

비정상 충돌 분류의 Cavity형상에 따른 공간 농도 분포 및 거동해석

The Spray Behavior Analysis and Space Distribution of Mixture
in Transient Jet Impinging on Piston Cavity.

이 상석¹, 김 근민², 김 봉곤³, 정 성식⁴, 하 중률⁵
S. S. Lee, K. M. Kim, B. G. Kim, S. S. Chung, J. Y. Ha

ABSTRACT

In case of a high-speed D.I. diesel engine, the injected fuel spray is unavoidable that the impinging on the wall of piston cavity and in this case the geometry of piston cavity has a great influence on the atomization structure and air flow fields. In the field of combustion and in many other spray applications, there are clear evidence of correlation between spray structure and emission of pollutants.

Ordinary, the combustion chamber of driving engine have unsteady turbulent flow be attendant on such as the change of temperature, velocity and pressure. So the analysis of spray behavior is difficult.

In this study, a single spray was impinged on each cavity wall at indicated angle in a quiescent atmosphere at room temperature and pressure, as being the simplest case, and 3 types of piston cavity such as Dish, Toroidal and Re-entrant type was tested for analyzing the influence of cavity geometry. And hot wire probe was used for analyze non-steady flow characteristics of impinging spray, and to investigate the behavior of spray, the aspects of concentration $c(t)$, standard deviation $\sigma(t)$ and variation factor (v.f.) was measured with the lapse of time.

주요기술용어 : Non-steady Flow(비정상유동), Hot Wire(열선), Impinging Spray(충돌분류), Concentration(농도), Variation Factor(변동계수)

1. 서 론

자동차로부터 배출되는 공해물질은 심각한 환경문제를 일으키고 있으며, 그 규제 또한 엄격해지고 있다. 소형 직분식 디젤기관에서의 배출가스는 운전조건에 따라 달라지나 분류의 형태, 연소실의 형상 또 연소실에서의

공기유동 즉 Swirl류, Squish류 또는 Tumble류 등과 연소실내에 직접 연료를 분사할 경우 벽면 충돌 등에 의해영향을 받는다.

특히 연소실 형상과 관련하여 분사된 연료의 벽면 충돌은 피할 수 없고 벽면 충돌은 미립화 및 연료-공기혼합에 영향을 주어 전체 분류의 구조 및 화염의 구조에도 영향을 미

¹ 부산전문대학, ² 동아대원,

³ 동의공업전문대학, ⁴ 동아대학교

칠 것이며, cavity형태에 따라 분열, 미립화, 증발의 과정이 서로 다를 것으로 판단된다. 또, 벽면 근방에서 분류의 분산 형태는 공기와의 혼합과정에 큰 영향을 미치며, 따라서 이들 분류의 거동은 출력 성능, 연비, 배출가스 성분 등을 좌우하는 중요한 요인이 될 것이다.

