

# 소형디젤기관 내 총돌부의 기구학적 조건에 대한 분무특성의 수치적 해석

## Numerical Analysis of Geometric Effects on Spray Characteristics in Small Direct-injection Diesel Engines

류 성 목\*, 차 건 중\*\*, 김 덕 줄\*\*, 박 권 하\*\*\*  
Sung-Mok Ryoo, Keun-Jong Cha, Duck-Jool Kim, Kweonha Park

### ABSTRACT

Many researches have been investigating small direct-injection diesel engines using the spray impacting on walls. Those systems have one or more raised pips to break-up the fuel and spread it widely toward a desired direction in a combustion chamber. In this study, the sizes and heights of the pips are determined by using a computational fluid dynamics code employing non-orthogonal grid systems. In order to find out the suitable pip-shape to a small chamber, the spray behaviors, occupied spray volumes and averaged droplets sizes are calculated with the variation of shape of the pip, such as, size and heights and inclined degree. The desired shape of the impinging land is proposed for the design of combustion system in small diesel engines.

주요기술용어 : Impinging Spray(총돌분무), Wall Impaction(벽면충돌), Incline Degree(경사각), Impinging Land(총돌부), Spray Volume(분무체적), Spray Behaviour(분무거동)

### Nomenclature

$d$  : Diameter of Impinging land  
 $D$  : Diameter of droplet  
 $\sqrt{g}$  : Jacobian determinant  
 $H_{Comb.}$  : Hight of combustion chamber  
 $H_{imp.}, h_{imp.}$  : Hight of impinging land  
 $H_U, h_U$  : Upper width of spray

$H_L, h_L$  : Lower width of spray  
 $i$  :  $i$ th position number of pixel  
 $k$  : Starting position of radial dispersion in impinging spray  
 $N$  : Pixel position of spray head  
 $P_{inj.}$  : Injection pressure  
 $P_{xx}$  : Random values  
 $q_{ij}$  : Geometrical coefficient  
 $R$  : Radial penetration length of spray  
 $R_{xx}$  : Random values  
 $r_i$  : Radius with  $i$ th position  
 $S_\phi$  : Generation term

\* 부산대학교 대학원  
\*\* 정회원, 부산대학교 기계기술연구소  
\*\*\* 정회원, 한국해양대학교

$t$	: Time of after injection begin
$U_i$	: Flow disposition to normal direction
$V_{Comb.}$	: Spatial volume of combustion chamber
$V_{Spray}$	: Spatial volume of spray
$v$	: Velocity of droplet
$We$	: Weber's number of droplets
$\alpha$	: Energy index
$\beta$	: Degree of Slope surface
$\rho$	: Density
$\sigma$	: Surface tension
$\theta$	: Spatial ratio
$\Gamma_\phi$	: Diffusion index
$\Phi$	: physical quantity

### Subscripts

$a$	: after impact
$b$	: before impact
$cal.$	: calculation
$d$	: droplet
$exp.$	: experiment
$f$	: fuel
$n$	: vertical
$t$	: tangentline

## 1. 서론

디젤기관은 에너지 효율이 우수하기 때문에 차량, 박용, 산업용등으로 적용범위가 꾸준히 증가하고 있다. 특히 CO2 저감에 대한 세계적 관심 및 규제 움직임은 고효율의 열기관을 요구하고 있으며, 소형 승용차에도 효율이 높은 디젤기관의 적용을 적극 권장하고 있다. 이러한 고속소형 디젤기관은 작은 연소실을 가질 수밖에 없기 때문에 분사된 연료가 연소실 벽면에 쉽게 충돌하여 퇴적된다. 이는 디젤기관의 연소에서 가장 중요한 요소인 연료와 공기와의 혼합을 어렵게 만들고 연료의 증발을 저해하기 때문에 추구하고자하는 고효율을

기대할 수 없게되며 미연소 가스의 배출 또한 증가될 것으로 예측된다. 이러한 소형디젤기관의 문제를 해결하기 위하여 많은 연구들이 진행되고 있는 데, 그 중에서 연료의 벽면충돌을 적극적인 방법으로 이용하여 충돌분무를 형성시키는 연소실이 그 대표적인 경우이다.

Park 등<sup>(1,2)</sup>은 중앙 및 측면에 충돌부를 두어 5공노즐로 부터 분사된 연료를 실린더내의 돌출부에 충돌시켜 연료를 2차 분열시키고 주위 공기와 충분히 혼합될 수 있도록 하는 시스템을 제시하였다. 또한 Kato 등<sup>(3,4)</sup>은 리엔트레인 트형 연소실의 중앙에 충돌부를 둔 연소실을 고안하였고, Kim 등<sup>(5)</sup>은 분위기압력이 일정한 상태에서 분사압력과 충돌원판의 직경 및 위치를 변화시킨 충돌분무의 실험 및 계산을 토대로 적절한 충돌부위치 및 직경을 제시하였다. Ogura 등<sup>(6)</sup>은 4공노즐을 가지고 실린더헤드에 여러 형상의 충돌부를 설치한 NICS-MH 엔진을 고안하여 충돌분무 실험을 하였다. 이상의 선행연구에서 사용된 충돌부의 형상은 대부분 수평면을 유지하였고, 주로 단순 충돌판에서의 충돌분무특성을 분석하고 있는 정도이며 충돌을 동반한 연소실내에서의 분무거동을 조사한 연구는 찾아보기 어렵다. Cha<sup>(7)</sup>의 연구에 의하면 소형디젤기관의 연소실은 보울의 크기가 작기 때문에 중앙 충돌판에 충돌한 분무는 쉽게 보울 벽면에 퇴적함을 보여 주었으며, 또한 충돌판 아래의 공기와 혼합이 되지 않고 충돌액적의 반사효과에 의하여 많은 연료들이 다시 튀어 올라가 실린더 헤드면에 부착됨을 나타내었다.

