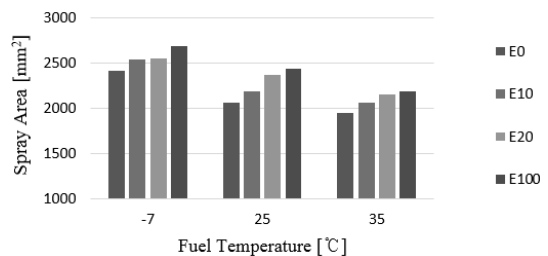


Fig. 6 Spray area in various temperatures and ethanol blended fuel

생하였다. 이러한 결과를 토대로 균질 혼합기 형성을 위해서 다단분사전략이 필요할 것으로 판단된다. 분위기 압력 0.3MPa, 1.0MPa 및 분사압력 4.5MPa 도 진행했으며, 각 혼합연료 및 연료온도에 따른 분사특성 결과가 동일하게 나타났다.

#### 4. 결 론

바이오 에탄올-가솔린 혼합연료의 혼합율에 따른 연료 온도별 분무 특성을 살펴보았으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 연료온도  $-7^{\circ}\text{C}$ 와  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 점도 증가와 기화잠열로 인한 분위기 온도감소로 인해 관통거리가 증가하였으며, 분무 미단의 폭이 좁은 형태를 보인다.
- 2) 바이오 에탄올의 혼합으로 인한 점도증가와 기화잠열로 인한 연료의 관통거리와 분사면적이 증가하였다.
- 3) 연료의 온도가 낮은  $-7^{\circ}\text{C}$ 와  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 관통거리증가가 최대가 되어 벽면으로의 Wall wetting이 확인되었다.
- 4) 연료온도가 높을수록 연료의 점성이 낮아져 각 혼합연료의 관통거리 간 차이가 줄어들었다.
- 5) 극저온 조건 및 바이오 에탄올 혼합율 증가에 따른 혼합기 균질도 개선을 위한 다단분사전략이 필요하다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부의 산업융합원천기술 개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 말씀을 드립니다.

#### References

1. KAEC, "Introduction to Automotive Environ-

ment", Munundang, 2000, pp. 115-117, pp137-139, pp.201-10.

2. Y. S. KIM, "Biomass Energy in the USA: A Literature Review (3) - Bioethanol production from Biomass and Feedstock Supply", KSWST, Vol. 5, No. 1, 2007, pp. 1-10.
3. Emmanuel Kasseris and John Heywood, "Charge Cooling Effects on Knock Limits in SI DI Engines Using Gasoline/Ethanol Blends: Part 1-Quantifying Charge Cooling," 2012 SAE International 2012-01-1275.
4. Emmanuel Kasseris and John Heywood, "Charge Cooling Effects on Knock Limits in SI DI Engines Using Gasoline/Ethanol Blends: Part 2-Effective Octane Numbers", 2012 SAE International 2012-01-1284.
5. Thomas Wallner and Richard Frazee, "Study of Regulated and Non-Regulated Emissions from Combustion of Gasoline, Alcohol Fuels and their Blends in a DI-SI Engine", 2010 SAE international 2010-01-1571.
6. S. Y. NO "Atomization Characteristics of GDI Engine", Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 6, 2000.12, pp.22~29.
7. M. E. Crame, et al., "Reduce Cold-start Emission Using Rapid Exhaust Port Oxidation(REPO) in a Spark-Ignition Engine", 1997 SAE International, No.970264.
8. K. B. KIM, S. H. KANG, G. Y. PARK, J. H. SEO, Y. H. LEE, D. Y. KIM, and S. W. LEE, "A Study of Injection and Combustion Characteristics on Gasoline Direct Injection in Constant Volume Chamber", Journal of ILASS-Korea, Vol. 17, No. 3, 2012, pp. 113-120.
9. G. Y. PARK, S. H. KANG, I. G. KIM, C. S. LIM, J. M. KIM, Y. S. CHO, and S. W. LEE, "An Experimental Study on Spray Characteristic According to Fuel", Journal of ILASS-Korea,

- Vol. 19, No. 3, 2014, pp.115-122.
10. N. H. KIM, J. Y. LEE, K. H. LEE, K. D. MIN, “The Study on the Effect of Fuel Properties on the Spray Characteristics of Multi-hole Injector”, KSAE, 2010 Annual Conference, 2010.11, pp. 419-425.
  11. A. F. Kheiralla, Mohamed M. El-Awad, Mathani Y. Hassan, Mohammed A. Hussien, and Hind I, “Experimental Determination of Fuel Properties of Ethanol/Gasoline Blends as Bio-fuel for SI engines”, 2012 ICMAR, 2012.02, pp. 244-249.
  12. John B. Heywood, “Internal Combustion Engine Fundamentals”, McGraw-Hill, 1988, page 525-539.