

커먼레일 분사시스템에서 바이오디젤 혼합유의 분무 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study of Spray Behaviors of Biodiesel blended fuels in a Common Rail Injection System

최승훈 · 오영택

S. H. Choi and Y. T. Oh

Key Words : Biodiesel(바이오디젤), Spray tip penetration(분무 선단 도달 거리), High speed camera(고속카메라)

Abstract : In this study, the spray characteristics of blended fuels with biodiesel were investigated. The experiments were performed for the effect of mixing ratio and injection pressures on the spray behavior. Conventional diesel fuel and biodiesel fuel and blended fuels were used as test fuels. Through the spray visualization system, composed of a Halogen lamp and High speed camera. The process of spray injection was visualized. Fuel containing biodiesel has different spray pattern on account of the high viscosity and large surface tension. Through this experimental result, we found that, after solenoid driving pulse generates, the increase of injection pressure enables delay time to get shorter, but the increase of mixing ratio makes delay time lengthen.

1. 서 론

환경문제로 인해 더욱 엄격해지는 배기가스규제와 매장량의 한계에 접한 석유계 에너지원의 대체 연료로 디젤기관에 기관자체의 개조나 수정과정을 거치지 않고 적용가능한 바이오디젤유^{1),2)}에 대한 관심이 고조되고 있다. 바이오디젤유는 식물성 및 동물성 기름을 화학처리하여 디젤기관으로 대표되는 압축착화기관의 연료로 사용가능하도록 한 것이다. 국내에서 전체차량의 15%를 차지하는 경유차량이 내뿜는 오염물질이 차량 전체배출량의 70%를 차지하고 있는 문제점으로 인해 환경오염부분에 대한 인식이 바뀌면서 바이오디젤유가 환경부와 산업자원부의 적극적인 지지를 받아서 기계적 분사방식의 디젤기관에 적용가능한 실용화 초반 단계에 이르게 되었으며 유럽에서는 1990년대 중반부터 바이오디젤유를 경유에 혼합하여 사용하였으며 현재 경유대비 1.0%미만인 보급률을 2010년까지 12%까지 보급 및 확대하는 것을 추진중에 있다.

국내에서는 2004년을 신재생에너지 원년으로 삼고 2011년까지 신재생에너지 비중을 5%까지 확대할 계획을 발표하고 2002년 11월부터 산업자원부가 시범보급 지역을 설정하여 20% 혼합 바이오디젤유를 공급하고 그 사용 지역을 점차 확대해 나갈 방침을 가지고 있어 그 사용이 확산될 것이다.

바이오디젤유에 관한 연구는 주로 기계적 분사방식을 채택한 디젤기관에서 연소 및 배기배출물 특성에 주안을 두어 진행되었으며, 거의 모든 연구에서 HC, CO, PM등 대부분의 배기배출물은 감소하는 경향으로 나타내고 있으며 NOx는 증가하는 경향을 보이고 있는 것으로 보고하고 있다. 그러나, 분사압력이나 분사제어 방법 등의 엔진조건에 따라 디젤연료와의 배기 배출물의 배출 정도가 다르게 나타나고 있다.

연구결과에 따르면^{3),4),5)} BDF20은 경유만을 연료로 사용한 경우에 비해 에너지밀도가 작지만 높은 세탄가와 연료 내에 산소가 함유되어 있어서 연소시 경유와 비슷한 출력을 나타내고 있으므로 일반 디젤 기관에 적용이 가능하다는 장점을 지닌 연료로 평가되어지고 있으며 경유에 비해 연료 성분 중 탄소성분이 적고 식물성으로 기후변화협약에 의한 이산화탄소 감면효과가 상당하다. 경유에 비해 고