이러한 문제를 효율적으로 개선하기위해서 본 연구에서는 주어진 실험조건과 동일한 조건에서의 수치적 계산결과와의 일치를 검증<sup>(1,2,8,9)</sup> 한 바 있는 분무 EPISO 알고리즘<sup>(10)</sup>을 사용하여 실험적으로 수행하기 어려운 많은 경우의 기하학적 인자를 변화시켜 분무특성을 조사하였다.

먼저 본 연구에 앞서 알고리즘의 검증작

업을 수행하였다. Kim 등<sup>(5)</sup>의 실험조건과 동일한 조건에서 분무 EPISO알고리즘을 사용하여 평균관통도를 실험결과와 계산결과를 비교하였고, 이를 Fig. 1에서 나타내었다. 결과에서 알 수 있듯이 실험과 전체적으로 일치하는 경향을 나타낸다.

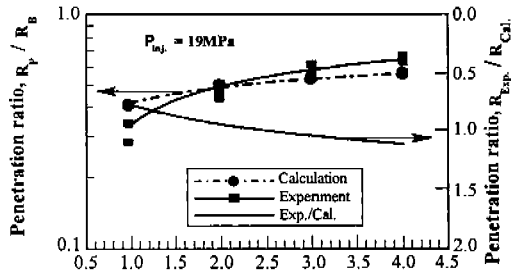


Fig. 1 Comparison of penetration ratio with experiment and calculation. (  $H_{Imp.}=9.0\text{mm}$ , Dia. of impinging land= $9.0\text{mm}$ ,  $P_{inj.}=19\text{MPa}$  )

따라서 본 연구에서는 검증된 분무 EPISO 알고리즘을 사용하여 총돌판의 기구학적 조건에 대해서 총돌부의 형상 및 직경을 변화시키고, 총돌부의 높이를 단계적으로 줄였다. 이때 총돌분무의 공간분포 및 유동분포를 제시하고, 보다 정량적인 분무특성을 조사하였다. 이러한 수치해석적 결과들을 토대로 소형디젤기관의 연소실에서 바람직하고 양호한 공간분포를 유도해 낼 수 있는 최적의 총돌부형상에 대한 기구학적 인자를 예측하여 제시하고자 한다.

## 2. 수학적 모델

본 연구에서 사용된 수학적모델은 다음과 같이 간략화되며 Park과 Watkins<sup>(8)</sup>의 벽면충돌모델을 포함한다.

가스상에 대해서는 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식 및 연료증발방정식이 오일러안 보존식으로 기술되며, 난류수송모델은 Reynolds<sup>(11)</sup>에 의해 제시된 압축성 유체에 대

한  $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다. 액상의 유동에 대해서는 움직이는 격자, 운동량, 질량 및 에너지방정식은 라그랑지안형으로 쓰여지며, 액상의 연료는 노즐에서 분사된 때부터 미립화되고 액적으로 존재한다고 가정한다. 액적은 구이며, 액적과 주위와의 복사열전달은 무시한다. 또한 각 액적군은 크기, 온도속도등 특성이 동일한 수천개의 액적으로 이루어졌다고 가정한다. 액상에 대한 기상의 영향은 액상의 방정식에서 전단응력의 항으로 고려되며, 기상에 대한 액상유동의 영향은 기상의 방정식에서 생성항의 형태로 고려된다. 속도/압력쌍의 해석은 PISO알고리즘<sup>(12)</sup>을 사용하였다.

일반좌표계( $\xi^i$ )로 변형된 기상의 전달방정식은 다음과 같이 일반텐서표시법과 함께 표현된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\theta\rho\Phi) + \\ & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial \xi^i}(\theta\rho U^i\Phi - \frac{\theta\Gamma_{\phi}a_{ij}}{\sqrt{g}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi^j}) \\ & = \theta S_{\phi} + S_{\phi}^d \end{aligned} \quad (1)$$

새로운 벽면충돌모델은 개별액적의 실험결과<sup>(13~15)</sup>에 기본을 두고 개발되었으며, 총돌후 액적의 거동을 계산하기 위하여 액적의 속도성분을 총돌면의 수직방향과 수평방향으로 나누어 계산하였다. 역시 총돌전 액적의 웨버넘버의 함수로 표현하였다. 벽면에 충돌되는 액적은 안정( $We < 80$ )과 불안정( $We > 80$ )의 2가지 영역으로 구분되어진다.

