

## 고온 분위기에서 디젤 분무의 거동에 관한 연구

류호성\* · 정임권\* · 송규근\*\* · T.YANO\*\*\*

### A Behavior Study of Diesel Spray on High Temperature

Ryu H.S\*, Chong I.G\*, Song K.K\*\*, T.YANO\*\*\*

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

#### Abstract

A diesel engine is one of the major prime movers to its high thermal efficiency. But due to the recent attention for the environmental pollution, the emissions of diesel engine became to a important problem. So it is needed to understand the characteristics of diesel spray injected into a combustion chamber.

The factor which controls the diesel spray are the injection pressure, the nozzle diameter, the impinging angle and the variation of pressure and temperature. In this paper, experiments were conducted for the variation of the environmental temperature(273K, 373K, 573K), free spray and impinging spray. And the notions of penetration, spray angle, axial distance for free spray, and axial distance, spray thickness from impinging wall for impinging spray.

#### 1. 서론

##### 기호설명

- $\theta$  : 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

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

디젤기관에 있어서 연료 분무의 미립화 및 유동특성에 관한 연구는 배기가스 저감과 엔진성능 향상 측면에서 매우 중요한 의미를 갖으며, 청정 엔진 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.

본 실험에서는 디젤 분무의 형성에 크게 영향을 미칠 것으로 판단되는 분사압력, 회전수, 분위

\* 전북대학교 대학원

\*\* 전북대학교 자동차신기술연구소

\*\*\* Kagoshima University

기 압력, 분위기 온도 중에서 분위기 온도를 변화시켜가면서 디젤분무과정을 촬영하였다. 이 촬영된 결과를 바탕으로 자유분무 및 벽면과의 상호작용에 의해 생성된 연료충돌분무의 분산과정을 파악하여, 소형 직접분사식 디젤기관의 혼합기 형성 구조를 해명하고자 하였다.

## 2. 실험장치

여기에 분사된 디젤 기관의 충돌 분무를 관찰하기 위해서 본 연구에서 사용한 실험장치는 가시화장치, 연료분사장치, 고온·고압용기로 이루어져 있다.

그림 2.1은 본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타낸다.

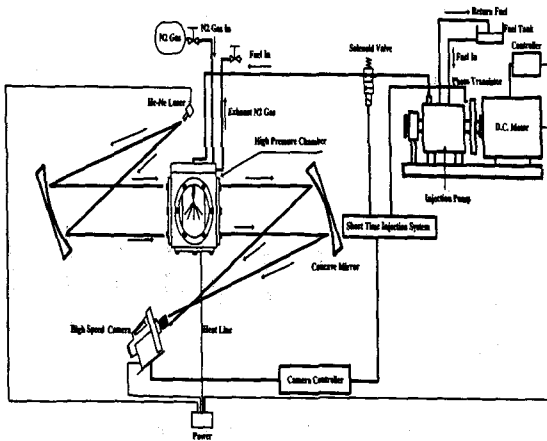


Fig.2.1 Apparatus of Experimental system

실험에서 사용된 노즐은 분공경 0.2mm, 분공장 0.4mm의 형상비가 2인 단공 홀 노즐이고 노즐 개변압은 19.6MPa로 고정하였다.

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

D.C. 모터의 회전수는 600rpm을 유지하고, 충돌분무 시 충돌판은 노즐 팁수직 하방향 30mm 위치에 설치하였다.

분무 형상 촬영은 슈릴렌 촬영법으로 촬영하였다. 이때의 광원은 He-Ne 레이저를 사용하였고, 반사경으로는  $\varnothing 300\text{mm}$ 의 슈릴렌 Concave Mirror를 사용하였다. 각 분무 형상은 고속카메라를 이용하여 5,000FPS의 속도로 촬영하였다.

## 3. 실험 결과 및 분석

본 실험은 고온 분위기에서 자유분무, 수직 충돌분무 시 분무의 형상을 촬영하여 분무 도달거리, 분무각, 분무반폭, 분무두께 등을 측정하였다. 그림 3.1은 자유분무 시 측정 변수를 나타낸 것이다. 분무각  $\theta$ 는 분무 도달거리가 30mm인 곳에서 측정하였고, 분무 도달거리는  $h_1$ 은 사전에 촬영된 스케일과 분무의 사진을 비교하여 노즐 팁으로부터 수직 하방향으로 측정하였다. 그리고 분무 반폭  $r_1$ 은 분무 축 중심으로부터 반경방향으로 측정하였다.

