

# 디젤機關用渦流噴射밸브의 噴霧特性에 關한 研究(I)

(大氣壓下의 噴射)

安秀吉\* · 盧哲勝\*\* · 裴鍾旭\*\* · 朴相吉\*

A Study on the Characteristics of Spray of Swirl Nozzle for Diesel Engine Injector(I)

(Injection to Atmospheric Back Pressure)

Ahn Sookil · Noh Chulsung · Bae Jongook · Park Sanggil

## Abstract

The combustion process and the performance of a diesel engine are considerably affected by the characteristics of fuel spray. It is known that the spray of swirl nozzle for diesel engine injector of small orifice ratio becomes soft spray that has no core, therefore its penetration, one of the characteristics of spray becomes worse inspite of its good dispersion.

In this paper, the spray characteristics of variously designed swirl nozzle for diesel injector were investigated by the photographic method. The nozzles, used in this experiment, vary in the diameter of swirl chambers and orifice ratio.

From the results of the study, the sprays of this type nozzle of optimum swirl chamber and orifice ratio show that penetration decreased slightly but dispersion and spray volume increased remarkably, compared with unswirled single hole nozzle of the same size.

It was suggested as a reason for the results, that the spray of this type swirl nozzle is similar to hard spray, therefore the core of the spray sustains good penetration considerably.

## 記號說明

$a$  : 관통력계수

$A$  :  $u_i$ ,  $r_i$ ,  $K$  및  $r$ 의 함수

$B$  :  $A^*dfw^{-1}$

$C$  : 유출계수

$d$  : 오리피스의 口徑

$du$  : 총접선류속도의 미소변화량

$du'$  : 와류실내의 유속도 접선방향성분의 마찰에 의한 변화성분

$du''$  : 와류실내의 유속도접선방향성분의 자연와 법칙에 따른 변화성분

$e/D$  : 표면거칠기 평균 높이의 관지름에 대한 비

$f$  : 마찰계수

$F_i$  : 와류실입구통로 단면적의 합계

\* 正會員, 釜山水産大學

\*\* 正會員, 韓國海洋大學

- $F_0$  : 오리피스공 단면적
- $h$  : 와류실의 높이
- $K$  :  $K_2/K_1$
- $K_1$  :  $q/2\pi h$
- $K_2$  : 상수
- $l$  : 오리피스공의 길이
- $P_0$  : 오리피스입구에서의 압력
- $P_s$  : 오리피스출구의 분위기 압력
- $\Delta P$  : 분사압력차
- $q$  : 유량
- $r$  : 유속도가  $u$ 인 점의 반경
- $r_i$  : 와류실의 반경
- $r_0$  : 오리피스공의 반경
- $S$  : 와류실형상 특성무차원수
- $t$  : 시간
- $T$  : 오리피스공을 통과하는데 요하는 시간
- $u$  : 와류실내 유속도의 접선방향성분
- $U$  : 와류실내의 유속도
- $u_a$  : 오리피스출구 유속도의 접선방향성분
- $u_i$  : 와류실진입 유속도의 접선방향성분
- $u_0$  : 오리피스 입구원주에서의 유속도 접선방향성분
- $u_r$  : 와류실 임의점 유속도의 반경방향성분
- $v$  : 오리피스 출구의 유속도
- $w$  : 오리피스출구 유속도의 축방향성분
- $x$  : 분무도달거리

그리스 문자

- $\alpha$  : 분무원추각
- $r$  : 유체의 비중량
- $\rho_0$  : 공기의 밀도

1. 서 론

디젤기관의 열효율향상과 배출공해저감은 분무특성에 의하여 직접적인 영향을 받으므로 이의 개선을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup> 특히 소형고속디젤기관 연소에 있어서는 극히 짧은 착화지연과 단시간내의 연소완료가 요구되므로 좁은 공간내에서 단시간의 可燃混合氣形成이 중요한 요건이 된다. 소형고속기관에서

의 가연혼합기 형성은 분무특성과 시린더내의 氣流의 영향에 좌우되므로 분무특성의 개선은 자연 혼합기형성의 중요한 인자로 되어 있다. 분무의 특성은 관통력, 미립화, 분산 및 분포등으로 개별되나 소형기관에서 관통력이 과대하면 벽면충돌로 인한 미연탄화물 및 일산화탄소의 발생이 많게 되므로 자연 미립화와 분산 및 분포에 주력할 필요가 있다.

와류분사밸브는 정상분무방식으로는 보일러와 가스터어빈의 연소실용 연소기에서 많이 채용되고 있으나<sup>3,4)</sup> 디젤기관과 같은 비정상분무에는 별로 실용되지 못하고 있다.<sup>5)</sup> 齊藤등<sup>6)</sup>은 디젤기관 분사용으로 시험제작한 3種의 와류분사밸브들의 분무특성을 고속사진에 의하여 조사한 결과 니들밸브의 下端이 나선으로 되어 있는 나선형와류분사밸브와 분사공 직경의 통로벽에 슬로트를 갖고있는 슬로트형와류분사밸브의 경우에서 분산이 양호한 결과를 얻었다고 보고하였다. 그러나 이 장치들에 의한 분무는 전형적인 中空圓筒形噴霧이므로 噴霧主流가 없는 軟性噴霧(Soft spray)로 되어 있으며 공기의 밀도가 높은 고압의 시린더내에서는 관통력이 현저히 부족하다.<sup>6)</sup> 한편 상기의 와류분사밸브들은 밸브 시트의 상류에서 와류가 발생하는 구조로 되어 있어서 직경이 작은 오리피스를 가공하기가 곤란하기 때문에 오리피스공의 직경이 크며 따라서 미립화 및 분포의 측면에서 일반적인 디젤기관용 비와류단공노즐의 경우와 비교할 때 그 분무특성은 오히려 불리한 것으로 생각된다.