$We < 80$ 인 경우;

$$v_{an} = -\alpha v_{bn} \quad (2)$$

$$v_{at} = v_{bt} \quad (3)$$

$$D_{da} = D_{db} \quad (4)$$

$We > 80$ 인 경우;

$$v_{an} = -R_{xx} \left( \frac{\sigma We_a}{\rho D_{da}} \right)^{0.5} \quad (5)$$

$$v_{at} = v_{bt} \pm R_{xx} v_f \quad (6)$$

$$D_{da} = \frac{D_{db}}{N^3} \quad (7)$$

### 3. 계산조건

본 연구에서는 정적용기 중앙에 총돌부를 둔 연소실을 대상으로 하였다. 중앙의 총돌부는 실험적으로 제시된<sup>(5)</sup> 직경 9.0mm, 분사노즐에서 거리 6.0mm 하방에 위치하였다. 연료액적이 분사되는 분무축의 중심부가 수평한 면에 충돌되도록 하였고 총돌부의 측면은 경사면을 가진 형상을 하고 있다. 또한 분사계조건에서는 노즐직경이 0.6mm이고 분위기온도는 상온이다. 이때의 분위기 압력은 3MPa로 하였고 분사 압력은 15MPa, 19MPa의 계산조건을 가진다. 총돌부의 기구학적조건에 대해서 9.0mm의 총돌부 높이를 단계적으로 감소시키고, 이때 총돌부 직경을 2.0mm, 3.0mm, 4.0mm 및 경사면 45°, 60°로 변화시켰다. 따라서 총돌분무의 특성을 계산하기 위해 총 24가지 경우의 수치해석을 행하였다.

Fig.2는 본 연구에서의 분무특성을 분석하기 위한 변수를 정의하였다.

우측은 저자의 선행연구<sup>(16)</sup>의 수치적 결과에서 제시된 소형디젤연소실에서 양호한 공간분포 및 바람직한 방향을 가진 대표적인 분무형상이다.  $H_{Imp}$ 는 총돌부높이를 나타내고 9.0mm로 하였으며,  $h_{Imp}$ 는 본 연구에서 변화시킨 총돌부 높이를 나타내며,  $H_{Imp}$ 의 2/3, 1/2, 1/3에 해당되는 크기를 가진다.

$H_U$ 와  $H_L$ 은 각각  $H_{Imp}$ 의 크기에서 총돌면을 기준으로 분무의 상부쪽과 하부쪽을 나타내며, 역시  $h_U$ 와  $h_L$ 은 각각  $h_{Imp}$ 의 크기에서

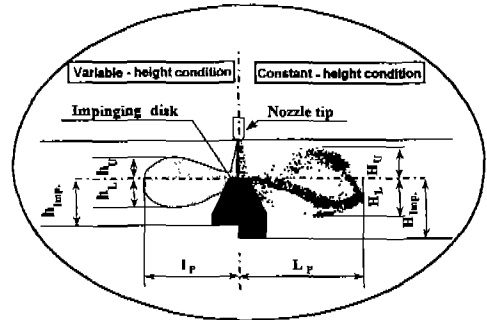


Fig. 2 Definition of variables

분무의 상, 하부쪽을 나타낸다. 또한  $L_p$ 와  $l_p$ 는 각각 총돌부 높이를 고정 또는 변화시켰을 때의 반경방향으로의 관통길이이다.

#### 3.1 계산 격자

Fig.3은 계산에 사용된 격자들 중 총돌부 높이별 총돌부 직경 3.0mm이고 경사각 60°일 때의 대표격자들이다.

계산격자들은 21×23정도의 격자 수를 가지며 이때의 물리적 계산높이와 넓이는 15mm와 30mm에 해당된다.

분무가 분포하는 중심영역에서는 격자간격을 0.5mm~0.6mm로 하여 계산의 정도를 높였고 격자가 경계형상을 따르지 않고 분무유동을

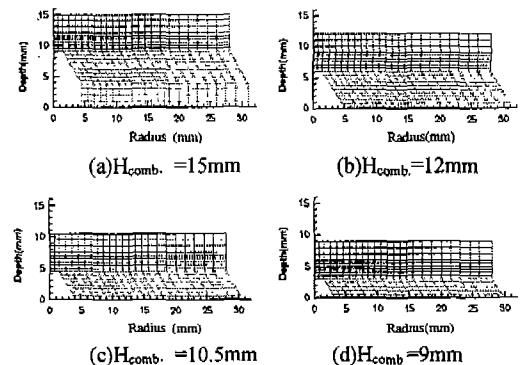


Fig. 3 Representative grids for heights of combustion chamber

따라 생성되었다. 또한 분사노즐은 좌상단에 위치하며 피스톤의 움직임은 고려되지 않았다.

### 3.2 계산조건의 선정

본 연구에서는 저자의 선행연구<sup>(16)</sup>에서 제시된 Fig. 2의 우측에 있는 분무형상과 같이 주어진 연소실의 공간체적내에 적절한 관통길이를 가지고 상하로 널리 분포되는 양호한 분무의 형상을 나타내는 계산조건에서의 총돌부 높이를 기준으로 하였다. 이러한 기준높이를 단계적으로 변화시켰을 때, 총돌부 높이별 가장 양호한 공간분포를 나타내는 계산조건을 선별하고 이후 선별된 조건들에서의 분무특성을 보다 정량적으로 비교하였다.

