

EFI 인젝터에 의한 연료분무의 벽면충돌 특성

김영일*, 新井雅隆**

Wall Impingement Phenomena of a Fuel Spray Injected by an EFI Injector

Y. I. KIM, M. ARAI

ABSTRACT

In a port fuel injection system of engine, a large part of fuel injected into an intake port adheres on its wall and inlet valve. Consequently, the wall impinging spray interaction might occur the generation of several harmful phenomena. There are uncontrollable mixture formation, an accidental backfire and unburned hydrocarbons. Therefore, it is important to analyze the fuel behavior during the spray-wall interaction. In this study, splash characteristics of impingement and reflecting or scattering behavior of droplets of fuel injected from EFI nozzle were studied experimentally. A test fuel used is LAWS and its physical characteristics are similar to the conventional gasoline except for the ignition point. Since the liquid film formed immediately after impinging on an impingement plate is unstable, it is easy to cause secondary disintegration. In addition, when the intermittently impingement on the impingement plate with LAWS, the splash ratio is around 0.6. If an injection period becomes longer, liquid film will become thick and the splash ratio will fall about 10 percent. On the other hand, when the injection period of an intermittent spray is long, the same time lapse as a continuous spray is shown.

Key words : Wall impingement(벽면충돌), Splash ratio(비산율), Liquid film(액막)

1. 서론

현재 사용되고 있는 자동차의 흡기매니폴드 내 연료분사방식의 경우, 분사된 연료가 흡기 매니폴드나 흡기밸브에 부착되어 액막화됨으로서 실화나 미연 HC 배출의 원인이 되며⁽¹⁾, 실린더내 직접분사방식의 경우에는 분무가 피스톤이나 실린더 라이너에 충돌하여 혼합기 형성이나 배출가스에 영향을 주는 것이 알려져 있어⁽²⁻³⁾, 충돌분무의 기본적인 거동특성을 조사하기 위하여 단일액적에 의한 벽면충돌실험⁽⁴⁻⁵⁾이나 수학적 모델링⁽⁶⁻⁷⁾ 등이 제안되고 있다.

그러나, 분무의 충돌특성은 인젝터의 특성, 연소실 내의 유동, 벽면온도 및 거침 정도 등의 조건에 따라 크게 변화하여 분무 액적의 연속적 또한 다발적인 충돌을 단일 액적의 거동을 중심으로 분석하는 수학적인 체계화에는 한계가 있다. 또한, 분무가 벽면에 충돌하는 현상에 관한 분무의 충돌거동과 충돌에 의한 비산량에 대하여 정량적으로 측정된 연구가 적은 것이 현실이다. 저자들은 지금까지 연속분무와 간헐분무를 충돌판에 충돌시켜 충돌판에 형성되는 액막의 두께와 액적 비산량과의 관계 등에 대하여 보고하였다⁽⁸⁻¹⁰⁾.

본 연구에서는, 성분이 가솔린과 비슷한 LAWS를 사용연료로 하고, 가솔린기관 포트분사용 EFI인젝터를 사용하여 액체분무가 충돌에

* 대전대학 자동차기계학부

** 群馬大学 工学部

의하여 형성되는 액막의 특성이나 충돌분무의 액적 비산량을 정량적으로 측정하여 충돌분무의 거동을 조사하였다.

2. 실험장치

실험장치는 그림 1과 같이 구성하였다. 실험 연료는 압축기로 가압하여 압력계에 의해 설정 압력으로 맞추어 EFI인젝터에 공급된다. 분사 주기 및 분사기간의 변경이 가능한 콘트롤러를 사용하여 분사주기 등을 제어함으로써 간헐분무를 만들어 분사량 및 충돌판 위에서의 액막 형성을 제어하였다. 충돌판에 충돌한 액체분무에서 비산되지 않고 충돌판 위에 남은 액막과 액적용기에 모아지는 액체를 저울로 중량을 측정하여 비산량을 산출하였다. 미립화 현상에는 표면장력이나 점성이 문제가 되기 때문에 물성 값이 가솔린과 비슷한 LAWS(Central화공주식회사 제품)를 실험연료로 사용하였다. EFI인젝터는 핀틀식 고저항형 가솔린용으로 분사압력 250kPa, 분사주기 100Hz, 분사기간 2.5msec의 조건에서 최대유량이 148cm³/min이다. 충돌분무의 거시적 충돌거동을 조사하기 위하여 스트로보와 드럼 카메라로 분무의 고속 촬영을 하였다.

