

◎ 研究論文

고온 분위기에서 디젤 분무의 거동에 관한 연구

류호성* · 송규근** · 안진근***

A Behavior Study of Diesel Spray on High Temperature

Ryu H. S* · Song K. K** · An J. G***

Key words : environmental temperature(분위기 온도), impinging spray(충돌 분무), free spray(자유분무), axial distance(축 방향 분무 도달거리), spray thickness(분무 두께)

Abstract

Diesel engine which has high thermal efficiency is one of the major movers . Recently, as people pay attention to the environmental pollution, the emission of Diesel engine becomes an important problem. So it is needed to understand the characteristics of diesel fuel spray injected into a combustion chamber to reduce the emission. The factors which control the diesel fuel spray are the injection pressure, the nozzle diameter, the impinging angle and the variation of an ambient pressure and temperature. In this paper, the experiments were conducted in the free spray and the impinging spray with various ambient temperatures (273K, 373K, 573K). And the behaviors of the diesel fuel spray, such as penetration, spray angle and axial distance in the free spray and axial distance and spray thickness in the impinging spray were studied.

기호설명

- θ : Spray Angle, degree
- h_1 : Spray Tip Penetration, mm
- r_1 : Radial Distance, mm
- H_1 : Distance from Nozzle to Impinging Disk, mm
- h_2 : Spray Thickness, mm

r_2 : Radial Distance(Impinging Spray), mm

1. 서 론

최근 들어 환경 오염에 대한 우려와 환경 보호의 필요성이 널리 인식됨에 따라 자동차 기관으로부터 배출되는 오염물질을 저감시키려는 법적 규제는 날로 엄해지고 있다.

* 전북대학교 대학원(원고접수일 : 2000년 5월)
 ** 전북대학교 자동차신기술연구소
 *** 한국전력기술(주)

디젤기관에 있어서 연료 분무의 미립화 및 유동 특성에 관한 연구는 배기가스 저감과 엔진성능 향상 측면에서 매우 중요한 의미를 갖으며, 청정엔진 개발을 위해 이에 대한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 특히 최근 들어 수치 해석적 연구가 활발히 진행되면서 해석결과를 검증할 수 있는 실험적으로 규명된 데이터의 확보가 요구되고 있다.

디젤 분무의 특성에 크게 영향을 미칠 것으로 판단되는 인자로는 분사압력, 회전수, 분위기 압력, 분위기 온도 등을 들 수 있다. 본 실험에서는 이 중에서 분위기를 온도를 변화시키면서 디젤분무형상을 고속카메라를 이용하여 촬영하였다. 이 촬영된 결과를 바탕으로 자유분무 및 벽면과의 상호작용에 의해 생성된 연료충돌분무의 분산과정을 파악 해석하여, 소형 직접분사식 디젤기관의 혼합기 형성 구조를 규명하고자 한다.

2. 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치는 크게 연료분사장치, 고온·고압용기 및 가시화장치로 구성되어져 있다.

Fig.1은 본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다.

본 실험에서 사용된 연료분사장치는 분사펌프와 분사노즐로 구성되어 있다. 연료분사에는 가변형DC모터를 사용하여 회전수를 일정하게 유지하며, 분사펌프를 작동한다. 연료는 분사펌프를 거쳐 단발분사 장치의 제어로 분사노즐을 통해 연소실에 일정량이 1회씩 분사되고 있다.

또한 본 실험에서 사용된 노즐은 분공경 0.2 mm, 분공장 0.4mm의 형상비가 2인 단공 홀 노즐

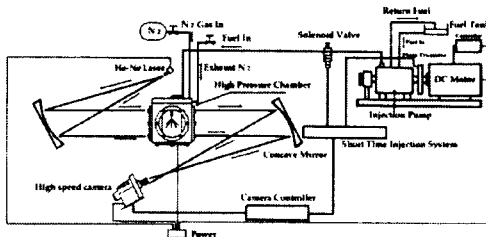


Fig. 1 Apparatus of Experimental System

이고 노즐 개방압은 19.6MPa로 고정하였다.

본 실험에서는 고온·고압용기를 사용해 실제기관의 연료분사시 연소실내 분위기에 가까운 상태를 재연하고, 고온·고압 실험용기의 온도는 상온(293K), 373K, 573K로 변화시켰으며, 실험용기내 분위기 가스로는 N_2 가스를 사용하였다. 고온·고압 실험용기내에서 분위기 온도를 변화시키더라도 분위기 압력은 2MPa로 일정하게 유지시켰다.

D.C. 모터의 회전수는 600rpm을 유지하고, 충돌분무시 충돌판은 노즐팁 수직 하방향 30mm 위치에 설치하였다.