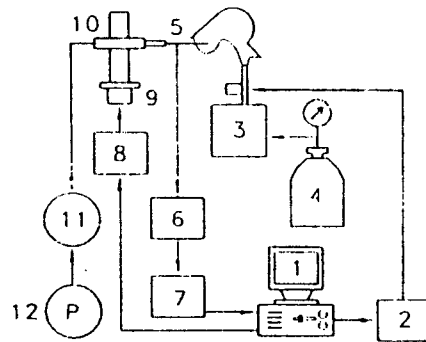
실기 연소실 내의 혼합기 유동은 실린더 내의 압력, 분위기 온도, 벽면온도, 속도 등이 복잡하게 관여하는 비정상 난류 유동이므로 분류의 거동을 해석하는 것은 쉽지 않다. 이에 저자는 자유분류의 거동을 밝힌바 있고¹⁾, 이를 기초로 하여 cavity벽면에 분류가 충돌하는 경우의 연료·공기의 혼합과정을 보다 체계적으로 해석하기 위하여 cavity의 단순형상모델로써 상온, 상압의 공기중에 밀도가 다른 기체를 벽면에 충돌분사하고 분류의 정상기간과 비정상기간에 있어서 시간·공간 농도분포를 측정하여 cavity벽면에 분류가 충돌하는 경우의 cavity형상에 따른 분류의 거동과 혼합과정에 대한 연구결과를 보고한다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치는 가스공급부, 프로브(probe)위치 이동부, 분사제어부, 농도측정부로 구성되어 있으며 Fig. 1에 자동계측을 위한 개략도를 보인다. 헬륨가스의 공급은 (4)의 gas bomb로부터 0.199MPa의 압력으로 조절되어 (3)의 압력용기에 저장된다. 이 압력용기는 1회의 분사량에 대하여 압력의 변동이 없도록 충분히 큰 용량($0.48 \times 10^{-2} \text{ m}^3$)으로 제작되었으며, 컴퓨터의 신호로부터 분사밸브를 열어 설정기간(20ms)동안 분사하게 된다. 분사밸브의 개폐는 컴퓨터(1)에서 interface(2)로 신호를 보내고 이 신호로 분사밸브에 ON/OFF 신호를 주어 단발분사시키게 된다. 이때 분사된 가스는 진공 펌프(12)에서 일정하게 진공을 유지하는 탱크(11)로 열선 프로브(5)를 통하여 흡인하게 된다. 이때 열선 프로브는 선단에 $\Phi 160 \mu\text{m}$ 의 노즐을 가지므로 열선주위의 흐름은 임계조건이 되고, 헬륨과 공기의 혼합된 가스를 흡인하여 발생된 열선의 출력값은 정온도형 열선유속계에서 전압으로 표시되며,²⁾

이 신호는 A/D converter (7)을 거쳐 컴퓨터에 입력된다. 이때 A/D converter는 분해능이 12bit이며 시간 간격에 대한 혼합기농도의 변화값을 나타내기 위해 시간간격 12.5kHz로 4000개의 데이터를 처리하도록 되어 있다.

컴퓨터는 필요한 개수의 데이터를 저장하고, RS232C를 통하여 스텝모터controller (8)에 측정위치로 이송명령을 하고 스텝모터(9)는 이송장치에 의하여 농도프로브를 다음의 측정위치로 이동시키고, sub routine에 의해 측정을 다시 시작하게 된다. 이 과정은 위치설정 명령에 의해 측정위치에서 측정이 끝날 때까지 계속된다.



- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Micro computer | 7. A/D converter |
| 2. DIO interface | 8. Step motor controller |
| 3. Pressure chamber | 9. Step motor |
| 4. Helium gas bomb | 10. Carrier |
| 5. Hot wire probe | 11. Vacuum tank |
| 6. Hot wire anemometer | 12. Vacuum pump |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental set up.

직분식 디젤기관에 있어서 분류의 구조를 해석하여 cavity형상을 최적화하기 위하여 Fig. 2에 벽면 충돌분류의 3가지 모델(Dish, Toroidal, Re-entrant type 이후 D, T, R-type으로 표현)을 보이고 있다³⁾. 직분식 디젤기관에서 분사된 연료는 벽면 충돌을 피할 수 없고, 가스의 온도·압력은 난류와 함께 매 순간 변화한다. 본 실험에서는 현상을 단순화하기 위하여 상온, 상압의 정지분위기 중에 헬륨을 벽면에 단발분사하고 분류의 거동을 해석하였다. 본 실험의 실험조건을 다음의 Table 1에 나타내었다.

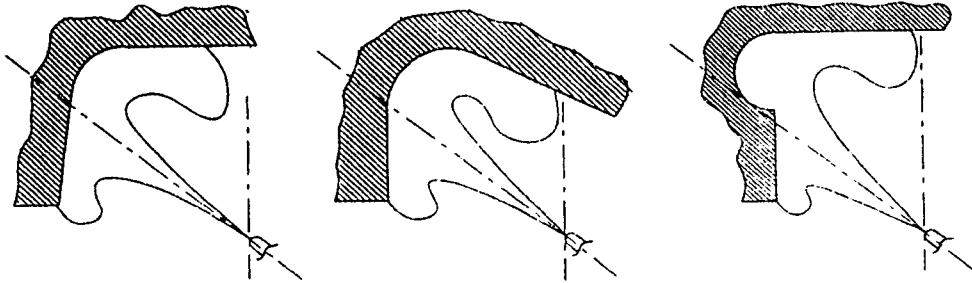


Fig. 2 Impinging spray model for each cavity type.