Fig.4는 연소실높이가 12.0mm, 즉  $H_{Imp.}$  를 1/3로 줄이고 총돌부 직경을 2.0, 3.0, 4.0mm

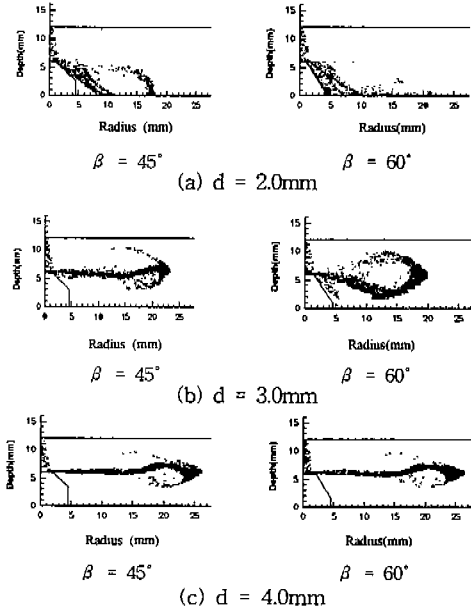


Fig. 4 Spray configurations with different diameters of impinging land,  $d$  ( $H_{Comb.} = 12.0\text{mm}$ ,  $P_{inj.} = 15\text{MPa}$ ,  $t = 3\text{ms}$ )

로 변화시켰을 때, 경사각 45°와 60°에 대한 분사개시 후 3ms, 분사압력 15MPa에서의 분무형상을 나타낸다. 총돌부 직경이 2.0mm일 때인 Fig. 4-(a)에서는 액적이 충돌후 경사면을 타고 흘러내리는데, 이는 충돌면 근처에서의 충돌분무는 경사면을 지나는 공기유동을 더욱 따르기 때문이다. 즉, 총돌부 크기가 총돌위치에서 자유분무 폭 이내 일때, 총돌부 외곽영역에서의 자유분무는 충돌면으로부터 축하방향으로의 운동에너지를 가지게 되어 경사면을 지나는 공기유동장이 형성되며 경사각이 증가할수록 경사면을 따르는 유동은 더욱 심화되기 때문이다. 이러한 조건하에서,  $H_{Comb.}$  의 감소는 분무의 액적들이 연소실바닥에 퇴적될 가능성이 증대되는 좋지 못한 결과들을 야기시킬 수 있음을 알 수 있다.

총돌부 직경이 3.0mm일 때인 Fig. 4-(b)에서는 분무폭이 상하부로 고루 분포하며 특히 Case 2-5인 경우에서는 분무의 공간분포가 넓으면서도, 분무선단이 연소실벽면까지 도달하지 않는 바람직하고 양호한 공간분포의 가능성을 제시하고 있다. 이는 저자의 선행연구<sup>(16)</sup>에서와 같이 액적들이 적절한 총돌부 크기를 가진 총돌판에 분사될때 경사각이 크면 클수록 경사면을 타고 흐르는 분무의 유동속도가 총돌판 하방향으로 증가되며, 이로인해 액적들의 총돌판 반경방향으로의 운동에너지가 상대적으로 감소하기 때문으로 보인다.

총돌부직경이 4.0mm인 Fig. 4-(c)에서는 액적들이 총돌부에 충돌후 반경방향으로 진행하려는 액적운동량이 지배적이며 경사면에서의 영향은 거의 없어 다른 경우들에 비해 관통길이가 증가하고 분무폭이 상하부측으로 널리 퍼지지는 못한다. 이때 관통길이의 지나친 증가로 인해 분무선단이 연소실벽면에 충돌할 가능성이 높아진다.

$H_{Imp.}$  를 1/2과 2/3로 줄였을 때, 총돌부의 직경의 변화에서 분무의 공간분포는 총돌부

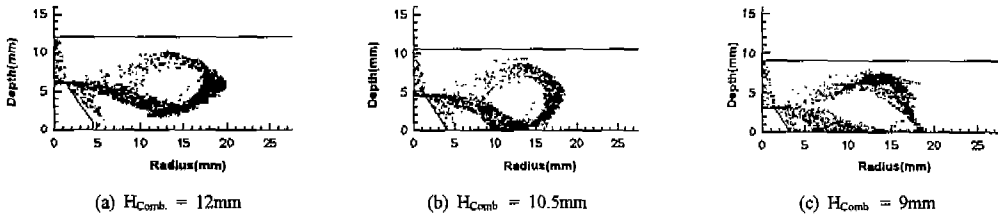


Fig. 5 Spatial configuration of spray at representative cases for heights of combustion chamber ( $\beta=60^\circ$ ,  $d=3.0\text{mm}$ ,  $P_{inj.}=15\text{MPa}$ ,  $t=3\text{ms}$ )

직경 2.0mm에서는 경사면을 타고 흘러내렸다. 직경 4.0mm에서는 충돌부 높이의 감소에 따라 다소 분무의 선단부에서 충돌부의 상하부로 퍼지는 경향은 있으나, 역시 반경방향으로의 관통길이가 증가하였다. 충돌부 직경 3.0mm에서는 충돌부의 경사면에서 생성된 공기유동장에 의해 충돌부를 기준으로 상·하부로 널리 분포되었다.

Fig. 5는 각 충돌부 높이를 변화시켰을 때 충돌부 높이별 분사개시후 3ms, 분사압력 15MPa 일 때, 충돌부 직경 3.0mm이고 경사각  $60^\circ$ 에서의 분무형상을 나타낸다.