분무 형상, 거동을 관찰하기 위하여 직경 200mm인 석영 유리창을 설치하였다. 촬영에는 쉘리렌과 새도우법을 이용하여 분무 거동을 촬영하였다. 이때의 광원은 He-Ne 레이저, 반사경으로는 $\phi 300$ mm의 Concave Mirror를 사용하였다. 각 분무 형상은 고속카메라를 이용하여 5,000FPS의 속도로 촬영하여 해석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

본 실험은 고온 분위기에서 자유분무, 수직 충돌분무시 분무의 형상을 촬영하여 분무 도달거리, 분무각, 분무반폭, 분무두께 등을 측정하였다. Fig.2는 자유분무시 분무형상을 나타낸 것이다. 분무각 θ 는 노즐팁으로부터 분무 도달거리가 30mm인 곳에서 측정하였고, 분무 도달거리(h_1)는 표준 스케

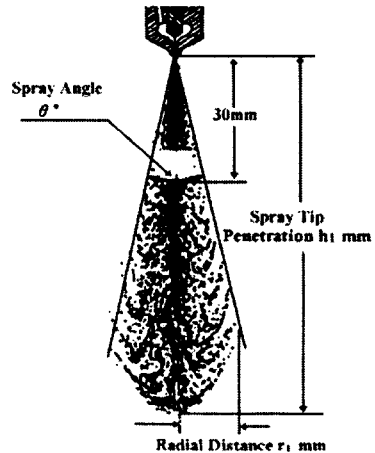


Fig. 2 Schematic Diagram of Free Spray

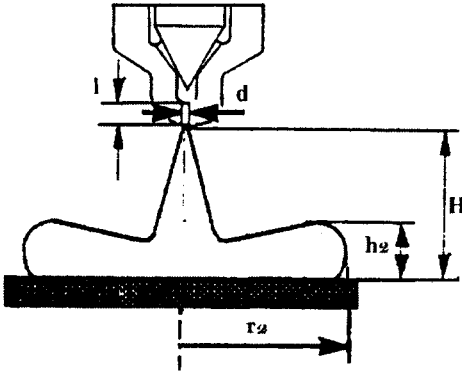


Fig. 3 Schematic Diagram of Impinging Spray

일과 분무의 사진을 비교하여 노즐 팁으로부터 수직 하방향으로 측정하였다. 그리고 분무 반폭 r_1 은 분무 축 중심으로부터 반경방향으로 측정하였다.

Fig.3은 수직 충돌분무시 측정 변수를 나타낸 것이다. 충돌판은 노즐 팁 선단으로부터 30mm인 거리에 설치하였고, 분무가 충돌한 후 충돌판의 반경방향 도달거리는 r_2 mm, 충돌 후 충돌판으로부터 분무 두께는 h_2 로 나타내었다.

3. 1 자유 분무에 미치는 주위 온도의 영향

Fig.4~Fig.7은 온도 변화에 따른 자유분무시 분무 형상을 0.2ms 간격으로 총시간 1.8ms동안의 고속카메라로 찍은 분무사진을 나타낸다.

Fig.4는 주위분위기온도가 상온, Fig.5는 100℃, Fig.6은 300℃에서의 분무사진으로 분무도달거리는 어느 경우나 시간이 증가함에 따라 증가하고 있으며, 연료 미립화, 분산, 확산이 활발하게 진행되고 있음을 알 수 있다.

상온 분위기에서 자유분무는 시간이 경과함에 따라 연료와 분위기 가스와의 마찰로 미립화와 분산, 혼합이 활발히 이루어지기 때문이고, 고온 분위기의 경우는 이러한 현상에 더해서 높은 분위기 온도의 영향으로 미세한 액적들의 증발이 활발하기 때문이라 생각된다.

또한 사진에서 나타난 바와 같이 분무의 성장 속도는 분위기 온도가 높아질수록 작아지고 있고, 분사시간 전반에 걸쳐 그 경향이 현저히 나타난다. 특히 분위기 온도가 높을수록 분무 선단은 크게 분열된 형상을 보이고 있다. 이는 고온의 영향으로

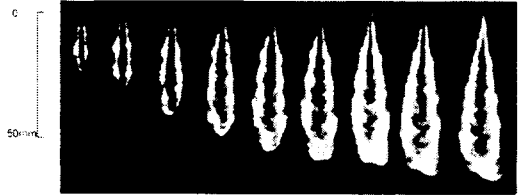


Fig. 4 Photographs of Free Spray(293K)



Fig. 5 Photographs of Free Spray(373K)