따라서 本考에서는 분사밸브의 사크홀部에 와류실을 갖는 니들을 삽입하여 와류를 일으키고 종래의 디젤기관 단공노즐과 비슷한 크기의 오리피스比를 갖는 오리피스를 통하여 대기중에 분사할 때의 순간 사진들에 의하여 분무특성을 조사하고 분사노즐 가공의 용이화를 시도하였다. 한편 棚澤등<sup>7)</sup>의 와류분사 분무원추각에 대한 해석을 응용하여 약간의 가정을 가함으로써 오리피스비가 충분히 크고 직경이 작은 오리피스를 통한 와류분사밸브의 분무원추각에 대한 근사적 해석을 시도하였다.

## 2. 분무원추각의 근사해석

그림 1은 와류실의 형상을 간소화하여 나타내었는데

$$u_r = \frac{q}{2\pi rh} = \frac{K_1}{r}$$

의 관계가 있다. 난류점성유체의 평판마찰관계식으로 부터

$$\frac{du'}{dt} = -K_2 u'^2$$

이 성립한다.<sup>8)</sup> 여기서  $u$ 와  $U$ 는 근사적으로 동일하다고 보아서 구별없이  $u$  만으로써 사용한다. Nikuradse의 데이터<sup>9)</sup>에 의하면 관내표면조도,  $e/D$ 가 0.00397~0.0163인 범위내에서는 레이놀즈수가 천이역인  $2 \times 10^3$ 으로 부터  $10^6$ 까지 변화할 때에 마찰계수는 겨우 2배정도 증가하는데에 불과하므로  $K_2$ 를 여기서 상수로 취급한다.

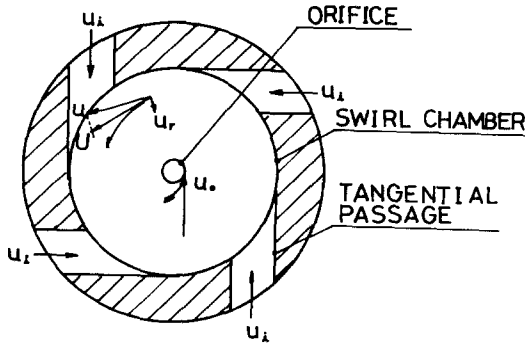


Fig. 1. Sectional view of the swirl chamber

$$dt = -\frac{dr}{u_r} = -\frac{rdr}{K_1}$$

이므로

$$du' = Ku'^2 r dr$$

로 된다. 自然渦의 법칙에 의하면

$$(u + du')(r + dr) = ur$$

로 나타낼 수 있으므로 이 式을 정리하고 2차 미분항을 무시하면

$$du'' = -\frac{u dr}{r}$$

이 된다. 와류실내의 유속도 접선방향성분의 미소변화량은 마찰에 의한 것과 자연와에 의한 것의 합이라고 볼 수 있으므로

$$du = du' + du'' = Ku'^2 r dr - \frac{u dr}{r}$$

로 되고 이 式의  $u$ 를  $y^2$ 으로 치환하여 정리하면 다음의 式이 얻어진다.

$$\frac{dy}{dr} + \frac{1}{2r}y = \frac{K}{2}ry^2 \quad (1)$$

(1)式은 베르누이미분방정식형이며 求積法으로 解를 얻을 수 있다. 즉  $r=r_i$  일때  $u=u_i=y_i^2$ 의 경계조건으로 미분방정식을 풀면

$$u = \frac{1}{r} \left( r_i^{-2} u_i^{-2} + \frac{K}{3} r_i - \frac{K}{3} r \right)^{-2}$$

이 되고 이것을 이항정리하면

$$\begin{aligned} u &= \frac{u_i r_i}{r} \left( 1 - \frac{2}{3} u_i^2 r_i^3 K + \frac{1}{3} u_i r_i^2 K^2 + \dots \right) \\ &\quad \left\{ 1 + \frac{2}{3} u_i^2 r_i^3 K \left( 1 - \frac{1}{3} u_i^2 r_i^3 K + \frac{1}{9} u_i r_i^3 K^2 + \dots \right) \right. \\ &\quad \left. r + \frac{6}{9} u_i r_i K^2 \left( 1 - \frac{2}{3} u_i^2 r_i^3 K + \frac{1}{3} u_i r_i^2 K^2 + \dots \right) \right. \\ &\quad \left. r^2 + \dots \right\} \\ &= \frac{u_i r_i}{r} A(u_i, r_i, K, r) \end{aligned}$$

의 형식으로 나타낼 수 있다. 따라서 오리피스 원주에서 오리피스에 진입하는 유속도의 접선방향성분도 다음 式으로 나타낼 수 있다.

$$u_0 = \frac{u_i r_i}{r_0} A(u_i, r_i, K, r_0) \quad (2)$$

오리피스를 통과할때의 유체의 레이놀즈수가 난류영역이며 오리피스비가 충분히 클뿐아니라 오리피스공의 직경이 대단히 작으면 난류로 인하여 분출중심의 공동이 소멸된다고 가정한다. 또한 오리피스공의 1개의 단면상에서는 중심에서의 거리에 관계없이 압력이 균일하다고 가정한다. 이때 분출속도의 축방향성분은 다음 式으로 표시할 수 있다.

$$w = C \sqrt{2g \frac{P_0 - P_a}{r}} \quad (3)$$

또 연속방정식으로 부터

$$u_i F_i = w F_0$$

가 성립하므로 (3)式으로부터 다음 式을 얻는다.

$$u_i = C \frac{F_0}{F_i} \sqrt{2g \frac{P_0 - P_a}{r}} \quad (4)$$

그리고 (2)式 및 (4)式으로부터 다음 式을 얻는다.

$$u_0 = C \frac{F_0}{F_i} \cdot \frac{r_i}{r_0} A(u_i, r_i, K, r_0) \sqrt{2g \frac{P_0 - P_a}{r}}$$

$$=ASw \tag{5}$$

여기서  $S$ 는  $F_0 r_i / F_i r_0$ 로서 와류실의 형상을 나타내는 무차원의 특성치라 하겠다.

