

## OSKA형 디젤기관 연소실의 충돌면 크기 분석

김재휘\* · 홍영표\*\* · 박권하\*\*\*

The Size Analysis of Raised Lands Prepared for Spray Impaction  
in OSKA Typed D. I. Diesel Engine Combustion Chamber

C. H. Kim · Y. P. Hong · K. Park

**Key words** : Spray(분무), Impaction(충돌), D. I. Diesel engine(직접분사식 디젤기관), Combustion chamber(연소실), Land size(충돌면 크기)

### Abstract

In a diesel engine the phenomenon of spray impaction on a combustion chamber wall has been taken as an undesirable matter because of the deposition of fuel on the surfaces, and the subsequent slow evaporation and mixing with air resulting in unburned hydrocarbons. Therefore many researches have concentrated on avoiding fuel impingement on surfaces.

On the contrary done a number of studies using spray wall impactions in a positive way, which makes the droplets smaller, changes the direction into free spaces far from the wall and also improves mixing with air.

In this paper the size of the impaction site prepared for the injection spray which is raised from the bottom in the piston bowl center is analysed as both simulative and experimental manner.

### 1. 서 론

균질의 예혼합기를 흡입, 압축한 다음 외부불꽃을 이용하여 점화, 연소시키는 가솔린기관과는 달리 디젤기관에서는 고온, 고압의 압축공기중에 분

사된 연료가 자기착화함으로서 연소가 시작된다. 즉, 디젤기관에서는 불균질 혼합기 조건하에서 연소가 진행된다. 전체적으로는 회박연소이지만 분사된 연료가 주위공기와 충분히 혼합되지 않은 상태에서 연소가 시작되고, 분무의 중심부에는 연소

\* 정회원, 동의대학교 대학원

\*\* 정회원, 동의대학교 기계설계학과

\*\*\* 정회원, 한국기계연구원

중에도 공기가 도달하지 못하여 매연의 발생과 함께 연비가 증가하게 된다. 이의 개선을 위하여 스월(swirl)형, 예분사(pre-injection)형, 고압분무 등 여러 특성의 분사노즐에 관한 연구<sup>1-3)</sup>, 그리고 reentrant type, semi-prechamber, 후기교관연소실 등과 같이 연소실 형상을 변경하여 공기의 유동특성을 개선하려는 연구<sup>4-6)</sup>, 또 이외에도 물을 혼합한 연료를 사용하여 수분의 폭발현상을 이용하려는 연구<sup>7)</sup> 등이 수행되고 있다.

한편 분사된 연료를 연소실내 충돌면에 충돌시켜 분무액적을 작게 하고, 충돌된 액적이 연소실내 내부표면에 쌓이지 않고 고루 퍼지게 함으로서, 예혼합기를 이용한 가솔린기관에서와 같은 효과를 얻고자 하는 연구들이 수행되고 있다. Park 등<sup>8-11)</sup>은 그들의 계속되는 논문에서 충돌을 이용한 연소실을 제시하였으며, 또 계산을 통하여 이를 분석하고 있다. 그 결과로서 충돌면이 없는 연소실의 경우 분사된 연료의 상당부분이 연소실 내부표면에 붙어 있음을 보여주고 있는 반면, 충돌을 이용한 연소실에서는 분사된 연료가 연소실 내부에 골고루 분산됨을 보여주고 있다. 또한 분사연료를 글로우 플러그에 충돌시키는 부연소실 시스템<sup>11)</sup>도 제시되고 있다. Kato등에 의하여 제시된 OSKA 시스템<sup>12-14)</sup>은 단공노즐(single hole nozzle)을 사용하며, 피스톤 보울(bowl)의 중앙에 설치된 충돌면에 연료분무를 충돌시켜 액적을 아주 작게 만들어 벽면으로부터 멀리 떨어진 연소실내부의 공기와 잘 혼합되게 하고 있다. 그들의 연구결과는 연비의 개선과 함께 soot와 NOx를 동시에 저감시키는 것으로 나타나 있다. Ogura, M. and Lin, B.<sup>15)</sup>는 4공 노즐을 4개의 충돌면을 갖춘 연소실에 설치하고, 분무를 충돌면에 충돌시키는 방법으로 여러 가지 형상의 충돌면에 대하여 분석하였다. 역시 연비의 개선과 더불어 soot저감 효과가 있는 것으로 나타나 있다.

