

분무충돌을 이용하는 디젤연소실 설계를 위한 충돌면 분석

Analysis of Impingement Lands to Help Diesel Combustion Chamber Using Spray Impaction

박 권 하*

K. Park,

ABSTRACT

Most of the research of small engines to date focused on developing spark ignition engines occupied much parts. Recently the number of a small direct injection diesel engine applied in small cars has been increased and considered as a next generation power source for passenger cars because of its high efficiency. Therefore the combustion chamber becomes smaller and the fuel injection pressure goes higher, which makes fuel sprays impinged easily on the combustion chamber walls. When strong swirls are not induced, the fuel may not mix with air because of fuel deposition on the wall.

As a positive way, the combustion chamber systems which is using spray wall impaction has been introduced and assessed by an experimental or a simulate manner. In these systems the raised lands are positioned in the chamber for spray impaction in order to break up the fuel drops into much smaller and direct them into desirable direction.

This study addresses to the effects of the position and size of the raised land or glow plug to help the chamber design using spray wall impaction. The characteristics of the spray impinged on various lands are investigated and compared with each other. Then the chamber shapes are discussed with the characteristics and their proper position and size is proposed in any chamber volume.

주요기술용어 : Diesel Engine(디젤기관), Combustion Chamber Design(연소실 설계), Spray Impaction(분무 충돌), Impingement Land(충돌면)

1. 서론

에너지효율이 우수한 디젤엔진은 소형자동차에 적용이 늘고 있으며, 2000 년대의 중요한 차량동력원으로 제시되고 있다. 소형디젤엔진은 기관의 고속화와 함께 연료의 고속분사를 요구하게 된다. 결과적으로 고속분사된 연료는 연소실 벽면에 충돌하여 퇴적됨으로서 주

위공기와의 혼합 및 연료증발이 어렵게 된다. 이러한 비효율적인 현상을 해결하는 방법으로 디젤분무를 미리 마련된 충돌면에 충돌시켜 분무의 코어를 분열시키며 평균역적의 크기를 적게하고 분무의 방향을 원하는 방향으로 바꾸는 연구가 최근 들어 진행되고 있다.

Park 등(1,2)은 5 개의 분공를 갖는 직접분사식 디젤엔진에서 각 분무마다 적절히 마련

* 한국기계연구원 동력시스템연구부

로 디젤분무를 미리 마련된 충돌면에 충돌시켜 분무의 코어를 분열시키며 평균액적의 크기를 적게하고 분무의 방향을 원하는방향으로 바꾸는 연구가 최근 들어 진행되고 있다.

Park 등(1,2)은 5 개의 분공를 갖는 직접분사식 디젤엔진에서 각 분무마다 적절히 마련된 충돌면에 분사된 연료를 충돌시켜 분열시킴으로써 연료가 연소실내부에 적절히 분포하고 주위공기와 잘섞이도록 하는 연구를 하였으며, Kato, S. and Onishi, S.(3,4,5)는 그들의 논문에서 하나의 분공으로 분사되는 연료를 돌출부에 충돌시켜 연료가 연소실내부에 골고루 분포할 수 있도록 만든 시스템을 보여주고 있는데, 실험결과로서 디젤분진의 감소와 함께 NOx 의 동시 저감을 보여주고 있다. Ogura, M. and Lin, B.(6)는 4 개의 분공을 가지고 있는 연소실에서 충돌을 이용하여 여러 가지의 충돌면 형상에 대하여 분석하고 있다.

글로플러그에 분무연료를 충돌시켜 연소효율을 향상시키는 연구는 자연발화가 어려운 메탄올엔진에서 많이 이용되고 있으며, 글로플러그 주위로 연료를 분무하여 고온으로 유지되는 플러그의 도움을 받아 쉽게 점화되도록 하고 있다. Kusaka 등(7)은 분무공의 형태를 슬릿으로 하였으며 슬릿의 위치를 분무가 플러그로 향하게 하여 플러그에 부딪치면서 연소가 시작하도록 설정하였으며, Saito 등(8)은 저장형 글로플러그를 고안하여 플러그 주위에 실드를 두어 플러그의 온도를 높게 유지하며 동시에 연료가 모여들도록 하고 있다. 또한 Nakashima 등(9)은 분사기에서 글로플러그까지의 거리가 미치는 영향을 분석하였는데 플러그를 분사기에 가까이 유지함으로써 분무 충돌거리를 가까이 하는 것이 연소효율 및 배기저감에 효과가 있는 것으로 보고하고 있다. 본 연구에서는 이러한 분무충돌을 이용하는 디젤연소실 설계에 있어 최적의 충돌면 위치와 크기 및 분무특성에 관한 자료를 제공하고자 분무의 수직벽면

충돌, 경사면 충돌 및 글로플러그 충돌에 관하여 분석한다.