접수일 : 2005년 1월 19일

최승훈(책임저자) : 전북대학교 기계공학부

E-mail : medr@chonbuk.ac.kr Tel : 063-270-2323

오영택 : 전북대학교 기계공학과, 전북대학교 부설 공학연구원
공업기술연구센터

점성인 연료로 미립화 성능이 저해되는 요소가 되는데 바이오디젤유를 적용할 경우 미립화 정도의 차이와 분무 선단 속도 등 연료 물성치에 의한 분무형태의 차이로 인해 연소특성이 분사조건에 따라 다르게 나타나는 것으로 판단된다.⁶⁾ 그러므로 분사압력에 따른 분무거동을 조사할 필요가 있다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 기계적 분사방식의 분사개념과 상이한 커먼레일 방식의 분사시스템을 이용하여 바이오디젤유의 혼합비 변화 및 분사압력변화에 따른 분무거동을 분무가시화 장치를 이용하여 분무거동을 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

바이오디젤유의 분무거동을 분석하기 위해 분사시스템, 분무가시화 장치를 Fig.1에서와 같이 구성하여 본 연구를 수행하였다.

연료는 연료탱크에서 연료필터를 통과하여 고압연료 펌프(Haskel)에서 압축기에서 공급되는 공기의 압력을 이용하여 원하는 분사압력을 구현하여 분사노즐에 공급하도록 하였다. 연료분무의 반경방향 분무 선단 도달 거리를 측정하기 위해 노즐을 분무의 축방향에서 촬영될 수 있도록 광원과 고속카메라를 같은 방향으로 향하도록 설치하였다. 분무사진 촬영을 위해 사용된 카메라는 초당 40500프레임 촬영가능한 Photron사의 고속카메라(Fastcam-ultima40K)를 이용하였으며 본 연구에서는 보다 정확한 노즐반경방향의 분무선단 도달거리를 구하기 위해 초당 40500프레임으로 촬영하였다.

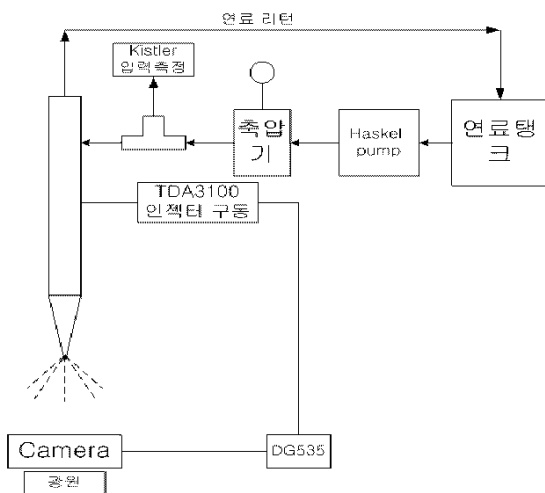


Fig. 1 Schematic diagram of spray apparatus

분사제어를 위해 TEMS에서 제작한 인젝터 구동 드라이브 TDA3200H을 사용하였으며 구동드라이브와 고속카메라를 DG535를 이용하여 동기시켜 분무거동을 파악하였으며, 사용된 분사노즐은 K사에서 시판되는 커먼레일 디젤기관용 노즐을 사용하였으며 분사각은 150°이다.

2.2 실험 방법

실험에 사용된 연료는 일반 경유와 바이오디젤유를 사용하였으며 바이오디젤유는 에스테르화된 미강유를 사용하여 실험을 수행하였으며, 사용된 연료의 내용은 Table 1에 나타내었다.

일반 경유와 바이오디젤유의 분무거동을 비교하기 위해 혼합비(질량비)를 변화하여 경유 100%, 혼합연료 중 20%의 바이오디젤유를 체적비율로 20% 혼합한 BDF20과, 50%가 함유된 BDF50을 이용하여 실험을 수행하였으며 각 혼합비 조건에서 분사압력변화에 대한 영향을 비교 분석하였다.

분사제어는 TDA3200H 구동회로를 이용하여 분사기간은 1.5ms로 수행하였으며 분사압력은 40MPa부터 80MPa까지 변화시켜가며 수행하였다.