이상의 연구들은 대부분 수학적 해석 또는 모델 실험으로서 이 두가지를 결합시킨 연구는 드물다. 따라서 본 연구에서는 OSKA형 디젤기관 연소실의 충돌면 크기를 계산과 분무충돌 실험으로 분석하여, 향후 이러한 형식의 연소실 설계에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 수학적 모델

가스상태에 대하여는 질량, 모멘텀, 에너지 및 증발연료에 대한 Eulerian 보존방정식과  $k-\epsilon$  난류모델을, 액적에 대하여는 Lagrangian 방정식을 적용하며, 기상과 액상의 상호작용은 소스항의 형태로 반영된다. 일반적인 비직교좌표계( $\xi$ )에서의 상기 전달함수는 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\theta\rho U^i\Phi - \frac{\theta\Gamma_{\phi}q_{ij}}{\sqrt{g}} \frac{\partial\Phi}{\partial t}) = \theta S_{\phi} + S_{\phi}^d \quad (1)$$

여기에서 normal flux components  $U^i$ 은

$$U^i = P_{ij} w^j \quad (2)$$

으로 나타나며,  $w^j$ 는 벡터필드  $\bar{V}$ 의 Cartesian 성분이다. 그리고  $P_{ij}$ 는 면적벡터의 직교좌표성분을 나타내며 다음과 같이 표시된다.

$$P_{ij} = \sqrt{g} \frac{\partial\xi^k}{\partial x^i} \quad (3)$$

그리고 Jacobian Determinant  $\sqrt{g} = |J|$ 은 다음과 같이 정의 된다.

$$\sqrt{g} = \det(J_j^i) \quad (4)$$

$q_{ij}$ 는 기하학적 관계식으로

$$q_{ij} = \bar{A}^i \cdot \bar{A}^j \quad (5)$$

으로 주어지며,  $\bar{A}^i$ 은 면적벡터이다. 또한  $S_{\phi}$ 는 소스항을 나타낸다.

한편 분무의 벽면충돌모델은 여러 종류의 실험에 근거하여 다음과 같이 주어진다.

$$\text{We} < 80 \text{인 경우에 대하여} \\ \bar{V}_a^n = -\alpha \bar{V}_b^n \quad (12)$$

$$\bar{V}_a^t = \bar{V}_b^t \quad (13)$$

$$D_{da} = D_{db} \quad (14)$$

$\text{We} > 80$ 인 경우에 대하여

$$(\bar{V}_a^n)^t = (\bar{V}_b^n)^t = -\alpha \bar{V}_b^n R_{xx} \quad (15)$$

$$(\bar{V}_a^t)^t = \bar{V}_b^t + \bar{V}_b^t \text{scattering} \quad (16)$$

$$(\bar{V}_a^t)^n = \bar{V}_b^t - \bar{V}_b^t \text{scattering} \quad (17)$$

$$D_{da} = C_w D_{db} \tag{18}$$

$$(N_{da})^3 = (N_{db})^2 = \frac{N_{db}}{2C_w^3} \tag{19}$$

이 모델은 Park 등<sup>10)</sup>에 의하여 자세히 설명되었고 실험결과와 비교하여 모델의 정도를 증명하였다.

