

# 고온·고압 환경에서 가열평판에 충돌하는 디젤분무의 특성

임경훈\* · 이봉수\* · 김종현\*\* · 구자에†  
(2000년 7월 14일 접수, 2001년 3월 10일 심사완료)

## Characteristics of Impinging Diesel Spray on the Heated Flat Wall in High Temperature and High Pressure Environments

Kyunghun Im, Bongsu Lee, Jonghyun Kim and Jaye Koo

**Key Words:** Diesel Spray Impingement(디젤충돌분무), Shadowgraphy(쉐도우 그래피), Radial Penetration(반경방향 관통도), Height of Spray(분무높이), Stagnate Region(정체영역)

### Abstract

Characteristics of a diesel spray impingement with the variation of ambient temperature, wall temperature and ambient pressure were investigated through shadowgraphy method by using high speed camera. The radial penetration of spray was increased with ambient temperature and wall temperature. It is resulted from the decrease of ambient gas density caused by the increase of temperature. The height of spray was also increased with ambient temperature and wall temperature, because the height of stagnate region is noticeably increased, although height of wall jet vortex is decreased. At the same ambient pressure, the area ratio of impinging spray of room temperature environment to high temperature environment was increased, as the temperature difference between room temperature and high temperature increases. And the increment of area ratio was higher at low ambient pressure than high ambient pressure.

### 기호설명

- P : 분위기압력 [MPa]
- T<sub>A</sub> : 분위기온도 [°C]
- T<sub>w</sub> : 평판온도 [°C]
- R : 충돌분무의 반경방향 발달거리 [mm]
- H : 충돌분무의 높이방향 발달거리 [mm]
- A : 충돌분무의 단면적 [mm<sup>2</sup>]
- h<sub>vortex\_a</sub> : wall jet vortex의 높이 [mm]
- h<sub>vortex\_b</sub> : wall jet vortex 상부 정체영역의 높이 [mm]
- h<sub>jet\_a</sub> : main wall jet의 높이 [mm]
- h<sub>jet\_b</sub> : main wall jet 상부 정체영역의 높이 [mm]
- ρ<sub>f</sub> / ρ<sub>a</sub> : 연료와 분위기의 밀도비

### 1. 서론

디젤기관은 높은 압력비로 인해 가솔린 엔진보다 열효율이 좋을 뿐만 아니라 연료의 자발화점이 낮고 희박한 공연비에서도 연소가 가능하지만 가솔린 엔진에 비해 질소산화물과 입자상 물질의 배출이 많아 최근 강화된 환경규제에 따라 공해 배출물을 저감하려는 노력이 많이 진행되고 있다.

디젤기관에서 문제가 되는 질소산화물의 생성은 당량비가 0.9 부근이고 온도가 1800 K 이상일 때 생성속도가 대단히 빠르다. 디젤엔진은 연소과정상 확산연소가 많은 부분을 차지한다. 확산연소는 이론적으로는 화염면이 당량비 1 부근에서 형성되지만 부분적으로 불 때 농후한 혼합비의 영역과 희박한 혼합비의 영역이 있을 수 있다. 입자상물질은 주로 농후한 혼합비영역에서 발생하는데, 고온에서 입자상 물질은 산소와 접촉하여 연소되는 것이 일반적이거나 연소할 시간이

\* 한국항공대학교 대학원  
 \*\* 한국항공대학교 인턴연구원  
 † 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부  
 E-mail : jykoo@mail.hankong.ac.kr  
 TEL : (02)300-0116 FAX : (02)3158-2191

짧은 연소 후기나 연소온도가 낮은 경우는 미처 연소되지 못한 입자상물질이 그대로 배출된다. 특히 냉간 시동시 벽면에 필름 상태로 부착된 연료의 경우 벽면에 의한 화염온도저하와 과농한 혼합비의 영향으로 입자상물질이 많이 배출된다.

소형 고속디젤엔진에서는 연소실의 크기가 작기 때문에 고압분사시에 분무가 피스톤 상부나 실린더 벽면에 충돌하는 현상이 일어난다. 이 경우 충돌분무는 충돌면에 의한 액적의 2차분열과 액적의 분산을 유도함으로써 연료와 공기의 혼합과 연료의 증발에 매우 큰 영향을 미치고 나아가 연소과정 및 배기가스의 생성에 영향을 미치게 된다<sup>(1)</sup>.

