

충돌부를 갖는 w-형 디젤엔진 연소실의 분무특성분석

Analysis of Spray Characteristics in w-shaped Diesel Engine Combustion Chamber with Impingement Lands

박 권 하*, 박 대 순**, 김 문 현***

K. Park, D. S. Park, M. H. Kim

ABSTRACT

This paper addresses to spray characteristics in w-shaped diesel engine combustion chamber which has impingement parts for 4 sprays injected from an injector. The two-dimensional shapes have been chosen to avoid the difficulties for analysing the spray dynamics in the real chamber. The simple shapes are reproduced with same geometries in vertical or horizontal sections through the impingement lands.

The spray developments are visualized with a high speed drum camera and shadowgraphy optical system, and the droplet sizes are measured by Malvern system. The detailed discussions are made for the two different combustion chamber shapes, which are new w-shape using spray wall impaction and general w-shape. The results show that the spray characteristics of the new shape are superior to those of the general w-shape.

주요기술용어 : Combustion Chamber(연소실), Spray Impaction(분무충돌)

1. 서론

디젤엔진은 예혼합 연소방식인 가솔린기관과 달리 고온 고압의 연소실내에 연료를 분사함으로써 연소하게 된다. 분사된 연료는 소량증발하여 주위공기와 섞이게 되는 데, 이러한 예혼합 부위에서 국부적으로 발화가 시작되며, 강도 높은 난류의 발생과 함께 연료액적들의 확산화염을 동반하면서 주연소를 하게 되지만, 분무중심의 고밀도부위는 충분히 연소되지 못하며 그대로 배출된다. 대책으로서 연소실내

의 공기유동을 충분히 형성시키거나 분사기 및 연소실형상을 최적화함으로써 분무연료가 공기와 잘 섞이며 연소실내에 고르게 분포할 수 있도록 하는 시스템이 연구되고 있다.

이러한 연구들중의 하나로 분사된 연료를 돌출부가 있는 연소실내에 충돌시킴으로서 연료를 미립화하고 연소실벽면에 퇴적되는 현상을 방지하는 시스템이 개발되고 있다. 본 연구에서는 이러한 시스템의 분무특성을 살펴보고자 한다.

분무충돌을 이용하는 연소실에 대한 연구는

* 정회원, 한국기계연구원

** 정회원, 숭실대학교 대학원

*** 정회원, 숭실대학교 기계공학과

단공노즐을 이용하는 연구와 다공노즐을 이용하는 연구로 나눌 수 있다. 단공노즐 시스템은 연료를 연소실중앙에 마련된 층돌부로 분사하여 분쇄시키며 층돌면 외곽으로 퍼져나가는 작은 액적들을 스퀴시유동과 함께 연소실내부로 유동시킴으로서 분사된 연료가 충분히 주위공기와 혼합되고 증발될 수 있도록 함으로서 연소성능의 향상을 가져오는 시스템이다.^{(1),(2),(3)}

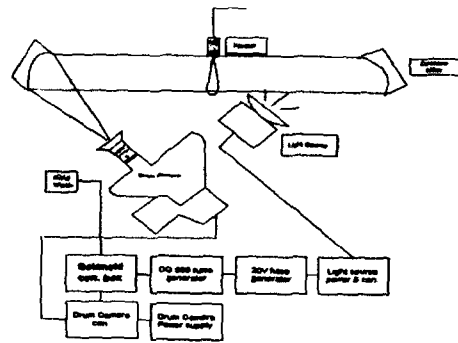
박과 Watkins^{(4),(5),(6),(7)}는 그들의 연속되는 논문에서, 분무층돌을 이용하는 5공 노즐을 사용한 디젤연소실시스템을 제시하고 이 시스템을 계산에 의하여 분석하였다. 또한 그들은 상기 시스템을 w-형 연소실에 맞추어 변화개량된 시스템을 제시하였으며⁽⁸⁾, 본 논문에서는 이를 분석하고자 한다.

그 외에 Ogura 등⁽⁹⁾은 4공 노즐을 사용하여 층돌부를 엔진헤드에 부착한 시스템을 보여주고 있다.