2. 실험장치 및 분사조건

분무화상취득을 위하여 Fig. 1 과 같은 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 연료펌프 구동부, 분사 시스템, 섀도그래피 광학계, CCD 카메라와 이미지 프로세싱 장치, 데이터 취득 및 처리장치로 구성된다. 연료펌프는 4 기동 분배형펌프를 사용하였으며, 펌프의 회전속을 DC모터와 커플링하여 타코미터로 RPM을 측정, 변화시킬 수 있도록 하였다. 연료펌프의 4 개의 플런저중 한개의 플런저만 이용하

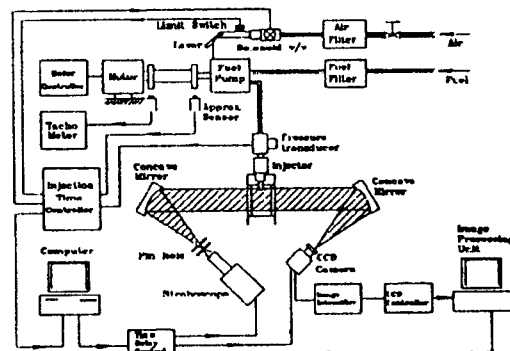


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

였으며 나머지는 연료탱크로 재순환하도록 하였다. 섀도그래피 광학계구성을 위하여, 점광원으로 스트로보스코프를 이용하였으며, 직경 6mm 인 핀홀과 촛점거리 1480mm 인 오목거울을 2 개 사용하여 평행광을 만들어 실험하였다. 분무 화상 취득을 위하여 일본 Hamamathu 사의 CCD 카메라, 화상증폭장치, 이미지 처리장치를 사용하였으며, PC 와 PCL-830 시간지연장치를 이용, 스트로보스코프와 CCD 카메라를 동기하여 작동시켰다. 정적분무실은 여러형태의 벽면충돌부를 거리에 따라 위치시킬 수 있도록 하였고, 글로플러그와 인젝터를 실제 연소계의 부연소실 형상을 고려하여 배치하였으며, 분무충돌을 위하여 글로플러그의 길이를 조절할 수 있게 하였

다. 분무실의 기밀을 유지하기 위하여 가시장 접촉면에 O 링과 테프론을 동시적용하였으며, 질소를 공급하여 분위기압력을 최대 2.0MPa 이상 유지할 수 있도록 제작하였다.

Table 1. Injection conditions

	Values
Inj. hole dia (mm)	1.0
Nozzle tip dia (mm)	0.5
Max. needle lift (mm)	0.71
Motor speed (rpm)	1000
Open'g press (MPa)	13.0
Max. line press (MPa)	16.0

분무의 평균직경(SMD)는 Malvern 장치를 이용하였다. 실험에 사용한 분사노즐 및 분사 펌프의 조건은 Table 1과 같으며, 핀틀형 분사노즐의 형상은 Fig. 2와 같다. 분사압력을 측정하기 위하여 인젝터상단부에 동압측정용 압력게이지를 설치하여 데이터 취득 및 처리 장치를 이용, 전류신호를 압력신호로 변환시켜 판로의 동압을 측정하였다. Fig. 3은 분사압력의 변화를 보여준다.