Katsura<sup>(2)</sup>는 상온에서 여러 밀도비에서의 충돌분무를 평면레이저광을 이용한 산란광의 관찰로 분무의 반경방향 발달거리 및 높이방향 발달거리가 밀도비와 관계가 있다는 것을 보고하였다. Senda<sup>(3,4)</sup>는 상온에서 연료밀도와 분위기밀도의 비로써 반경방향 발달거리와 높이방향 발달거리를 함수로 정의하였고, 평면 레이저를 이용하여 디젤연료의 고온 충돌분무에서의 증발특성을 연구하였다. Ko<sup>(5)</sup>는 상압의 단일 액적의 충돌에 관하여 다양한 온도범위의 평판에서 액적의 증발속도와 충돌양상, 분열확률을 CCD를 이용하여 연구하였는데 액적의 증발이 평판의 온도 증가에 따라 급격히 증가하며 충돌후 액적이 분열하는 확률은 액적의 속도와 평판의 온도가 증가함에 따라 증대된다는 것을 밝혔다. 조창권<sup>(6)</sup> 등은 평판온도가 120℃까지 될 때에 가열평판에서 분무실에 수반되는 열전달 측정을 하였다. 그러나 다양한 온도와 고압에서의 충돌분무현상은 아직도 연구 중이고 많은 데이터가 필요한 것이 현실이다. 본 연구에서 평판온도를 300℃까지 가열하고 분위기 압력을 2.1 MPa까지 상승시켜 보다 실제조건에 가까운 충돌분무의 형태를 비교하고 충돌분무에 대한 거동특성을 살펴보았다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 노즐은 단공, 홀타입 노즐로 개변압은 20.1 MPa로 설정되어 있다. Fig. 1은 실험에 사용된 단발분사를 위한 분사장치의 개략도이다. 밀폐된 가압용기 내에서 연속분사를 할 경

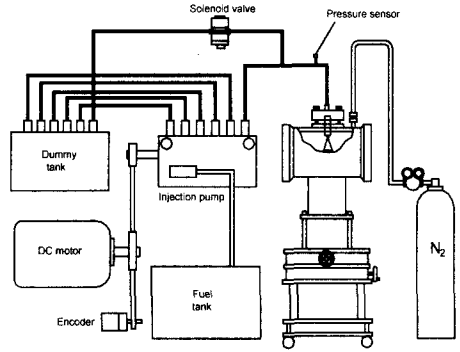


Fig. 1 Schematic of injection system arrangement

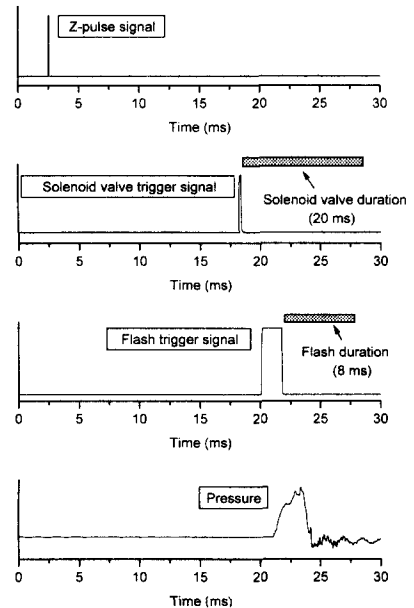


Fig. 2 Control signals

우 비산하는 연료 액적들로 인해 관찰이 어렵게 되므로 단발분사장치를 구성하였다.

분사펌프에서 나오는 6개 라인 중 한 개를 노즐과 연결하고 나머지는 더미 노즐에 연결하여 연료탱크로 다시 순환시킨다. 연료 유량과 분사시간의 조절은 분사펌프의 랙(rack)을 이용하였고 압력계로부터 나오는 압력신호를 기준으로 분사장치를 제어하였다. 노즐과 연결된 연료라인은 평상시에는 솔레노이드 밸브를 통해 더미노즐로 연료를 분사하지만 제어신호가 솔레노이드 밸브에 가해지면 순간적으로 밸브가 닫히면서 연료가 노즐로 분사된다.