Table 1 Experimental conditions.

Injection gas		Helium	
Ambient conditions		Room temperature & pressure	
Injection nozzle	Diameter	1.8 mm	
	Length	32 mm	
Pressure chamber	Pressure	0.193 MPa (12.0 kg/cm ²)	
	Volume of chamber	0.48 × 10 ⁻³ m ³	
Injection period		20 ms	
Cavity type		Dish	Reentrant
Dimensional (mm)		200 × 200 × 78	200 × 200 × 83
		200 × 200 × 100	

3. 실험결과

Fig. 3은 D-type의 경우, 임의의 위치에서 농도의 시간경과를 나타낸다. r_d 의 구간은 분사시작 지연시간으로 컴퓨터로 부터의 분사 신호 후 분사가 시작될 때 까지의 지연시간을 나타내며, 이 때의 r_d 는 6.5ms이다. 이 위치를 분사의 시작점으로 $t=0$ 으로 설정하였다. 이후 분류가 열선프로브 선단에 도달하여 농도가 급상승하는 점 까지를 r_s 로 표현하고, 분사 후 분류가 프로브에 도달하는 시간으로 하였다. 이후 농도는 급상승하고 약간의 상승을 보이다 일정한 값을 유지한다. 농도가 급상승하여 일정한 값을 나타낼 때 까지를 비정상기간, 일정한 값을 유지하는 기간을 정상기간으로 표현하였다.

cavity형상을 대표하는 좌표계를 Fig. 4에 나타낸다. 분사노즐로부터 분사된 헬륨가스가 벽면에 충돌하는 분류의 중심위치를 P로 하였으며, 이 점을 중심으로 상류방향을 y, 하

류방향을 x로 하였고, 분류의 축방향을 z로 표현하였다. 또한 cavity 벽면으로부터 높이 방향을 h로 표현하였다.

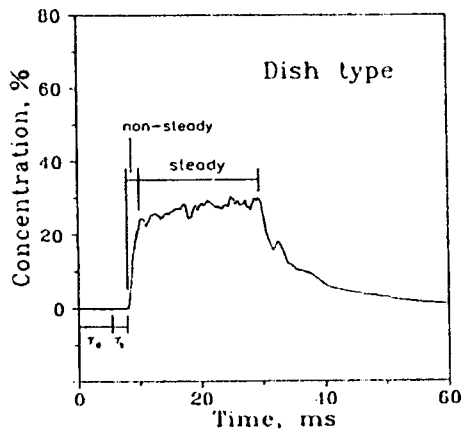


Fig. 3 Steady and non-steady area with the lapse of time.

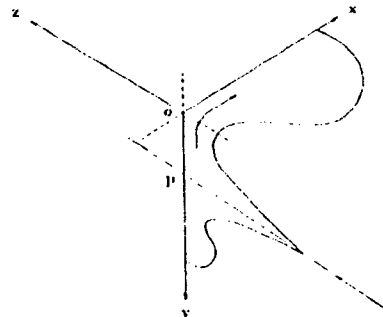
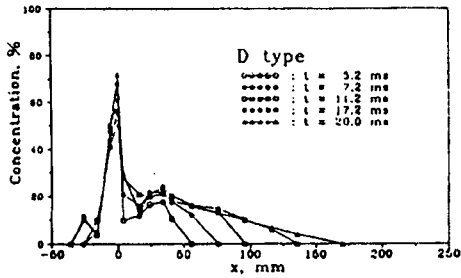
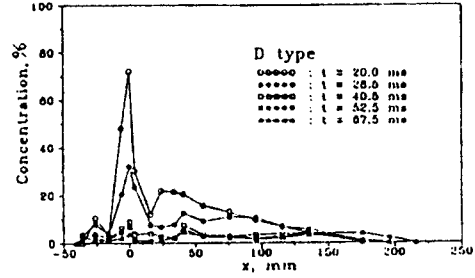