### 3. 수치해석 및 실험

OSKA형 연소실내 충돌면을 대상으로 충돌면의 크기를 분석하였다. 연소실 상부에 설치된 단공노즐로부터 10mm 떨어진 곳에 Fig. 1과 같은 충돌면을 분무의 방향과 수직을 이루도록 설치하였으며, 충돌면의 크기는 직경4mm에서 10mm까지 4가지의 경우에 대하여 수치해석 및 실험하였다. Table 1은 분석의 조건을 보여준다. 그리고 수치해석을 위하여 20×20의 그리드를 사용하였으며, 이 그리드는 분무의 주 유동영역을 조밀하게 배치하였으며, 또 분무의 주 유동방향으로 확장되도록 하였다.

분무화상을 취득하기 위한 실험장치는 Fig. 2와 같이 분사펌프 구동부, 분사 시스템, shadowgraphy 광학계, CCD 카메라와 이미지 프로세싱 시스템, 데이터 취득 및 처리장치로 구성하였다. 분사펌프는 4기통 분배형 분사펌프를 사용하였으며, 분사펌프 구동축을 DC모터에 직결시켰다. 따라서 분사펌프의 회전속도는 DC모터의 회전속도를 제어하여 간단히 변화시킬 수 있도록 하였다. 4개의 분사노즐중 1개만 분사되도록 하였으며 나머지 분사노즐의 연료는 연료탱크로 복귀되도록 하였다.

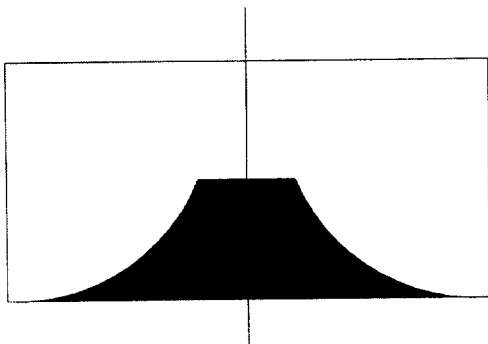


Fig. 1 Shape of impact land

Table 1 - a. Experimental Test Conditions

Conditions	Values
Diameter of Inj. hole [mm]	1
Diameter of Nozzle tip [mm]	0.6
RPM of injection pump [min <sup>-1</sup> ]	1000
Max. line pressure [MPa]	17.3
Ambient pressure [MPa]	1.0
Ambient temperature [K]	288
Distance between nozzle and impact land [mm]	10
Diameter of impact land [mm]	4, 6, 8, 20

Table 1 - b Simulation Conditions

Conditions	Values
Diameter of Inj. hole [mm]	0.3
Averaged injection pressure [MPa]	14
Ambient pressure [MPa]	1.5
Ambient temperature [K]	773
Distance between nozzle and impact land [mm]	10
Diameter of impact land [mm]	4, 6, 8, 10
Grids	20×20

분사펌프와 분사노즐 사이의 관로에 동압 측정용 압력계이치를 설치하고, 데이터 취득 및 처리장치를 이용하여 관로의 동압을 측정하였다. shadowgraphy 광학계는 점광원용 스트로보스코프, 그리고 직경 6mm인 핀홀(pin hole)과 촛점거리 1480mm인 오목거울 2개를 적당히 배치하여 평행광을 발생시키도록 하였다. 분무화상 취득 시스템은 CCD-카메라, 화상증폭장치, 이미지 처리장치, 그리고 PC와 PCL-830 timer-counter board로 구성하였으며, 스트로보스코프와 CCD-카메라를 동기시켜 화상을 취득하였다.