Table 1 Experimental matrix

P (MPa)	T <sub>A</sub> = T <sub>W</sub> (°C)
1.1	24, 120, 165, 210, 255, 300
2.1	24, 120, 165, 210, 255, 300

Fig. 2는 솔레노이드 밸브와 카메라 플래시의 제어신호를 나타낸 그림이다. 분사 펌프를 구동하는 DC 모터에는 인코더가 장착되어 있어 분사 펌프가 1회전 할 때마다 Z펄스 신호가 생성되고 이것이 모든 기기를 작동시키는 기준이 된다. 단 발분사에 필요한 신호는 반복되는 신호중 단 하나이므로 하나의 신호만을 생성하기 위해 인코더에서 생성된 Z펄스는 리셋장치로 유입된다. 리셋장치가 작동되면 작동시점에서 가장 가까운 Z 펄스가 리셋장치로부터 리셋신호를 생성하게 한다. 생성된 리셋신호는 두 개의 시간지연장치를 거치는데 하나는 분사압력이 상승하기 10 ms 전에 솔레노이드를 작동시켜 20 ms 동안 솔레노이드밸브를 닫히게 하고, 하나는 신호의 끝단을 니들밸브가 열리는 시점 직전에 위치하게 하여 8 ms 동안 플래시를 작동시키는 역할을 한다. 사진촬영은 회전드럼형 고속카메라를 이용하여 초당 25,000 프레임의 속도로 촬영하였다.

2.2 실험방법

Table 1은 본 실험에서 수행된 실험 행렬이다. 분무실 내부는 질소로 충전하였고, 분무실 압력 1.1 MPa, 2.1 MPa에서 평판의 온도와 분위기의 온도를 24°C, 120°C, 165°C, 210°C, 255°C, 300°C로 변화시켜가며 고속 사진촬영을 하였다. 고압에서 평판과 분위기온도의 차이에 의한 밀도구배로 사진판독이 어려우므로 분무실 내부를 단열시킨 후 평판과 분무실 내부에 열선을 삽입하고 가열하여 분위기온도와 평판의 온도를 동일하게 하였다. 온도제어는 평판과 분무실에 열전대를 설치하고 릴레이를 이용하여 전류를 제어하는 방법을 사용하였다. 연료온도는 노즐에 연료가 공급되기 전 일정한 연료온도를 유지하기 위한 히터가 테스트벤치에 내장되어 있고 연료온도는 40°C로 고정되어 있다. 노즐팁과 평판사이의 거리는 30mm이다.

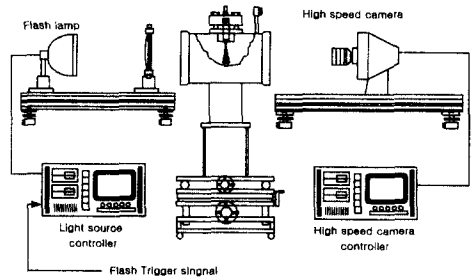


Fig. 3 Schematic of high speed camera system

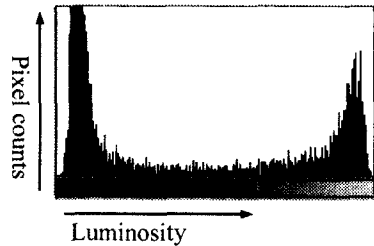


Fig. 4 Histogram of luminosity for a image

본 실험에 이용된 사진촬영기법은 웨도우그래피 기법이다. Fig. 3은 본 실험에 쓰인 웨도우그래피 장치를 나타내고 있다. 실험에 사용된 렌즈는 직경 90 mm, 초점거리 600 mm의 볼록렌즈이며 광원앞의 핀홀 직경은 1 mm이다. 실험 후 사진을 관독할 때 현상의 차이에 의한 필름의 명도나 대비가 조금씩 다를 수 있고 분무를 관찰하여 실험 자료를 수치화 시킬 때 사람이 판독하면 분무의 경계를 정확히 정의하기가 어렵다. 따라서 분무의 경계를 정하기 위해 필름을 CCD 카메라로 읽어들이 사진이 가지는 명도값의 히스토그램을 만들었다.<sup>(7)</sup>