구동신호 입력 후부터 초당40,500프레임의 속도로 가시화하여 분무 반경 방향 속도를 측정하였으며 분무 선단 도달 거리는 인젝터 중심에서 반경방향으로 25mm까지의 근접한 영역을 비교 분석하였다. 분사의 시작은 분무공 끝에서 분무가 나타나는 시기를 기준으로 하였으며, 분무는 대기압 상태의 분무실 안에서 수행되었으며 가시창을 통해 촬영하였다.

Table 1 Properties of test fuels

	Diesel fuel	BDF
Flash Point (°C)	40	178
Cetane Number	51.4	57.9
Sulfur(wt%)	0.05	0
Carbon(wt%)	85.83	76.22
Hydrogen(wt%)	13.82	12.38
Oxygen(wt%)	0	11.26

3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 바이오디젤유의 혼합비가 분사압력 변화에 따라 연료분무의 거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 가시화장치를 이용하여 분사압력에

대한 구동신호와 분무 개시시기를 파악하였고 초기 분무의 반경방향 분무 선단 도달 거리를 분사압력 변화 및 바이오디젤유 혼합비에 따라 측정하였다.

3.1 분사압력에 따른 분무거동

Fig. 2에 나타난 바와 같이 분사압력 증가에 따라 인젝터 구동신호 입력 후 분사 시작까지의 지연 시간이 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 각각의 노즐공에서 나오는 분무는 균일한 형태로 이루어지지 않는 것으로 관찰되었고 각각의 노즐공에서 분사되는 분무는 각각 다른 양상을 나타내고 있으며 노즐 중심축에 대해 대칭을 이루고 있는 것으로 확인되었다.

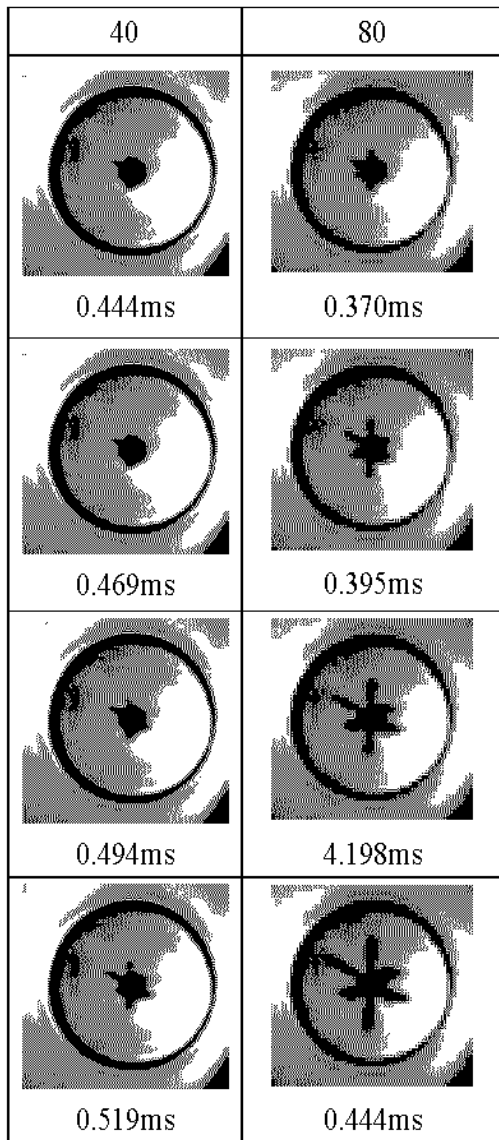


Fig. 2 Process of spray development as a function of time after injection drive pulse (Diesel fuel)

또한 Fig.2에서 알 수 있는 바와 같이 노즐 선단 부로부터 분무초기의 상태를 분무형성 시기부터 나타낸 것으로 분무형성 시기가 분사압력 변화에 따라 40MPa일 때와 80MPa일 때의 구동신호 입력 후 15번째와 18번째 프레임에서 처음으로 분무가 관찰되었으며 시간으로는 약 0.075ms 정도의 차이를 보이고 있다.