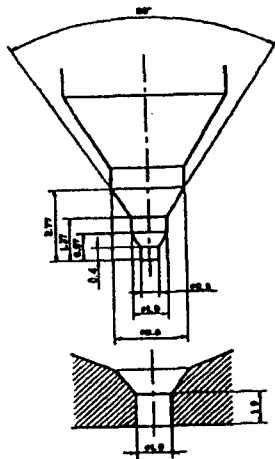


Fig. 2 Nozzle tip profile

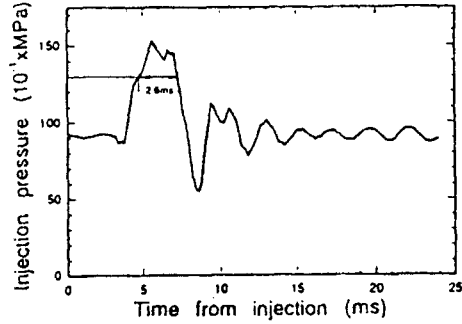


Fig. 3 Injection pressure variation

3. 실험조건 및 방법

3.1 벽면충돌

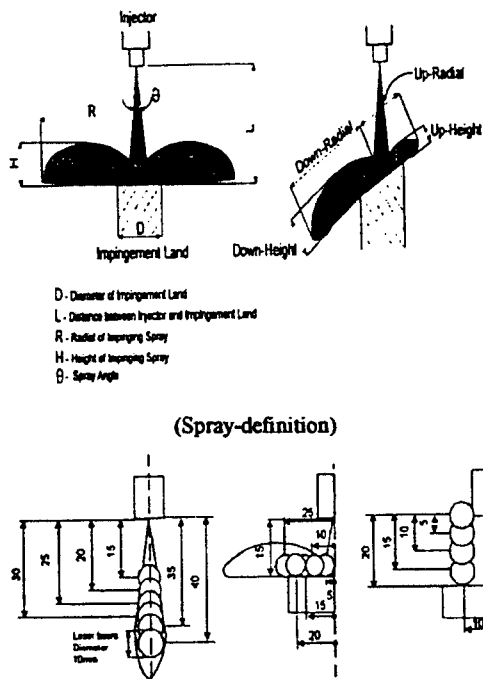
충돌벽면의 위치와 형상에 따른 분무충돌 특성을 파악하기 위하여 분사노즐의 선단으로부터 충돌면까지의 거리를 5, 10, 15, 20mm, 충돌면의 지름을 2mm에서 40mm까지 변화시키면서 실험하였으며, 경사각의 효과를 파악하기 위하여 0, 15, 30도의 경사면을 선택하였다. Table 2는 실험조건을 보여준다. Fig. 4는 충돌분무의 형상정의와 분무입径의 측정 위치를 나타낸다. 분무화상을 취득하기 위하여 꾸민 본 실험장치는 매회 분사에 있어 어느 한 순간의 분무화상을 취득할 수 있다.

Table 2 Test conditions

(a) Normal impaction			
Ambient Press(MPa)	Impaction dist (mm)	Land dia(mm)	
1	5	2,4,6,8,10	
1	10	2,4,6,8,20	
1	15	2,4,6,8,12,30	
1	20	2,4,6,8,16,40	

(b) Angled Impaction			
Ambient press (MPa)	Impaction angle (deg)	Impaction dist (mm)	Land dia (mm)
1	0,15,30	5	4,6,8
1	0,15,30	10	4,6,8
1	0,15,30	15	4,6,8
1	0,15,30	20	4,6,8

(c) Glow plug impaction	
Plug position	Ambient press (MPa)
No impaction	1.0, 1.5, 2.0
Part impaction	1.0, 1.5, 2.0
Full impaction	1.0, 1.5, 2.0



(a) Free spray measuring position (b) impinging spray measuring position
 Fig. 4 Spray configuration and SMD measurement position

따라서 같은 조건하에서 시간을 지연시켜 반복 실험을 한 후에 분사 후 시간의 경과에 따라 분무화상을 나열함으로써, 전 분무기간의 분무 화상을 취득하는 효과를 얻었다. 분사개시의 시점은 연료펌프 회전축의 일정 각도에 위치한 근접센서에서 발생하는 펄스 신호를 PC에서 검출, 기준으로 하여 화상 취득시기의 지연을 통해, 노즐선단에서 분무가 최초로 발견되는 시점을 분사개시 후 0.1ms로 설정하였다. 분무현상을 연속적으로 가시화하기 위해서, 연료펌프의 기준 펄스신호를 취득하여 PC를 이용, 분사개시 후 CCD 카메라와 작동시기를 동기, 지연시킴으로써 분무의 성장 화상을 취득할 수 있었고, 각각의 시간대를 5회 이상 반복 화상을 취득하여, 분무 도달 거리를 합산, 평균을 구하였다. 분무화상 취득은 분사개시후 0.1ms 혹은 0.2ms 간격으로 노즐팁에서 분무선단이 나타나는 분무초기부터 분무가 노즐팁에서 떨어져나가

는 분무말기까지 이루어졌다. 연료펌프의 회전수는 1000rpm으로 설정하였다. 충돌분무의 입경은 대기압상태의 자유분무와 충돌분무에 대하여 동일한 거리 시간에서 측정, 비교하였다.