전체적으로 이 조건에서 적절한 관통길이를 가지면서 충돌부를 기준으로 상·하부쪽으로 널리 분포되고 있음을 알 수 있다. Fig. 5-(b)와 (c)에서는 충돌부 높이의 감소로 인해 분무의 하부쪽이 연소실바닥에 재충돌되어 바닥면을 타고 진행하게 된다. 분무의 선단부에서는 주위공기의 유입과 함께 벽면제트류와같이 충돌부 상부측으로 휘말리고 있음을 보여준다. 따라서 연소실높이는 충돌분무의 거동에 직접적인 영향을 미치는 인자임을 알 수 있다. 그리고 연소실높이별 주어진 계산조건에서의 계산결과에 따라 선별된 기구학적 조건은 충돌부직경 3.0mm, 경사각  $60^\circ$  일 때이며, 본 연구에서는 향후 이러한 계산조건에서의 분무특성을 보다 정량적으로 조사하였다.

#### 4. 수치결과 및 고찰

##### 4.1 계산조건 및 분무의 형상

Table. 1은 본 연구에서의 선행계산결과들을

Table 1 Selected conditions of calculation

Test case	1	2	3	4
$H_{Comb.}$ (m)	15.0	12.0	10.5	9.0
$h_{Imp}/H_{Imp.}$	1	2/3	1/2	1/3
Dia. of impinging land, $d$	3.0mm			
Inclined angle, $\beta$	$60^\circ$			

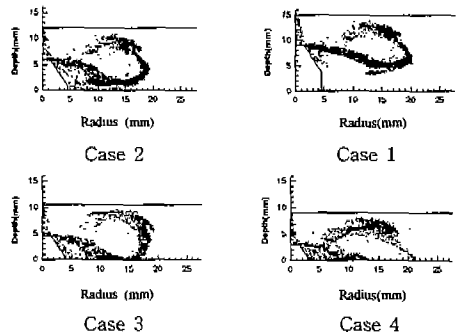


Fig. 6 Spatial distributions of spray for the selected cases

토대로 소형디젤기관에서의 연소실내 최적 충돌부높이에 대한 분무특성을 보다 자세히 알아보기 위해 충돌부 높이별 선별된 계산조건들을 나타낸다.

Fig. 6은 각 연소실높이별 선정된 경우들에 대해 분사개시 후 3ms에서 분사압력이 높을 때인 19MPa에서의 분무의 형상을 나타낸다. 분무의 공간분포는 충돌부의 상·하부측으로 널리 분포되어 양호하나  $H_{Comb.}$ 가 감소함에 따라 분

무의 하부측폭이 연소실바닥에 도달되어 연소실바닥면에 2차충돌을 생성시킨다. 특히 Case 4인 경우는 분사압력이 높을 때, 액적이 완전히 바닥면에 재충돌되어 바닥면을 타고 진행되고 있음을 알 수 있다. 또한 분사압력에 따라 양호한 공간분포를 유도하는 최적의  $H_{Comb}$ 가 존재함을 알 수 있다. 그러나 실제 실험 노즐을 가지는 디젤엔진에서는 분사압력이 19MPa 이상임을 고려하여 이후부터는 19MPa 일 때의 분무특성을 고찰하였다.

Fig.7은 분사압력이 19MPa일 때 각 경우들에 대한 분무에 유입되는 주위가스의 유동을 나타낸다.  $H_{Comb}$ 가 감소함에 따라 경사면의 영향을 받는 주유동장이 연소실바닥면근처에서 형성되고 있다. Case 2인 경우부터 경사면과 연소실바닥 사이에서 주위가스와의 상호작용에 의해 생성되는 유동장의 간섭으로 주유동장은 멀리 진행되지 못하며 경사면근처에서 상부측으로 휘말릴려는 경향을 나타내고 있다. 또한 분무선단부에서는 주위압력의 영향으로 분무선단의 액적들이 상부로 상승하는 유동이 발생하고 있다. 이는 분무상부의곽에서는 분무의 내부로 유입되는 공기의 유동내의 진행방향과 반대로 이루어지기 때문으로 사료되며, 분무내부에 와류(vortex flow)가 발생하고 있음을 알 수 있다. 와류의 형성으로 인해 분무의 단면형상이 원형으로 되면 이 크기는 분무의

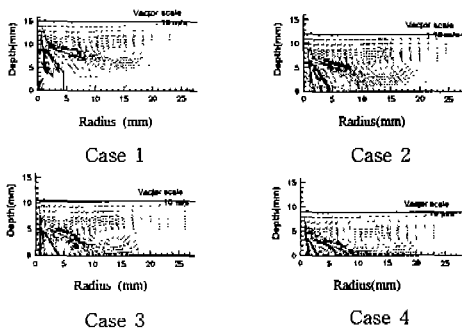


Fig 7 Gas flows for the selected cases ( $P_{inj} = 19MPa$ ,  $t = 3ms$ )

폭에 해당되고 분무내부에 형성된 와의 크기에 따라 결정됨을 알 수 있다.

## 4.2 분무 관통길이

Fig.8은 분사압력이 19MPa일 때 분사시간의 경과에 따라 기준 충돌부 높이에서의 Case 1에 대해 변화시킨 충돌부 높이에서 Case 2, 3, 4의 무차원 관통길이비를 비교한 것이다.