즉, 분사압력 변화에 따른 분사개시 시기의 차이를 분무 형성 상태를 관찰하여 확인할 수 있었다

3.2 바이오디젤유 혼합비 변화와 분사압력 변화에 따른 분무거동

바이오디젤유의 분무가 경유와 다른 특성을 나타내는 것은 고점도의 바이오디젤유에 의한 연료 혼합비에 따른 동점도 특성의 변화에 의한 것으로 판단된다.

바이오디젤유의 혼합비에 따른 동점도변화를 Table 2에 나타내었다. 40℃에서 현미유 혼합비에 따른 바이오디젤유의 동점도를 기준으로 작성되었다.

Table 2에 나타난 바와 같이 20% 혼합비를 가지는 BDF 20의 경우는 디젤연료와 비슷한 동점도를 가지지만 50% 혼합비를 가지는 BDF 50은 약간의 차이를 보이고 있는 것을 확인할 수 있으며 이로 인해 혼합비 변화에 따른 동점도 변화가 분무거동에 영향을 미친다는 것을 예측할 수 있다.

Table 2 Kinematic viscosity of bio-diesel(mm²/s)

Mixing ratio(Wt%) (Diesel fuel base)	0	20	50	100
Kinematic viscosity	2.9	3.0	3.4	4.1

3.2.1 경유의 분무거동

Fig. 3은 경유의 분사압력 변화에 따른 분무의 발달과정을 구동 신호 입력 후 경과시간에 따라 나타낸 것이다. 분사압력이 50MPa일 때의 분사개시는 구동신호 입력 후 약 16번째 프레임에서 시작되는데 80MPa일 때는 14번째와 15번째 프레임 사이에서 연료분사가 시작되는 것을 관찰할 수 있었다. 이 결과로 분사압력이 증가함에 따라 분사 개시 시기가 빨라지게 되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 각각의 분무공에서 나타나는 분무특성이 각기 다른 형태를 나타내고 있으며 각각의 분무홀에서의 분무

특성은 분사압력변화에는 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

3.2.2 BDF 20의 분무거동

BDF 20에 대한 분무거동은 Fig. 4와 같이 경우 분무와 유사한 경향을 나타내고 있으며 노즐 반경

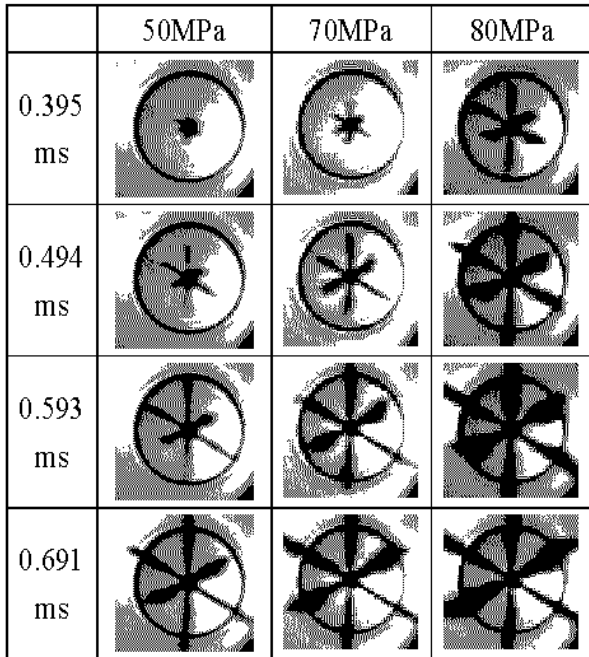


Fig. 3 Process of spray development according to the injection pressure (diesel fuel)