3.2 글로플러그 충돌

글로플러그의 위치에 따른 충돌효과를 보기 위하여, 글로플러그의 위치를 변화시켜 분무가 플러그에 충돌하지 않는 경우, 분무의 대칭축이 플러그의 끝단을 거치는 경우, 분무가 플러그에 전부 충돌하는 경우의 각각에 대해 분위기온도는 일정하게 유지한 상태에서 분위기압을 1.0MPa, 1.5MPa, 2.0MPa로 변화시키며 실험을 행하였다. Table 2(c)는 실험조건을 나타낸 것이다. 분무화상은 벽면충돌에서의 동일한 방법으로 수행되었다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 수직면충돌시의 분무특성

Fig. 5는 충돌면 지름 6mm에서 충돌면과

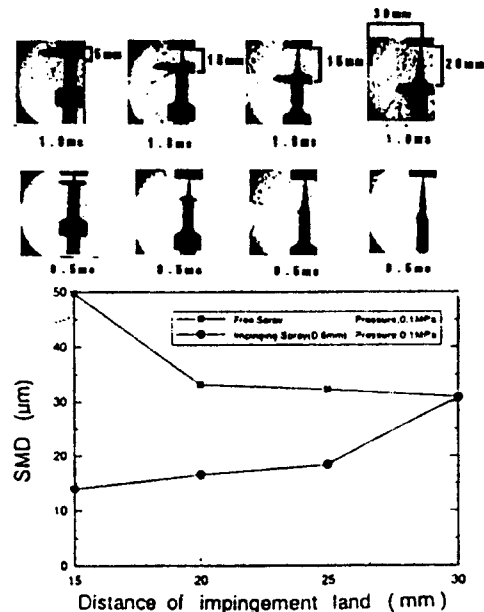


Fig. 5 Spray distribution and SMD with impaction distance variation

분사노즐의 거리변화에 따른 분무특성을 나타낸 것이다. 충돌면 거리 L=5, 10, 15, 20mm에서 측정되었으며 분무가 벽면에 부딪친 후 0.5ms, 1.0ms 일 때 분무거동과 SMD를 나타낸 것이다. 충돌부가 멀어질 수록 분무의 반경방향 퍼짐이 둔감하게 되며, 폭방향으로는 증가함을 알 수 있다. 분무입경(SMD)은 충돌점에서 10mm 떨어진 점에서 측정되었으며

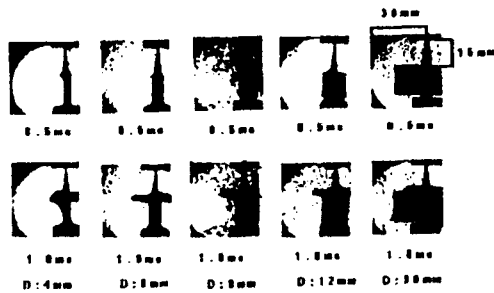
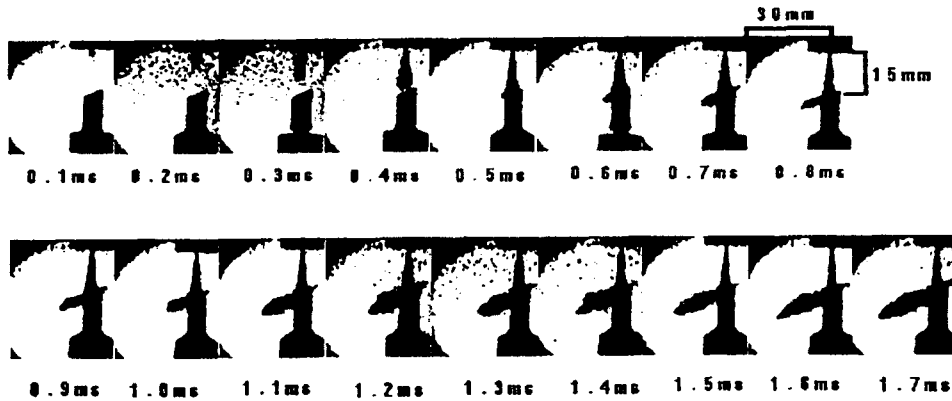