이제  $u_0$ 의 접선류속도를 갖는 유체가 오리피스공내를 선회하면서 통과할 때 오리피스벽면 마찰에 의하여 감속되는 것을 고려하면 축방향의 감속은 무시할 수 있으며 원주방향의 감속은

$$\frac{du}{dt} = -fu^2$$

으로 표시할 수 있다. 여기서  $f$ 는 마찰에 관련된 계수로서 오리피스 벽면의 거칠기와 레이놀즈수에 관계되며 여기서도 상수로 취급한다. 이식을  $t=0$ 일 때  $u=u_0$ 의 경계조건으로 미분방정식의 解를 구하면 다음과 같다.

$$u = 4u_0(2 + f\sqrt{u_0}t)^{-2} \tag{6}$$

그런데 오리피스통과중의  $w$ 는 일정하므로 오리피스를 통과하는데 요하는 시간은

$$T = \frac{l}{w} = \frac{d}{w} \cdot \frac{l}{d}$$

로 된다. 따라서 오리피스출구에서의 분출류속도의 접선방향성분은 다음과 같이 된다.

$$u_a = 4u_0 \left( 2 + \frac{d}{w} f \sqrt{u_0} l/d \right)^{-2} \tag{7}$$

이식을 이항정리하여 제3항 이하를 무시하고 정리하면 다음과 같다.

$$u_a \approx u_0 - \frac{d}{w} fu_0^2 l/d \tag{8}$$

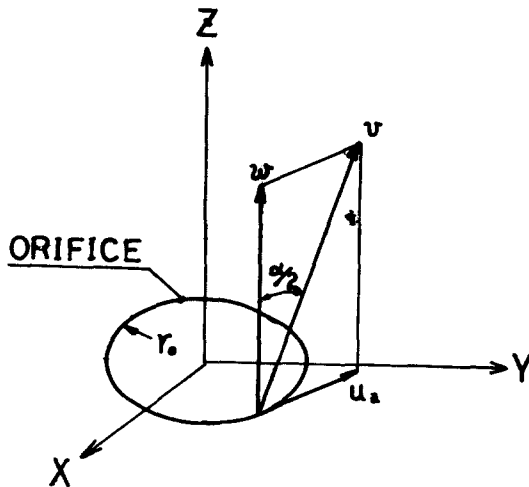


Fig. 2. Velocity components of swirl spray jet at orifice outlet

(5)式과 (8)式으로부터 다음의 式을 얻는다.

$$u_a \approx ASw - A^2 dfw + S^2 l/d \tag{9}$$

그림 2는 오리피스출구로부터  $z$  축방향으로 분출할 때의 분무의피의 속도성분을 접선 및 축방향으로 분해한 것인데 분무원추각과  $u_a$  및  $w$ 에 관하여 다음의 관계가 성립한다.

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{u_a}{w} \approx AS - A^2 dfw^{-1} + S^2 l/d \tag{10}$$

단 (10)式은  $d$ 가 충분히 작을때 유효하며 이 때  $\alpha$ 는 다음式으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha \approx 2 \tan^{-1} (AS - BS^2 l/d) \tag{11}$$

계수  $A$  및  $B$ 는  $U_i, r_i, K$  및  $r_0$ 의 함수이므로 상수로 볼 수는 없다. 다만 본 연구에서는 상기 계수의 변화가 작은 범위에서 실험을 행하므로 (11)式의  $\alpha$ 와  $S$  및  $l/d$ 의 상관관계를 확인한다는 의미에서 편이상  $A$  및  $B$ 를 상수로 취급한다.

### 3. 실험장치 및 실험방법

#### 3.1. 실험장치

그림 3에 실험장치의 개략도를 나타낸다. 연료 분사펌프 ①은 소형디젤기관에 부착되었고 가변 회전수의 직류전동기 ②에 의해 구동된다. 연료는 탱크 ③으로부터 공급되어 연료분사펌프 ①에 의해 가압된 후 3방조인트 ④에서 나누어지고 분사시험의 준비기간에는 보조분사밸브 ⑤에서 분사되어 연료탱크 ③으로 회수된다. 시험분사밸브

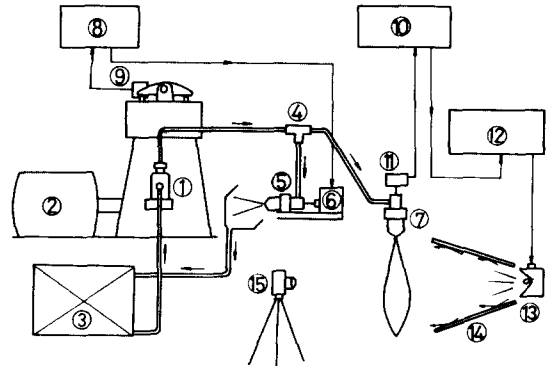


Fig. 3. Schematic diagram of the experimental apparatus

⑦의 개방압력은  $150\text{kg/cm}^2$ , 보조분사밸브 ⑤의 개방압력은 분사관내의 잔류압력을 고려하여  $100\text{kg/cm}^2$ 로 하였기 때문에 마그네트 ⑥이 동작하여 보조분사밸브 ⑤의 개방을 억지하고 있