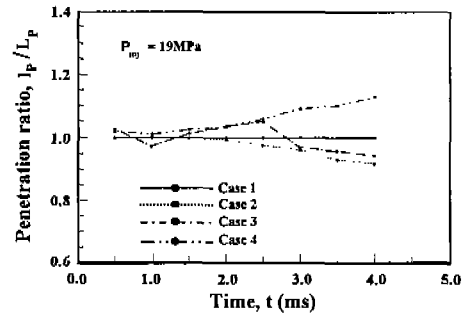


Fig. 8 Penetration ratio of impinging spray

Case 1에 대한 Case 2, 3의 관통길이 비는 시간경과에 따라 액적들이 반경방향으로의 액적운동량이 손실되고 경사면에서 생성된 유동장을 추종하게 되는 운동량을 가짐으로서 액적들은 충돌부의 상부측 또는 하부측으로 널리 분포되어 관통길이는 다소 둔화된다. 하지만 Case 4는 분사개시후  $H_{Comb}$ 가 다른 조건에 비해 매우 낮은 경우로서 Case 1에 비해 관통도가 크게 증가하고 있다. 이는 분사개시후 2ms부터 협소한 연소실공간내 연료분무가 바닥면에 재충돌되고 충돌부 주위의 바닥면에서 기구학적조건에 의한 벽면제트유동이 발달되어 바닥면에서 형성된 액막을 타고 반경방향으로 더욱 진행되기 때문이다.

## 4.3 분무 상·하부폭

Fig. 9는 정의된 분무폭에 대한  $H_{Comb}$ 의 감소에 따른 분무폭비를 나타낸다. Fig. 9-(a)

의 상부폭 비의 비교에서는 Case 1의 경우에 대해 Case 3과 4의 경우가 3ms이후부터 증가하고 있다. 이는 Case 3의 경우에서도 3ms이후부터  $H_{Comb}$ 의 감소로 인해 연료분무가 충돌부에 충돌후 연소실바닥으로 다시 충돌하게 되어 벽면충돌분류가 형성된다. 또한 벽면충돌분류가 벽면을 따라 진행하면서 분류의 선단 끝부분에서는 주위공기의 유입에 의해 상부측으로 강한 와류를 생성시키는 벽면충돌분류의 특성에 의한 영향때문이다. 따라서 상대적으로 충돌부위로의 상당한 분무폭을 가지게 되는 것으로 사료된다.

Fig. 9-(b)의 분무의 하부폭 비에 대해서는 Case 3과 4는 2ms이후부터 하부폭이 Case 1인 경우에 비해 작아지고 있는데, 이는 Case 3과 4인 경우에서의 충돌부높이가 이 시간대에

에서 Case 1인 경우의 충돌면을 기준으로한 분무 하부폭 보다 작기 때문이며, 또한 액적들이 시간의 경과에 따라 낮아진 연소실높이에 의해 빠른 시기에 연소실바닥면에 도달되는 반면 Case 1인 경우는 시간의 경과에 따라 큰 충돌부 높이에 의한 충돌분무가 하부측으로 더욱 널리 분포되기 때문이다. 또한 여기서 Case 2인 경우에는 2ms이후에서의 분무폭의 비가 Case 1인 경우와 비교해 볼 때 더욱 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 충돌부 하부측으로의 체적공간이 Case 1의 경우보다 적어 연소실바닥에 존재하는 분위기압력이 경사면 하방향으로 진행하려는 액적모멘텀에 더욱 영향을 받아 하부측으로의 폭이 증가되는 것으로 추정된다.

#### 4.4 분무의 체적 및 평균입경

이상의 결과를 토대로  $H_{Comb}$  변화에 대해 양호한 공간분포를 좀 더 자세히 예측하기 위해서, 액적들이 분포하고 있는 공간체적을 계산하고, 비교하였다.

Fig. 10은 양호한 공간분포를 가지는 충돌분무의 체적을 계산하기위한 개략도를 나타낸 것이다.

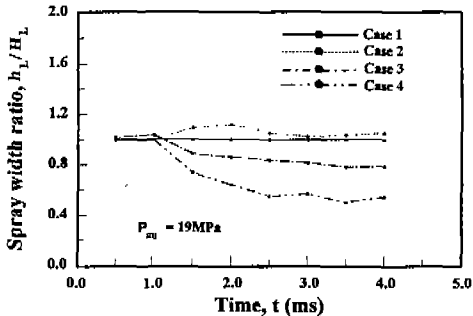
체적을 계산하기 위한 하나의 격자는  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$ 로 하였고, 또한 충돌분무의 공간체적을 계산하기위한 식은 다음과 같이 표현된다.

$$V_{\text{Spray}} = \sum_i [\pi + 2\pi(r_i - 1)] \quad (8)$$

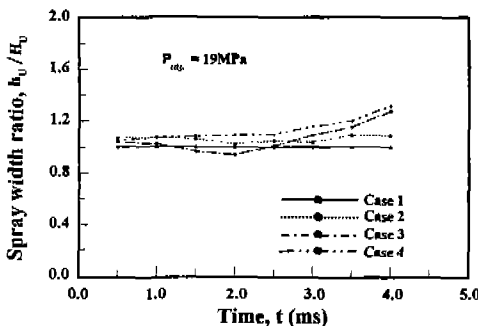
$$(k \leq i \leq N)$$

여기서  $i$ 는 체적계산범위내에서 임의의 위치에 존재하는 액적에 해당되는 격자값이며,  $k$ 는 액적들이 충돌후 반경방향으로 퍼지기 시작할 때의 격자 위치이고  $N$ 은 충돌분무의 관통길이의 끝지점에서 격자위치이다.

