

## 벽면에 충돌하는 가솔린 분무의 특성에 관한 연구

### A study on the characteristics of gasoline spray to impinge on wall

이 규 영\*  
G. Y. Lee

#### ABSTRACT

Even though a relatively complete knowledge base has been established for diesel sprays, much of the knowledge cannot be directly translated to correlate the characteristics of gasoline spray. The macroscopic characteristics of gasoline impingement spray was investigated with photographic and image processing technique by Particle Motion Analysis System.

The injector with single hole nozzle diameter of 0.28 mm was used in this experiment and the injection duration was selected as 10 msec. The injection pressure with 0.3, 0.35, and 0.4 MPa, impingement distance of 70, 100 and 130 mm, impingement angle of 0, 15, 30 and 45° were employed for the variables to affect the spray characteristics of impinging spray. It is clear that there is the analogy on the spray tip penetration between the gasoline impinging jet and diesel free jet. The spray tip penetration of impinging gasoline spray is proportional to the quarter power of the time after start of injection. The maximum height of impinging gasoline spray is also proportional to the quarter power of the time regardless of impingement distance, impingement angle and injection pressure. In addition, the effect of impingement angle on the spray tip penetration is significant according to the time after start of injection, even though there is minor effect in the initial stage of time after start of injection. Moreover, there is no remarkable effect of injection pressure on the spray tip penetration under the experimental condition used in this study.

주요기술용어 : gasoline impingement spray(가솔린 충돌분무), impingement angle(충돌각), impingement distance(충돌거리), spray tip penetration(분무선단 도달거리), maximum spray height(최대 분무높이)

#### 1. 머릿말

분무가 벽면에 충돌하여 부착하거나 튀어나오는 현상은 페인트 도장, 코팅, 분무냉각, 잉크젯 프린터, 농약살포, 내연기관등 여러 가

지 분무의 응용분야에서 나타나는 문제이다. 여러 가지 충돌분무의 응용 분야 중 내연기관에서 일어나는 벽면 충돌 분무는 연소과정과 관련하여 배기가스 배출에 영향을 주는 하나

\* 인하공업전문대학 자동차과

의 큰 요인에 해당한다.

현재 내연기관에서 벽면 충돌 분무는 세가지 경우 즉 흡기포트 분사식(port fuel injection) 가솔린 엔진<sup>(1)</sup>, 실린더내 직접 분사식(DISI 또는 GDI; direct injection spark ignition, gasoline direct injection) 가솔린 엔진<sup>(2)</sup> 그리고 직접 분사식 디젤엔진<sup>(3)</sup>에서 연구 대상이 된다.

흡기포트 분사식 가솔린엔진에서는 인젝터로부터 흡기포트벽과 흡기밸브 뒤면을 향해 일정한 각도로 가솔린이 분사되면 혼합기 형성과정이 시작된다. 혼합기 형성과정에 대한 연구는 지금까지 많이 이루어졌다. 분사된 연료는 미립화되어 분무가 형성되고 대부분의 연료액적은 관통하여 흡기포트벽이나 흡기밸브 뒷면에 도달하게 된다. 이러한 연료는 밸브와 흡기 포트 벽에 액막을 형성하게 되고 이 액막의 이차 미립화 등 거동이 중요하게 된다. 분무 충돌각의 변화에 따라 상당한 양의 이차 미립화가 일어 난다는 연구<sup>(4)</sup>나 실제 엔진에서 액막의 영향등의 연구<sup>(5)</sup>가 발표되었다. 또 분사된 연료가 흡기관이나 흡기 밸브에 부착하여 액막으로 되기 때문에 시동할 경우나 과도 운전시에 실화 또는 미연 탄화수소의 배출이 증가한다. 또한 벽면의 액막은 흡기 밸브 표면에 가솔린 침착(deposition)을 형성하게 되어 분사되는 연료를 흡수하여 더 회복한 공연비를 만들게 됨에 따라 연료 소비율이 증가하는 경향이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 여러 가지 형태의 노즐이 연구, 개발되었다<sup>(1,6)</sup>. Arcomanis 등<sup>(7)</sup>은 가솔린의 흡기 포트 분사식을 대상으로 풍동내에서 충돌각 20°, 분사압력 0.3 MPa, 노즐로부터 충돌판까지의 거리 32mm의 상태에서 이소옥탄의 액적속도, 직경 그리고 플렉스등을 측정하였다. 분무를 가로지르는 공기 속도를 5와 15 m/s, 분사시간을 10과 20 ms의 경우를 비교한 결과 평판에 충돌한 분무는 분무가 계속 될수록 평판이 젖게 되고 작은 지름의 액적들이 평판 위와 충돌지점 하류에 구름을 형성한다. 공기속도가 클 경우 작은 액적의 대류 현상이 강하게 나타나고 저속 공기일 경우 이 액적구름은 조밀하게 된다.

