

# 가압 분무실내 스프레이 충돌판에서 나타나는 비정상 열전달 측정에 관한 연구

조창권\* · 이 열\*\* · 구자예\*\*  
(1999년 6월 14일 접수)

## An Experimental Study on Unsteady Heat Transfer of Spray-Impinging Plate in a Pressurized Chamber

Chang-Kwun Cho, Yeol Lee and Ja-Ye Koo

**Key Words:** Transient Heat Transfer (비정상 열전달), Fast Response Thermocouple (고속응답열전대), Spray Impingement (충돌분무), Combustion Chamber (연소실).

### Abstract

An experimental investigation on transient heat transfer phenomena of impinging diesel-spray on a flat plate in a pressurized chamber is carried out. A diesel spray is injected from a single-hole nozzle and impinges to a heated flat plate in the chamber. A fast-response thermocouple installed in the top surface of the plate measures the transient variation of surface temperature of the plate under various conditions of the chamber pressures. Utilizing the semi-infinite model, the temporal variation of the heat flux on the plate is determined. Effects of various parameters, such as vertical distances between the nozzle and the plate, radial distances from the injection-axis, and the chamber pressures, on the heat flux characteristics of impinging diesel-spray are studied.

### 기호설명

- H : 분사노즐과 충돌판 사이의 거리
- k : 열전도도 (thermal conductivity)
- $P_g$  : 분무실 압력 (chamber pressure)
- $q''$  : 열유속 (heat flux)
- r : 반경방향
- T : 온도
- t : 시간
- $T_i$  : 충돌판 초기온도
- x : 분사축방향
- $\alpha$  : 열확산도 (thermal diffusivity)

### 1. 서론

최근 직접분사식 디젤엔진의 설계에서 질소산화물과 매연을 줄이기 위한 분사지연 및 고압분사방식이 주된 관심의 대상이 되고 있다. 이러한 소형엔진내 고압분사시 나타날 수 있는 연료와 연소실 벽면과의 충돌현상과 벽호름(wall jet), 그리고 이때 일어나는 벽면에서의 열전달 현상은 연소실내 연료의 점화지연, 증발, 혼합 등 전 연소과정과, 특히 오늘날 중요한 문제인 배출가스 형성에 큰 영향을 주기 때문에 연소실 설계에서 중요하게 고려되어야 한다. 그러나 연소실 내부의 열전달 현상은 매우 짧은 시간에 일어나는 과도적 현상으로 실험적으로 큰 어려움이 있어, 그동안 소개된 연구결과들은 시간적,<sup>(1)</sup> 혹은 연소실내 공간적인 평균값만으로 열전달 특성을 설명하였다.<sup>(2,3)</sup> 최근 들어 순간온도변화의 측정기술이 발달함에 따라 연소실 내의 순간(transient) 열전달 특성에 관한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

\* 한국항공대학교 대학원 항공공학과

\*\* 회원, 한국항공대학교 항공기계공학과

E-mail : ylee@mail.hankong.ac.kr

TEL : (02)300-0113 FAX : (02)3158-2191

Wolf와 Cheng<sup>(4)</sup>은 관의 안쪽 벽에 디젤화염이 충돌하는 경우 coaxial 열전대를 사용하여 열유속(heat flux)의 변화를 측정하고 이를 화염이 없는 경우와 비교한 바 있고, Hong Qi<sup>(5)</sup> 등은 디젤 엔진의 압축된 연소실내에서 일어나는 순간적인 열유속을 계산한 바 있다. Chang<sup>(6)</sup>은 대기압 상태에서 디젤 스프레이가 가열된 평판에 충돌할 때 나타나는 유동장의 특성과 열유속을 측정, 이들의 상관관계를 밝힌 바 있고, Arcoumanis<sup>(7)</sup> 등은 연소실내 고온 평판에 디젤 분무가 충돌하는 곳에서의 온도를 고속응답 열전대로 측정하여 교차흐름이 있는 경우와 없는 경우를 비교하였다. 국내에서도 정동수<sup>(8)</sup> 등은 연소실 실린더 벽면에서 변화하는 온도를 측정하여 열유속 값을 제시한 바 있다. 연소실에서 나타나는 연소와 열전달 현상을 수치해석적으로 규명하는 연구들도 최근 많이 진행되고 있으나, 이러한 수치계산결과는 노즐의 분사특성 및 기타 여러 경계조건과 밀접하게 관련되므로, 실제 엔진에서 나타나는 복잡한 유동과 열전달 현상을 모사하기 위한 다양한 경계조건, 특히 가압된 조건에서의 실험결과가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 질소가압된 정적 분무실에서 특정한 단광(one-hole) 노즐을 통하여 분사된 디젤연료가 고온의 평판에 충돌할 때 일어나는 비정상 열전달 측정을 통하여 다양한 압력과 위치 변화에 따른 충돌분무의 열전달 특성변화를 밝히고, 향후 동일한 조건에서 수행되는 수치해석 결과의 검증자료로 활용하고자 한다.