분무의 경계를 결정할 때 분무영역에서의 화소의 수와 뒤 배경에서의 화소의 수가 가장 많고 분무영역과 뒤 배경의 경계에서 화소의 수가 가장 적으므로 Fig. 4와 같은 모양이 된다. 명도가 높은 곳은 분무영역이고 명도가 낮은 곳은 뒤 배경영역이므로 중간의 화소의 수가 가장 적은 곳이 경계에서의 명도값이 된다. 따라서 측정의 일관성을 가지기 위해 히스토그램의 명도값을 10 단위로 읽어서 가장 화소의 수가 적은 명도값을 경계로 결정하였다. 그리고 경계값을 중심으로 더 큰 명도의 화소의 수를 세어 분무의 면적을 계산할 수 있다.

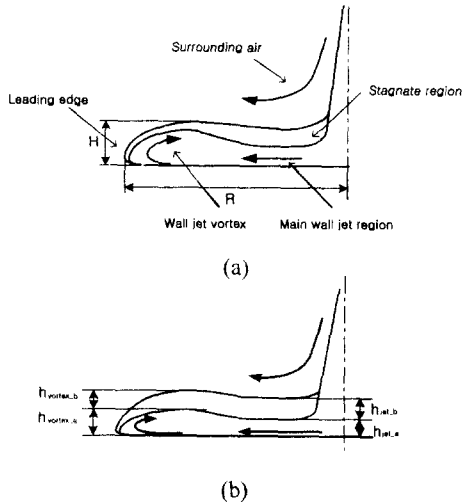


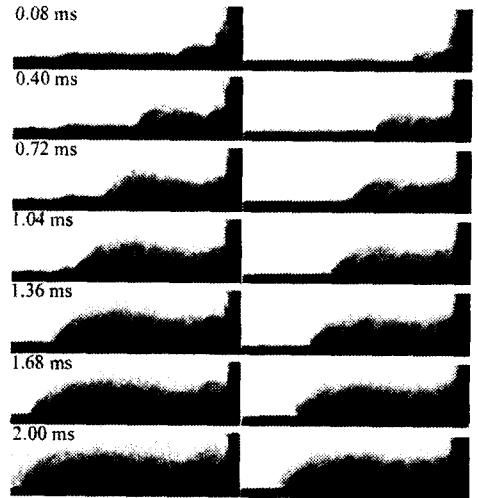
Fig. 5 Impinging spray model : (a) low temperature, (b) high temperature

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 저온과 고온환경에서 충돌분무 형태

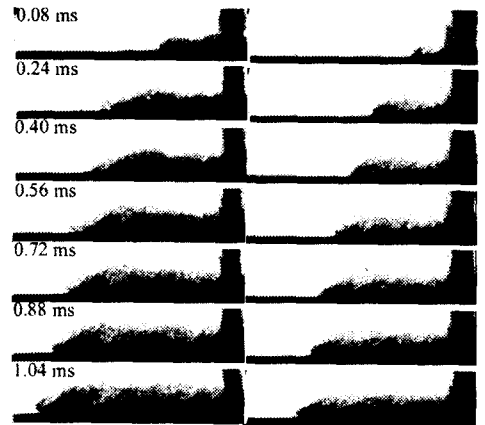
Fig. 5의 (a)는 저온에서 충돌분무 모델을, (b)는 고온에서 충돌분무 모델을 나타내고 있다. 노즐에서 분사된 분무는 충돌판 표면에서 main wall jet를 형성하고 분무선단에서 wall jet vortex를 발생시킨다. 그리고 노즐에서 분사된 분무에 의해 유도된 주변의 공기는 충돌분무의 발달에 영향을 준다. Main wall jet의 외곽에 위치하는 액적들은 jet를 따라 이동하다가 점차 주변 대기의 저항에 의해 운동량을 잃고 위쪽으로 퍼지게 되는데 이로 인하여 충돌분무 주변에 정체영역이 발생한다. Wall jet vortex 주변에서도 이와 같은 현상이 일어나는데 시간이 지남에 따라 wall jet vortex의 증가와 더불어 충돌분무의 높이를 증가시키는 요인이 된다.<sup>(2,8)</sup>