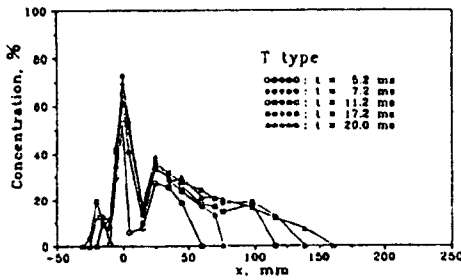
Fig. 4 Definition of coordinate system.



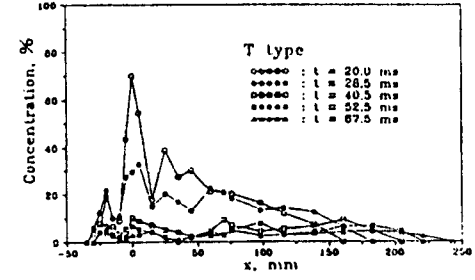
(a) Dish type



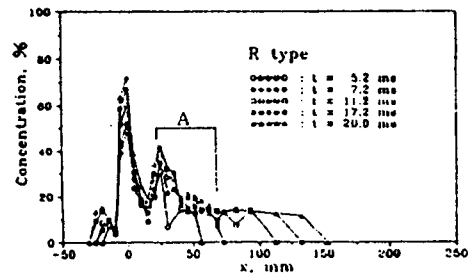
(a) Dish type



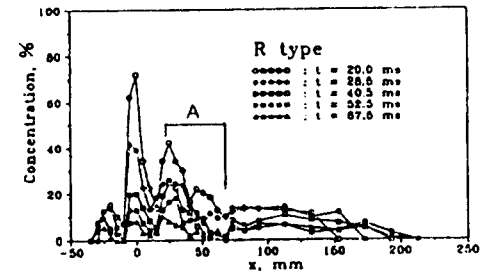
(b) Toroidal type



(b) Toroidal type



(c) Re-entrant type



(c) Re-entrant type

Fig. 5 Growth of concentration distribution on the wall for each cavity types (injection term).

Fig. 6 Growth of concentration distribution on the wall for each cavity types (after injection term).

Fig. 5는 각 cavity형상에서 벽면으로 부터 2mm 떨어진 위치에서의 분사시간중 시간에 따라 성장하는 분류의 평균농도의 경과를 나타낸다. 각 cavity형상에 있어서분류는 벽면 충돌과 함께 중심축에서 농도는 급격히 증가하고, 벽면을 따라 상,하류방향으로 성장한다. 주류측에서 측정된 평균농도의 시간경과로

부터 cavity형상에 따른 분류의 성장을 보면, D-type의 경우 cavity형상에 따라 분류의 방향이 전환되는 부분인 32mm위치에서 주류쪽으로 성장하는 분류의 정체에 의해 농도가 일시적으로 증가하고, 주류의 성장과 함께 시간에 따라 감소한다.

R-type에 있어서는 분류의 벽면 충돌과 함

계 분류 중심축에서의 농도값은 급격히 상승하고, 층들 중심에서 약간 떨어진 위치에서 농도값이 낮아진다. 이는 벽면 층들로 인해 분류의 두께가 가장 얇아지는 부분을 나타낸다. 또한 R-type cavity의 형상 특성인 U부 구간을 A로 표시하였으며 이 구간의 평균농도는 시작부에서 증가한 후 급격히 작아지는데, 이는 U부의 영향에 의해 공기와와의 접촉면적이 커져서 공기유입이 활발하게 이루어지고 있기 때문인 것으로 판단된다. 하류쪽으로의 성장형태를 고려해 볼때 U부에서 난류 혼합현상에 의한 entrainment의 중대 효과를 기대할 수 있으리라 예측된다. 이후 cavity아래면에 도달한 위치에서는 분류가 양쪽 방향으로 성장함으로써 시간에 따른 도달거리가 둔화되고 있음을 알 수 있다. 상류측으로의 분류는 시간경과와 함께 성장하지만 그 성장은 크게 발달하지 못하고 있다. 이는 층들각도에 의한 운동에너지의 감소 영향으로 판단된다.

