

벽면에 충돌하는 디젤분무의 거동

Behavior of a Diesel Spray Impinged on a Wall

조 일 영* 오 재 건*

I. Y. Cho J. K. Oh

ABSTRACT

In the case of analyzing the combustion phenomena in a small high speed DI diesel engine, one demands the experimental results of the impinging spray on the wall as a basic characteristics. In the experiments presented here, diesel fuel oil was injected into a high pressure chamber in which compressed air at room temperature was charged. The single spray was impinged on a flat wall. The growth of the spray was photographed with transmitted light or scattered light. The effect of the spray axis angle to the wall on the impinging spray was revealed. Finally, the experimental results was presented, that is, the radius and height of the impinging spray was influenced by above mentioned variable.

주요기술용어 : DI Diesel Engine(직접분사식 디젤기관), Spray Combustion(분무연소),
Impinging Spray(충돌분무), Atomization(미립화)

1. 서론

직접분사식 디젤기관은 연소실의 구조가 간단하고 냉각손실이 적어 열효율과 시동성이 좋은 관제로 점차 고속·소형화되는 추세에 있다. 이렇게 연소실의 용적이 소형화됨에 따라 필연적으로 피스톤 캐비티의 직경이 작아지며 연료분무는 여러가지 형태로 벽면의 간섭을 받으면서 충분히 미립화되지 않은 상태로 피스톤 벽면에 충돌하게 된다. 연료분무의 벽면충돌은 HC배출의 원인이라고 여겨지고 있으며⁽¹⁾ 연료분무가 피스톤 벽면에 충돌한 후에 공기와의 혼합과정의 중요성이 재인식 되고 있다.^{(2),(3),(4)}

직분식 디젤기관에서는 일반적으로 다공노즐이 사용되며, 연료를 미립화하여 연소시키는 분

무연소방식이 널리 사용되고 있다. 이것은 분무액적의 표면적을 증가시켜서 증발 및 연소를 촉진시킬 수 있고 동시에 쉽게 연소를 제어할 수 있기 때문이다. 기관의 출력성능의 향상 및 유해배출가스의 저감을 위해서는 디젤분무의 연소기구를 명확하게 파악해야 하며, 기본이 되는 것은 역시 디젤분무의 특성을 명확하게 해명하는 것이라고 할 수 있다. 그러나, 이와 같은 디젤연료의 분무현상은 기액 2상류의 비정상과정으로서 매우 복잡하므로 분무특성을 해명하는 데에는 측정방법 등에 많은 어려움이 있다.

종래, 벽면충돌분무에 대한 연구는 상온고압하에서 투과광감쇄법을 이용하여 분무내의 액적밀도를 측정하거나⁽⁵⁾ 혹은 분무의 성장과정을 조사한 결과가⁽⁶⁾ 보고되고 있지만, 실제기관의 실린더내에서는 끊임없이 여러조건들이 변동하는 고온고압의 분위기중의 3차원 곡면형상을 가지

* 두원공업전문대학

는 피스톤 캐비티 혹은 실린더벽에 연료분무가 충돌하게 되기 때문에 이러한 경우의 분무내부의 농도분포나 입경을 측정하기란 대단히 어렵고, 이러한 벽면충돌 디젤분무의 구조 및 분무내의 혼합과정 등의 미립화기구는 아직도 완전하게 밝혀지지 않은 실정이다. 이러한 견지에서 볼 때 금후 벽면을 따라 성장하는 디젤분무의 명확한 거동해석이 필요할 것으로 생각한다.

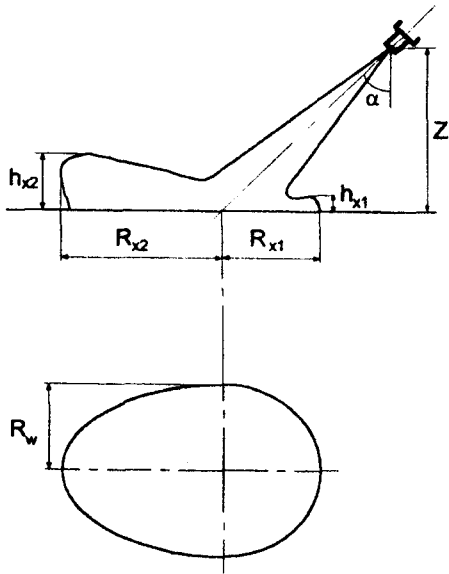


Fig. 1 Diagram of impinging spray shape

따라서, 본 연구에서는 이러한 벽면에 충돌하는 디젤분무의 특성을 명확하게 조사하는 것을 목적으로 하여, 먼저 Fig. 1과 같이 노즐로부터 일정한 거리에 위치한 상온의 평판벽면에 충돌하는 디젤분무를 벽면과 이루는 분사각도를 변화시키면서 사진촬영하여 충돌후 분무의 거동을 조사한 실험결과를 보고한다.