김과 新井<sup>(8)</sup>는 흡기포트 분사식 가솔린 엔진에 사용되는 인젝터를 사용하여 액체분무가

충돌에 의해 형성되는 액막의 특성이나 충돌 분무의 비산량을 측정하였다. 이들은 비산율을 정의하고 액막이 불안정하여 2차 분열이 일어나기 쉬우며, 분사시간이 길어지면 액막 두께가 두꺼워진다는 결론을 얻었다.

디젤분무와 가솔린 분무를 비교할 때 현저히 다른 연료 특성, 연료 분사압력, 속도 및 액적 크기 범위, 분위기 온도 및 밀도 등으로 인해 디젤분무에 관한 대부분의 상관식들을 가솔린 분무에 직접 적용하는 것이 불가능하다고 알려져 있다.<sup>(1)</sup> 그러나 충돌분무의 경우 디젤분무와 가솔린 분무의 상사성에 대하여 검토할 필요가 있다. 이상에서 검토한 결과 벽면에 충돌하는 디젤 또는 가솔린 분무에 영향을 미치는 인자로는 주변가스의 밀도변화, 충돌거리, 충돌각, 벽면곡률 벽면온도등이 있다.

따라서 이 연구에서는 충돌거리, 충돌각, 분사압력이 분사 후 시간이 지남에 따른 충돌분무 선단도달 거리와 충돌분무 최대 높이에 미치는 영향을 가솔린 충돌분무의 거시적 특성을 통해 규명하고 디젤분무와의 상사성을 검토하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

벽면에 충돌하는 가솔린 분무의 거시적 분무특성을 파악하기 위한 실험 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 일정한 압력

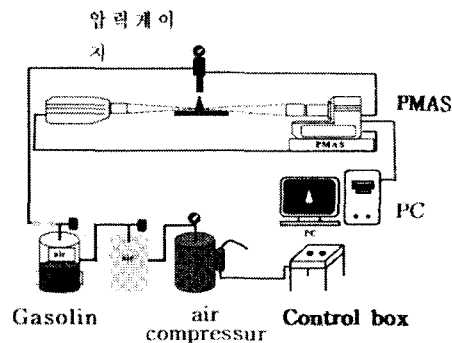


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup

를 공급하기 위한 에어펌프와 두개의 공기 탱크로 이루어진 연료 공급장치로 구성하였다. 또 이미지 취득을 위하여 광원부와 CCD카메

라, 4채널 실시간 제어장치, 이미지 보드 및 제어보드가 내장된 컴퓨터로 구성된 입자운동 해석장치(PMAS, 코미)와 인젝터의 솔레노이드 밸브를 구동시키기 위한 분사 제어장치 및 연료분사 인젝터등으로 이루어진다. 인젝터가 장착된 미세 거리 이송장치를 측정점으로 이동하면서 원시화상을 취득하였다. 실험에 사용된 인젝터는 단공노즐로 노즐 구경은 0.28 mm이며 분사시간은 10 msec으로 일정하게 유지시켰다.

충돌 분무의 영상을 가시화하는데 충돌거리, 충돌각, 분사압력을 변수로 하였다. 분사압력은 상용 흡기포트분사 가솔린 엔진의 분사압력을 고려하여 0.3, 0.35, 0.4 MPa로 설정하였다. 충돌거리는 노즐 선단으로부터 충돌판까지의 거리로서 70, 100, 130 mm로 선정하였다. 또 충돌각은 노즐 분무 중심과 충돌판사이의 경사각으로 0, 15, 30, 45° 4가지의 경우를 대상으로 하여 실험을 하였다.