## 4. 결과 및 고찰

### 4. 1 유동특성

Fig. 3은 충돌 1ms후의 유동특성이다. 충돌면 직경 4mm의 경우, 충돌면을 경계로 상하방향의

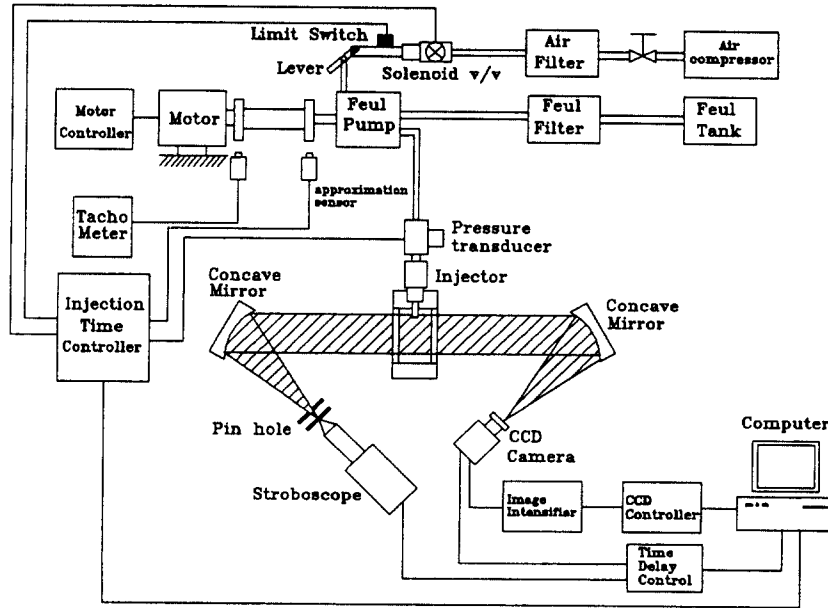


Fig. 2 Experimental set - up

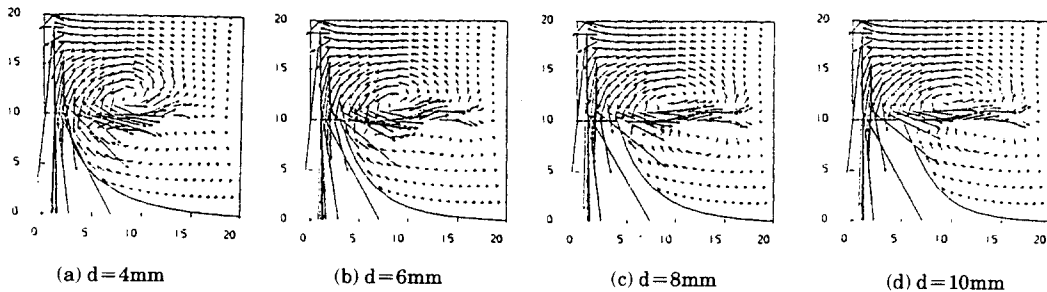


Fig. 3 Flow characteristic at 1ms after impaction

넓은 영역에 걸친 스윙(swirl)이 발생됨을 보이고 있다. 충돌면 상부에서는 분무연료에 의해 발생된 제트유동(Jet flow)이 충돌면 밖에 까지 영향을 미치며, 충돌면 높이에서의 충돌면 외곽유동은 아래로 향하고 있다. 하지만 역으로 연소실 하부에서 충돌면 측면을 따라 올라오는 유동에 의하여 아래로 향하던 유동이 곧바로 윗방향으로 전환되고 있다. 결과적으로 유동이 밖으로 힘차게 뿜어 나가지 못하고 상하방향으로 퍼지면서 큰 스윙을 동반하고 있다. 충돌면 직경이 6mm인 경우, 직경 4mm에서와 유사한 유동이 발생하고 있지만 많이 완만하여짐을 나타내고 있다. 충돌면 직경 8mm 이상의 경우, 충돌면이 충분히 커서 분무에 의한 제트

기류를 충돌면이 전부 받게 된다. 따라서 충돌면과 같은 높이의 유동이 거의 수평방향으로 진행되므로, 결과적으로는 유동이 충돌면의 상하방향으로는 영향을 적게 미치지만 반경방향으로 힘차게 뿜어나감을 보이고 있다.