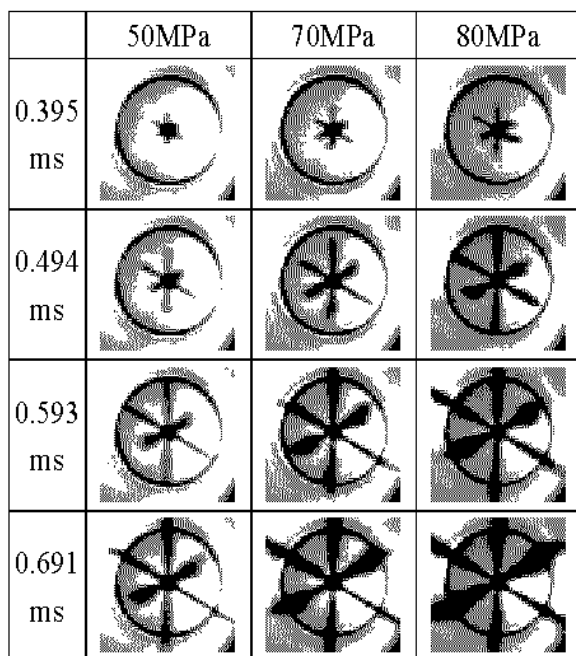


Fig. 4 Process of spray development according to the injection pressure (BDF20)

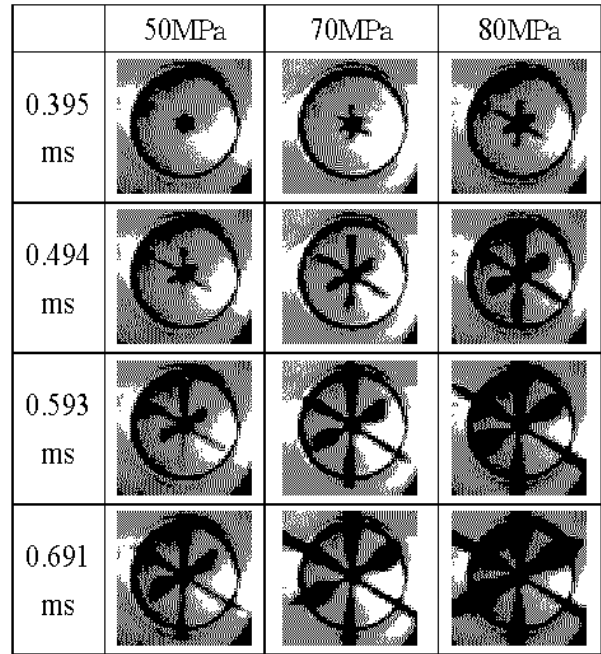


Fig. 5 Process of spray development according to the injection pressure (BDF 50)

방향의 분무 선단 도달 거리는 경우에 비해 약간 감소하는 것으로 나타나고 있다. 분사 개시 시기는 50MPa 이상의 조건에서는 거의 비슷하지만 초기 분무 성장 속도는 경우보다 느리게 나타나고 있다.

3.2.3 BDF 50의 분무거동

BDF 50에 대한 분무거동은 Fig. 5와 같이 디젤 분무와 비교하면 분무 선단 도달 거리는 상당히 짧은 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 바이오디젤의 동점도의 영향으로 판단되며 분사압력 변화에 대해 모든 조건에서 감소하는 것으로 관찰된다. 연료분사 개시 시기는 분사압력증가에 따라 빨라지나 경우에 비해 분무형성이 늦어지는 것을 확인할 수 있다.

3.3 분무 선단 도달거리

분무 선단 도달 거리는 노즐 축방향의 분무길이를 측정하여 평균을 취한 값으로 표시하였다.

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 분무 선단 도달 거리를 혼합비와 분사 압력변화에 따른 분무 선단 도달 거리를 구동신호 입력 후의 시간에 대해 도시한 것으로 Fig. 6으로부터 바이오디젤유 혼합비 증가에 따라 연료분사 개시 시기가 변화하는 것을 확인할 수 있으며 BDF 20의 경우는 디젤연료의 분무거동과 거의 유사한 거동을 하고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 7에서는 BDF 20에 대해 분사압력 변화에 따른 분무 선단 도달 거리를 측정된 결과로 분사 압력증가에 따라 분사 개시 시기가 당겨지고 있으며 분무 선단 속도 또한 증가하고 있는 것으로 나타났다.