그림 2에 나타내는 충돌판과 액적용기는 충돌판 위에서의 액막거동 현상 확인이 용이하고, 비산을 산출에 영향을 끼치지 않는⁽⁸⁾ D_p=40mm와 δ_{slit}=3mm를 사용하였다.

비산율 ε_s(t)은 그림 3에 나타내듯이 분사를 시작하여 어느 시간 t까지의 전분사량 Q_{total}(t)와 충돌판 위에 남은 액적 Q_{film}(t), 액적용기에 쌓인 액체량 Q_{sample}(t)에 의해 구했다. 여기서, Q_{sp splash}(t)이 비산량이다.

3. 벽면에 충돌하는 간헐분무와 액막거동

3.1 비산 거동

그림 4는 간헐분무에 의해 액체분무가 충돌판에 충돌하였을 때에 형성되는 충돌분무의 대

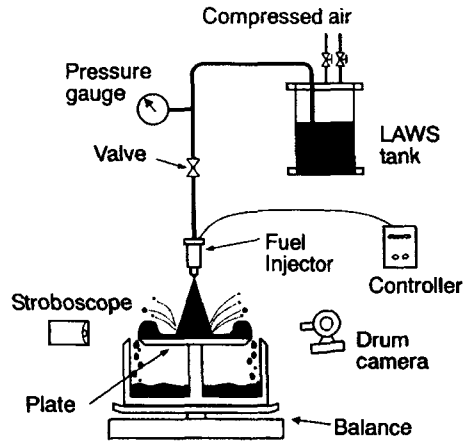


Fig. 1 Experimental setup

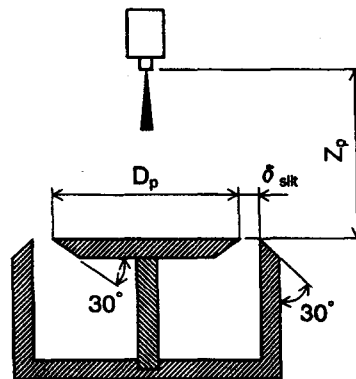
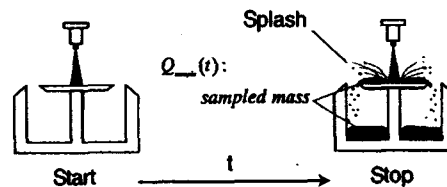


Fig. 2 Impingement plate



$$Q_{in}(t) = \frac{m \cdot L \cdot t}{\rho_i}$$

$$Q_m(t) = Q_{in}(t) : \text{measured}$$

$$\epsilon_s(t) = \frac{Q_{in}(t)}{Q_{in}(t)} = \frac{Q_{in}(t) - Q_m(t)}{Q_{in}(t)}$$

Fig. 3 Schematic diagram of splash ratio

표적인 모양을 나타내고 있다. 분사기간은 2.5msec, 분사간격은 20msec이다. 시간은 분사 시작부터의 경과시간을, n 은 분사횟수를 나타낸다. (a)의 왼쪽 사진은 첫번째 분사가 시작되어 1.54msec가 경과한 분사 도중의 상태이다. 분사된 분무의 일부는 충돌판에 충돌하여 비산되지만, 분사 종료후(우측에 나타내는 11.56msec의 사진)에서는 비산되지 않고 남은 분무가 응축하여 액적이 응축한 상태의 액체 덩어리가 중심부에 형성되고 있다. (b)에 나타내는 2회째 분사에서는 비산되지 않고 충돌판에 남아있는 액체 덩어리에 충돌하게 되어 분사된 분무 중 대부분은 액체 덩어리에 흡수된다. 또한, 2회째 이후에서는 이전의 충돌에서 비산되지 않고 남아있는 액체 덩어리 혹은 액막의 영향을 받는 것이 되어 거동 특성이 1회째의 경우와 다르게 된다. 최초 분사 시작에서 1001.63msec가 경과한 50회째의 상태인 (c)와 같이 분사횟수가 증가하면 충돌판에 형성되는 액체 덩어리는 두꺼운 액막을 형성하게 되어 분사된 분무를 흡수하게 된다. 분사횟수가 적은 경우에는, 분무가 충돌하여 비산되는 것이 보이지만, (c)와 같이 분사횟수가 증가하면 분무는 비산되지 않고 액체 덩어리 혹은 액막의 2차분열이 일어나게 된다. 분사횟수가 더욱더 증가하게 되면 충돌판에 형성되는 액막이 두꺼워져 분무는 그 액막에 흡수되어 액막의 2차분열만이 발생하게 된다.