Fig. 2는 충돌분무의 구조 모델로 여러 가지 측정 항목을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 수직

충돌 즉 경사각  $A_w = 0^\circ$ 의 경우이고, Fig. 2(b)는 경사진 평판에 충돌하는 경우로  $A_w = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 에 해당한다. 그림에서 충돌분무 도달거리  $R_d$ 와  $R_u$ 는 각각 충돌분무 하류도달거리와 충돌분무 상류도달거리를 나타내며 수직 충돌의 경우는 편의상 왼쪽을 하류, 오른쪽을 상류라고 정하였다.  $L_w$ 는 충돌거리로 충돌평판과 노즐과의 거리를 나타내며,  $H_m$ 은 충돌 분무 최대높이를,  $A_w$ 는 충돌판과 지면과의 경사각을 나타낸다.

충돌분무 선단도달거리는 디젤엔진을 대상으로 한 연구에서 여러 가지 방법으로 정의되지만 이 연구에서는 Fujimoto등<sup>(9,10)</sup>의 방법을 택하여 다음과 같이 정의하였다.

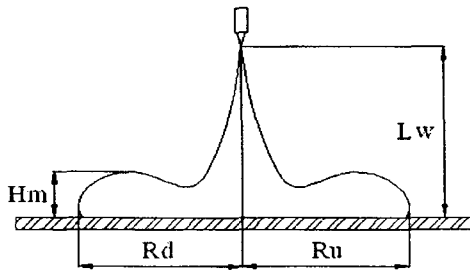
$$L_j = L_w + R_d$$

충돌분무 상류도달거리는 수직 충돌의 경우 좌우대칭으로 가정하여  $R_d=R_u$ 로 하였고, 경사 충돌의 경우는 상류 도달거리가 미미하므로 분석에서 제외시켰다.

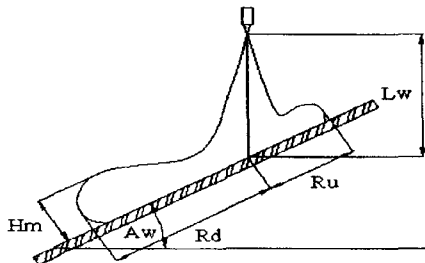
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 충돌분무의 발달 과정

Fig.3은 분사압력  $P_i=0.35$  MPa의 경우 충돌분무의 발달과정을 나타낸 것이다. Fig.3(a)로부터 수직 충돌의 경우에 충돌거리와 시간에 따른 충돌분무의 변화과정을 알 수 있고, Fig.3(b)로부터 충돌거리 70 mm의 경우에 충돌각과 시간에 따른 충돌 분무의 변화과정을 알 수 있다. 충돌거리에 따른 충돌분무는 분사후 충돌거리가 짧을수록 빨리 충돌판에 충돌하여 반경방향으로 분무가 발달되어 가며, 반경방향의 상류 및 하류 분무도달거리는 충돌거리의 증가에 따라 증가함을 알 수 있다. 또 다른 충돌분무에서 Fujimoto등<sup>(10)</sup>이나 Donaldson과 Snedeker<sup>(11)</sup>가 제안한 자유제트 기간(free jet regime), 충돌기간(impingement regime), 벽면주 제트 기간(wall main jet regime), 벽제트 와류기간(wall jet vortex regime)등이 존재함을 알 수 있다.