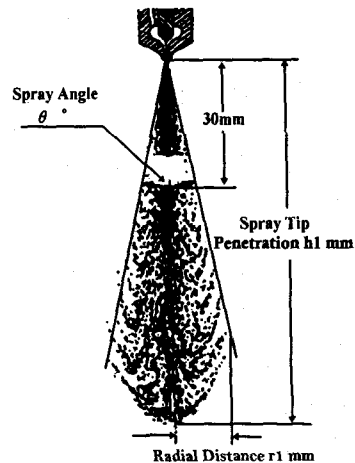


Fig. 3.1 Schematic Diagram of Free Spray

그림 3.2는 수직 충돌분무 시 측정 변수를 나타낸 것이다. 충돌판은 노즐 팁 선단으로부터

30mm인 거리에 설치하였고, 분무가 충돌판에 충돌 후 충돌판의 반경방향 도달거리는  $r_2$ mm, 충돌 후 충돌판으로부터 분무 두께는  $h_2$ 로 나타내었다.

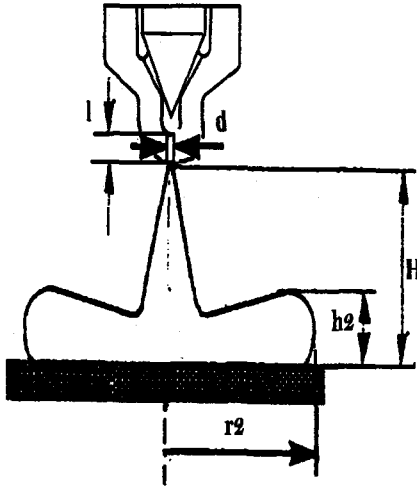


Fig.3.2 Schematic Diagram of Impinging Spray

### 3.1 자유 분무에 미치는 주위 온도의 영향

그림 3.3~3.5는 온도 변화에 따른 자유분무 시 분무 형상을 0.2ms 간격으로 총시간 1.8ms동안의 고속카메라로 찍은 분무사진을 나타낸다. 그림 3.3은 주위온도가 상온, 그림 3.4는 100℃, 그림 3.5는 300℃에서의 사진으로 분무도달거리는 어느 경우이나 시간이 증가함에 따라 증가하고 있으며, 분무팁 부분에서 연료가 미립화, 분산, 확산, 활발해지고 있음을 알수 있다. 이는 상온 분위기에서 자유분무는 시간이 경과함에 따라 연료와 분위기 가스와 혼합이 활발히 이루어지기 때문이고, 고온 분위기의 경우는 높은 분위기 온도의 영향으로 미세한 액적들의 증발이 활발하기 때문으로 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 나타내는데 이는 분무가

갖는 운동량이 감소하여 연료 증기가 부유하므로 분무 선단이 분열되어 반경방향으로 퍼짐이 심화된 것으로 생각된다.

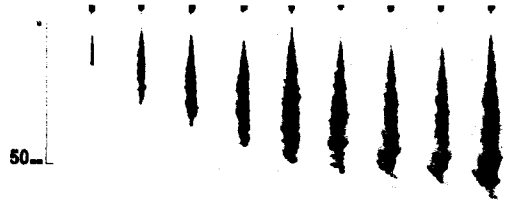


Fig.3.3 Photo of Free Spray(293K)



Fig.3.4 Photo of Free Spray(373K)

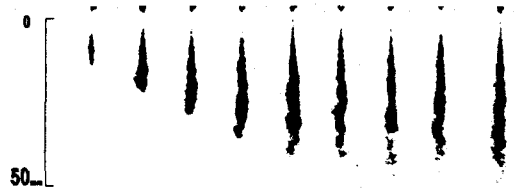


Fig.3.5 Photo of Free Spray(573K)

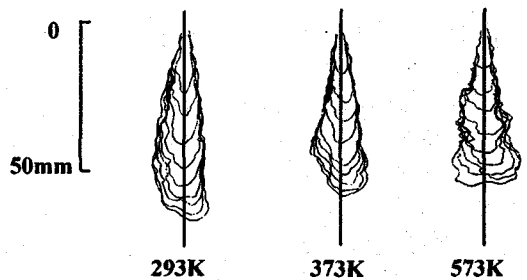


Fig.3.6 The Shape of Free Spray with Temperature(293K, 373K, 573K)

그림 3.6는 분무시간 경과에 따른 분무 외곽 형상을 표시한 것이다. 즉 그림 3.2, 3.4, 3.5에서 얻어진 분무사진을 0.2ms 간격으로 하여 그 외곽 분무 형상을 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 분무 성장속도는 분위기 온도가 높아질수록 작아지고 있고, 분사시간 전반에 걸쳐 그 경향이 나타나고 있다. 또한 분위기 온도가 높을수록 분무선단의 분열이 심화되는데 이는 분사시기 후반에 연료 증발이 발생하여 부유하고, 분무가 갖는 운동량이 감소하면서 분열이 일어나 분무 선단이 부서져 반경방향으로 퍼지는 것으로 생각된다.