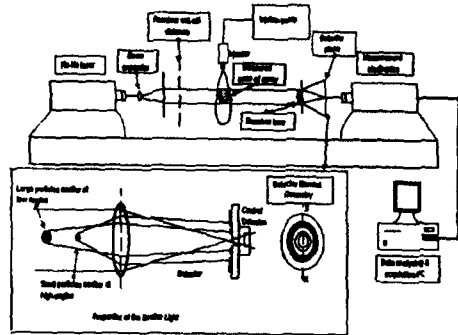
2. 실험장치 및 방법

분무화상취득을 위하여 Fig. 1(a)와 같은 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 연료펌프 구동부, 분사 시스템, shadowgraphy 광학계, 고속드럼카메라로 구성된다. 연료펌프는 4기통 분배형펌프를 사용하였으며, 펌프의 회전축을 DC모터와 커플링하여 타코미터로 회전수를 측정, 변화시킬 수 있도록 하였다. 연료펌프의 4개의 플런저중 한개의 플런저만 이용하였으며 나머지는 연료탱크로 재순환하도록 하였다. Shadowgraphy 광학계구성은 순간발광에너지가 100J이며 발광시간을 11ms까지 제어할 수 있는 광원을 이용하였으며, 초점거리 1480mm 인 오목거울을 2개 사용하여 평행광을 만들수 있도록 구성되었다. 연료분사와 광원을 동기시키기 위한 시스템은 분사펌프 레버작동의 신호를 DG535 time delay board를 이용하여 지연시킴으로써 분사시기와 광원의 발광시기를 동기시켰다.

분사특성분석을 위한 장치는 분사기를 개조하여 니들양정, 관로압력을 측정할 수 있도록 하였으며 분사율측정을 위한 장치도 제작사용



(a) Exp. apparatus for spray shape



(b) Exp. apparatus for drop distribution

Fig. 1 Schematic diagram of exp. apparatus

하였다. 관로압력은 압력게이지(AVL Co., 5QP6002)를 분사기와 관로의 연결부위에 설치하여 측정하였고, 니들양정은 마그네틱코아와 캡센서를 이용하여 측정하였다. 분사율 측정장치는 보쉬사의 장치와 동일한 원리로 제작하였다. Fig. 1(b)에서와 같이 분무의 액적분포는 광산란법을 이용한 Malvern시스템을 이용하였다. 발광부와 수광부를 Fig.1(a)의 오목거울이 있는 곳에 위치시켰으며, 발광부에서 2mW He-Ne laser를 출력하며 분무액적에 의하여 산란된 광을 수광부에서 받아드려 액적분포특성을 파악하였다. 측정범위는 직경10mm이다.

3. 분사계 특성

Fig. 2는 관로압력과 니들양정의 변화특성을 보여준다. 관로의 최대압력은 16MPa이고 분사노즐의 개시압력은 10MPa이다. 니들최대양정은 0.6mm이고 니들이 상승된후 3.4ms이후에

분무를 마치지만 1.0ms 이후 2.3ms의 짧은 후기 압력파에 의하여 2차분사되는 것을 알 수 있다. 이는 분사장치구성을 위하여 관로의 길이를 실엔진에서 보다 길게했기 때문으로 사료된다.

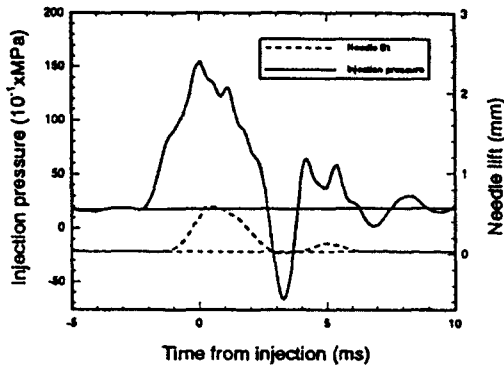


Fig. 2 Line pressure & needle lift

Fig. 3은 분사율의 시간에 따른 변화특성을 나타낸다. 전반적으로 관로압력과 비슷한 경향을 보여주며, 양정당 0.04g의 연료를 분사한다.

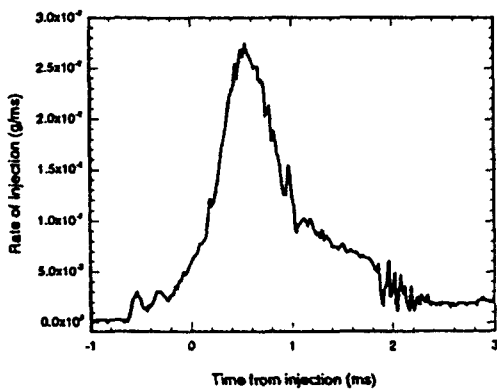


Fig. 3 Rate of injection

Fig. 4는 주위압력변화에 대한 분사노즐의 분무각도 변화를 보여준다. 분사초기 분무각도는 크게형성되고 있지만, 핀틀팁 각도가 0이기 때문에 분무각도는 비교적 안정적이며 9-15도 유지됨을 알 수 있다.