## 2. 비정상 열유속 측정원리

노즐을 통하여 분사된 스프레이가 충돌판에 충돌할 때 나타나는 비정상 열유속은 충돌판 표면에 설치된 고속응답열전대(fast response thermocouple)로 측정된 판 표면의 온도변화로부터 얻어질 수 있다.<sup>(9)</sup> 충돌판이 분사축방향(x)으로 semi-infinite 하고 열전도가 x 방향(Fig. 1 참조)으로만 존재한다고 가정할 때 지배방정식(1-dimensional heat diffusion equation)과 경계 및 초기조건은 각각 다음 식 (1), (2)와 같이 주어진다. 여기서 측정된 충돌판 온도변화를 이용하여 지배방정식을 풀고 충돌판 내부의 온도분포를 얻은 후,  $x=0$ 과  $x=\Delta x$ 에서의 시간에 따른 온도변화를

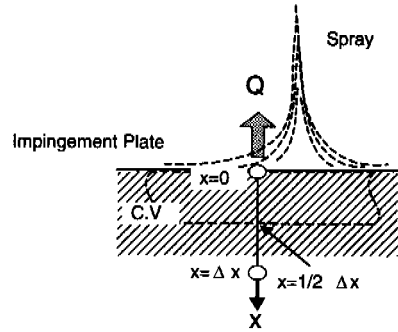


Fig. 1 One dimensional transient heat transfer through a semi infinite model

언어낸 후 이를 이용하여 평판에서의 비정상 열유속이 계산될 수 있다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} q_w'' &= -k \frac{\partial T}{\partial x} \text{ at } x=0 \\ T &= T_i \text{ at } x=\infty \\ T &= T_i \text{ at } t=0 \end{aligned} \quad (2)$$

## 3. 실험 방법

### 3.1 분사장치 및 가압 분무실

본 연구에서 사용된 분사장치는 가압 정적 분무실, 분무실을 가압하기 위한 질소탱크, 분사펌프(두원 KP-PE6A100D), 분사노즐, 연료탱크, 분사펌프의 회전속도를 조절하고 유량을 측정하는 분사펌프 테스트벤치로 구성되어 있다. Fig. 2에 본 실험에서 사용된 분사장치와 분무실 내부에 설치된 열유속 측정장치(Fig. 2에서 A로 표시)가 나타나 있다.

실험에서 분사되는 연료는 디젤이며, 이는 연료탱크에서 분사펌프를 거쳐 송출되어 솔레노이드 밸브에 의해 방향이 결정된 후 분무실내에 있는 노즐, 혹은 dummy 노즐에 공급된다. 솔레노이드 밸브는 평소에는 dummy 노즐 쪽으로 열려 있으나, 제어신호에 의하여 솔레노이드 밸브가 작동되면 순간적으로 dummy 노즐 쪽의 유로가 차단되고 분무실 쪽으로 연료가 단발로 분사된다. 본 실험에서 사용된 노즐은 구멍의 지름이 0.2mm, 깊이가 0.8mm인 단광(single hole)노즐이며, 니들밸브와 그에 연결된 스프링의 장력을



Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup

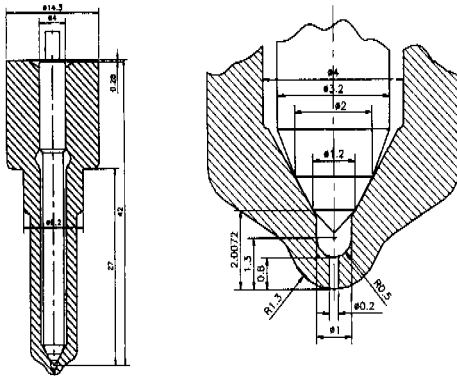


Fig. 3 One-hole spray nozzle (unit = mm, from reference (10))

이용하여 공급되는 연료의 압력이 개폐압(약 220 MPa) 이상일 때만 분사가 일어나도록 되어있다. 노즐에서의 연료압력은 노즐 유입구에 설치된 압력센서(Kistler, Type 4608, 응답속도= 40 $\mu$  sec)를 이용하여 측정되며, Fig. 3에 본 연구에서 사용된 단공노즐의 자세한 제원<sup>(10)</sup>이 나타나 있다.