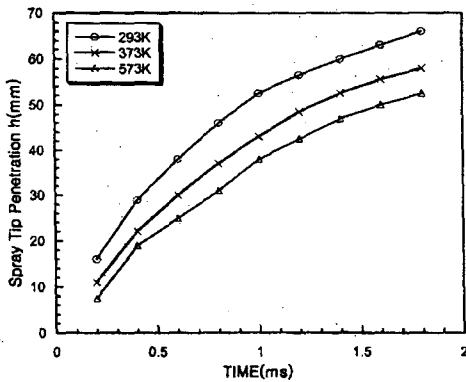


Fig.3.7 Variation of Spray Tip Penetration with Temperature

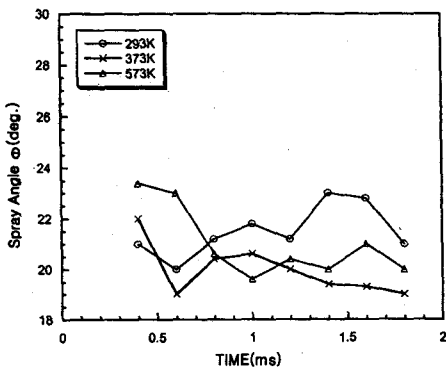


Fig.3.8 Variation of Spray Angle with Temperature

그림 3.7과 그림 3.8은 온도 변화에 따른 분무

도달거리와 분무각의 변화를 나타낸 것이다. 이때 온도변화는 293K, 373K, 573K이다. 그림 3.7의 분무도달거리 그래프에서 시간이 경과함에 따라 분무 성장속도가 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 주위 기체와의 전단층에서의 마찰로 분열이 일어나고 혼합이 심화됨으로써 성장속도가 둔화되기 때문이라 생각한다. 또한 고온의 경우는 액적 증발의 영향으로 인해 더욱더 성장속도 둔화가 심화된 것으로 생각된다. 그림 3.8의 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 증기로 연료가 존재하기 때문에 액적에 비해 증기가 공간으로 진행하는 운동량이 작기 때문에 이러한 경향이 나타나는 것으로 생각된다.

### 3.2 수직충돌 분무에 미치는 주위 온도의 영향

그림 3.9~3.11은 온도 변화에 따른 충돌분무시 분무 형상을 촬영하여, 0.2ms간격으로 1.8ms까지 나타낸 것으로, 노즐 선단으로부터 충돌판까지의 거리는 30mm이다. 이때 온도변화는 293K, 373K, 573K이다. 자유 분무에서 나타난 바와 같이 충돌분무에서도 시간이 경과함에 따라 분무 외곽 형상이 흩어짐을 알 수 있으나, 흩어짐 즉, 분열 미립화가 활발하여짐에 따라 명확한 형상을 구분하기는 어려워지고 있으며, 분무가 충돌판에 충돌 이후 2차 분열이 발생함을 알 수 있다. 사진에 나타난 바와 같이 상온에서 분무와 고온 분무 양쪽 모두 분사 개시 후 시간이 경과함에 따라 분무의 형상 관측이 곤란해짐을 알 수 있다. 이는 상온 자유분무의 경우 시간이 경과함에 따라 연료와 분위기 가스의 혼합이 활발히 이루어지기 때문이다. 특히 그림 3.11 고온의 경우에는 연료와 분위기 가스와 혼합뿐만 아니라 고온으로 인한 미립자의 증발확산이 활발하게 진행하기 때문이라 생각된다.

그림 3.12는 분사 개시 후 시간 경과에 따른 충돌 분무의 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 정도가 커지고 있다. 이것은 본 실험에서 사용한 고압용기에서는 충돌벽면의 온도 제어가 불가능하므로, 고온 하에서의 벽면의 온도가 높기 때문으로 생각된다. 벽면부터 분무의 증발의 영향이 분무의 외형에 영향을 미치는 것으로 보여진다.