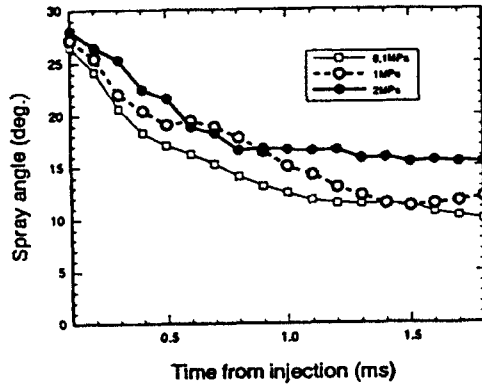


Fig. 4 Spray angle variation

Table 1은 분사노즐과 분사펌프의 사양을 나타낸다.

Table 1 Injection conditions

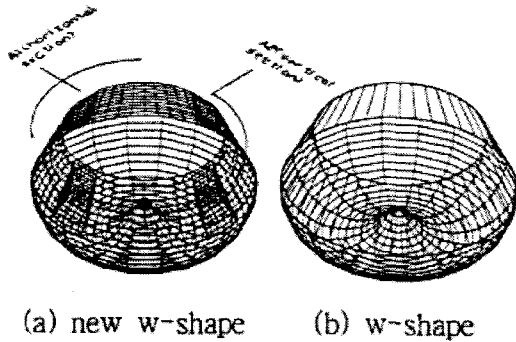
Inj. hole dia (mm)	1.0
Nozzle tip dia (mm)	1.0
Max. needle lift (mm)	0.6
Inj. Amount/stroke(g)	0.04
Motor speed (rpm)	1000
Openg press (Mpa)	13.0
Max. line press (MPa)	16.0

4. 실험조건 및 측정위치

4.1 충돌면을 갖는 신형식 w-형 연소실

박 등⁽⁴⁾에 의하여 제시되고 분석되었던 연소실은 시뮬레이션에 의하여 분무액적분포를 최적화 할 수 있도록 설계되었지만 제작이 어려우며 노즐의 중앙에 홀이 있는 5공노즐을 사용하여야 하는 등의 문제점이 있어, 그들은 이를 보완하여 보다 만들기 쉽고 많이 사용되고 있는 4공 노즐을 사용한 Fig. 5 (a)와 같은 시스템을 제시하였다. 충돌면의 크기와 위치는 박 등^{(10),(11)}에 의하여 실험적으로 분석한 결과에 의하여 설계되었다.

이 시스템을 분석하기 위하여 Fig. 5 (b)에 보여주는 일반적인 w-형 연소실을 도입하였으며, 그 결과를 신형식연소실의 결과와 비교함



(a) new w-shape (b) w-shape

Fig. 5 Combustion chamber shapes

으로써 분석하였다. 분석을 위하여 충돌면을 중심으로 하는 수평, 수직단면을 제작하였다.

4. 2연소실 단면과 측정위치

Fig. 6은 실험에 사용된 연소실단면으로 Fig. 5에서 보여준 연소실단면과 동일한 형상을 갖은 2차원단면을 보여주며, 10mm직경의 원은 액적크기측정부위를 나타낸다.

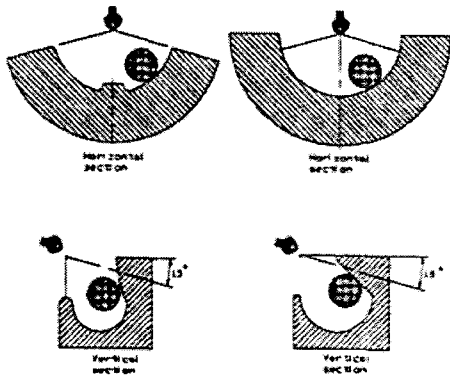


Fig. 6 Measuring position of drop size

분사노즐의 위치는 수직단면의 경우 중앙상부 기준위치를 중심으로 상단 3mm, 하단 6mm, 10mm로 설정하였으며, 수평단면의 경우 연료충돌점을 기준으로한 원의 중심으로 설정하였다.

충돌면이 없는 경우도 충돌면이 있는 연소실의 경우와 동일한 위치에서 분사될 수 있도록 설정하였다.