3.2 분사조건과 비산율

그림 4와 같은 실험조건에서의 분사횟수와 비산특성을 그림 5에 나타낸다. 비산율은 분사횟수가 증가하면 약간 감소하지만, 분사횟수 약 10회부터는 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 그러나, 분사횟수의 증가에 비해 증가 경향은 뚜렷하게 나타나지 않는다. 이 조건에서는 분사간격이 20msec로 분사기간 2.5msec에 비해 충분히 길기 때문에 분사된 분무가 충돌판에 퍼지기 쉽고 충돌판에 두꺼운 액막이 형성되기 쉽다. 따라서, 분무는 항상 두꺼운 액막에 충돌하여 분무의 운동에너지가 액막에 흡수되

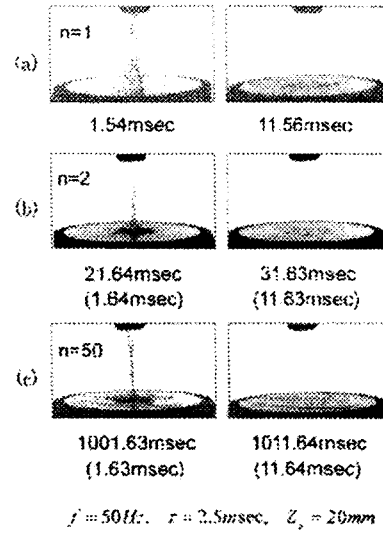


Fig. 4 Behavior of impingement jets at various repetition number of injection

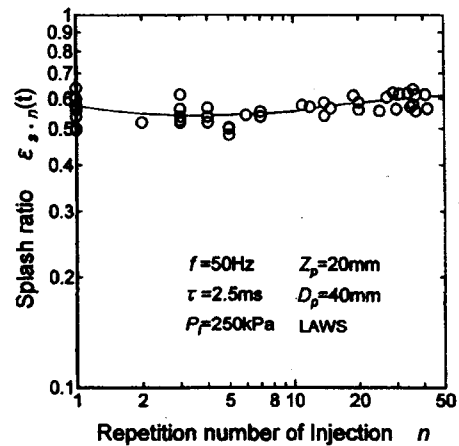


Fig. 5 Relationship between splash ratio and repetition number of injection

기 때문에 비산율이 증가하지 않는 것으로 사료된다.

분사간격 1초의 상당히 긴 조건에서의 분사횟수와 비산특성의 관계를 그림 6에 나타낸다. 이 조건에서는 첫번째의 충돌에서 전분사량의 약 60%가 비산되지만, 분사횟수가 증가하여도 비산율은 증가하지 않고 거의 일정하게 된다. 또, 그림 5와 그림 6에 있어서 분사횟수가 적

은 범위에서 비산율의 폭이 넓은 것은 충돌 후 비산되지 않고 충돌판에 잔류한 액체 덩어리들이 수축 및 액막 형성과정이 일정하지 않기 때문이라고 사료된다.

그림 7에 분사주기를 100Hz로 빠른 경우의 분사횟수와 비산율의 관계를 나타낸다. 이 조건에서는 분사횟수가 적은 영역에서는 비산율이 감소하지만, 분사횟수가 증가하면 비산율은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 분사간격이 10msec로 빠르게 되면 액체 덩어리들이 결합하여 액막이 형성되기 전의 상태에서 다음의 액체 분무에 의한 충돌이 일어나기 때문에 액막의 2차 분열이 발생하지 못해 비산율이 저하하는 것으로 사료된다. 그러나, 분사횟수가 어느 영역(이 경우에는 약 5회)에 도달하게 되면 비산율도 서서히 증가한다. 이것은 중심부에 액막이 반경방향으로 퍼져가 충돌에 의한 액막에서의 비산, 즉 앞에서 논한 액막의 2차 분열이 일어나기 때문이라고 생각된다.