분무실 압력이 대기압일 경우에 한하여 단발 분사시 연료분사량은 12 mg/injection으로 실제 측정되었다. 분무실이 가압될 경우 연료분사량은 측정이 불가능하였으나, 분무압력(약 220MPa)과 분사실 압력차이에 따른 연료분사량은 최대 4% 이내로 큰 차이가 없음이 간단한 이론유량계산식에서 확인되었다. 본 연구의 대상인 충돌스프레이의 거시적 거동을 살피기 위하여 Fig. 4에 서로 다른 분무실 압력상태에서 스프레이가 노즐과의 거리 (H)가 30 mm이고 상온상태인 충돌판에 충돌한 후 벽흐름으로 변화되는 모양을 분사시작후 약 2.6 msec에 고속촬영한 사진<sup>(10)</sup>(20,000 frames/sec)이

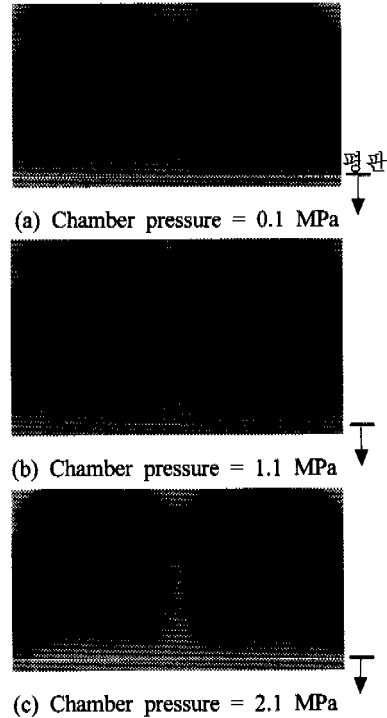


Fig. 4 Images of spray impingement at t = 2.6 msec

나타나 있다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 분무실이 가압된 경우 대기압의 경우에 비하여 노즐에서의 분사각 자체는 커지고 넓어지나 충돌후 나타나는 벽흐름은 작아짐을 확인할 수 있다.

분무실은 원통형 구조의 강철로 제작되어 3 MPa까지의 압력을 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 분무실 양쪽의 창은 강화유리로 제작되어 내부의 유동현상을 가시화시킬 수 있도록 되어 있다. 분무실 내부의 중앙에는 열유속 측정을 위한 충돌판과 이송장치 그리고 지지대가 부착되어 있으며, 분무실 외부의 자료획득장치 및 전원 등과 분무실 바닥의 직경 4mm 구멍 니플(nipple)을 통하여 연결되어 있다. 이때 니플 주변의 공간은 에폭시로 채워졌으며, 2.5 MPa까지 분무실 정적 가압상태를 문제없이 유지할 수 있었다.

3.2 열유속 측정장치

Fig. 5에 나타난 열유속 측정장치의 구성에서 볼 수 있듯이 본 연구에서 사용된 열유속 측정장치<sup>(11)</sup>는 분사된 스프레이가 수직으로 충돌하는 충돌판과 판 표면의 한 지점에서의 순간온도변화를

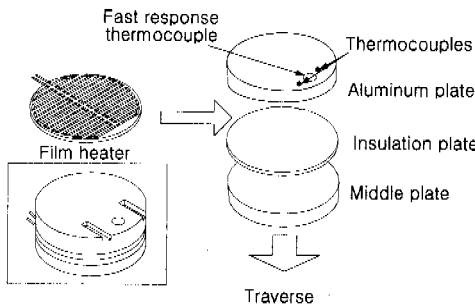


Fig. 5 Schematic diagram of the plate for heat flux measurements.

측정하기 위한 고속응답열전대, 그리고 충돌판을 가열하기 위한 히터와 충돌판의 위치를 조정하는 이송장치로 이루어져 있다.

충돌판의 재질은 실제 엔진과 같은 알루미늄이 사용되었고 직경이 80 mm이고 두께가 20 mm인 원판형으로 설계되었다. 충돌판 표면온도 측정을 위한 고속응답열전대가 판의 중앙에 삽입되어 있고, 충돌판을 균일하게 가열할 수 있는 필름히터가 충돌판 밑에 부착되어 직류전력공급기로 히터에 공급되는 전력의 크기를 조절함으로써 충돌판 온도를 변화시킬 수 있도록 되어 있다. 사용된 필름히터(저항 8Ω)의 최대 발생전력은 200 W이며 얇은 플라스틱 필름 사이에 열선이 조밀하게 위치하고 있어 히터의 전 면적에 걸쳐 일정한 열유속을 발생시킬 수 있도록 되어 있다. 이때 히터 아래 방향으로의 열손실을 막기 위하여 석면판이 히터의 밑면에 부착되었다. 노즐과 충돌판 사이의 수직거리 (H)와 분사축에 대한 반경방향 거리 (r)를 조절하기 위하여 충돌판은 이송장치에 고정되어 분사축방향으로는 연속적으로, 그리고 반경방향으로는 1 mm 단위로 이동시킬 수 있다.