#### 4. 2 분무특성

Fig. 4, 5는 분무액적의 분포로서 각각 수치해석 및 실험에 의한 결과이다. 충돌면 직경이 4mm인 경우 분사된 연료가 모두 충돌면에 충돌함을 보여주지만 분무연료에 의해 유도되는 유동은 충돌면으로부터 연소실 하부로 흐르는 것을 나타내고 있다. 즉, 충돌면에 충돌된 액적들은 충돌면 밖으로

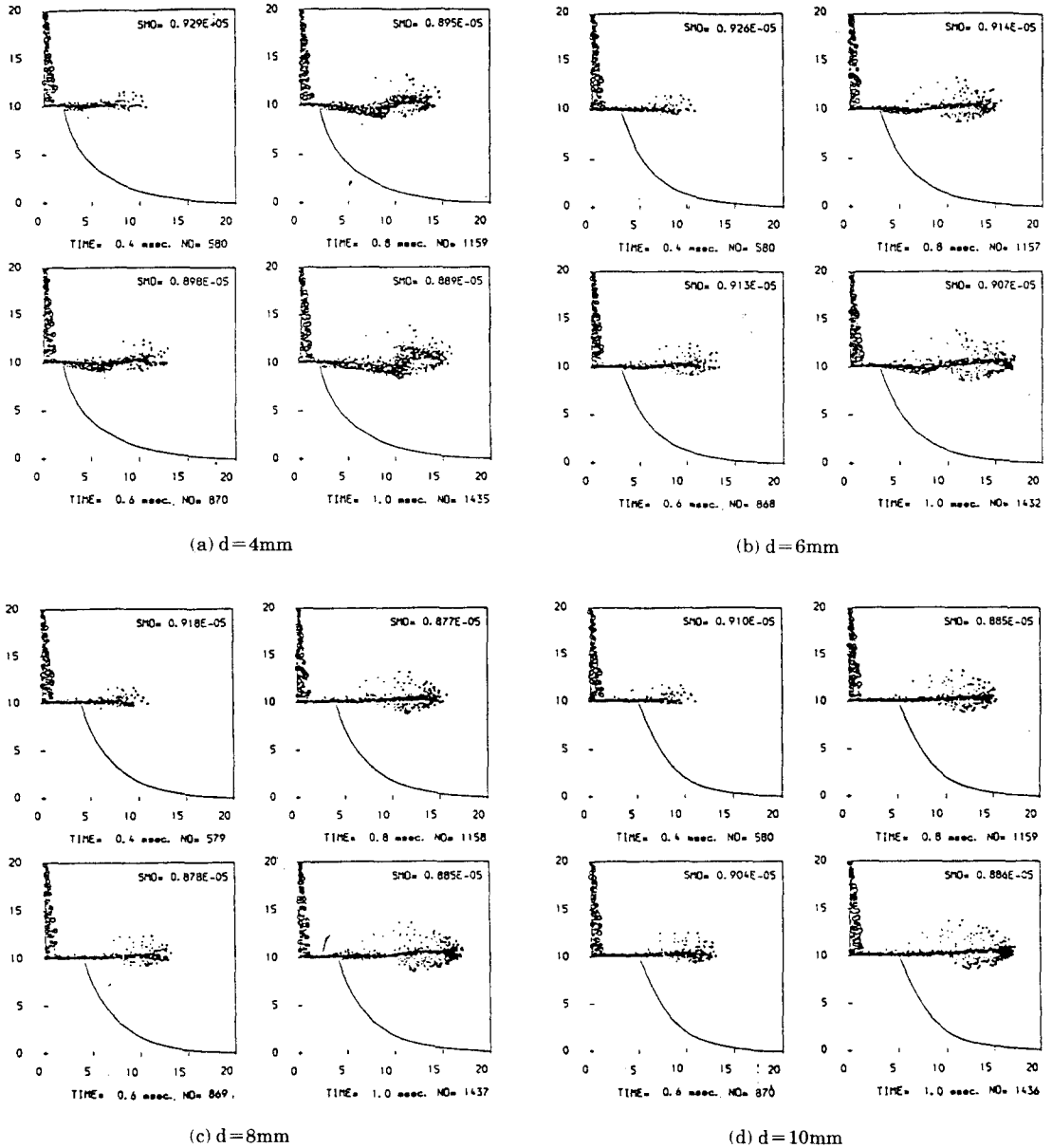


Fig. 4 Spray distribution(calculation)