3.3 액막 두께를 고려한 검토

분사시간이 같은 조건에서 인젝터의 개변시간을 변화시켰을 경우의 영향을 그림 8에 나타낸다. 개변시간 $\tau=5\text{msec}$ 는 $\tau=2.5\text{msec}$ 보다 분사량이 약 2배가 되기 때문에 충돌판에 두꺼운 액막이 형성되기 쉽고, 분무의 운동에너지를 흡수하게 됨으로 비산율은 적어진다.

개변시간을 9.9msec, 분사간격을 10msec로 함으로서 연속분무에 가까운 상태에서의 비산율을 측정할 결과를 그림 9에 나타낸다. 이 조건에서는 충돌판에 두꺼운 액막이 형성되기 쉬어 분무의 운동에너지를 흡수하기 때문에 비산율은 분사개시부터 서서히 감소하면서 거의 일정하게 된다.

간헐분사와 연속분사를 비교하기 위하여 $\phi=0.49\text{mm}$ 의 Hole nozzle에 의해 연속 분사한 경우의 결과를 그림 9에 나타낸다. 연속분사의 경우에는 충돌판에 액막이 경과시간과 함께 두껍게 되고 그에 따라 비산율도 저하한다. 그림 9와 그림 10을 비교하면, 분사횟수 및 시간과 함께 비산율이 저하하는 경향이 일치한다. 즉, 그림 9에서 나타나는 비산율의 저하는 연속분

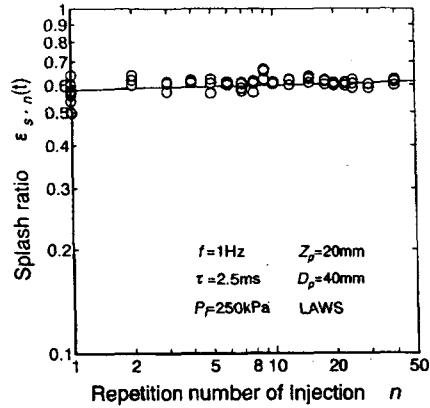


Fig. 6 Relationship between splash ratio and repetition number of injection

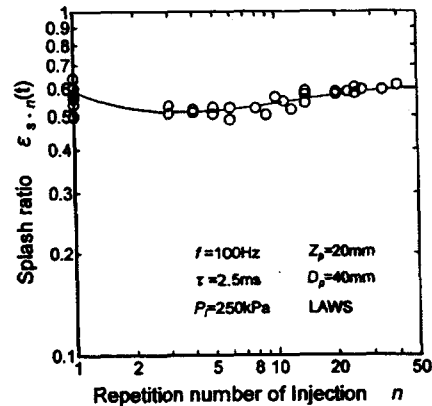


Fig. 7 Relationship between splash ratio and repetition number of injection

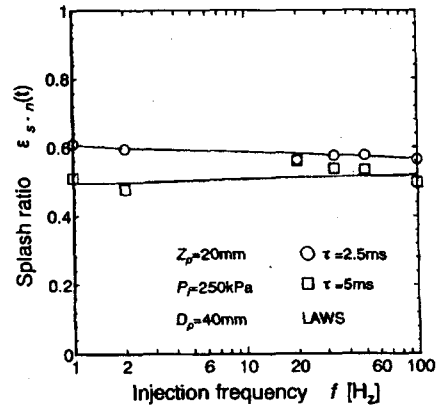


Fig. 8 Relationship between splash ratio and nozzle opening period

사의 경우와 같이 액막 두께의 증가가 주요 원 인임을 생각할 수 있다.