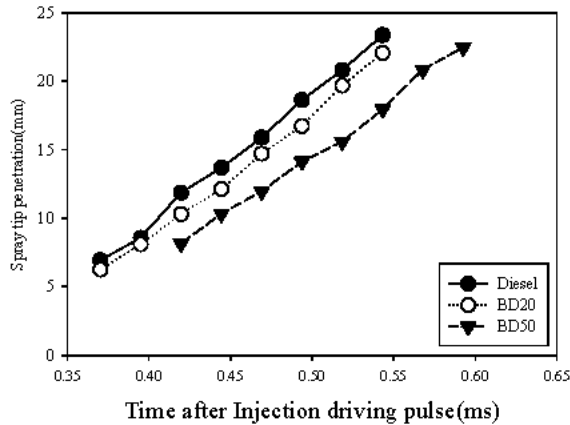


Fig. 6 Effect of mixing ratio on spray tip penetration ($P_{inj}=50MPa$)

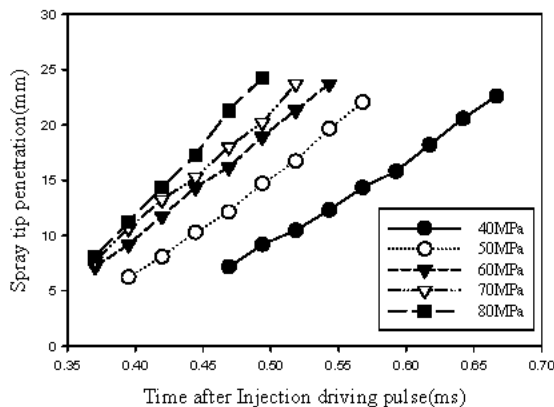


Fig. 7 Effect of injection pressure on spray tip penetration (BDF20)

4. 결 론

바이오디젤유의 분무특성을 파악하기 위해 경유를 기본 연료로 하여 바이오디젤유 혼합비와 연료 분사 압력을 변화시키면서 파악한 분무실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 분사압력 증가에 구동신호 입력 후 분무형성 시기는 분사압력 증가에 따라 빨라지는 것을 확인할 수 있었으며 혼합비 증가에 따라 늦어지는 것으로 나타났다. 이는 솔레노이드로부터 노즐홀까지의 연료의 진행속도에 관계된 결과로 나타난다고 판단되므로 저압분사를 이용하는 분사계에서는 바이오

디젤 연료 사용에 신중을 기할 필요가 있다고 판단된다.

2) 분무 선단 도달 거리는 분사 압력 증가에 따라 길어지고 혼합비 증가에 대해서는 짧아지는 경향을 보인다. 연료의 점성과 표면장력의 영향을 받는 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 (R05-2004-000-10643-0)의 지원으로 이루어졌으며, 관계 제위께 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. T. Oh and S. H. Choi, 2002, "A Study on Characteristics of Rice Bran Oil as an Alternative Fuel in Diesel Engine(I)", Transaction of KSAE, Vol.10, No.2, pp.15-22.
2. B. C. Choi, C. H. Lee and H. J. Park, 2002, "Power and Emission Characteristics of DI diesel Engine with a Soybean Bio-diesel Fuel", Journal of KSPSE, Vol.6, No.3, pp.11-16.
3. X. Montagne, 1996, "Introduction of Rapeseed Methyl Ester in Diesel Fuel-The French National Program", SAE 962065.
4. Christopher A. sharp, Sreve A. Howell, Joe jobe, 2000, "The Effect of Biodiesel Fuels on Transient Emissions from Modern Diesel Engines, Part 1 Regulated Emissions and Performance", SAE Paper No. 2000-01-1967.
5. Martin Herrmann, 2000, "Optimising Tractor CI Engines for Biodiesel operation", SAE Paper No. 2000-01-1969.
6. M. B. Sirman, E. C. Owens and K. A. Whitney, 2000, "Emissions Comparison of Alternative Fuels in an Advanced Automotive Diesel Engine", SAE Paper No. 2000-01-2048.