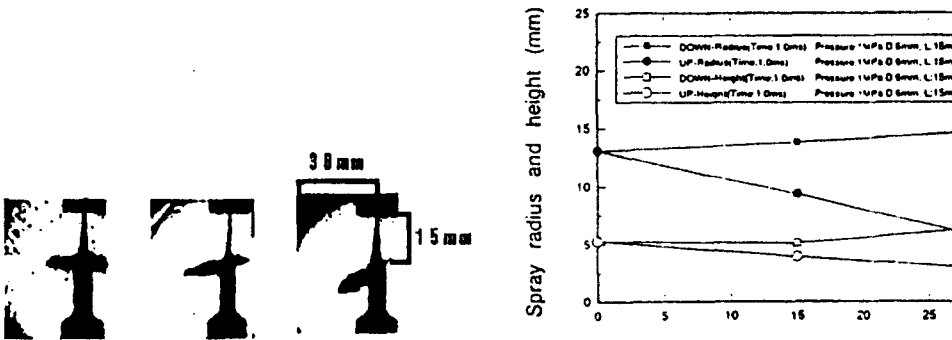
Fig. 6 Spray distribution with land size variation

동일한 거리에서 측정된 자유분무의 값과 비교되었다. 충돌면의 거리가 5mm 일때 충돌후 분무입경은 자유분무의 입경(SMD=0.05mm)보다 4배가 적은 값(SMD=0.012mm)을 갖음을 알 수 있었다. 이는 고속충돌에 의한 효과가 매우 큼을 나타낸다. 충돌면의 거리가 증가함에 따라서 그 효과가 줄어드는 것을 보여주는 데, 거리 20mm가 되면 충돌면에 의한 분무의 2차 분열효과가 거의 없는 것으로 판단된다.

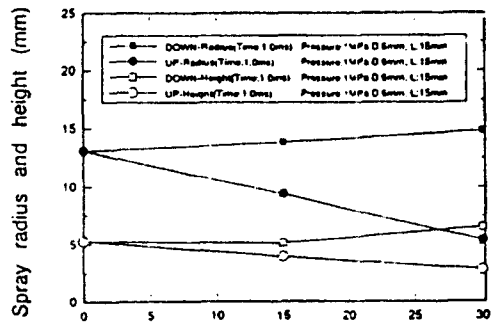
충돌면의 크기에 따른 영향을 알아보기 위하여 일정한 거리에서 충돌면의 지름변화에 따른 충돌분무를 실험하였다. Fig. 6은 15mm 거리에서 충돌부의 지름을 4mm에서 30mm까지 변화시키면서 측정된 분무특성을 보여준 것이다. 충돌부의 지름이 4mm인 경우 충돌된 분무액적들이 반경방향으로 중분



(a) Spray development at angle 30deg



(b) Spray distribution at angles 0, 15, 30deg



(c) Impaction spray development

Fig. 7 Spray development with angle variation

히 퍼지지 못하지만 충돌면의 상하방향으로 넓게 퍼지는 것을 알 수 있었다. 이는 노즐로부터 분사된 액적들에 의하여 발생한 주위공기의 제트유동의 영향에 의한 것으로 생각된다. 충돌면 지름의 증가와 함께 상하방향의 퍼짐이 감소하며 반경방향의 분무퍼짐이 증가하지만, 8mm 이상이 되면 더 이상의 증가가 없음을 알 수 있다.

4.2 경사면 충돌시의 분무특성

Fig. 7은 분무의 경사면충돌에 대한 분무특성을 나타낸 것이다. Fig. 7(a)는 충돌면거리 15mm, 경사각 30도에서 시간경과에 따른 분무의 형상을 보여주며, Fig. 7(b),(c)는 동일한 거리에서 충돌부의 경사각도에 따른 충돌분무의 형상변화와 퍼짐의 정도를 보여준다. 경사가 없는 수직충돌의 경우 좌우대칭을 유지하며 충돌액적들이 퍼지는 반면, 충돌부의 경사각이 증가하면 경사면을 따라 분무가 넓게 퍼짐을 보여준다. 경사면위로는 분무의 퍼짐이 급격히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 경사각의 증가와 함께 분무의 상하방향의 퍼짐이 증가하는 것을 알 수 있었다.