D-type의 경우 상류측으로 분류의 성장이 길게 나타나는 것은 층들각도가 T, R-type에 비해 크기 때문으로 판단된다.

Fig. 6은 각 cavity형상에 있어서 벽면으로부터 2mm떨어진 위치에서의 분사 종료후 시간에 따라 성장하는 분류의 평균농도를 나타낸다. 분류는 분사 종료후에 벽면을 따라 하류측으로 성장하고, 상류측으로는 운동량의 감소와 함께 그 성장기간이 짧다. 하류측으로 갈수록 평균농도는 시간에 따라 거의 일정한 값을 보이고 있으며 시간의 경과와 함께 D-type의 경우 20.0ms에서 180mm, 67.5ms에서는 220mm로 분류의 추월현상을 볼 수 있고, T-type의 경우에는 20.0ms에서 160mm, 67.5ms에서 240mm로, R-type에서는 20.0ms에서 150mm, 67.5ms에서 210mm로 분류의 추월현상을 볼 수 있다. D, T-type의 경우 하류역 각각 32mm에서 60mm사이에서 cavity형상 특성에 의해 농도가 일시적으로 증가하는

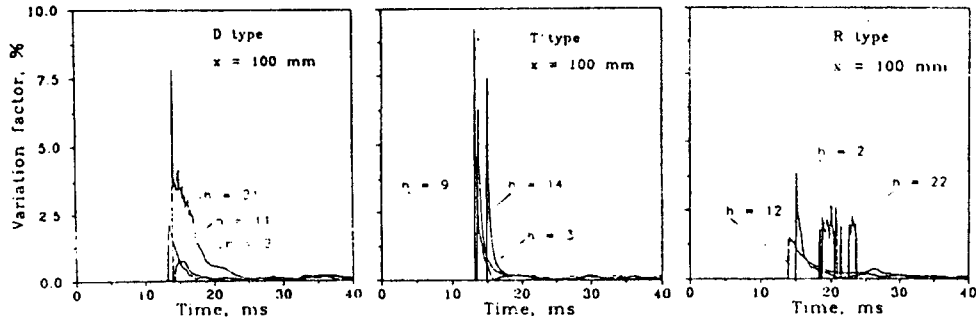
현상이 나타나며, 분사종료후에도 오래동안 비교적 높은 값을 유지하는 것을 알 수 있다.

분사종료후 R-type의 경우에는 U부에서 농도값이 시간경과에 따라 큰 폭으로 감소하는 것으로 부터 U부에서 공기유입이 매우 활발하게 일어남을 알 수 있다. 곡면부를 지난 후 평균농도값은 정상상태를 보이며 서서히 감소하고, 하류측에서 분류의 추월현상도 나타난다.

Fig. 7은 각 cavity형상에서 벽면으로부터 높이 h방향의 난류혼합을 표현할 수 있는 표준편차를 평균농도로 나눈 변동계수의 시간 경과를 보인다. 분류가 도달하면 비정상부의 존재에 의해 변동계수값이 급격히 증가하고, 선단부에서의 난류혼합에 의해 큰 값을 보인 후 일정한 값을 유지한다.