는 기간에만 시험분사밸브 ⑦이 분사될 수 있다. 마그네트 ⑥은 배기밸브의 동작과 포토셀 ⑨에 따라 동작하는 제어기 ⑧에 의해 1사이클 기간의 여자후 소자되어 버리므로 시험분사밸브 ⑦의 單發분사가 가능하게 된다. 마그네트의 재동작은 제어기 ⑧을 리셋시켜서 행한다. 지연장치 ⑩은 점점식 밸브양정점출기 ⑪의 신호를 원하는 만큼 수 *ms* 지연시킨후 스트로보스코프 ⑫에 입력시키도록 제작하였으며 또 램프 ⑬의  $3\mu s$  스트로보스코프 발광은 반사경 통로 ⑭에 의

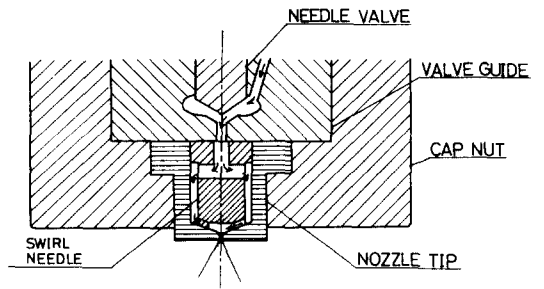


Fig. 6. Sectional view of the swirl nozzle

하여 카메라 ⑬에 대하여  $140^\circ$  방향으로 집속조명되며 이때의 분무산란광이 포착되도록 하였다. 또한 분무의 배경에 흑색커튼을 드리워서 산란광의 윤곽이 더욱 선명하게 촬영되도록 하였다.

본 실험을 위해 시험제작한 분사밸브는 노즐팁을 분리시킬 수 있는 구조로 되어 있는 YANMAR DIESEL ENGINE의 LD형 분사밸브노즐팁을 개조하였으며 그림 4와 같은 사크홀을 가공하고 그 안에 그림 5의 와류실을 갖는 니들을 삽입하여 밸브시트의 하류에서 와류가 일어나게 하였다. 그림 6은 노즐팁 부근의 조립도이다.

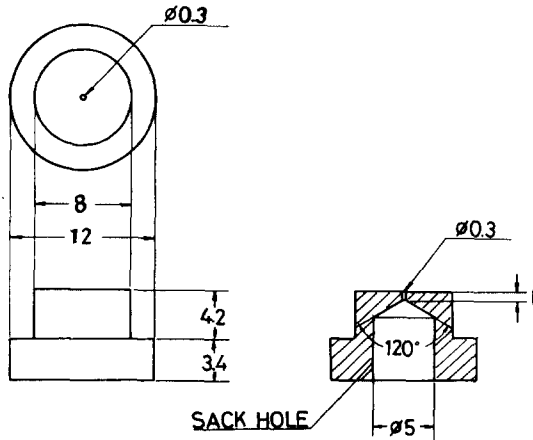


Fig. 4. Dimension of sack hole at the nozzle tip

### 3.2. 실험방법

실험에 사용된 와류실 및 노즐의 제원은 표 1과 같으며 디젤분무의 순간사진은 다음의 제조조건으로 촬영하였다. 오리피스직경은  $0.3\text{mm}$ 로서 모두 동일, 3種의  $l/d$ 와 5種의  $S$ 값을 갖는 노즐로 변화시키면서 기관회전수를  $450\text{ RPM}$ 으로 하여 분사개시점으로 부터 1, 2, 4, 6, 8 및  $10\text{ms}$  지연의 스트로보스코프 발광에 의한 분무산란광을  $35\text{mm}$  카메라의 B셔터에 의해 야간에 촬영하였다. 이때 분무의 도달거리를 측정하기 위하여 분무축에 평행으로 스케일을 부착하여 동시에 촬영하였으며 분사량을 일정하게 하기 위하여 연료펌프조정레크를 최대 위치에서 고정시켰다. 회전수변화의 영향을 조사하기 위하여  $S=0.344$ ,  $l/d=3.5$  및  $S=0.28$ ,  $l/d=2.5$ 의 노즐에 대해서 만  $515\text{ RPM}$ 에서 촬영하였고 기존의 비와류분사노즐의 분무특성과 비교하기 위하여서는  $d=0.3\text{mm}$ ,  $l/d=3.0$ 인 YANMAR DIESEL ENGINE의 LD형 단공노즐팁을 사용하