3.4 액막 두께와 비산율

액막의 두께가 비산율에 미치는 영향을 조사 하기 위하여 그림 11에서와 같이 충돌판에 미 리 실험조건인 액막을 형성하고 1회만의 분사 를 하여 얻은 결과를 그림 12에 나타낸다. 1회 분사에서 비산율 $\epsilon=0.6$ 일 경우, 충돌판에 남은 40%의 액체가 직경 20mm의 액막을 형성한다 고 가정하였을 때 액막두께는 약 0.03mm가 된 다. 즉, 인위적으로 형성한 액막두께가 0.02m m~1.0mm로 앞에서의 실험에서는 충돌횟수와 함께 액막의 직경이 넓어지는 것을 고려하면, $n=2$ 에서 $n=50$ 까지의 액막두께와 비슷하다고 생각할 수 있다. 비산율은 분사량의 10%이하로 그림 5에서 그림 9까지의 결과와 같이 액막이 비정상적으로 유동하는 불안정한 상태에 비하 여 그림 12의 조건에서는 안정된 액막에 충돌 하기 때문에 상당히 낮은 결과가 얻어졌다. 즉, 액막 자체의 안정성 정도가 분무의 충돌에 의 한 2차분열의 발생 여부에 커다란 영향을 미치 고 있음을 나타내고 있다. 다시 말하면, 분무의 충돌에 의해 형성되는 액막은 충돌 직후에 상 당히 불안정한 상태에 놓여 있다고 추측할 수 가 있다. 안정된 액막의 두께가 두꺼워지면 비 산율은 저하하는 경향이 얻어졌다. 이것은, 액 막이 두꺼워지면 분무가 충돌판에 충돌하지 않 고 안정된 액막에 충돌하게 되기 때문에 분무 의 운동에너지가 액막에 흡수되어 비산율이 증 가하지 않는 것으로 사료된다. 이와 같이 충돌 판에 안정된 액막이 형성되어 있으면 액체 덩 어리의 2차분열이 일어나기 어렵기 때문에 앞 에서의 조건보다 비산율이 적어진다. 한편, 앞 의 실험조건에서는 충돌판에 이와 같은 안정된 액막이 균일하게 되는 현상은 실제적으로는 거 의 발생하지 않는다.

지금까지의 결과에 의하면, 흡기메니폴드 내 에 부착하는 액막에 대한 분무의 거동은 안정 된 액막에의 분무 충돌현상과는 다른 현상이 며, 또한 액막 자체의 2차분열이 액막 유동형 태에 크게 좌우됨을 나타내고 있다. 분사된 액

체는 충돌판에 많은 액체 덩어리가 발생하며, 도너츠 형상으로 넓어지고 난 후 수축해 액막 을 형성하지만, 그 수축운동에 의해 2차분열을 일으키는 것이 된다. 따라서, 다음에 분사되는 분무의 충돌은 그 수축 운동에 따른 2차분열을 촉진하는 작용에 영향을 미친다고 해석할 수가 있을 것이다.