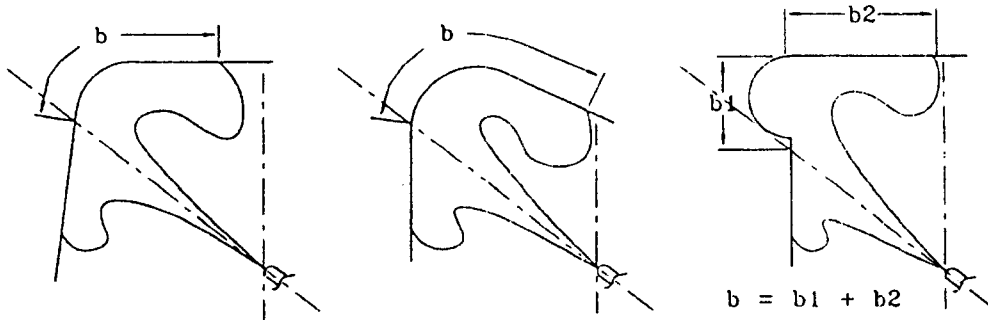
D-type의 경우는 층들중심축으로부터 하류방향으로의 거리 100mm위치에서 cavity벽면으로부터의 높이 $h=2, 11, 21$ mm위치의 변동계수를 나타낸 것이다. $h=2$ mm위치에서 변동계수값이 나타나는 시간이 가장 늦은 것은 분류가 벽면으로 부터의 마찰저항에 의해 그 도달속도가 늦어서 이며, $h=11$ mm 위치에서는 주류쪽에 가깝기 때문에 변동계수값이 빨리 나타나는 것으로 판단된다. 또, $h=21$ mm위치에서 변동계수의 값이 높고 넓게 나타나는 것은 분류선단부에 비정상부가 존재하며, 분류의 운동량부족에 의한 분류의 부에 존재하는 주위공기와 국소와류운동 및 경계층으로부터 유입된 주위공기의 영향으로 판단된다.

T-type의 경우도 하류방향으로 100mm떨어진 위치에서 h방향으로 3, 9, 14mm위치의 변동계수의 시간경과를 보인다. 주류쪽에 가까운 $h=9$ mm위치의 변동계수값이 가장 빨리 나타나는 것은 분류의 주류측이 probe선단에 가장 빨리 도달하였기 때문으로 판단되며, 그 값이 큰 것은 주위공기의 유입속도가 크고, 농도구배가 크기때문임을 알 수 있다. R-type



(a) Dish type (b) Toroidal type (c) Re-entrant type

Fig. 7 The variation factor with the lapse of time for each cavity type.



(a) Dish type (b) Toroidal type (c) Re-entrant type

Fig. 8 The modeling of spray with cavity types & the expression of b.

의 경우에도 하류 100mm위치에서 $h = 2, 12, 22$ mm의 변동계수값을 보인다. R-type의 경우에는 분류가 U부를 지나서 cavity형상면 바닥에 닿은 후의 위치이기 때문에, $h = 12$ mm의 값이 주류쪽에 보다 가까운 위치로서 값이 가장 빨리 나타나고, 그 뒤에 2mm위치의 값이 나타나며, 비교적 분류 외측에 속하는 $h = 22$ mm위치의 값은 상당히 늦으면서 값의 변동이 크게 나타난다. 이것은 이 부분에서 분류의 방향이 전환되면서 분류의 성장속도가 둔화되어 그로 인해 분류 외측에서 주위 공기와의 혼합이 활발히 일어나는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 각 cavity형상에 대한 분류 모양의 치수 결정방법을 나타낸다. 벽면을 따라 또는 주류를 따라 시간에 대하여 성

장하는 분류의 길이를 b 로 표현하였다.

Fig. 9는 각 cavity형태에 따른, 벽면 충돌 후의 시간 경과와 분류의 길이 b 의 관계를 나타내고 있다. 벽면 충돌 후 초기에는 거의 유사한 값을 보이나 시간의 경과와 함께 T-type이 D-type에 비해 길이 b 가 큰 것은 벽면 충돌각도에 의한 영향으로 판단되며, R-type이 D, T-type에 비해 작은 것은 분류의 주류가 U부 쪽으로 분산되기 때문으로 판단된다. 다음은 본 연구에서 각 cavity형태에 따른 분류의 길이 b 와 시간 경과와의 관계를 실험식으로 표현한 것이다.

$$b_D = 69.87 \ln t - 59.33$$

$$b_T = 65.83 \ln t - 61.52$$

$$b_R = 49.72 \ln t - 24.95$$

Fig. 10은 각 cavity형상에 있어서의 분사기 간중인 20ms일때 성장한 분류의 등농도 분포

선도를 나타낸다.