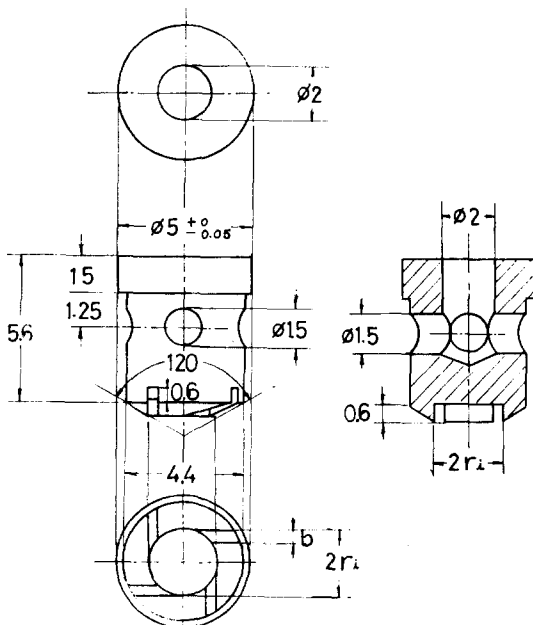


Fig. 5. Dimension of swirl needle inserted in the sack hole

Table 1. Specification of swirl nozzles for experiment

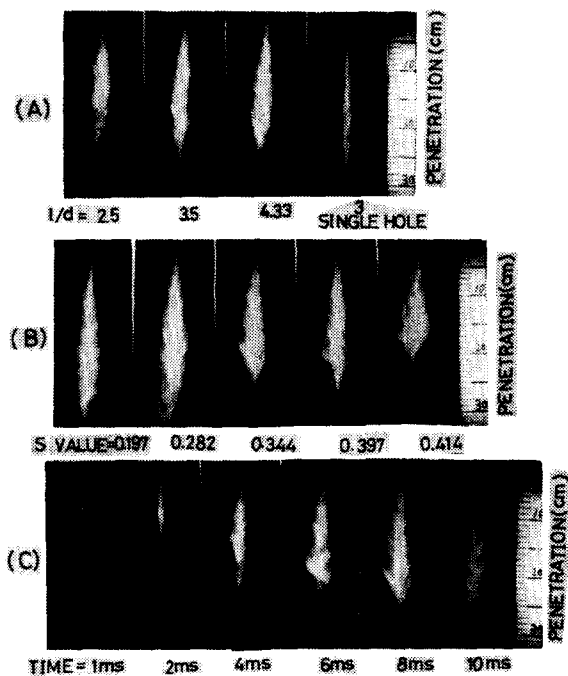
No.	$d_s$ (mm)	$d$ (mm)	$F_i$ (mm <sup>2</sup> )	$F_o$ (mm <sup>2</sup> )	$S$	$d$ (mm)	$l/d$
1	2.0	0.3	2.40	0.071	0.197	7.5	2.5
2	2.5	0.3	2.10	0.071	0.282		
3	2.5	0.3	1.71	0.071	0.344	10.5	3.5
4	2.5	0.3	1.42	0.071	0.417	13.0	4.33
5	3.0	0.3	1.80	0.071	0.394		

$d_s$ : Diameter of swirl nozzle ( $=2r_i$ )  
 $d$ : Diameter of orifice ( $=2r_o$ )  
 $F_i$ : Total area of swirl chamber inlet passage  
 $F_o$ : Area of orifice

여 550 RPM에서 촬영하였다. 실험에 사용된 연료유는 디젤기관용 경유로서 SUS 37.8°C 점도가 33.2이며 15°/4°C 비중이 0.8369이다.

#### 4. 실험결과 및 검토

그림 7에는 촬영된 분무순간사진들의 예를 나



(A) Comparison of sprays by swirl nozzles of various  $l/d$  & unswirled single hole nozzle ( $S=0.344$ , time=6ms)  
 (B) Comparison of sprays by swirl nozzles of various  $S$  value ( $l/d=3.5$ , time=8ms)  
 (C) Penetration of spray by swirl nozzle ( $l/d=3.5$ ,  $S=0.344$ )

Fig. 7. Photographs of sprays taken by stroboscopic method

타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 대기중의 분사에서 비와류단공노즐의 고압분위기중 분무와 비전할 분무원추각을 갖는 분무를 얻었으며 의전상 중심부에 농도가 진한 主流부분과 주위에 농도가 얇은 副流부분으로 이루어진 것을 볼 수 있다.

#### 4.1. 분무원추각

그림 8 및 그림 9는  $S$  및  $l/d$ 가 분무원추각에 미치는 효과를 나타낸다. 분무원추각은  $S$  값의 증가에 따라 증가하며  $l/d$ 의 증가에 따라 감소

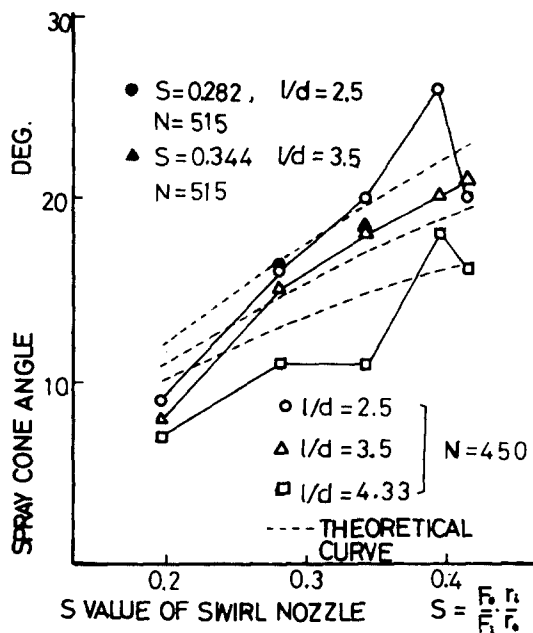


Fig. 8. Effect of  $S$  value on spray cone angle ( $N=450$  rpm except point of 515 rpm)

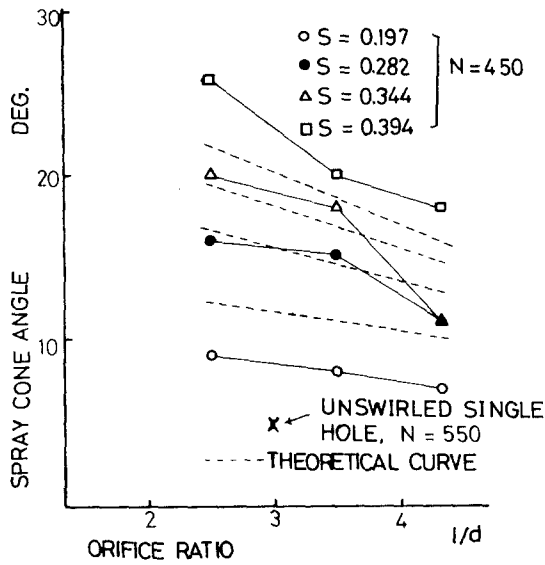


Fig. 9. Effect of orifice ratio ( $l/d$ ) on spray cone angle (x marks indicate unswirled single hole nozzle of 550 rpm)

하고 있는 경향을 보이고 있다. 이론해석의 (11) 식에서 계수  $A$  및  $B$ 를 상수로 想定하고 실험데이터로부터 최소자승법에 의한 곡선군을 전산처리에 의하여 구하면  $A=0.670$ ,  $B=0.116$ 의 값을 얻는다. 실험치의 곡선은 이론상의 곡선과 비교할 때 다소 차이가 있으나  $S$ 값이 0.3 이상의 영역에서는 비교적 일치된 경향을 나타내고 있다. 한편 (10)식에 따르면 분무원추각은  $w^+$ 에 관계하여  $w$ 의 증가에 따라 증가한다 하겠으나 본 실험에서는 회전수의 변화에 따른 분무원추각의 변화가 거의 나타나지 않았으므로  $w$ 의 변화의 효과를 확인하지 못하였다.