고속응답열전대(NANMAC, eroding T type, 응답 시간 = 10 μ sec)의 외형(thermal wall)재질은 열전달 측정오차를 줄이기 위하여 충돌판과 같은 알루미늄으로 설계되었다. 고속응답열전대 이외의 4개의 일반 열전대(Omega, Awg 30, T type)가 실험 전 충돌판 온도의 균일함을 확인하고 또 분사중 충돌판 밑면의 온도변화를 알기 위하여 충돌판의 윗 판과 아래 판에 서로 대칭이 되는 위치에 각각 두 개씩 설치되었다. 고속응답열전대의 보정과정에서 60 °C에서 150 °C 사이의 20 개

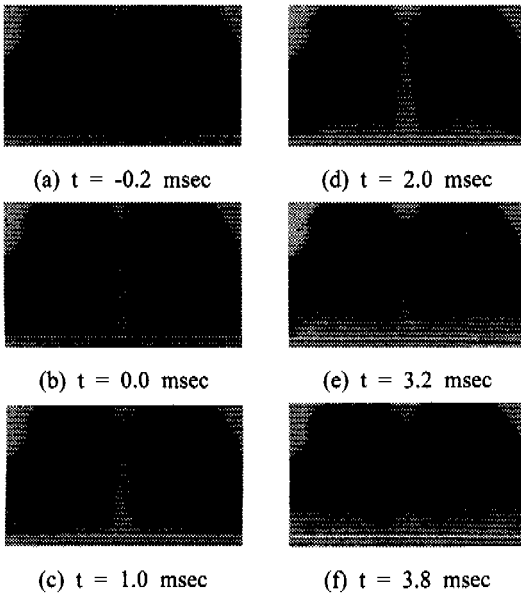
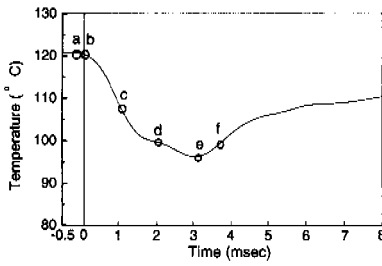
온도 점에 대하여 거의 선형적(linear)인 관계가 나타남을 확인하였고, 이때 온도와 출력신호간의 선형 보정 선의 기울기는 약 18mV/ °C로 나타났다.

### 3.3 데이터 획득장치 및 잡음제거

본 실험의 데이터 획득장치는 증폭 및 low pass 기능의 필터(Stanford Research, SR650)와 오실로스코프, PC(personal computer), 그리고 일반 열전대 신호를 읽는 디지털 온도계(Stanford Research, SR630)로 이루어져 있다. 실험초기에 고속응답 열전대로부터 나오는 신호는 필터링(50 dB 증폭과 10 KHz 저주파 통과)을 하였으나, 신호의 잡음정도가 필터를 통과한 후에도 그 정도가 매우 강하여 실험을 수행하기에 부적합한 상태로 나타났다. 이에 분사실내 이송장치를 강화 플라스틱으로 제작하고 분사펌프의 모터의 영향을 줄이기 위하여 자료획득장치와 모터 사이에 알루미늄 판을 설치하고, 아울러 모터와 분무실, 그리고 각종 센서와 데이터 획득장치 사이의 모든 연결지점을 접지봉을 사용하여 접지하고 아울러 shielding을 하였다. 그 결과 잡음의 크기를 크게 줄일 수 있었으며, 최종적으로 얻어진 고속응답열전대의 잡음정도는 약 ± 1 °C로 나타났다. 열전대에서 나오는 모든 측정자료는 PC와 연결된 디지털 오실로스코프 (Lecroy 9304A)를 이용하여 획득, 저장되었다. 이때 데이터 획득률은 25 kHz이며 약 2초간의 온도변화가 측정되었다.