각 cavity형상특성에 따라 성장하는 분류의 농도분포특성은 약 120mm위치까지는 일정한 증가를 보이다가 하류로 감에 따라 불안정한 상태를 보인다. 하류영역은 혼합구조가 불안정하고 경계부에 가까울 수록 농도의 혼합정도가 커지며 농도의 구배가 작게 나타난다.

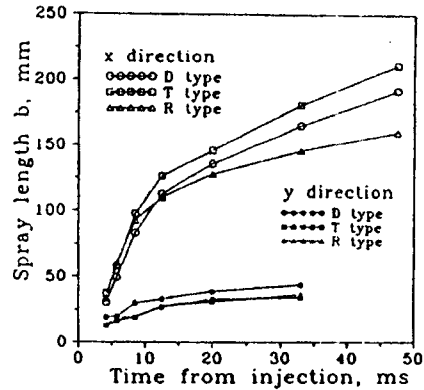
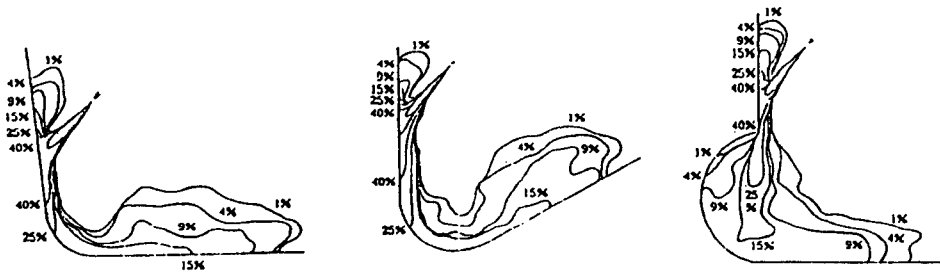


Fig. 9 Lapse of spray length(b) versus time after the impingement for each cavity type.



(a) Dish type (b) Toroidal type (c) Re-entrant type
Fig. 10 Isometric concentration line of a spray for each cavity type (at 20ms).

4. 결론

Cavity형상에 따른 분류의 구조를 해석하기 위하여 3가지의 piston cavity형상을 제작하여 벽면 층돌실험을 하여 분류의 공간 농도분포를 해석한 결과는 다음과 같다.

1. 각 cavity형상에 따라 성장하는 농도분포를 통해 cavity형상 특성을 파악할 수 있었으며, R-type의 경우 U부에 의한 공기 entrainment현상이 예상되었다.

2. 반경 방향의 난류혼합 특성을 파악하기 위한 변동계수로 본 70°방향의 특성은 벽면으로부터의 거리가 멀어짐에 따라 온

동량 부족에 의한 선단부의 국소 와류운동 및 분류 외측으로부터의 공기유입 영향을 파악할 수 있었다.

3. Cavity형상에 따른 층돌 시각으로부터의 분류의 길이는 다음식으로 표현 할 수 있다.

$$b_D = 69.87 \ln t - 59.33$$

$$b_T = 65.83 \ln t - 61.52$$

$$b_R = 49.72 \ln t - 24.95$$

참고문헌

[1] 이상석, 김봉근, 정성식, 하종환, "비정

- 상 자유분류 농도특성에 관한 연구", 한국액체미립화학 연구회 학술강연회논문집, pp 134-142, 1994.
2. G.L.Brown and M.R.Rebollo, "A small fast-response probe to measure composition of a binary gas mixture", AIAA J. 1972-5, P649
3. Tanabe, Ohnishi, Fujimoto and Sato, "Experimental study of the transient hydrogen jet using a fast response probe", Int J. Hydrogen energy, Vol. 7. 1982-12
4. Katsura, Saito, Fusimoto, "Characteristics of a diesel spray impinging on a flat wall", SAE Tech. paper, 890264, 1989.