Fig. 6 Photographs of Free Spray(573K)

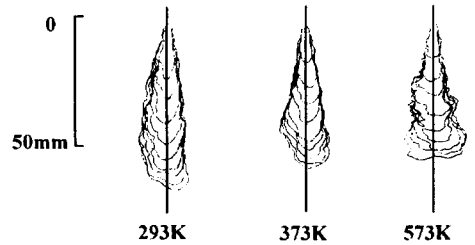


Fig. 7 The Shape of Free Spray with Temperature (293K, 373K, 573K)

액적의 증발이 활발히 일어나고 이는 액적이 가지고 있는 운동량 감소로 이어져 주위 공기와 혼합이 활발히 이루어져 반경방향 혼합이 심화되어진 것으로 생각된다.

Fig.7은 분무시간 경과에 따른 분무 외곽 형상을 표시한 것이다. 외곽 형상 표시는 Fig.4, Fig.5, Fig.6에서 얻어진 분무사진을 0.2ms 간격으로 하여 표시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 분무 성장

속도는 분위기 온도가 높아질수록 작아지고 있고, 분사시간 전반에 걸쳐 그 경향이 나타나고 있다. Fig.8과 Fig.9는 온도 변화에 따른 분무 도달거리와 분무각의 변화를 나타낸 것이다. 이때 주위 분위기 온도는 293K, 373K, 573K이다.

Fig.8에서 분무도달거리는 시간이 경과함에 따라 증가하고 있다. 그러나 분무 성장속도는 1ms를 기준으로 이후에는 약간 감소하고 있다. 이는 주위 기체와의 전단층에서의 마찰로 분열이 일어나고 혼합이 심화됨으로써 성장속도가 둔화되기 때문이라 생각된다. 또한 고온의 경우는 액적 증발의 영향이 더해져서 더욱더 성장속도 둔화가 심화된 것으로 생각된다.

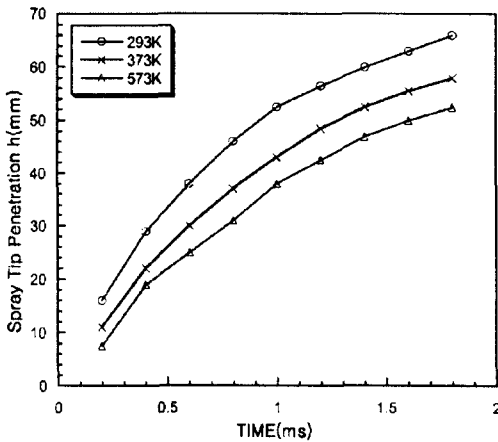


Fig. 8 Variation of Spray Tip Penetration with Temperature

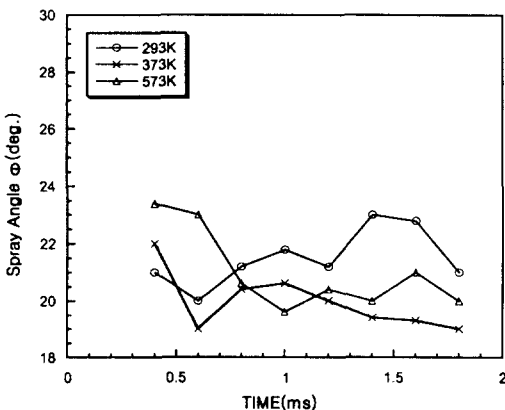


Fig. 9 Variation of Spray Angle with Temperature

Fig.9의 분무각 변화는 분사초기에는 분위기 온도가 높은 쪽에서 분무각이 커지는 경향이 있고, 그 이후로 분무가 분열하기 시작하면서, 분무각은 상온에서 크게 나타나고 있다. 이는 상온에서는 미립화되어 매우 가는 액적으로 연료가 존재하지만 고온분위기에서는 증발로 인한 증기연료가 존재하기 때문에 액적에 비해 증기가 공간으로 진행하는 운동량이 작아지고, 또 고온으로 인해 액적증발이 빨라지기 때문에 이러한 경향이 나타나는 것으로 생각된다.

3.2 수직충돌 분무에 미치는 주위 온도의 영향

Fig.10~Fig.12는 온도 변화에 따른 충돌분무시 분무 형상을 촬영하여, 0.2ms간격으로 1.8ms까지 나타낸 사진이다. 노즐 선단으로부터 충돌판까지의 거리는 30mm이고, 본 실험에서의 온도 변화는 293K, 373K, 573K이다.