## 4. 결과 및 고찰

본 연구에서는 분사노즐과 충돌판 사이의 거리 (H)를 각각 10, 20, 30 mm로 조정하고 각 H에 대하여 분무실 압력을 각각 0.1, 1.1, 2.1 MPa로 변화시켰을 때 반경방향 (r)의 위치를 변화시키면서 열유속을 측정하였다. 이때 각각의 경우 분사되는 스프레이의 온도는 약 35 °C 근방에서 큰 변화가 없음이 확인되었다. 아울러 각각의 경우 충돌판의 초기 가열온도는 서로 다른 재질로 구성되어 있는 (multi-layerd) 열유속측정장치의 변형을 막기 위하여 120 °C로 정하였다. 열유속 측정을 위하여 적용한 semi-infinite 모델의 검증을 위하여 매 실험 전 충돌판의 상하면에 설치된 4개의 일반 열전대에서 읽혀지는 충돌판의 상하면 온도가 서로



**Fig. 6** Photographs of the timewise spray impingements and trace of the plate surface temperature (chamber pressure = 2.1 MPa,  $H = 30$  mm, plate temperature =  $120^{\circ}\text{C}$ )

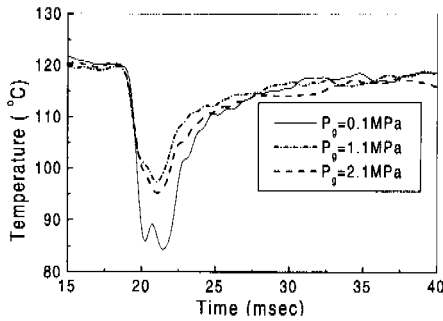
$\pm 1^{\circ}\text{C}$  이내로 일치할 때 실험이 진행되었으며, 실험도중에도 충돌판 하면의 온도가 변화하지 않음이 확인되었다.

Fig. 6에는 노즐에서 분사된 스프레이가 충돌판에 충돌하면서 시간에 따라 나타나는 벽흐름의 변화를 고속촬영장치<sup>(10)</sup>(20,000 frames/sec)를 이용하여 촬영한 사진이 충돌판 표면 온도변화와 함께 나타나 있다. 여기서 각 사진에 대하여 표시한 시간은 스프레이 끝부분이 충돌판에 도달하는 순간을 기준점 '0'로 놓았을 때 계산된 시간을 의미하고 사진의 흰줄은 평판의 표면을 나타낸다. 사진에서 나타난 바와 같이 스프레이가 충돌판에 도달하면서 판의 온도가 떨어지기 시작하여, 스

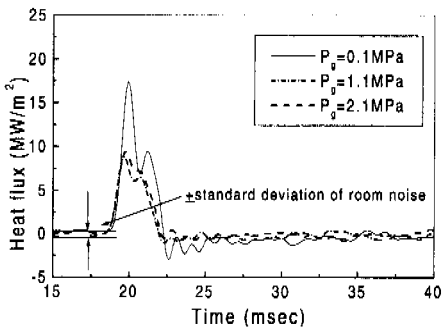
프레이가 판에 도달한 후 약 1 msec 이후 가장 급격한 판의 온도강하가 나타나고 이때 최대 열유속이 나타남을 예측할 수 있다. 아울러 분사지속시간이 끝나는 시각부터 판의 온도가 서서히 회복되는 것을(Fig. 6에서 (f)) 살펴볼 수 있다. 사진에서 스프레이가 충돌된 이후 나타나는 충돌판 상부 벽흐름은 정성적으로 보았을 때 분사축에 대하여 거의 대칭현상을 보이고 있다. 이러한 연속촬영된 여러 frames로부터 노즐에서의 분사지속시간이 약 3.5 msec이며, 스프레이가 노즐로부터 충돌판까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 0.4 msec임을 알 수 있으며, 이를 이용하여 스프레이 전반부의 대략적인 평균속도가 약 75 m/sec로 나타남을 알 수 있다. 아울러 분사된 연료는 충돌 후 벽흐름을 통하여 충돌판 옆으로 흘러 빠져나가게 되며, 이때 연료의 증발현상은 나타나지 않는다.