진행되면서, 동시에 아래로 휘어지면서 퍼져 나간다. 이렇게 휘어져 내려가던 분무는 아래쪽에서 위쪽으로 작용하는 유동의 영향에 의해 끝부분에서 위쪽으로 밀려 올라감을 보이고 있다. 비행기 날개를 지나는 유동처럼 2차 스월의 영향으로 분무의 선단이 다시 아래로 내려가는 것을 알 수 있다. 그리고 다수의 실험에서 언급하고 있는 바와 같이 분

무의 선단은 버섯모양(mushroom shape)으로서, 단면촬영이 아닌 shadowgraphy 실험결과에서 이러한 현상을 정확히 규명하기는 어렵지만 전반적인 형상은 이를 잘 나타내고 있다. 충돌면 직경 6mm인 경우, 직경 4mm에서와 같은 현상은 매우 둔화되었지만 충돌면 외곽에서 분무연료가 아래로 휘어지다가 다시 올라섬을 보여준다. 충돌면 직



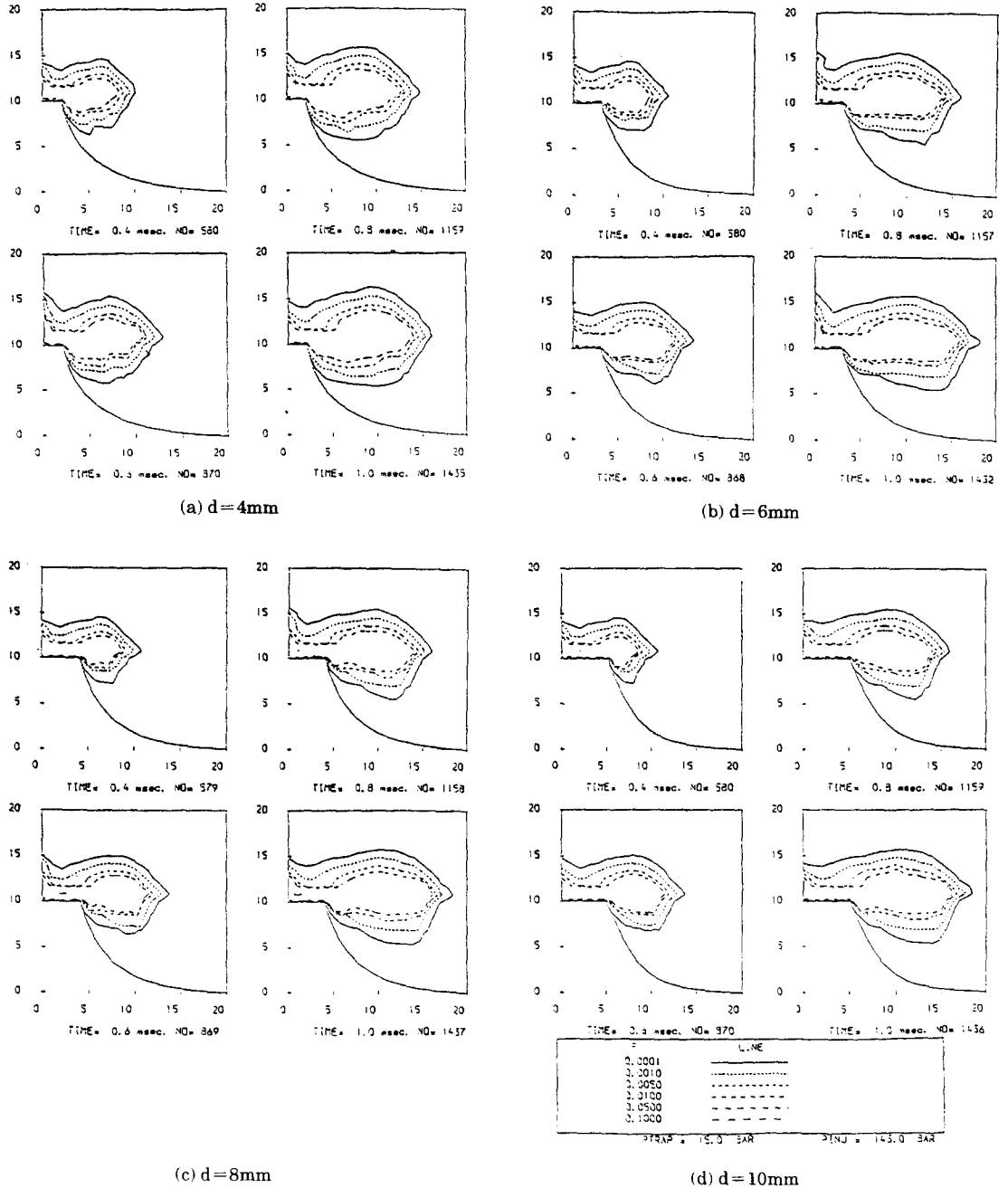


Fig. 6 Distribution of vaporized fuel

의해 동반되는 제트유동이 충돌면 밖에까지 영향을 미침으로서 충돌에 의해 부서져 작아진 액적들이 충돌면 아래로 휘어져 내려감을 나타내며, 이후 다시 2차적인 스윙의 영향에 의해 분무가 휘청거