Fig.10~Fig.12의 관측결과 전반적인 분무 특성은 자유 분무에서 나타난 바와 같은 경향이였다. 사진에 나타난 바와 같이 상온에서 분무와 고온분



Fig. 10 Photographs of Impinging Spray(293K)

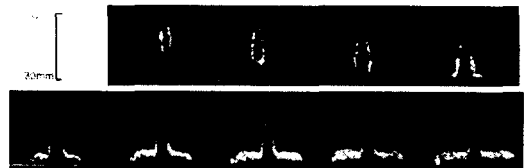


Fig. 11 Photographs of Impinging Spray(373K)

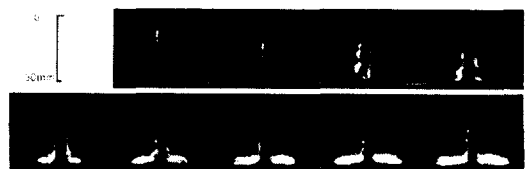


Fig. 12 Photographs of Impinging Spray(573K)

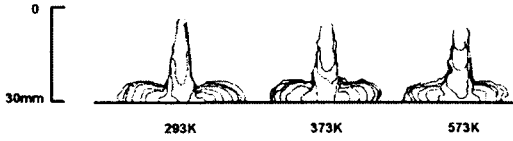


Fig. 13 The Shape of Impinging Spray with Temperature(293K, 373K, 573K)

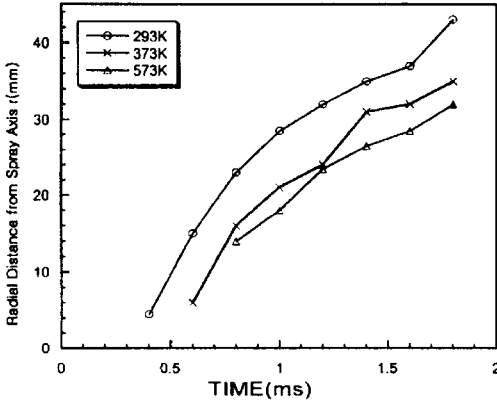


Fig. 14 Variation of Radial Distance with Temperature

위기에의 분무 양쪽 모두 분사 개시 후 시간이 경과함에 따라 충돌분무에서도 시간이 경과함에 따라 분무 외곽 형상이 흩어지고 있다. 그러나 흩어짐 즉, 분열의 미립화가 활발하여짐에 따라 명확한 분무형상을 관측, 구분이 어려웠다. 또한 분무가 충돌판에 충돌 이후 2차 분열이 발생함을 알 수 있었다.

이는 상온 자유분무의 경우 시간이 경과함에 따라 연료와 분위기 가스와의 혼합이 활발히 이루어지기 때문이다. 특히 Fig.12의 고온 경우에는 연료와 분위기 가스와 혼합뿐만 아니라 고온으로 인한 미립자의 증발확산이 활발하게 진행하기 때문이라 생각된다.

Fig.13은 분사 개시 후 시간 경과에 따른 충돌분무의 외곽 형상을 나타낸 것이다. 시간 간격은 0.2ms간격으로 나타냈다. 그림에 나타난 바와 같이 벽면에 충돌하기 전의 분무에서는 자유분무의 경우와 같이, 고온이 될수록 선단 형상이 분열되고 있다. 또한 벽면에 충돌한 후의 분무에서는 상온하의 분무에 비해 고온하의 분무의 외형이 분열되고 있고, 분위기 온도가 높아질수록 그 분열되는 정도

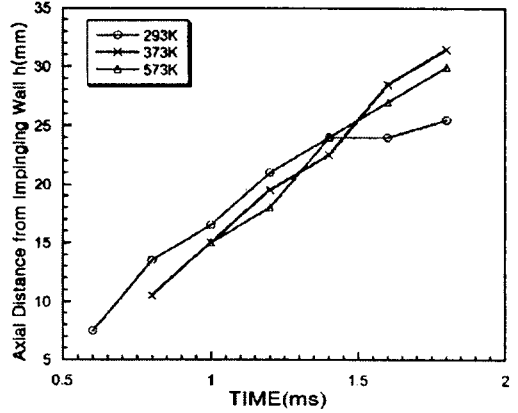


Fig. 15 Variation of Axial Distance with Temperature

가 커지고 있다. 이것은 본 실험에서 사용한 고압 용기에서는 충돌벽면의 온도 제어가 불가능하므로, 고온하에서의 벽면의 온도가 높아져 벽면으로부터 분무 증발의 영향이 분무의 거동, 특성에 영향을 미치는 것으로 보여진다.