본 실험의 와류분사밸브들의 분무원추각은 그림 9에서 나타낸 바와 같이 비와류단공노즐의 경우와 비교하면 대기중분사에 한해서 전반적으로 현저히 큰 것을 알 수 있다. 다만 분사 초기에 분무의 분산이 충분치 못한 결함을 보이고 있는 것은 와류실내에 피어 있던 연료가 선회력을 얻지 못한 상태로 분출되기 때문에 발생하는 과도기적현상으로 추측된다.

#### 4.2. 관통력

그림 10 및 그림 11에  $S$  및  $l/d$ 의 변화가 관통력에 미치는 효과를 나타낸다. 관통거리가 관

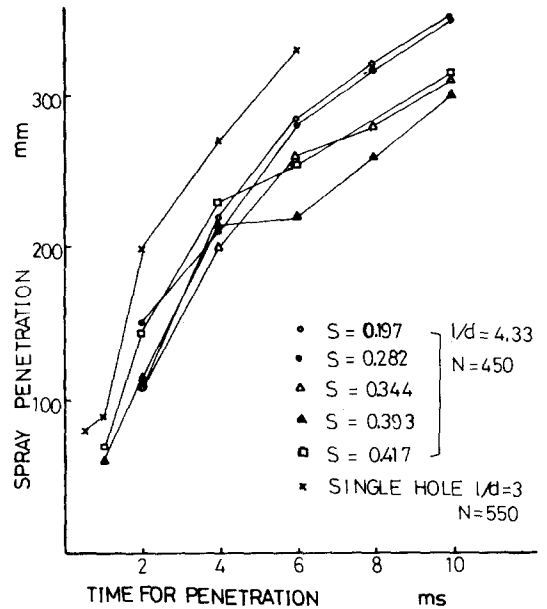


Fig. 10. Effect of  $S$  value on spray penetration (x marks indicate unswirled single hole nozzle of 550 rpm)

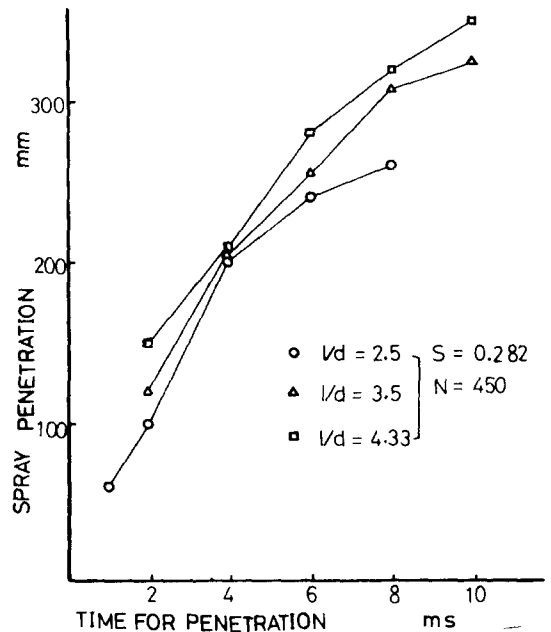


Fig. 11. Effect of orifice ratio ( $l/d$ ) on spray penetration

통시간에 대하여 지수함수적으로 증가하고 있는 것을 조사하기 위하여 그림 12에서 이것을 대수좌표상에 나타내었다. 관통력에 있어서는 비와

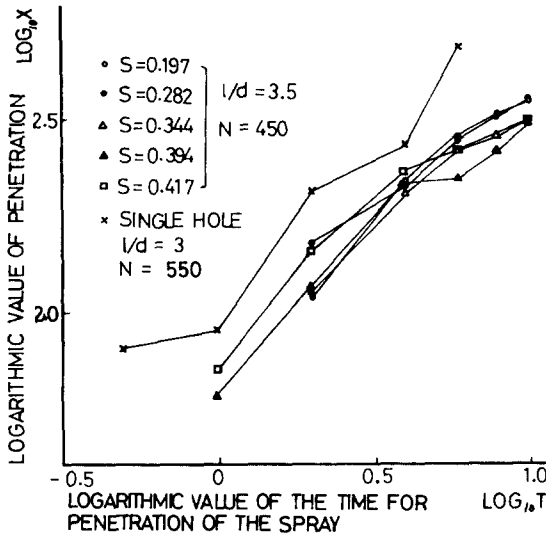


Fig. 12. Penetration of sprays plotted on Log-Log scale (X marks indicate unswirled single hole nozzle)

류단공노즐에 비교하여 전반적으로 다소간 저하가 있는 것을 알 수 있다. 이것은 와류분사밸브에서 와류를 일으키는데 소비된 에너지 감소와 분무원추각의 증가에 따른 공기도입률의 증가로 인하여 당연히 발생하는 결과라 하겠다. S값의 증가에 따라 분무원추각이 커지므로 이 경향은 더욱 커지고 있다.