Fig. 7의 (a)와 (b)는  $H = 10$  mm일 때 서로 다른 분무실 압력조건에서 얻어진 충돌판 표면의 온도변화와 이를 이용하여 계산된 열유속의 변화를 각각 나타내고 있다. Fig. 7(a)에서 볼 수 있듯이, 분무실이 대기압 상태인 경우 충돌판의 표면온도는 분사된 스프레이가 충돌판에 도달한 순간부터 매우 급격히 감소되며 분사지속시간 이후 회복되기 시작하고 있다. 위와 같은 온도변화에서 얻어지는 열유속의 변화(Fig. 7(b))는 온도가 급격히 감소하기 시작하는 분사초기에 최대값을 가지며, 분사가 멈추고 충돌판의 온도가 회복되기 시작하면서 일차원 열전달 방정식(식 (1))에 의하여 판 표면의 온도가 판 내부의 온도보다 순간적으로 높아질 때 열유속은 '0' 값을 가지며 주기적인 진동형태로 점차 '0' 값으로 다가간다. 이러한 충돌판 표면의 온도 및 열유속 변화는 분무실의 압력이 대기압에서 점차 높아지면서 약간 둔화되기는 하나 전체적인 경향에는 큰 변화가 없다. 아울러 분사지속시간이 끝난 이후에는 충돌판에서의 열유속이 측정오차 내에서 거의 없음을 알 수 있다. 이러한 경향은 본문에는 제시되어 있지 않지만 같이 수행된  $H = 20\text{mm}$ ,  $30\text{mm}$ 인 경우도 대체로 비슷하게 나타났다.

본 연구의 열유속 측정오차는 분사가 되기 전 균일한 온도로 가열된 상태의 충돌판에서 나타나는 주변 room noise에 의한 고속응답열전대의 온도변화로부터 계산된 열유속의 표준편차 값으



(a) Temperature variation (H = 10 mm)



(b) Heat flux variation (H = 10 mm)

Fig. 7 Timewise variations of plate surface temperature/ heat flux under different pressures

로 판정하였다. 9가지의 서로 다른 분무실 압력 및 충돌판 위치에서 얻어진 분사직전 주변의 room noise에 의한 충돌판 온도변화에서 계산된 열유속의 표준편차 값은 9가지 경우에 대하여 거의 비슷하게 얻어졌고 그 평균값은  $\pm 0.25 \text{ MW/m}^2$ 로 계산되었다. 이러한 room noise에 의한 열유속의 표준편차 정도의 비교가 Fig. 7(b)에 나타나 있으며, 본 연구에서는 이 값을 열유속 측정오차로 판단하였다. 아울러 본 연구에서 사용한 일차원 heat diffusion 방정식의 타당성을 검증하기 위하여, 반경방향으로의 열유속을 간단한 열전도식을 이용하여 확인하여 본 결과 최대 약  $1.5 \text{ MW/m}^2$ 로 나타남을 알 수 있었으며, 이 값은 본 연구의 측정오차와 같은 order에 있고 아울러 같은 경우(대기압) 측정된 최대열유속(약  $20 \text{ MW/m}^2$ )에 비하여 작음이 확인되었다.

다음 Fig. 8에서는  $r = 0 \text{ mm}$ 일 때 H의 변화에 따른 최대 열유속의 변화를 나타내고 있다.

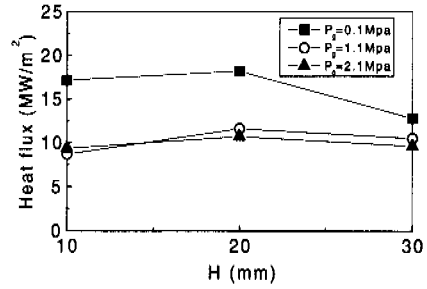
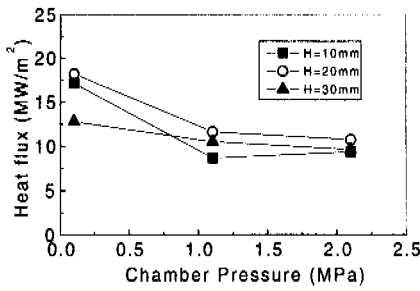


Fig. 8 Variation of peak heat flux with different spray penetration distances ( $r=0 \text{ mm}$ )

모든 분무실 압력조건에서  $H = 20 \text{ mm}$ 일 경우가  $H = 10 \text{ mm}$ 일 경우보다 약간 최대 열유속이 증가하는 경향을 볼 수 있다. 본 연구에서 연료분사는 분사압력이 220기압보다 커지면서 시작되는데 이때 분사압력은 분사지속시간중 약 300기압까지 계속 증가하다가 떨어지고, 약 210기압 이하가 되면 분사가 정지되게 된다. 즉 분사지속초기에는 계속적인 분사압력의 증가 때문에 분사속도가 일정하게 나타나지 않게 되는데, 분사노즐과 충돌판 사이의 거리가 너무 짧게 되면( $H=10 \text{ mm}$ ) 분사압력이 낮은 분무, 즉 충분히 속도가 발달하지 못한 분무가 충돌판에 부딪치게 되고 이때 열유속이 작게 나타나는 것으로 판단된다. 대기압 상태에서 얻어진 Chang<sup>(6)</sup>의 실험연구에서도 충돌판의 열유속은 스프레이의 축방향 속도의 함수관계에 있음이 입증된 바 있다. 분사실이 가압되지 않은 경우(대기압),  $H = 20 \text{ mm}$  이후 H가 증가할수록 열유속은 다시 감소하나 가압된 경우  $H = 20 \text{ mm}$  이후 H 증가에 따른 열유속 감소의 폭은 매우 작으며, 이러한 현상 역시 앞서 설명한 분사중 분사속도의 변화가 H의 크기변화와 복합적으로 맞물려 나타나는 현상으로 생각된다.