5. 실험결과 및 분석

5.1 분무특성

Fig. 7은 분무충돌을 동반한 신형식연소실에 대한 시간에 따른 분무진행현상을 나타낸다. 수평단면(section A1)의 경우 연소실내면의 돌출부에 분사연료가 충돌되어 부서지고 미립화된 액적들이 돌출부를 떠나 연소실내의 자유공간으로 퍼져가는 것을 알 수 있다. 수직단면(A2)의 경우에도 수평단면에서와 유사하게 연소실내벽에 퇴적되는 현상을 방지하면서 액적의 분포를 양호하게 하고 있다.

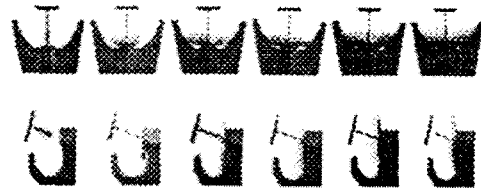


Fig. 7 Spray development of new shape

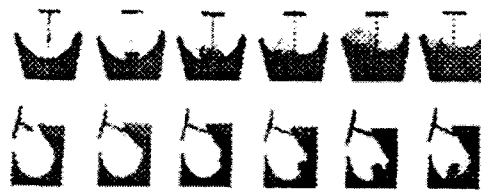


Fig. 8 Spray development of w-shape

Fig. 8은 충돌면이 없는 일반적인 w-형 연소실에 대한 분무특성을 보여준다. 수평단면의 경우 벽면에 충돌된 연료액적들이 충돌부에 그대로 쌓이게 되고 두꺼운 유막을 형성하여 계속적으로 분사되는 연료의 영향으로 큰액적들이 튀어올라가는 것을 보여준다. 수직단면의 경우는 w-형 연소실의 경사면에 충돌된 연료액적들이 경사면을 따라 미끄러져 내려가면서 액적들간의 결합에 의하여 점점 큰액적들로 뭉치면서 분무의 선단부분이 말려올라가는 것을 보여준다.

이상에서 보여주는 것 처럼, 신형식연진에서는 분사된 연료가 미리마련된 돌출부에 충돌하여 연소실내부에 적절히 분포되는 것을 보여주

지만, 일반적인 w-형 연소실의 경우는 분사된 연료가 연소실내면에 퇴적되면서 주위공기와 혼합이 악화됨을 알 수 있었다.

5.2 분무입경특성

Fig. 9와 Table 2는 각 경우에 대한 액적크기별체적분포와 평균직경(SMD)을 나타낸다. 앞 장에서 분석한 분무형상의 특성과 일치하는 결과를 보여준다. 충돌면을 갖는 신행식엔진의 경우에는 수평, 수직단면 모두 33 μ m이하의 평균 직경을 갖는 반면, 일반적인 w-형의 경우에는 수평단면의 경우 64 μ m, 수직단면의 경우 측정장비의 한계값(564 μ m)을 넘어가는 것을 알 수 있었다.

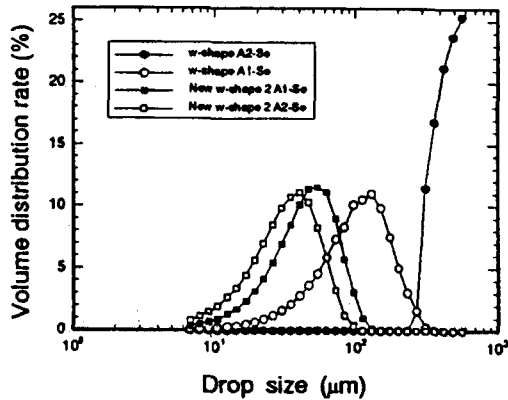


Fig. 9 Volume distribution of droplet size

Table 2 Drop sizes

Measuring section	New ω -shape	ω -shape
Section A1	29.57	64.27
Section A2	33.03	*

*: Over the measurement limit

5.3 분사위치변화에 따른 분무특성

Fig. 10은 신행식연소실에 대한 분사 시간변화에 대한 분사위치에 따른 분무특성을 보여준다. 분사가 기준설계된 위치에서 벗어나게되면 일반연소실에서와 같이 좋지못한 특성을 보여

준다. 분사위치가 연소실내부로 깊이 들어가는 경우에는 연소실코너에 분사되기 때문에 더욱 악화된 특성을 보여 준다.

한편 일반연소실의 경우에는 특별한 변화없이 좋지못한 경향을 보여 준다.