또한  $r_i$ 는  $i$  위치에 해당되는 충돌부를 중심으로 한 반경값이며 충돌분무의 공간체적을



(a) Upper spray width ratio



(b) Lower spray width ratio

Fig. 9 Spray width ratio of impinging spray ((a) Upper spray width ratio, (b) Lower spray width ratio)



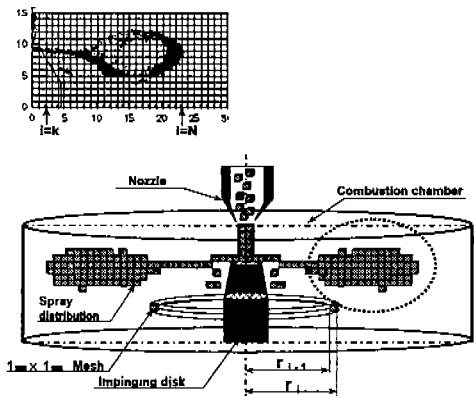


Fig. 10 Sketch for the estimation of spray volume

$V_{\text{Spray}}$ 로 표현하였다. 이 계산에는 단지 액적이 분포하는 공간만을 고려한 것으로 공간상의 액적밀도에 대한 개념은 고려하지 않았다.

Fig. 11은 각 경우에서의  $V_{\text{Spray}}$ 의 추정값을 시간경과에 따라 비교한 그래프이다.

본 연구에서 분무가 차지하는 공간체적은 시간의 경과에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, Case1과 2의 값이 앞서 결과들같이 양호하게 나타난다. 이로서 다른 경우들에서보다 이 두 경우가 양호한 공간분포를 가짐을 알 수 있다. 이는 Case 1은 Case 2에 비해 관통길이가 다소 길고, 반면에 Case 2는 Case 1에 비해 상·하부로의 분무폭이 증가하기 때문에 서로 유사한 공간체적값을 가진다. 따라서 충돌분무가 양호한 공간분포 및 바람직한 분무방향을 가지기 위해서는 적절한 관통길이를 가지면서 연소실내 상하부로 널리 퍼지는 것이 중요하며 이들 경우가 바람직한 조건이라고 볼 수 있다. 그러나 연료가 충돌부에 충돌 후 생성되는 충돌분무가 주위공기와 혼합할 때 주어진 연소실 공간체적내에 존재하는 주위공기를 최대한 활용할 수 있다면 더욱 바람직한 혼합을 유도해 낼 수 있을 것으로 사료된다.

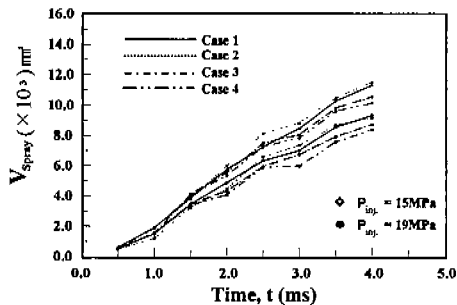


Fig. 11 Comparison of spray volume for injection pressures

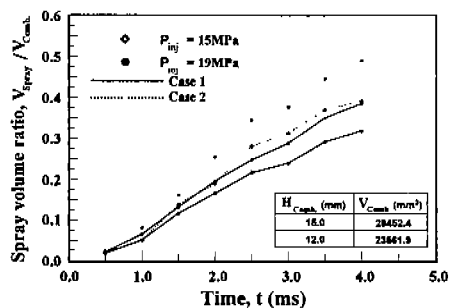


Fig. 12 Comparison of spatial volume ratio of spray in Case 1 and Case 2

본 연구에서 소형디젤기관에서의 피스톤의 보울반경이 대략 25mm인 것을 감안하여, Case1과 Case2의 경우에 대해 주어진 연소실 공간체적( $V_{\text{Comb}}$ ) 대 시간경과에 따라 분무가 차지하는 공간체적( $V_{\text{Spray}}$ )의 비율 Fig. 12에 나타내었다.

시간의 경과에 따라 분무의 공간분포는 선형적으로 주어진 연소실공간을 점유하고 있으며, 두 가지 경우가 서로 유사한 경향을 보인다. 하지만 Case 1과 비교해볼 때 Case 2는 주어진 연소실공간체적을 적절히 잘 활용하고 있으며, 연소실내 존재하는 주위공기와와의 혼합성을 최대한 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

Fig.13은 Case 1과 Case 2의 경우들에서의 충돌분무의 주어진 연소실 공간체적내에 미립화특성을 알아보기 위해 시간별 전 영역에서의 SMD를 각 분사압별로 비교하였다.