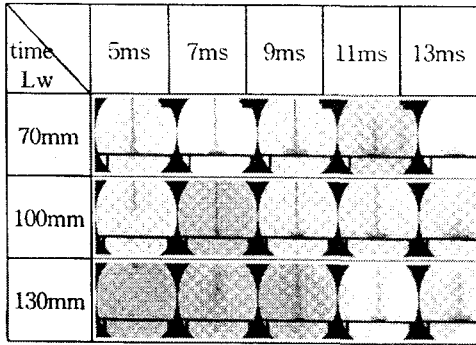


(a) Spray shape with vertical impingement

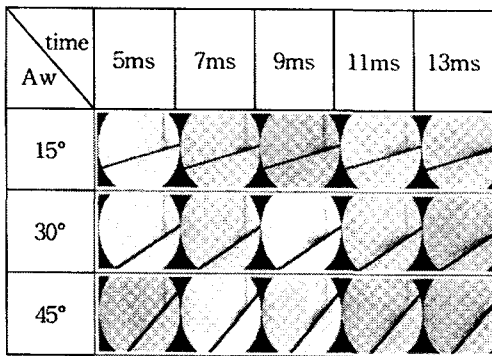


(b) Spray shape with oblique impingement

Fig. 2 Model of external spray for impinging spray



(a)  $P_1=0.35$  MPa,  $A_w=0^\circ$



(b)  $P_1=0.35$  MPa,  $L_w=70$ mm  
Fig. 3 Typical spray images

또 충돌각에 따른 충돌분무의 변화과정에서 충돌 후 반경방향의 상류 분무 도달거리는 하류 분무 도달거리에 비해 거의 무시할만큼 짧은 것을 알 수 있다. 이는 디젤 분무에서와 달리 연료의 빠른 증발의 결과라고 볼 수 있다.

### 3.2 충돌분무 선단도달거리와 충돌분무 최대 높이

Fig. 4는 분사압력  $P_1=0.3$  MPa, 충돌각  $A_w=0^\circ$ 일 경우 충돌거리를 변화시켰을 때 분사 후 시간에 따라 충돌분무 선단 도달거리와 충돌분무 최대높이의 변화를 나타낸 것이다. 충돌분무 선단 도달거리는 모든 충돌거리에서 분사 후 시간에 따라 완만하게 직선적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 즉 충돌분무 선단 도달

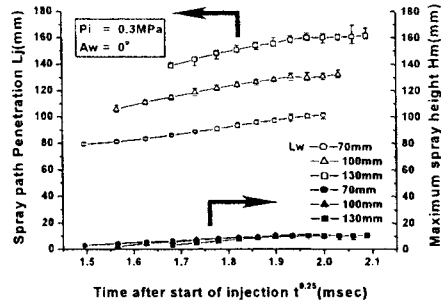


Fig. 4 Variation of spray tip penetration and maximum spray height with time and impingement distance for  $P_1=0.3$ MPa and  $A_w=0^\circ$

거리는 충돌거리에 상관없이 분사 후 시간의 1/4승에 비례한다. 그리고 충돌분무 최대 높이는 시간에 따라 완만하게 직선적으로 증가하지만 충돌거리에 상관없이 거의 일정함을 알 수 있다.

Fig. 5는 분사압력  $P_1=0.4$  MPa, 충돌각  $A_w=45^\circ$ 일 경우 충돌거리를 변화시켰을 때 분사 후 시간에 따라 충돌분무 선단 도달거리와 충돌분무 최대 높이의 변화를 나타낸 것이다. Fig.4의 분사압력  $P_1=0.3$  MPa과 충돌각  $A_w=0^\circ$ 일 경우와 마찬가지로 충돌분무 선단 도달거리는 분사 후 시간의 1/4승에 비례하지만 그 기울기는 Fig.4의 경우보다 약간 큰 것을 알 수 있다. 한편 충돌분무 최대 높이는 Fig. 4의 경향과 거의 일치하고 있음을 알 수 있다.

이상에서 디젤분무와 가솔린 분무 사이에 분무 선단 도달거리는 시간에 따라 비례하는 유사성이 존재한다는 사실을 알 수 있다. 또 디젤 분무의 자유 분무에서는 분무 선단 도달거리가 분사 후 시간의 1/2승에 비례하지만 (12,13,14) 가솔린 충돌분무의 경우는 1/4승에 비례함을 알 수 있다. 이는 노즐 출구에서 주어진 운동량이 가솔린 분무가 작고 또 벽면 충돌 후의 벽면의 마찰 저항에 의한 운동량 손실이 그 원인인 것으로 생각된다.