Fig.14는 충돌분무에 있어 충돌이후 온도 변화에 따른 반경방향 분무의 도달거리를 나타낸 것이다. Fig.14에서 반경방향 분무의 도달거리는 자유분무에서와 같이 시간에 따라 증가하고 있으며, 상온에서 가장 크게 나타나고 있다. 이는 상온의 경우에 분무 성장 속도가 가장 크고, 373K와 573K의 경우에는 분위기 온도의 영향으로 분무의 운동량이 감소한 것으로 생각된다.

Fig.15는 충돌분무에 있어 주위분위기 온도 변화에 대한 분무두께의 측정 결과를 보이고 있다.

충돌 이후 분무두께는 본 실험범위 내에서는 시간이 지남에 따라 증가하고 있다. 그리고 분사

초기부분에서는 상온의 경우가 크게 나타나지만, 분무 후반기에는 고온분위기에서 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 고온 분위기에서 분무 축 방향의 운동량이 작기 때문에 충돌 초기에 반경방향 도달거리와 분무두께가 작게 나타난 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 실험에서는 고온·고압 용기를 사용해 실제 기관의 연료 분사시 연소실 내 조건에 가까운 상태

를 재연하여 직접 분사식 디젤 기관의 분무거동에 미치는 주위온도의 영향을 밝히고자 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자유 분무시 분위기 온도가 높을수록 분무 도달거리가 작고, 분무 선단의 분열이 심화된다.
2. 분위기 온도가 높을수록 벽면에 충돌 후에도 분무 반쪽, 분무 두께 모두에 대해서 성장속도가 늦어졌다.
3. 충돌 초기에는 분무의 성장속도에는 변화가 보이지 않지만, 분무두께에 대해서는 오히려 고온쪽이 상온보다 커짐을 알 수 있다.

“본 연구는 전북대학교 자동차신기술연구소 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.”

참고문헌

- (1) Kyu-Keun Song, Hiroyuki Hiroyasu, and Takuo Yoshizaki, “Three-Dimensional Spray Distributions in a Direct Injection Diesel Engine”, SAE Paper 941693.
- (2) H. Hiroyasu, T. Kadota and S. Tasaka, “Penetration of Diesel Fuel Sprays”, Trans. of JSME, Vol 44, No. 385 (1978)
- (3) H. Hiroyasu and T. Kadota, “Droplet Size Distributions in Diesel Engines” Trans SAE, Vol. 41, No. 342 (1975), pp. 672~684
- (4) J. C. Dent, “A Basis for the Comparison of Various Experimental Methods for Studying Spray Penetration”. SAE Trans, Part 3J(1970), pp67~76
- (5) Arthur H. Lefebvre, “Atomization and Sprays”. Purdue University, Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
- (6) Hosoya M., Nakahira T., Komori M. and Tsujimura K., Yamaguchi I., “Observation of High Pressure Fuel Spray with Laser Sight Sheet Method”, SAE 920459.

- (7) 이창식, 이기형, 전문수, 최수천, 김민규 대한기계학회B 23권 12호 pp1555~1561, 1999 “고압가솔린 인젝터의 분무 거동 및 미립화 특성”
- (8) 차건중, 서경일, 김덕줄 대한기계학회B 21권 11호 pp1459~1465, 1997 “충돌분무의 성장에 미치는 분사압과 배압의 영향에 관한 연구”
- (9) 양희천, 유홍선, 정동화 대한기계학회B 22권 5호 pp661~671, 1998 “벽에 충돌하는 디젤분무의 특성에 대한 수치적 연구”
- (10) 김강출, 안진근, 송규근 자동차공학회논문집 5권6호, pp120-127, 1997 “디젤노즐의 분무 거동에 관한 연구”

저 자 소 개



류호성 (柳虎成)

1962년 7월 5일생. 1985년 전북대학교 정밀기계공학과(학사). 1987년 전북대학교 기계공학과(석사). 1989~1993년 현대자동차. 현재 전북대학교 대학원 정밀기계공학과 박사과정중. 당학회 회원



송규근 (宋圭根)

1954년 12월 26일생. 1981년 전북대학교 기계공학과(학사). 1983년 전북대학교 대학원 기계공학과(석사). 1987년 일본 북해도대학 대학원 기계공학과(박사). 현재 전북대학교 기계공학부 교수. 당학회 회원



안진근 (安珍根)

1961년 5월생. 1984년 전북대학교 정밀기계공학과(학사). 1986년 전북대학교 대학원 기계공학과(석사). 1996년 전북대학교 대학원 기계공학과(박사). 1990~1996년 한국원자력연구소 선임연구원. 1997년~현재 한국전력기술주식회사 책임연구원. 당학회 회원