그림 12의 곡선군은 대체로 분사중기로 부터 직선성을 잘 나타내고 있다. 이 결과로부터 관통거리에 대하여 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$x = at^{0.59} \quad (12)$$

이것은 和票 등의 보고<sup>10)</sup>에서의 다음 식에 대략 일치된 경향을 나타내고 있다.

$$x = \left( \frac{2c\Delta P}{\rho_a} \right)^{0.25} \left( \frac{td}{\tan \alpha} \right)^{0.5} = at^{0.5} \quad (13)$$

한편 (13)식은 공기와 油粒의 균일한 혼합기의 분사로 가정한 운동량이론으로부터 얻은 결과이므로 (12)식으로 표현되는 이 분무는 중공원통형분무가 아니며 중심이 충실한 원통형분무인 것으로 추정된다.

(12)식의  $a$ 는 관통력의 크기를 대표하는 계수인데  $S$  및  $l/d$ 의 변화가 계수  $a$ 에 미치는 효과를 그림(13)에 나타낸다.  $S$ 값이 0.417의 경우를 고려대상에서 제외하면  $l/d$ 가 2.5인 경우는  $S$ 의

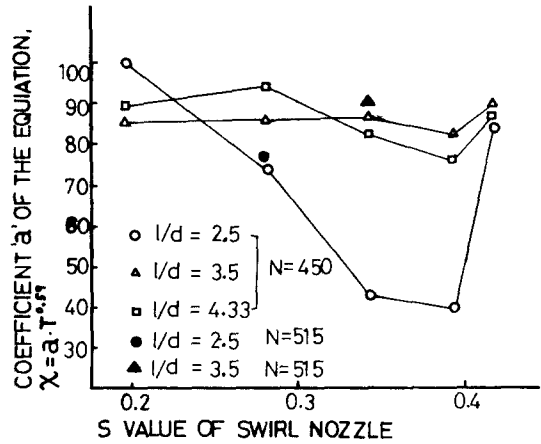


Fig. 13. Effect of S value & orifice ratio ( $l/d$ ) on coefficient of "a" in case of  $x = at^{0.59}$  ( $x$ =penetration,  $t$ =time)

증가에 따라 관통력이 급격히 저하되지만  $l/d$ 가 3.5이상인 경우는  $S$ 가 증가함에 따라 분무원추각이 증가하더라도 관통력은 별로 감소하지 않은 것을 나타낸다. 그 이유는  $l/d$ 가 작을 때에는 오리피스공을 통과할때의 난류의 영향이 아직 충분하지 못하므로 중공원통형분무에 가깝고  $l/d$ 가 충분히 커지면 난류가 확립되므로 공동이 소멸되고 분무중심에 코어가 있는 硬性분무(Hard spray)로 되는 것이라고 추정할 수 있다.

회전수의 증가로 인한 분사압력증가의 관통력에 미치는 효과는 그림 13의 515 RPM의 경우를 관찰해 볼때에 근소한 증가를 나타내는 데에 그치고 있는 것을 알 수 있다.

### 4.3. 분무체적증대

분무체적증대는 동일한 분사량의 경우 분무내의 공기도입량의 증대를 나타내며 양호한 가연 혼합기의 형성인자가 될 수 있다. 따라서 단시간내의 양호한 연소를 위하여서는 단시간내의 분무체적증대가 필요하다. 본 실험에서 분무체적의 계산은 분무의 모양이 상하 2개의 원추형이 밀면을 맞대고 있다고 생각하고 행하였으며 시간의 경과에 따른 분무체적의 변화를 그림 14 및 그림 15에 나타낸다. 또 이것을 대수좌표상에 나타내면 그림 16과 같다. 어느 경우에도 본 실험에서 와류분사밸브의 분무체적증대율은 비와류단공노즐의 그것에 비하여 현저히 크게 나



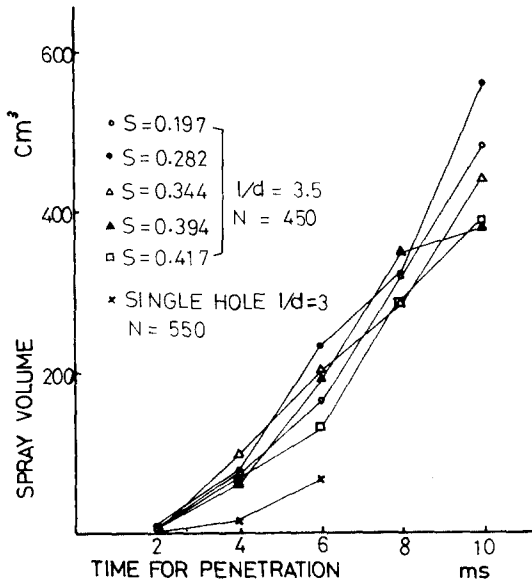


Fig. 14. Effect of  $S$  value on spray volume (× marks indicate unswirled single hole nozzle of 550 rpm)

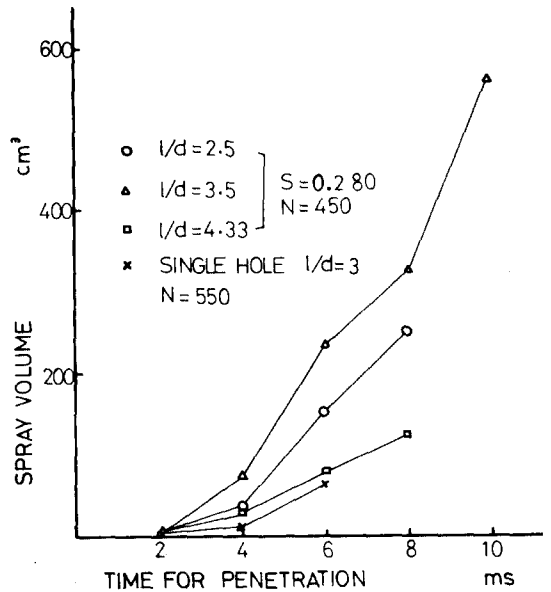


Fig. 15. Effect of orifice ratio ( $l/d$ ) on spray volume (× marks indicate unswirled single hole nozzle of 550 rpm)