Fig. 9에서는  $r = 0 \text{ mm}$ 일 때 분무실 압력증가에 따른 최대 열유속의 감소경향을 보여주고 있다. 이 경우도 분무실 압력이 대기압보다 높아질 때 분사노즐에서의 분사각이 커짐에 따라 최종 열유속 또한 줄어드는 것으로 판단된다. 그러나 일단 가압된 상태에서는 압력증가가 최대 열유속 변화에 미치는 영향은 적은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 앞서 Fig. 4(b)와 Fig. 4(c)에서 제시된 고속촬영 사진에서 일단 가압된 경우 가압의 정도가 분무각과 연료분사유량에 큰 변화를 일으키지

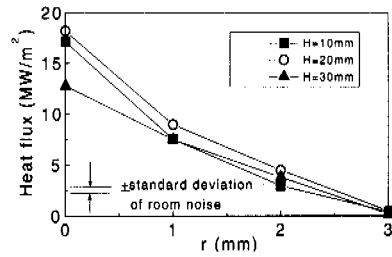


**Fig. 9** Variation of peak heat flux with different pressures ( $r=0$  mm)

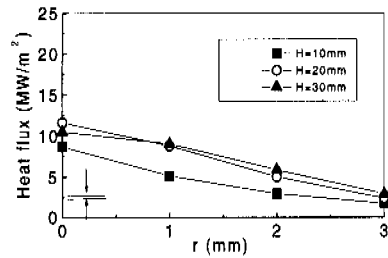
않은 점에서도 확인될 수 있다.

다음 Fig. 10에서는 반경방향의 거리  $r$ 의 증가에 따른 최대 열유속의 감소 경향을 보여주고 있다. 이러한  $r$  방향에 따른 최대 열유속 감소는  $H$ 의 변화에는 큰 영향을 받지 않으나 분무실 압력이 대기압에서 증가하면서  $r$  방향에 따른 최대 열유속 감소의 기울기가 적어지며, 아울러  $r = 3\sim 4$  mm 이상에서는 벽흐름에 의한 열전달 효과가 무시할 정도로 작음을 확인할 수 있다. 아울러 일단 가압된 상태에서는 그 가압의 정도가  $r$  방향에 따른 최대 열유속 감소 기울기에 미치는 영향은 적다. 이는 앞서 제시한 바와 같이 분무실 압력이 높아짐에 따라 분사노즐에서의 분무각이 보다 넓게 퍼지는 현상과 관련이 있으며 전체적으로 열유속은 반경방향의 거리변화에 민감하다는 결론을 얻을 수 있다. 그러나 위의 결과는 충돌스프레이가 분사 축에 대하여 축대칭이라는 조건하에서 얻어진 결과이며, 실제 충돌분무의 축대칭 정도의 확인을 위한 추가적인 연구가 요구된다.

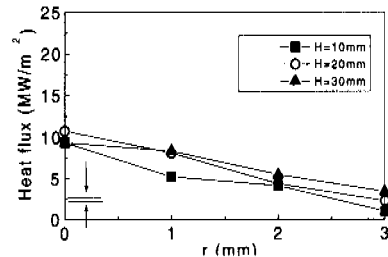
끝으로 본 연구에서 측정된 열유속은 짧은 시간동안 급격한 기울기로 변화하는데, 충돌판에 전달된 최대 순간 열유속의 크기와 더불어, 열유속의 지속시간동안 충돌판에 전달된 에너지의 총량도 관심의 대상이 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 실험된 모든 경우에 대하여 열유속의 시간에 따른 변화를 열유속이 지속되는 분사시작 후 5 msec 시간동안 적분한 뒤 그 결과 (단위면적 당 에너지 전달량, 단위:  $\text{kJ/m}^2$ )가 앞서 얻어진 결과와 어떠한 차이가 있는지를 확인하여 보았다. 그 결과 순간최대 열유속의 변화경향과 단위면적 당의 에너지전달량의 경향은 큰 차이가 없음이



(a) Chamber pressure = 0.1 MPa



(b) Chamber pressure = 1.1 MPa



(c) Chamber pressure = 2.1 MPa

**Fig. 10** Variations of peak heat flux for different radial locations

나타났다. 그 한 예로 Fig. 11에서는 분무실 압력이 0.1 MPa일 때 스프레이 충돌로 인한 측정점에서의 단위면적 당 에너지 전달량의 변화가 반경방향에 대하여 나타나 있다. 이 경우는 Fig. 10의 (a)의 실험조건과 동일한 것이며, Fig. 11과 Fig. 10(a)을 서로 비교하여 볼 때 그 경향 차이는 없음을 알 수 있다.