Fig. 6은 P = 2.1 MPa에서 고온에서의 분무 발달과 저온에서의 분무발달을 비교한 것으로 정체영역의 발달과 분무끝단의 모양을 관찰할 수 있다. 고온에서의 분무 끝단은 그 높이가 낮고 평판에 거의 붙어서 발달하며 main wall jet 상부와 wall jet vortex 상부에서 공기와의 간섭이 저온일 때보다 더 심한 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 P = 1.1 MPa에서 고온에서의 분무발달과 저온에서의 분무발달을 비교한 것이다. 고온일 때를 보면 전



(a)  $T_A(T_w) = 300^\circ\text{C}$  (b)  $T_A(T_w) = 24^\circ\text{C}$

Fig. 6 Images of impinging spray at P=2.1MPa



(a)  $T_A(T_w) = 300^\circ\text{C}$  (b)  $T_A(T_w) = 24^\circ\text{C}$

Fig. 7 Images of impinging spray at P=1.1MPa

체분무의 높이는 저온일 때 보다 확실히 큰 것을 볼 수 있으나 wall jet vortex의 존재는 저온만큼 뚜렷하지 않고 그 크기도 작다. 그 대신 형성되어 있는 정체영역의 크기는 저온일 때 보다 그 높이가 월등히 큰 것을 볼 수 있다.

#### 3.2 충돌분무의 반경방향 발달거리

Fig. 8은 시간의 경과에 따른 반경방향의 발달 거리를 분위기 압력이 1.1 MPa과 2.1 MPa일 경

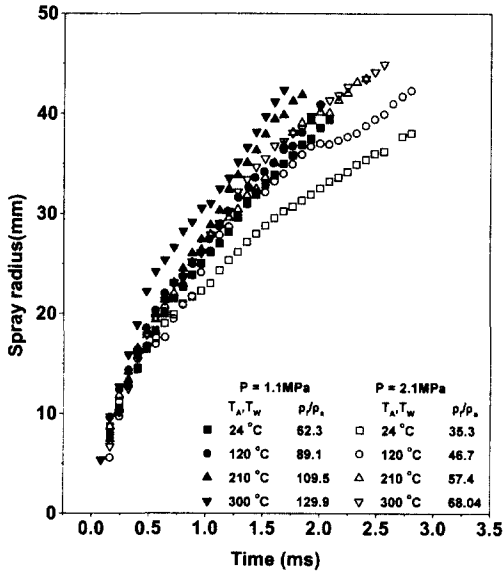


Fig. 8 Comparisons of spray radius with time

우에 대해 온도 및 밀도비로 표시한 그림이다. 각각의 분위기 압력에 대해 평판과 공기온도를 24 °C에서 300 °C까지 증가시키면 반경방향 발달 길이는 온도가 증가할수록 증가하는 경향을 나타낸다. 이러한 현상은 평판과 공기의 온도증가로 인한 주위대기의 밀도 감소에 의한 것으로 판단된다. Main wall jet가 평판을 따라 흐를 때 주위 대기 밀도가 높아지면 main wall jet의 흐름에 대한 저항이 커져서 분무가 위로 말려 올라가게 된다. 따라서 분무가 평판에 충돌한 초기에는 반경방향의 발달거리의 차이가 크지 않지만 분무 말기로 갈수록 그 차이가 현저하게 된다.

분위기 압력이 1.1 MPa에서 반경방향의 발달 길이는 분위기 압력이 2.1 MPa일 때만큼 온도에 따른 차이가 크지는 않다. 또한 반경방향 발달 길이는 온도변화에 의한 순서보다는 밀도변화에 의한 순서로 배열되어 있음을 알 수 있다. 특히 P = 2.1 MPa,  $T_A = T_W = 300$  °C인 환경과 P = 1.1 MPa,  $T_A = T_W = 24$  °C인 환경에서 비슷한 밀도를 나타내는데 그림에서 비교해 보면 발달길이의 증가하는 정도가 유사함을 알 수 있다.