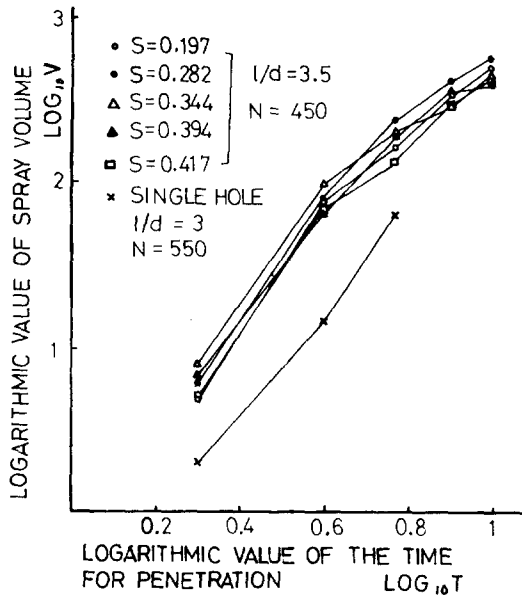


Fig. 16. Spray volume plotted on Log-Log scale (× marks indicate unswirled single nozzle of 550 rpm)

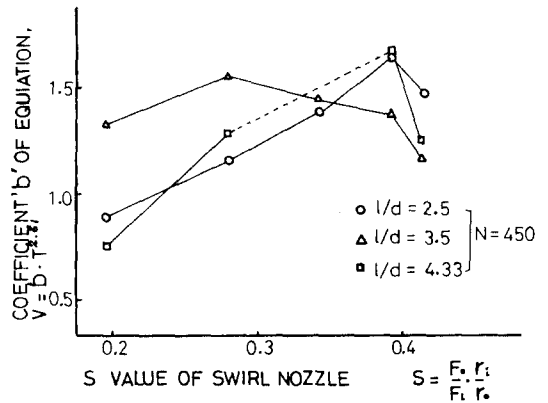


Fig. 17. Effect of  $S$  value & oratio ( $l/d$ ) on coefficient of "b" in case of  $V = bt^{2.61}$  ( $V$ =Spray volume,  $t$ =time)

$$V = bt^{2.61}$$

타났다. 그림 16의 대수좌표상에 나타난 곡선군은 분사초기를 제외하면 대체로 직선성을 잘 나타내고 있다. 따라서 이 결과로부터 분무체적에 대하여 다음의 식으로 표현할 수 있다.

(14)식중의  $b$ 는 분무체적증대율의 크기에 대응하는 계수인데  $l/d$  및  $S$ 값의 변화가 계수  $b$ 에 미치는 효과를 그림 17에 나타낸다.  $l/d$ 가 2.5인 경우에는 관통력이 부족하므로,  $l/d$ 가 4.33인 경우에는 분무원추각이 과소하므로  $S$ 값이 작은 영역에서 분무체적증대율이 불량한 것으로 추측된다. 반면에  $l/d$ 가 3.5인 경우에는 관통력과 분무원추각이 모두 양호하므로 이 범위의 모

든 S값의 영역에서 분무체적증대율이 양호하며 그중에서도 S값 0.282 부근을 최적조건으로 제시할 수 있다.

### 5. 결 론

밸브시트의 하류에 와류실을 갖는 여러 규격의 와류분사밸브와 비와류분사밸브에 의한 대기 중 분무산란광 순간사진들을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상용되고 있는 비와류단공노즐의  $l/d$ 와 비슷한 오리피스를 통하여 와류분사시킬때 분무원 추각은 비와류단공노즐에 비하여 현저히 크며 와류실형상에 대한 특성치인 무차원수 S값과  $l/d$ 에 대하여 일정한 함수관계가 있다.

2.  $l/d$ 가 크고 직경이 작은 오리피스를 통한 와류분사는 硬性噴霧(Hard spray)를 형성하는 것으로 판단된다.

3. 관통력, 분산 및 분무체적증대율의 면에서  $l/d$  및 S값에 관한 최적조건이 존재하며 본 실험에 사용된 노즐의 규격에 한하여서는  $l/d$ 가 3.5 부근, S값 0.282부근이 최적조건이라 하겠다.

4. 관통력에 있어서는 비와류단공노즐의 경우에 비교하여 22~35% 불리하지만 체적증대율의 면에 있어서는 2~3배 더 유리하다.

### 참 고 문 헌

1) R. D. Reitz and F. B. Bracco, On the De-

pendence of Spray Angle and Other Spray Parameter of Nozzle Design and Operating Conditions, SAE Trans. 790494.

2) Kiichiro Takeuchi et al., Droplet Size Distribution in Diesel Fuel Spray, Bulletin of the JSME, Vol. 26, No. 215, pp.797~802, 1983.

3) H. C. Simmons, The Correlation of Drop-Size Distributions in Fuel Nozzle Sprays. Part 1, 2, Journal of the ASME for Power, pp. 309~319, July 1977.

4) 大光書林, 보일러便覽, pp.391~394

5) Lee and Spencer, Photomicrographs of Sprays. NACA. Trans. 454, 1933.

6) 齋藤昭則等, ディーゼル機關用間欠うず卷噴射弁に 關する 研究, 等7回 液體の 微粒化に 關する 講演會論文集, pp.69~72.

7) 棚澤, 小林, 東北大學工學報告, Vol. 20, No. 1, 1955.

8) Raymond C. Binder, Prentice-Hall International, Inc. London, Fluid Mechanics, pp.159.

9) "Strömungs gesetze in rauhen Röhren" by J. Nikuradse. Forschungsheft 361, Beilage zu Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, VDI-Verlag, Berlin, 1933.

10) Yutaro Wakuri et al., Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, Bulletin of the JSME, Vol. 3, No. 9, pp. 123~130, 1960.