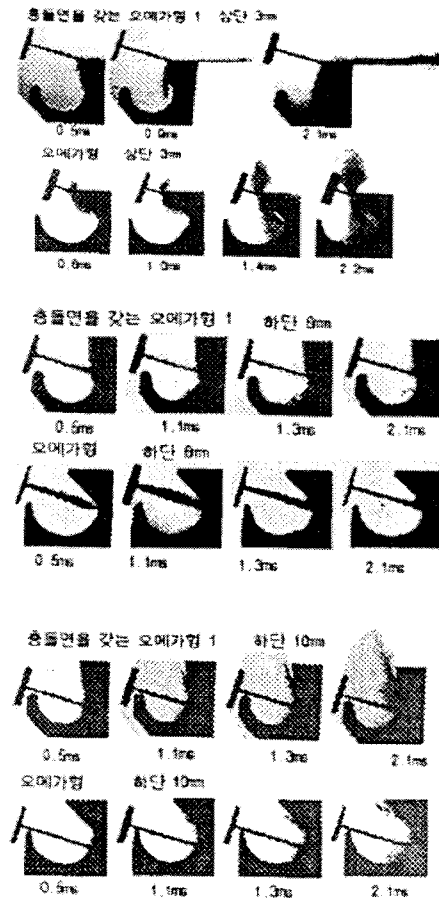


Fig.10 Position variation effect on spray

6. 결론

충돌을 이용하는 연소실 시스템에 대한 분무 특성을 분석한 본 논문은 다음과 같이 요약된다.

- (1) 충돌분무를 이용한 신행식 연소실의 경우 인료액적들이 연소실내부에 넓게 분포하는 반면, 일반 연소실의 경우 대부분의 분무액적들이 연소실내면에 퇴적된다.
- (2) 분무액적들의 입경도 신행식연소실의 경우 매우 작은 반면 일반연소실에서는 매우 크게

나타나는 것을 알 수 있었다.

(3) 분사위치가 설계된 적정점에 위치하지 않으면, 신형식 연소실의 경우에서도 연료분포특성이 매우 악화되는 것을 알 수 있었다.

(4) 이상의 결과에서 보여준 것 처럼, 분무의 충돌을 피할 수 없는 소형디젤엔진의 경우에는 연료의 벽면되적으로 연소성능이 악화되며, 이에 대한 대책이 요구된다. 분무의 충돌을 이용한 신형식엔진은 이를 방지하기 위한 매우 효과적인 방법으로 사료되며, 설계시 분무의 거동을 면밀히 검토하여 들출부를 적절히 설계함이 요구된다.

참 고 문 헌

1) S. Kato and S. Onishi, "New type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet(OSKA-D)", SAE 901618., 1990.
 2) S. Kato and S. Onishi, "Performance of Glow Plug Assisted Direct Injection Methanol Engine by Impingement of Fuel Jet(OSKA-F)", SAE 911769., 1991.
 3) S. Kato, S. Onishi, H. Tanabe and G. T. Sato, "Development of low NOx Emission Diesel by Impingement of Fuel Jet", SAE 921645., 1992.
 4) K. Park, D. M. Wang and A. P. Watkins, "A contribution to the design of a novel direct-injection diesel engine combustion system-analysis of pip size", Appl. Math. Modelling, vol. 17, pp. 114-124, 1993.
 (5) A. P. Watkins and K. Park, "Assessment and Application of a New Spray Wall Impaction Model", Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines, I.Mech.E, pp.1~10., 1996.
 (6) K. Park and A. P. Watkins, "An investigation of combustion chamber shapes for small automotive direct injection diesel engines employing spray impaction", Journal of Automobile Engineering, Proc Instn Mech

Engrs, vol. 210, pp261-272., 1996.

(7) K. Park and A. P. Watkins, "Comparison of wall spray impaction models with experimental data on drop velocities and sizes", Int. J. of Heat and Fluid Flow, vol.17, no.4, pp.424-438, 1996.

(8) K. Park, Y. I. Jeong and C. H. Kim, "New DI Diesel Combustion Chamber System Using Spray Impinged on Raised Lands", SAE 970048, 1997.

(9) M. Ogura and B. Lin, "A New Multi-Impingement Wall Head Diffusion Combustion System (NICS-MH) of a D.I. Diesel Engine", SAE 940196., 1994.

(10) 박대순, 김문현, 박권하 외, "충돌면 형상 및 위치 변화가 디젤분무에 미치는 영향에 관한 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회는문집, vol. 2, pp.499-505., 1996.

(11) 박권하, 박대순, 김문현 외, "신형식 디젤 연소실 시스템의 분무특성에 관한 고찰", 한국미립화학회 학술대회는문집, pp. 99-107., 1996.