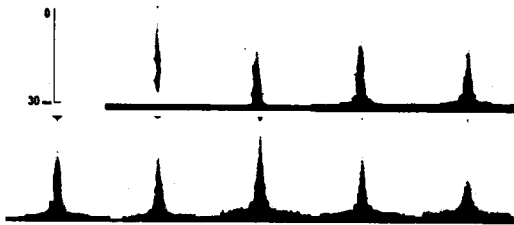


Fig.3.9 Photo of Impinging Spray(293K)

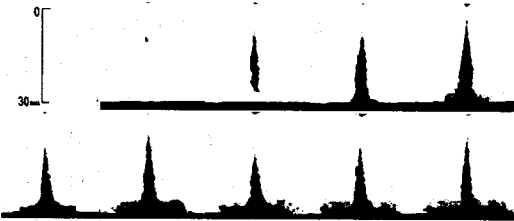


Fig.3.10 Photo of Impinging Spray(373K)

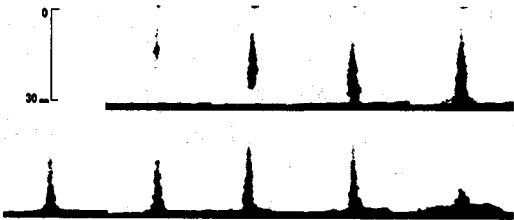


Fig.3.11 Photo of Impinging Spray(573K)

그림 3.13과 그림 3.14는 충돌이후 온도 변화에 따른 반경방향 분무 도달거리와 분무 두께를 나타낸 것이다. 그림 3.13에서 반경방향 분무 도달거리는 상온에서 가장 크게 나타나는데 이는 상

온의 경우 분무 성장 속도가 가장 크고, 373K와 573K의 경우 분위기 온도의 영향으로 분무의 운동량이 감소한 것으로 생각된다.

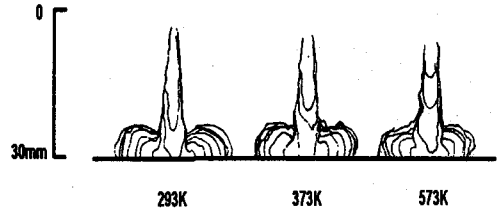


Fig.3.12 The Shape of Impinging Spray with Temperature(293K, 373K, 573K)

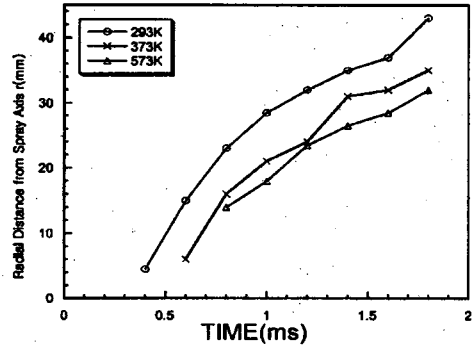


Fig.3.13 Variation of Radial Distance with Temperature

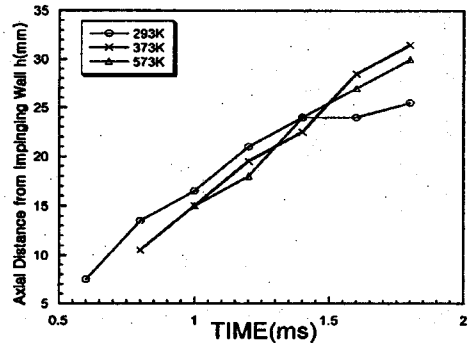


Fig.3.14 Variation of Axial Distance with Temperature

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

#### 4. 결론

본 실험에서는 고온·고압 용기를 사용해 실제 기관의 연료 분사 시 연소실 내 조건에 가까운 상태를 재현하여 직접 분사식 디젤 기관의 분무 거동에 미치는 주위온도의 영향을 밝히고자 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자유 분무 시 분위기 온도가 높을수록 분무 도달거리가 작고, 분무 선단의 분열이 심화된다.
  2. 분위기 온도가 높을수록 벽면에 충돌 후에도 분무반쪽, 분무 두께 모두에 대해서 성장속도가 늦어졌다.
  3. 충돌 초기에는 분무의 성장속도에는 변화는 보이지 않지만, 분무두께에 대해서는 오히려 고온쪽이 상온보다 커짐을 알 수 있다.
- 앞으로 분위기 온도 변화뿐만 아니라 분위기 압력변화를 적용한 실험을 통하여 실제 분무에 근사한 자료를 분석하여, 디젤 기관에서의 분무특성, 연소 특성, 배기 특성을 규명하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

#### 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, "Peneration 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 Coporation, 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"