림을 보여준다. 따라서 반경방향으로의 퍼짐이 둔화되는 반면 상하방향으로 널리 퍼지고 있다. 충돌면이 큰 경우(직경 8mm 이상) 제트유동은 거의 영향을 미치지 못하며 결과적으로 충돌분무가 곧바

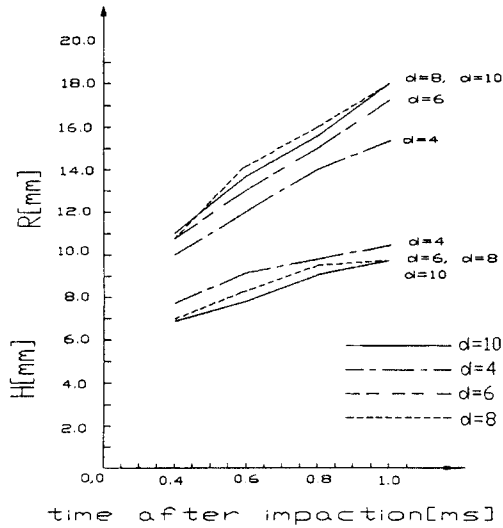


Fig. 7 Comparison of R &amp; H

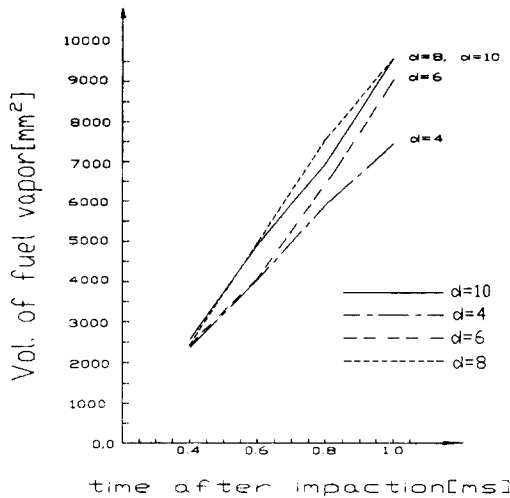


Fig. 8 Comparison of Vol. of fuel vapor

르게 반경방향으로 퍼져 나가게 된다. 따라서 대상 엔진의 분무조건, 연소실 크기와 형상 등에 따라 충돌면의 크기를 적절히 선택함이 요구된다. 즉, 피스톤보울 직경이 30mm인 경우는 직경 4mm의 충돌면이 바람직하며, 보울직경이 40mm가 되면 직경 8mm의 충돌면이 적당한 것을 보여주며, 직경 8mm이상의 충돌면은 연료의 불필요한 퇴적을 동반하므로 바람직하지 못함을 알 수 있다.