### 5. 결론

분무실내 압력과 충돌거리가 변화될 때 분사된 디젤연료와 충돌판 사이에서 나타나는 비정상 열유속

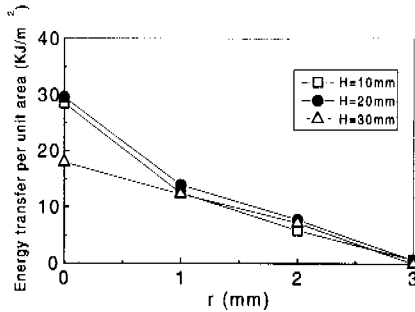


Fig. 11 Variation of energy transfer per unit area for different radial locations

측정이 semi-infinite 모델을 이용하여 이루어졌으며, 그 결과 다음과 같은 결론이 얻어졌다.

(1) 스프레이가 충돌판에 도달할 때 충돌판에서의 열유속의 최고값은 분사초기에 나타난다.

(2) 노즐과 충돌판의 거리가 상대적으로 짧은 경우 (10 mm) 스프레이가 충분히 발달하지 못하고 열유속이 상대적으로 적게 나타난다.

(3) 스프레이 충돌시 충돌판에서의 최대열유속은 매우 제한된 영역 ( $r < \text{약 } 4 \text{ mm}$ )에서 반경방향으로 감소하며,  $r$ 이 이보다 큰 영역에서의 벽흐름에 의한 열전달 효과는 거의 없다. 아울러 분무실 압력이 대기압보다 높아질 때 반경방향으로 열전달 감소 기울기는 보다 완만하게 나타나는데, 일단 가압된 상태에서는 그 가압의 정도가 최대 열유속 감소 기울기에 미치는 영향은 적다.

(4) 분무실이 가압될 때 최대열유속은 분무실 압력이 대기압부터 커질 때 감소하나, 일단 가압된 상태에서는 분무실 압력증가가 최대 열유속 변화에 미치는 영향은 적다.

참고문헌

(1) Lefervre, T., Myers, P. and Ueyhara, O.,

1969, "Experimental Instantaneous Heat Fluxes in a Diesel Engine and Their Correlation," SAE paper 690464.

(2) Annand, W. J. D., 1963, "Heat Transfer in the Cylinder of Reciprocating Internal Combustion Engines," Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 177, No. 36, pp. 973~990.

(3) Morel, T. and Keribar, R., 1985, "A Model for Predicting Spatially and Time Resolved Convective Heat Transfer in Bowl-in-Piston Combustion Chambers," SAE paper 850204.

(4) Wolf, R. S. and Cheng, W. K., 1989, "Heat Transfer Characteristics of Impinging Diesel Sprays," SAE paper 890439.

(5) Hong Qi, Ping Sun, Zhong Wang, Yingjuan Chen, 1997, "An Investigation on Local Heat Transfer in Combustion Chamber of High Speed Diesel Engine," Transport Phenomena in Thermal Science and Process Engineering.

(6) Chang, J. C., 1993, "Diesel Spray Characteristics and Spray/Wall Heat Transfer," Ph.D. Thesis, University of London.

(7) Arcoumanis, C., Cutter, P., Whitelaw, D. S., 1998, "Heat Transfer Progress in Diesel Engines," Institution of Chemical Engineers, Vol. 76, Part A.

(8) 정동수와 7명, "고성능 가솔린엔진용 배기가스 감소기술개발(II)," 한국기계연구소 연구보고서, UCN292-1400-C.

(9) Schultz, D. J., and Jones, T. V., 1973, "Heat Transfer Meseasurements in Short-duration Hypersonic Facilities," AGARD-AG-165.

(10) 문석범, 1999, "고온 벽면에 충돌하는 디젤분무의 특성연구," 석사학위 논문, 한국항공대학교.

(11) 이종범, 1997, "스프레이 충돌판에서 나타나는 비정상 열전달 측정에 관한 연구," KSME 97F205, '97 기계추계학술대회논문집.