4.3 글로플러그 충돌시의 분무특성

주위공기의 압력이 1.0MPa인 경우의 플러그 충돌에 의한 분무특성변화를 살펴보기로 한다. Fig. 8에서 보여주는 것처럼, 글로플러그와의 충돌이 없는 경우 분무가 좌우대칭을 유지하면서 빠른 속도로 정적분무실 벽면에 충돌한다. 착화시기를 분무후 약 1.0ms로 볼 때 연소가 시작되기 벌써 전부터 분무가 연소실벽면에 충돌하여 유막을 형성하게 됨을 알 수 있다. 이는 현재 상용엔진의 연소실의 경우이며, 이 경우 연소가 시작되기전에 분무연료의 많은 부분이 연소실 내면에 퇴적됨으로서 열효율의 악화와 미연가스의 배출이 많을것으로 예상된다.

Fig. 9는 글로 플러그 선단이 분무의 중심선과 일치하는 경우이며, 분무된 연료는 대칭

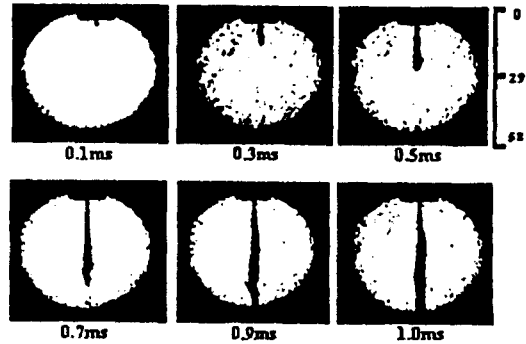


Fig. 8 Spray development without plug

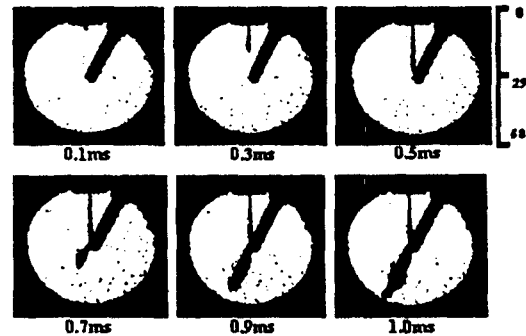


Fig. 9 Spray development with part impaction

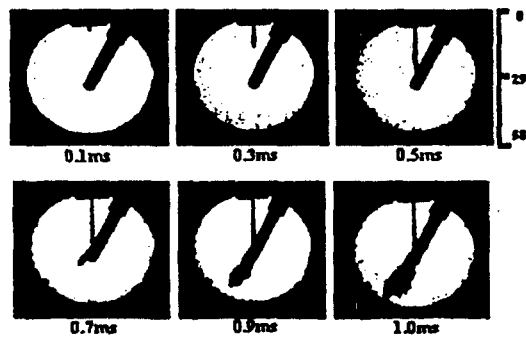


Fig. 10 Spray development with full impaction

축을 기준으로 하여 반은 글로플러그에 충돌하며, 나머지는 충돌없이 곧바로 연소실 아래로 내려가는 경우이다. 분무의 시작조기는 플러그가 없는 경우와 일치하지만, 0.5ms 후 분무가 플러그선단에 부딪치면서 초기에 가지고 있던 모멘텀을 소실하여 분무흐름의 속도가 감소하게 되며, 충돌된 분무가 충돌되지 않은 분무의 영향을 받아 전체적으로 아래