## 5. 결 론

이상의 분석으로부터 OSKA형 연소실에서 충돌면 크기 변화가 분무특성에 미치는 영향은 다음과 같다.

(1) 유동특성은 충돌면 직경 4mm인 경우가 제트유동의 영향이 가장 커, 상하방향의 넓은 영역에 걸친 스월을 동반한다.

(2) 분무의 선단은 충돌면 직경에 관계없이 버섯모양을 형성한다.

(3) 증발연료의 분포상태는 보울 직경 30mm인 경우엔 충돌면 직경 4mm가, 보울직경 40mm가 되면 충돌면 직경 8mm가 가장 양호한 것으로 나타났다.

(4) 직경 8mm이상의 충돌면은 연료의 불필요한 퇴적을 동반하므로 바람직하지 않다.

## 참고문헌

- 1) Lawrence W. Everse, "Characterization of the Transient Spray from a high Pressure Swirl Injector" SAE 940188, 1994
- 2) Klaus Egger, "Mechanik der Hochdruckeinspritzung von Pumpedüsen - systemen", MTZ 49(1988) 2, pp. 53 - 57, 1988
- 3) Pederson, D. S., "Characterization of the Transient Spray from a high Pressure Injector", Thesis for the Degree of MS, Michigan Technological University, 1992
- 4) F. Brabdl, I. Reverencic, W. Cartellieri, and J. C. Dent, "Turbulent air flow in the combustion bowl of a D. I. diesel engine and its effect on engine performance", SAE 790040, 1979
- 5) T. Saito, and Y. Daisho, "Effects of Combustion Geometry on Diesel Combustion", SAE 861186, 1986
- 6) Guo, J., Chikashisa, T., Murayame, T. and Miyano, M., "Low NOx Methanol diesel engine with DME torch ignition method", 일본기계학회 논문집(B) 60권 577호, No.94 - 0279, pp.3179 - 3184, 1994
- 7) Klaus Mollenhauer und Pavel Zelenka, "Zur Verbrennung von Wasser - Karftstoff - Emulsio-



- nen in stationär betriebenen Dieselmotoren", MTZ 47(1986) 1, pp. 3~7, 1986
- 8) Park, K., Wang, D. M. and Watkins, A. P., "A contribution to the design of a novel direct - injection diesel engine combustion system analysis of pip size", Appl. Math. Modelling, pp. 114~124, 1993
- 9) Park, K. and Watkins, A. P., "Optimizing D.I. diesel combustion chamber system using new wall impaction model", 한국자동차공학회 춘계학술대회, pp. 99~104, 1995
- 10) Watkins, A. P. and Park, K., "Assessment and Application of a New Spray Wall Impaction Model", Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines, I.Mech.E, pp. 1~10, 1996.
- 11) 조래희, 김덕줄, 박권하, 이장희, 정용일, "IDI 디젤 분무의 글로우플러그 충돌효과에 관한 연구", 대한기계학회 춘계학술대회, 1996
- 12) Kato, S. and Onishi, S., "New type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet(OSKA - D)", SAE 901618, 1990
- 13) Kato, S. and Onishi, S., "Performance of Glow Plug Assisted Direct Injection Methanol Engine by Impingement of Fuel Jet(OSKA - F)", SAE 911769, 1991
- 14) Kato, S., Onishi, S., Tanabe, H. and Sato, G.T., "Development of low NOx Emission Diesel by Impingement of Fuel Jet", SAE 921645, 1992
- 15) Ogura, M. and Lin, B., "A New Multi - Impingement Wall Head Diffusion Combustion System (NICS - MH) of a D.I. Diesel Engine", SAE 940196, 1994