### 3.3 충돌분무의 높이방향 발달길이

Fig. 9는 시간의 경과에 따른 wall jet vortex의 높이와 wall jet vortex 상부의 정체영역 높이, 그리고 두 영역이 이루는 전체의 높이방향 발달거

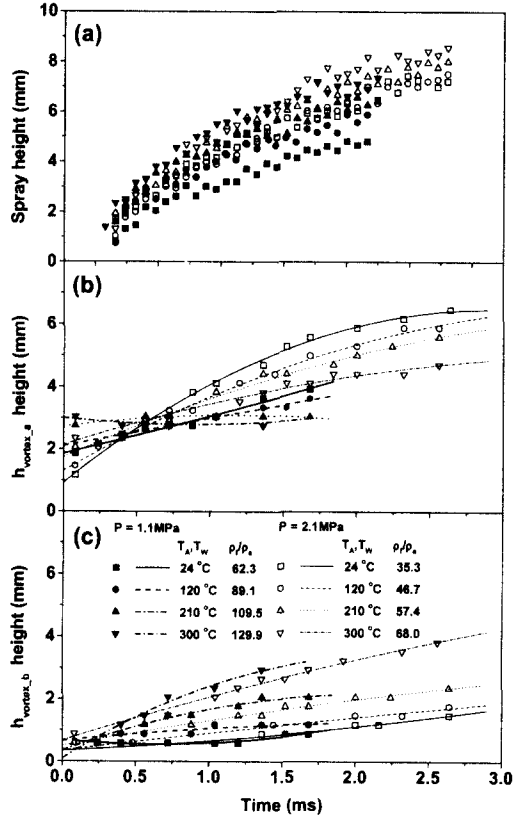


Fig. 9 Comparisons of (a) total spray height, (b)  $h_{vortex\_a}$  and (c)  $h_{vortex\_b}$

리를 분위기 압력이 1.1 MPa과 2.1 MPa일 경우에 대해 온도 및 밀도비에 대해 나타낸 그림이다. 고온인 경우 온도증가에 의한 밀도감소의 영향으로 wall jet vortex의 높이는 저온일 때보다 감소하지만, 정체영역의 증가에 의해 온도가 증가할수록 충돌분무의 높이방향 발달거리가 증가하는 경향을 보인다. 그러나 wall jet vortex 상부의 정체영역의 높이는 밀도변화에는 큰 상관없이 온도변화가 큰 영향을 미치고 있다. 두 영역높이의 합이 충돌분무의 높이를 결정한다고 볼 때 온도에 의한 영향이 대단히 크음을 알 수 있다.

분위기 압력이 1.1 MPa과 2.1 MPa 일 경우의  $h_{vortex\_a}$ 를 살펴보면, 시간이 경과할수록 wall jet vortex의 높이는 저온일 때가 고온일 때보다 더 큰 것을 알 수 있다. 그러나 분무가 평판에 충돌한 초기에는 고온일 때 그 높이가 더 높은 것을 알 수 있는데, 이러한 현상은 Ko<sup>(5)</sup>와 Jonas<sup>(9)</sup>가

관찰한 바와 같이 평판의 온도가 증가할수록 액적이 평판 표면에 충돌할 때 평판 표면에 필름 상태로 부착되거나 wall jet을 따라 이동하는 확률보다는 액적이 튀어 오르면서 2차 분열을 일으키는 확률이 더 높기 때문이며, 이러한 경향은 온도의 증가에 인한 연료액적의 표면장력의 감소와 평판 표면에서의 증발양상의 변화와 관계가 있는 것으로 알려져 있다.

Fig. 10은 시간의 경과에 따른 main wall jet의 높이와 main wall jet 상부의 정체영역 높이를 나타낸 그림이다. 시간이 지남에 따라 고온일수록 main wall jet 상부의 정체영역이 증가함을 알 수 있다. 정체영역이 생기는 이유는 액적이 운동량을 잃고 main wall jet 나 wall jet vortex에서 떨어져 나오므로써 생긴다.<sup>(4,8)</sup> 고온일 경우 평판표면에서 액적의 분열이 활발하고 고온의 공기가 유입되는 main wall jet, wall jet vortex 상부에서 액적의 기화로 인한 액적의 크기감소가 상온일 때보다 더 크기 때문에 액적의 운동량감소가 더 심하게 된다. 따라서 정체영역의 증가는 고온일 때가 상온보다 더 크게 된다. 그리고 정체영역에서 고온의 공기와 혼합된 액적의 기화는 정체영역의 높이를 더욱 증가시키는 요인이 된다. 또한 주위 기체 압력이 1.1 MPa과 2.1 MPa일 경우의 정체영역을 비교해 보면 온도에 따른 정체영역의 차이가 고압일 때 보다 저압일 경우가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 저압에서의 증발잠열이 고압일 때