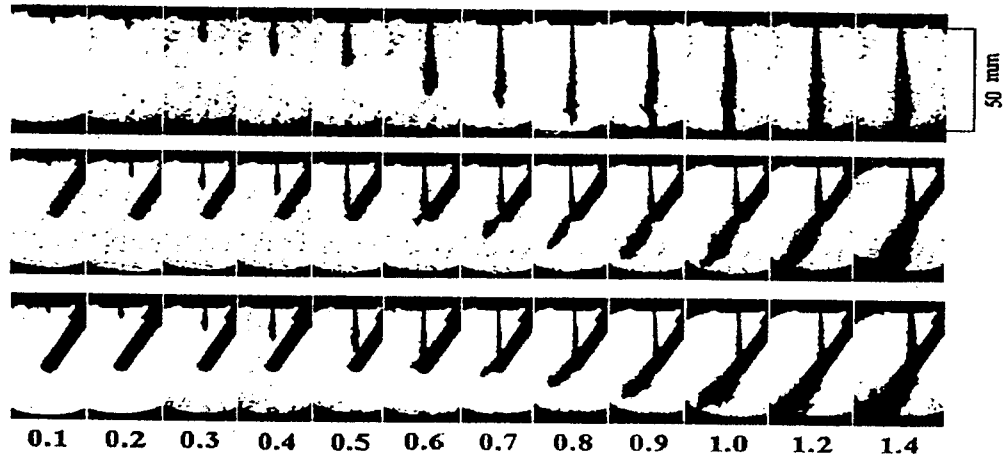


Fig. 11 Spray development with time from injection

방향으로 휘어져 진행함을 알 수 있다.

Fig. 10, 11는 플러그를 충분히 길게하여 분무 연료가 전부 글로플러그면에 부딪치도록 설치한 경우를 보여주고 있다. 분무가 플러그에 충돌된 후 플러그 좌우로 퍼지면서 전방으로의 진행이 현저히 저하됨을 알 수 있다. 충돌 직후 분무연료는 충돌면을 따라 퍼져가지만 시간이 지나면서 플러그 하면으로 분포됨을 알 수 있다. 이는 원형의 충돌부 형상과 관련되는 것으로 사료되며, 플러그의 정점에 부딪치지 않은 분무연료는 플러그의 하면으로 계속 발달함을 보여준다.

분위기압이 1.5MPa인 경우, 전반적으로 분위기압이 1.0MPa인 경우와 유사한 양상을 보인다. 그러나, 분무의 진행속도는 다소 둔화되어 분사개시후 같은 시간대에 분무 도달 거리가 짧아졌으며, 이는 분사압에 대한 분위기압의 상대적인 비가 증가함으로써 밀도가 높은 주위 공기를 뚫고 분무가 진행함에 있어 더 많은 운동량이 소모되어 진행속도가 느려진 것으로 사료된다.

분위기압이 더욱 증가하여 2.0MPa인 경우에는 1.0MPa, 1.5MPa인 경우와 비교하여 분무 도달거리는 더욱 짧아졌음을 알 수 있다. 분사 종료 후에 분무는 분사실 벽면에 도달,

충돌하여 분열된 것도 있지만, 미치 벽면에 도달하지 못하고 오랜 기간을 부유하며 분무구름을 이루고 있는 것이 관찰되었다. 이는 진행중인 분무 구형액적에 작용하는 항력의 영향과 분위기를 구성하고 있는 기체와의 마찰로 인하여 분무가 지닌 모멘텀의 대부분을 소실하였기 때문이라고 사료 된다.

5. 분무충돌을 이용한 연소실

분무충돌을 이용하는 연소실에서 충돌부의 위치와 형상이 미치는 효과에 대하여 알아보기로 한다.

깊이가 얇고 넓은 연소실을 적용한 직접분사식 디젤엔진으로 OSKA형의 분무충돌을 이용하는 경우 충돌한 액적들이 충분히 퍼지는 것이 중요하며 따라서 충분히 넓은 충돌부의 지름이 요구된다. 본 연구에서 사용한 분사기라면 8mm가 적당하다. 주의할 점은 충돌면의 직경이 더 이상 커지는 경우에도 분무는 더 멀리 퍼지지 않게 되며 충돌분열된 액적들이 벽면에 퇴적되는 좋지 않은 영향을 줄 수 있기 때문에 적정 크기의 선택이 중요하다.

연소실이 깊으며 좁은 경우로 Park &

Watkins 형의 연소실을 설계하는 경우에는 중심부의 충돌면을 가급적이면 적게하며 분사기와 가깝게 위치시키는 것이 필요하다. 본 실험과 같은 조건이라면 충돌부 직경을 4mm로 유지하고 거리를 분사노즐로부터 10mm 이내로 유지하는 것이 바람직하다. 충돌면이 멀어지면 충돌에 의한 2차액적분열효과가 적어지기 때문이며, 충돌면의 크기를 작게하는 것은 분무의 퍼짐이 충돌면 부근에서 상하로 충분히 넓게 퍼지게 하기 위함이다.