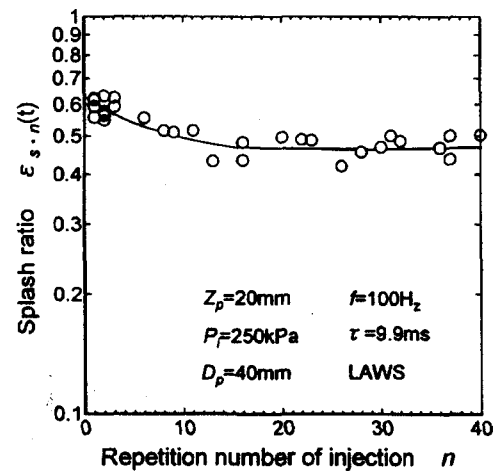


Fig. 9 Splash ratio at $\tau=9.9$ msec and $f=100$ Hz

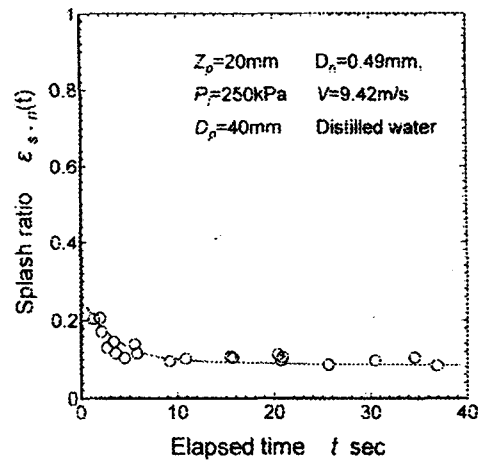


Fig. 10 Relationship between elapsed time splash ratio with hole nozzle⁽¹²⁾

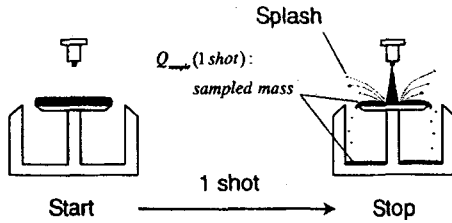


Fig. 11 Splash ratio on one-shot injection

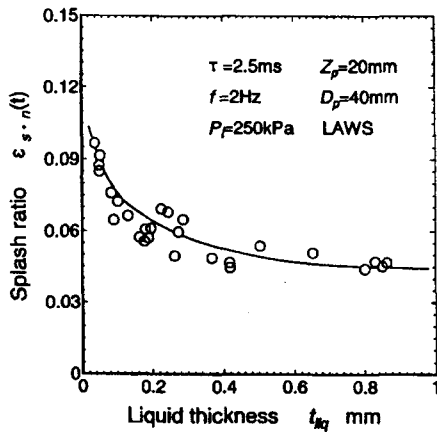


Fig. 12 Effect of stabilized liquid thickness on splash ratio

4. 결론

가솔린기관 포트분사용 EFI 인젝터를 이용하여 간헐분무를 만들어, 그 분무를 충돌판에 충돌시켜 액적의 형성과 분무의 비산특성을 조사하여 다음의 결과를 얻었다.

- (1) 충돌판에 충돌한 직후에 형성되는 액막은 불안정하며 2차분열이 일어나기 쉽다.
- (2) 가솔린과 연료 성분이 비슷한 LAWS를 간헐적으로 충돌판에 충돌시킬 경우에 비산율은 약 0.6부근이다.
- (3) 분사기간이 길어지면 액막 두께도 두꺼워져 비산율은 약 10%정도 저하한다.
- (4) 간헐분무의 분사기간이 긴 경우에는 연속분사와 같은 경향의 시간 경과를 나타낸다.

참고문헌

1. Keiso Takeda, et.al. : Mixture Preparation and HC Emissions of a 4-Valve Engine with Port Fuel Injection During Cold Starting and Warm-up, SAE Paper 950074, 1995
2. G. R. Lee and C. Morley, "Fuel-wall impaction as a mechanism for increased hydrocarbon emissions from fuel heavy ends", SAE Paper 952523, 1995.
3. Y. Matshi and K. Sugihara, "Sources of Hydrocarbon emissions from a small direct injection diesel engines", JSAE Review, Vol.7, pp. 4-11, 1986.
4. Keiso Takeda et al., SAE Paper, No.950074, 1995.
5. J. Senda, T. Kenda, M. Al-Roub, P. V. Farrell, T. Fukami and H. Fujimoto, "Modelling spray impingement considering fuel film formation on the wall", SAE Paper 970047, 1997.
6. H. Sindano and J. C. Dent, "Modelling of injected fuel film development and evaporation in a wall-wetting direct injection diesel engine", Int. Conf. On Combustion in Engines - Technology and Applications, ImechE, 1988.
7. L. Allocca, U. Amato, C. Bertoli and F. E. Corcione, "Comparison of models and experiments for diesel fuel sprays", Int. Symp. On Diagnostics and Modelling of Combustion in IC Engines", pp.255-261, 1990.
8. 金、他、"液体噴流の壁面衝突(第1報、衝突の挙動と液滴の飛散量)、微粒化、Vol.9, No.26, pp.10-17, 2000"D
9. Y.I. KIM and Masataka ARAI, "Droplets splash related with a wall impingement of liquid jet", Proc. of ICLASS-2000, pp.594-599"D
10. 金、新井、"壁面に衝突する間欠噴流の飛散特性"、微粒化、Vol.11, No.33, pp.1-9, 2002"D