보다 작기 때문에 액적의 기화로 인한 정체영역의 증가가 크기 때문이다. Fig. 9(b)와 Fig. 9(c)를 비교해 보면,  $h_{vortex\_a}$ 는 발달길이가 밀도비의 순서대로 배열되어 있으므로 밀도비의 차이가 지배적인 요인임을 알 수 있다. 그러나  $h_{vortex\_b}$ 는 발달길이가 온도 순서대로 배열되어 있으면서 같은 온도대 끼리 모여있으므로 온도의 영향이 지배적임을 알 수 있다.  $h_{vortex\_a}$ 와  $h_{vortex\_b}$ 의 합이 전체 분무의 높이를 결정하므로 분무의 높이에는 온도의 영향이 큼을 알 수 있다.

3.4 충돌분무의 단면적비

Fig. 11의 (a)는 각 온도별  $P = 2.1 \text{ MPa}$ 에서 충돌분무 단면의 면적비를 나타낸다. 기준면적은  $T_A = T_W = 24 \text{ }^\circ\text{C}$  일 때이며 분무의 경계를 정할 때 기준이 되는 명도값 보다 높은 픽셀의 수를 측정하여 계산한 넓이이다.

고온으로 온도가 상승할수록 저온일 때보다 분무의 면적이 증가하는 것을 볼 수 있다. 평판에 수직방향으로 분무가 충돌할 때 충돌분무의 형상은 원형을 이루며 발달하므로 충돌분무 단면의 면적증가는 그만큼 공기의 유입 및 액적의 기화가 활발히 이루어졌다는 것을 의미하는 것으로 연료의 확산이 좀더 빠르게 이루어 진다고 할 수 있다.

분무초기 시간대를 보면 온도가 증가함에 따라 면적비가 급격히 증가함을 볼 수 있는데 이는 앞

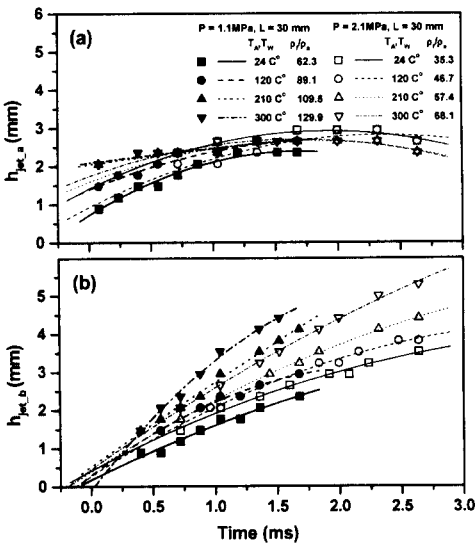


Fig. 10 Comparisons of (a)  $h_{jet\_a}$  and (b)  $h_{jet\_b}$

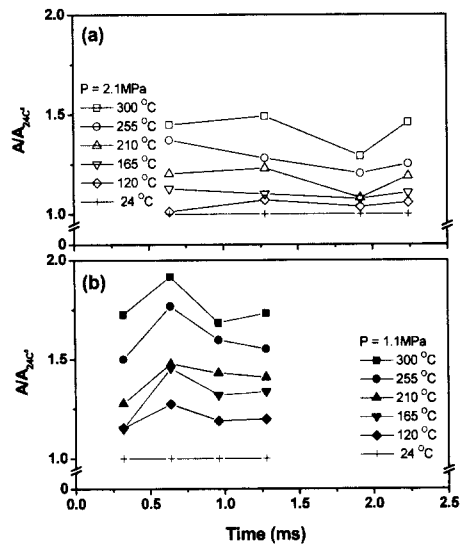


Fig. 11 Comparisons of spray area ratio

에서 말한 바와 같이 액적이 평판에 충돌하며 튀어 오르는 효과로 분무의 높이 증가가 그 원인이라고 할 수 있다. 그리고 분무 말기에 다시 면적비가 급격히 증가함을 볼 수 있는데 이는 액적이 wall jet vortex와 main wall jet에서 이탈하면서 정체영역을 형성하고 내부에서 기화하는 액적들로 인해  $h_{vortex\_b}$ 와  $h_{jet\_b}$ 가 증가하여 전체적으로 분무 단면적을 증가시키기 때문이다.