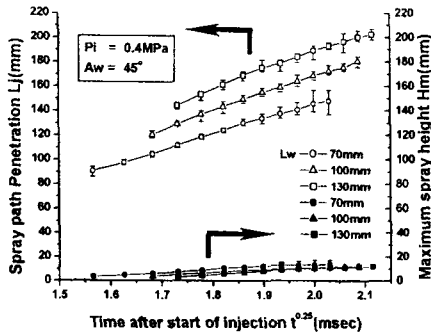


Fig. 5 Variation of spray tip penetration and maximum spray height with time and impingement distance for  $P_i=0.4\text{MPa}$  and  $A_w=45^\circ$

Fig.6은 분사압력  $P_i=0.3\text{ MPa}$ , 충돌거리  $L_w=70\text{ mm}$ 인 경우 충돌각을 변화시켰을 때 분사 후 시간에 따라 충돌분무 선단 도달거리와 충돌분무 최대 높이의 변화를 나타낸 것이다. 분사 초기에는 충돌각의 변화에 관계없이 충돌분무 선단 도달거리가 차이가 없지만 시간이 지남에 따라 충돌각의 영향이 커짐을 알 수 있다. 또 충돌분무 선단 도달거리는 분사 후 시간의 1/4승에 비례하지만 충돌각이 증가함에 따라 그 기울기가 증가함을 알 수 있다. 충돌분무 최대높이는 분사 후 시간에 따라 완만하게 증가하지만 충돌각의 변화에 따른 영향은 거의 없다.

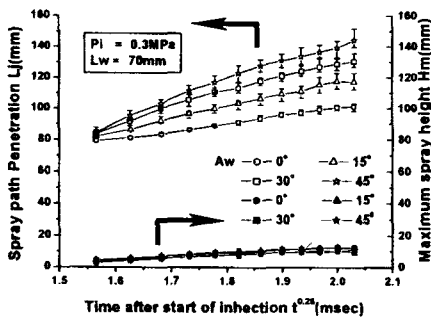


Fig. 6 Variation of spray tip penetration and maximum spray height with time and impingement angle for  $P_i=0.3\text{MPa}$  and  $L_w=70\text{mm}$

$L_w=70\text{mm}$

Fig.7은 분사압력  $P_i=0.35\text{ MPa}$ , 충돌거리  $L_w=130\text{ mm}$ 인 경우 충돌각을 변화시켰을 때 분사 후 시간에 따라 충돌분무 선단 도달거리와 충돌분무 최대 높이의 변화를 나타낸 것이

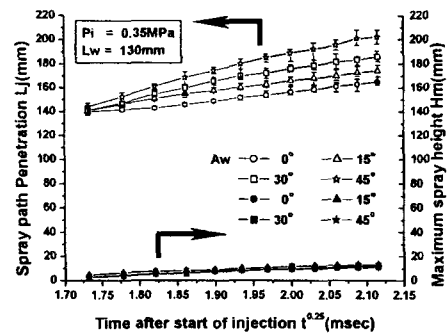


Fig. 7 Variation of spray tip penetration and maximum spray height with time and impingement angle for  $P_i=0.35\text{MPa}$  and  $L_w=130\text{mm}$

다. Fig.6의 경우와 모든 경향이 유사하지만 충돌각의 변화에 따른 충돌분무 도달거리의 증가폭이 Fig.6 경우보다 더 작은 것을 알 수 있다. 이것은 분사압력의 영향보다 충돌거리의 증가에 따른 영향이 더 지배적이기 때문이라고 생각된다.

Fig. 8은 충돌각  $A_w=15^\circ$ , 충돌거리  $L_w=100\text{ mm}$ 의 경우 분사압력이 충돌분무 선단 도달 거리와 충돌 분무 최대 높이에 미치는 영향을 알아 보기 위한 그림이다. 그림으로부터 분사압력이 충돌분무 선단 도달거리와 충돌분무 최대 높이에 미치는 영향은 아주 미미한 것을 알 수 있다. 이는 이 연구에서 분사압력의 변화가 그다지 크지 않은 것이 주된 이유가 될 것이라고 생각된다. 따라서 분사압력이 충돌분무 선단 도달거리에 미치는 영향은 더 큰 분사압력의 변화에 의한 실험이 향후 필요하다.