SMD값은 이들 두 가지 경우에서 시간경과

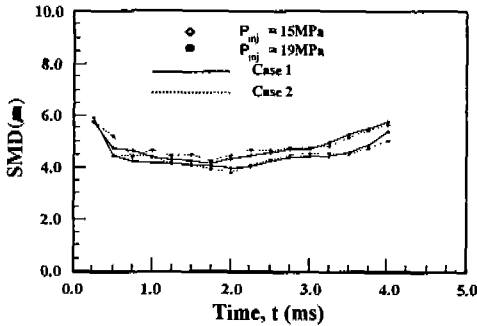


Fig. 13 Comparison of overall SMD in Case 1 and Case 2

에 따라 분사압력이 높을 수록 액적의 분열 효과를 촉진시켜 전체적으로 유사한 경향을 보이고, 이들 두 경우에서의 비교에서는 Case 2가 좀 더 양호한 미립화특성을 가진다. 이는 액적들이 적정한 연소실높이에서 주어진 공간체적내에 존재하는 공기와의 다소 활발한 혼합으로 액적분열효과가 증대되는 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 Case 2에 형성된 액적의 공간분포가 주어진 연소실 공간체적내에 공기와의 혼합을 최대로 활용하고 양호한 미립화특성을 유도해 낼 수 있는 최적의 기구학적조건이라고 할 수 있다.

## 5. 결 론

소형디젤 연소실내에서 충돌부의 높이, 크기, 경사각 등 충돌부 변화에 대한 충돌분무의 특성 변화는 다음과 같이 요약된다.

분무의 관통길이는 Case 2인 경우가 가장 짧았고 적절한 관통길이를 가진다. 분무의 상하부폭비를 비교하였을 때 상부측으로는 Case 1과 Case 2인 경우가 양호하였고, 하부측으로는 Case 2인 경우에서 가장 널리 분포되었다. 또한 분무가 차지하고 있는 공간체적은 Case 1과 Case 2인 경우가 좋은 값을 가지며, 미립화 특성을 검토하였을 때 Case 2의 경우가 좀 더 양호하였다.

종합적으로 볼 때 Case 2의 경우가 가장 양

호하였으며, 소형디젤기관에서의 연소실내에 충돌분무를 이용하기 위한 최적 기구학적조건은 연소실 높이 12.0mm 즉 충돌부 높이를 1/3로 줄였을 때, 충돌부 직경 3.0mm, 경사각 60° 일 때였다.

## 참 고 문 헌

1. K. Park, and D.M. Wang, and A.P. Watkins, "A contribution to the design of a novel direct injection diesel engine combustion system-analysis of pip size", Appl. Math. Modeling, vol. 17, pp.114~124, 1993,
2. K. Park and A.P. Watkins, "An Investigation of Combustion Chamber Shapes for Small Automotive Direct Injection Diesel Engines Employing Spray Impaction", IMechE Journal of Automobile Engineering, vol. 210, pp.261-272, 1996.
3. S. Kato and S. Onishi, "New Type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet(OSKA-D)", SAE 901618, 1990.
4. S. Kato, H. Tanabe and S. Onishi, "Combustion Observation of DI and OSKA-DH Diesel Engines by Engine Video System", International Symposium COMODIA 94, pp. 255-260, 1994.
5. 김덕줄, 차건중, 서경일, "충돌원판의 설치 조건에 따른 디젤분무의 거동특성", 액체 미립화학회 1996년도 학술강연회 논문집, pp.92-98, 1996.
6. M. Ogura and B. Lin, "A New Multi-Impingement Wall Head Diffusion Combustion System (NICS-MH) of a D.I Diesel Engine", SAE 940196, 1994.
7. 차건중, 1997, "DI 엔진의 衝突噴射系에 의한 噴霧 舉動에 關한 研究", 부산대학교 박사학위논문.
8. A.P. Watkins and K. Park, "Assesment and

- Application of a New Spray Wall Impaction Model", *Computers Reciprocating Engines and Gas Turbines*, I.Mech.E, pp. 1~10, 1996.
9. 장원석, 김덕줄, 박권하, "새로운 충돌모델을 이용한 신형식 디젤연소실 분석", 한국전산유체공학회 논문집, 제2권, 제1호, pp.54-65, 1997.
  10. D.M. Wang, "Modelling Spray Wall Impaction and Combustion Processes of Diesel Engines", Ph.D. thesis, University of Manchester, Faculty of Technology, 1992.
  11. W.C. Reynolds, "Modelling of Fluid Motions in Engines - An Introductory Overview", In J.N. Mattavi, and C.A. Amann, editor, *Combustion modelling in reciprocating engines*, Plenum Press, New York, pp. 41-68, 1980.
  12. R.I. Issa, "Solution of the Implicitly Discretised Fluid Flow Equations by Operator Splitting", *J. Comp. Phys.*, 61(1):40-65, 1986.
  13. K. Araki and A. Moriyama, "Deformation Behaviour of a Liquid Droplet Impinging on a Hot Metal Surface", In *Int. Cont. on Liquid Atomization and Spraying Systems (ICLASS-82)*, 1982.
  14. O.W. Jayaratne and B.T. Mason, "The Coalescence and Bouncing of Water Drop at Air/Water Interface", *Proc.R.Soc. Lond-A*,280:545-656, 1964.
  15. L.H.J. Wachters and N.A.J. Westerling, "The Heat Transfer from a Hot Wall to Impinging Water Drops in the Spheroidal State", *Chemical Engineering science*, 21:1047-1056, 1966.
  16. 류성목, 차건종, 김덕줄, 박권하, "디젤연소실에서 새로운 충돌분무 형성에 대한 수치적 고찰", 대한기계학회 논문집, 제22권 제11호, pp.1625-1634, 1998.