Fig. 11의 (b)는 각 온도에 대해  $P = 1.1$  MPa에서의 충돌분무 단면의 면적비를 나타낸다. 기준면적은 앞의 경우와 같이  $T_A = T_w = 24$  °C 이며  $P = 2.1$  MPa 일 때 보다 온도의 증가에 대한 면적비의 증가가 더 큰 것을 볼 수 있다. 이는 온도에 따른 반경방향 발달속도의 차이는 고압일 때보다 작지만 연료가 저압에서의 증발잠열이 고압에서 보다 작기 때문에 액적의 기화로 인한  $h_{vortex\_b}$ 와  $h_{jet\_b}$ 의 증가효과가 더 크기 때문이다.

#### 4. 결론

고압의 분무실에서 분위기온도와 평판온도를 변화시키며 디젤 충돌분무의 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 분위기와 평판의 온도가 증가할수록 wall jet vortex의 높이는 밀도비의 감소에 따라 줄어들었고 반경방향 발달길이는 증가하였다.

(2) wall jet vortex의 높이는 같은 압력에서 온도가 증가함에 따라 감소하였다. 그러나 정체영역의 높이는 온도가 높아짐에 따라 증가하여 분무의 총 높이는 전체적으로 증가하였다.

(3) 충돌분무의 wall jet vortex의 높이와 반경방향 발달거리는 분위기 밀도가 커짐에 따라 증가율이 감소하였다. 그러나 정체 영역의 높이는 분위기 밀도와 관계 보다 온도의 증가에 따라 증가하였다. 따라서 충돌분무의 반경방향 발달길이를 결정하는데는 연료와 분위기의 밀도비가 주요인 이지만, 높이를 결정하는데는 밀도비와 더불어 온도가 중요한 요인이다.

(4) 같은 분위기 압력에서 충돌분무의 단면적비는 온도가 상승할수록 증가하며, 분위기 압력이 낮을 때가 분위기 압력이 클 때 보다 단면적비의 증가가 더 크다.

#### 참고문헌

- (1) Kato, T., Tsujimura, K., Shintani, M., Minami, T. and Yamaguchi, I., 1989, "Spray Characteristics and Combustion Improvement of D.I. Diesel Engine with High Pressure Fuel Injection," SAE 890265.
- (2) Katsura, N., Saito, M., Senda, J. and Fujimoto, H., 1989, "Characteristics of a Diesel Spray Impinging on a Flat wall," SAE 890264.
- (3) Senda, J., 1994, "Characteristics of a Diesel Spray Impinging on a Flat wall," *International Symposium on Advanced Spray Combustion* July 6-8.
- (4) Senda, J., Fukami, Y., Tanabe, Y. and Fujimoto, H., 1992, "Vizualization of Evaporative Diesel Spray Impinging Upon Wall Surface by Exciplex Fluorescence Method," SAE 920578.
- (5) Ko, Y. S. and Chung, S. H., 1996, "An Experiment on the Breakup of Impinging Droplets on a Hot Surface," *Experiments in Fluid* 21.
- (6) 조창권, 이열, 구자예, 2000, "가압 분무실내 스프레이 충돌판에서 나타나는 비정상 열전달 측정에 관한 연구," 대한기계학회논문집 B권, 제 24권 제1호, pp. 60-67.
- (7) Cho, B. O., 1994, "Measurement of Spray by Using an Image Processing Method," *Journal of KSAE*, Vol. 16, No. 6.
- (8) Arcoumanis, C. and Chang, J. C., 1994, "Flow and Heat Transfer Characteristics of Impinging Transient Diesel Spray," SAE 940678.
- (9) Jonas, T., Kubitzek, A. and Obermeier, F., 1997, "Transient Heat Transfer and Breakup Mechanisms of Drops Impinging on Heated Wall," *Experimental Heat Transfer. Fluid Mechanics and Thermodynamics*.