알뜰연료를 사용하는 경우나 소기효율이 좋지않은 포퍼벨브형 2행정기관외의 부연소실형 간접분사식 디젤엔진에서는 연료의 글로플러그 충돌을 이용하는 것이 바람직하다. 플러그에 충돌된 연료는 플러그 좌우로 퍼짐으로서 전방으로의 진행이 둔화되어 연료의 벽면퇴적을 방지할 수 있으며 플러그의 고온을 이용할 수 있기때문에 연료의 점화를 쉽게 한다. 일반적인 선회유동을 이용하는 연소실의 경우에도 글로플러그 충돌을 이용하면 분무연료가 충분히 공기와 섞이게 됨으로 부연소실 출입구를 크게하여도 연소가 충분히 진행될 것으로 사료되며, 결과적으로 공기의 출입손실을 줄일 수 있을 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 분무충돌을 이용하는 디젤엔진의 연소실설계를 위하여 각종형태의 충돌형상과 위치에 따른 충돌분무의 특성을 분석하였다. 다음은 본 실험조건에서의 충돌분무의 주요특성을 요약한 것이다.

1) 벽면충돌에 의한 액적분열효과는 충돌면 거리에 반비례한다. 위치가 5mm인 경우 평균입경이 1/4로 줄어들며 충돌면 거리가 20mm 이상이면 충돌효과가 없다.

2) 충돌면이 작은 경우(직경 4mm)에는 분무의 퍼짐이 반경방향으로 둔화되면서 충돌면 주위에 넓게 퍼짐을 알 수 있는데 이는 깊고 좁은 연소실의 설계에 이용되는 것이 바람직

하다.

3) 충돌면의 직경이 8mm 이상이면 충돌분무의 반경방향퍼짐이 더 이상 증가하지 않으면서 높이 방향으로 계속둔화 되는 것을 보여주는 데, 이는 그 이상의 충돌면크기는 좋지 않음을 보여준 것이다.

4) 경사면의 충돌에서는 경사각의 증가와 함께 분무가 위.아래로 넓게 퍼져나감을 보여주는 반면, 전방으로의 퍼짐증가가 둔화됨을 보여준다. 이는 분무의 연소실 측면충돌에 고려되어야 한다.

5) 글로플러그 충돌은 분무의 퍼짐이 플러그의 좌우로 넓게 퍼지면서 전방으로의 퍼짐이 줄어드는 것을 보여주는 데, 이는 부연소실의 형상을 결정하는 데에 이용될 것이다.

참 고 문 헌

- 1) Park, K., Wang, D.M. and Watkins, A.P. '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.
- 2) Watkins, A. P. and Park, K., 'Assessment and Application of a New Spray Wall Impaction Model', Computers in Reciprocating Engines and Gas Turbines, I. Mech. E, pp.1 ~ 10., 1996.
- 3) Kato, S. and Onishi, S., 'New type of Diesel Engine by Impingement of Fuel Jet (OSKA-D)', SAE 901618., 1990.
- 4) Kato, S. and Onishi, S., 'Performance of Glow Plug Assisted Direct Injection Methanol Engine by Impingement of Fuel Jet (OSKA-F)', SAE 911769., 1991.
- 5) Kato, S., Onishi, S., Tanabe, H. and Sato, G.T., 'Development of low NOx Emission Diesel by Impingement of Fuel Jet', SAE 921645., 1992.

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

7) Kusaka, J., Daisho Y., Saito T. and Kihara R., 'Controlling Combustion Characteristics using a 슬릿 Nozzle in a Direct-Injection Methanol Engine', SAE 941909., 1994.

8) Saito, F., Takamori, Y. and Saito, H., 'Combustion Characteristics of a Reservoir Type Glow Plug Assisted Methanol-Fuel Direct Injection Diesel Engine', Mazda Tech., pp.121 ~ 129., 1990.

9) Nakashima, N., Katafuchi, M., Nakajima, H and Imoto, K., 'Development of Glow-Assisted Methanol Engine for Light-Duty Trucks', Conf. on Automotive Tech in Japan, 9302439, pp.113 ~ 116., 1993.