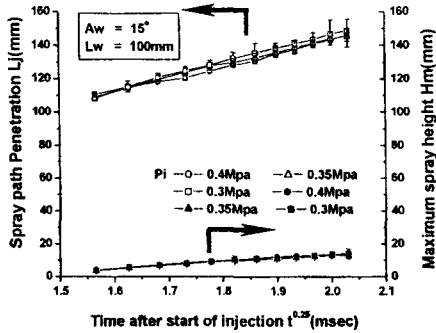


Fig. 8 Effect of time and injection pressure on spray tip penetration and maximum spray height for  $A_w=15^\circ$  and  $L_w=100\text{mm}$

#### 4. 결론

벽면에 충돌하는 가솔린 분무의 거시적 특성에 관한 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 디젤분무와 가솔린 분무 사이에 분무 선단 도달거리는 유사성이 존재한다.
- 2) 가솔린 충돌 분무의 분무선단 도달거리는 분사 후 시간의 1/4승에 비례한다.
- 3) 충돌 분무의 최대 높이는 충돌거리와 충돌각, 분사압에 상관없이 분사 후 시간의 1/4승에 비례한다.
- 4) 분사 초기에는 충돌각의 변화에 상관없이 충돌분무 선단 도달거리가 차이가 없지만 시간이 지남에 따라 충돌각의 영향이 커진다.
- 5) 실험조건 내에서는 충돌분무 선단 도달 거리에 미치는 분사압력의 영향은 거의 없다.

#### 후기

본 연구는 인하공업전문대학 산업기술연구소 지원으로 수행된 연구결과로 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Zhao, F. Q., Lai M.C., and Harrington, D.L., The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection- A Critical Reviews, SAE paper 950506, 1995.
2. Zahao, F., Lai, M.C. and Harrington, D.L., Automotive Spark Ignited Direct Injection Gasoline Engines, Progress in Energy and Combustion Science, 25, 1999, 437-562.
3. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, 1988.
4. Nagaoka, M., Kawozoe, H., and Nomura, N., Modeling Fuel Spray Impingement on a Hot Wall for Gasoline Engines, SAE paper 940525, 1994.
5. Takemura, J., Sanbayashi, D. and Ando, H., Effect of Turbulence in Intake Port of MPI Engine on Fuel Transport Phenomena and Non-Uniformity of Fuel/Air Mixing in Cylinder, SAE paper 900162, 1990.
6. 김영일, 新井雅隆, EFI 인젝터에 의한 연료 분무의 벽면충돌특성, 한국액체미립화학회 2003년도 학술강연회 논문집, 두원공대, 2003. 9. 26, 167-172
7. Arcoumanis, C., Whitelaw, D.S., and Whitlaw, J.H., Gasoline Injection Against Surfaces and Films, Atomization and Sprays, vol.7, 1997, pp.437-456.
8. 金永一, 新井雅隆, 壁面衝突 間歇噴流 飛散 特性, 微粒化. Vol. 11, No.33, 2002, 1-9
9. Fujimoto, H., Senda, J., Nagae, M., Hashimoto, A., Saito, M., and Katsura, N., Characteristics of a Diesel Spray Impinging on a Flat Wall, International Symposium COMODIA, 90, 1990, 193-198
10. Fujimoto, H., Hyun, G.S., Nogami, M., Hirakawa, K., Asai, T., and Senda, J., Characteristics of Free and Impinging

Gas Jets by Means of Image Processing, SAE paper 970045, 1997.

11. Donaldson, C.D. and Snedeker, R.S., A study of free jet impingement, Part I, Mean properties of free and impinging jets, J. Fluid Mech., Vol.45, Part 2, 1971, 281-319.
12. Wakuri, Y., Fujii, M., Amitani, T. and Tsuneya, R., Studies on the Penetration of Fuel Spray in a Diesel Engine, Bulletin of JSME, Vol. 3, No.9, 1960, 123-130.
12. Sazhin, S.S. Geng, G., Heikal, M.R., A model for fuel spray penetration, Fuel 80, 2001, 2171-2180.
13. Kim, S.C., Hwang, J.S., Ha, J.S. and No, S.Y., Applicability of Existing Spray Penetration Models for Dimethyl Ether Spray, The 7th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems-Asia, Tainan, Taiwan, November 14-16, 2002, 136-143.