2. 실험장치 및 실험조건

Fig. 2에 본연구의 실험장치의 계통도를 나타낸다. 고압용기의 양측에는 투과광에 의한 사진촬영이 가능하도록 강화유리를 설치하고, 용기 내부에는 노즐출구에 대하여 분사각도를 조절할 수 있는 평판의 벽면을 설치하였다. 이 벽면은

소형·고속 디젤기관의 피스톤재질을 고려하여 알루미늄판을 사용하였고 표면이 연료에 적셔진 상태로 실험하였다. 또한 벽면하방의 위치에서 충돌분무의 반경방향 확산을 촬영할 경우에는 투명한 아크릴소재의 벽면을 사용하였으며, 사전에 분무가 벽면의 재질에 의한 영향을 받지 않음을 확인하였다. 고압용기는 공기분배에 의해 압력조절밸브를 거쳐 가압된다. 용기내의 압력(배압)은 버어둔관식 압력계에 의해 측정하고 안전을 위하여 용기내의 압력이 1.5 MPa이상 올라가지 않도록 안전밸브를 설치하였다. 실험후에는 별도의 배기밸브를 개방하여 용기내의 가스 및 분사된 연료를 배출시켰다.

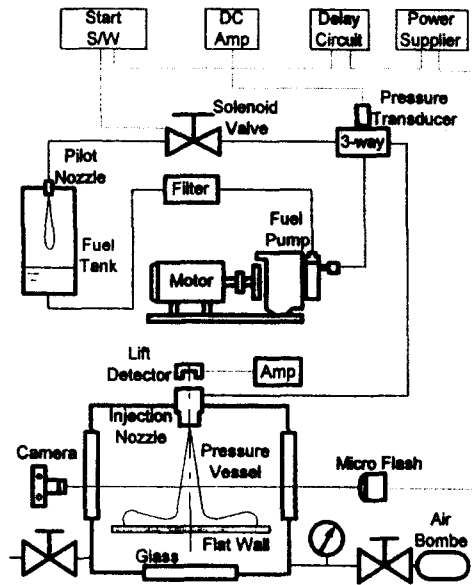


Fig. 2 Schematic diagram of Experimental apparatus

분사노즐은 고압용기 상방에 분사방향이 수직하게 되도록 설치하고, 연료는 전동모터로 구동되는 분사펌프에 의해 가압되어 고압파이프 및 3방향이음부를 거쳐 용기내에 분사된다. 이 분사계는 실험시 이외에는 솔레노이드밸브를 개방시킴으로써 개변압이 일정하게 조정된 파일럿노즐을 통하여 고압관내의 잔압을 유지한 상태에서 연료가 연료탱크에 회수되도록 하였다. 실험시는 이 밸브를 소정시간 폐쇄하여 연료압력을 높혀

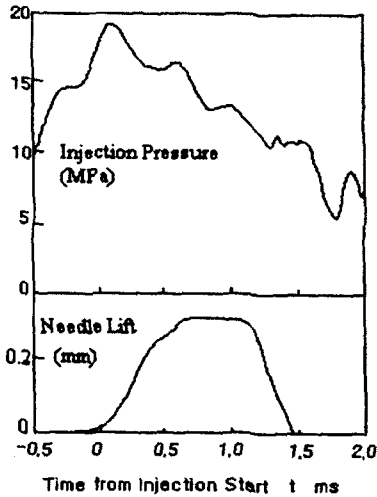


Fig. 3 Line pressure and needle lift

실제기관의 분사상태가 되도록 하였다. 분사압력은 반도체식 압력센서를 노즐홀더의 입구에 설치하여 측정하였다. 분사노즐의 니들밸브 양정은 홀소자를 사용하여 측정하였다. 솔레노이드밸브는 분사제어회로에 의해 구동하고 작동시기는 전동모터에 설치한 로터리엔코더의 클럭수에 의해 결정되며, 분사압력과 니들양정의 파형은 DC 앰프에 의해 증폭되며 이 파형은 Fig. 3과 같다. 또한, 투과광에 의한 분무촬영시에는 노즐의 니들양정 신호를 지연회로에 입력하여 분사개시로부터 임의시간 경과한 후에 트리거신호를 출력한다. 이 신호를 마이크로플래쉬 전원에 입력하여 마이크로플래쉬(섬광시간 0.7 μ s)를 섬광시켜 투과광에 의한 분무의 상을 카메라에서 촬영한다.

실험에 사용한 연료는 세탄가 58, 비중 0.831(15 $^{\circ}$ C), 점성계수 3.81×10^{-6} m²/s의 디젤경유이다. 연료의 압송은 자동차용 분사펌프(Bosch VE type)를 사용하였고 모터에 의해 회전수는 약 900 rpm으로 일정하게 구동하였다. 분사파이프는 내경 1.4 mm, 길이 700 mm의 인발강관을 사용하였으며, 분사노즐은 DLL-S 타입으로 분공경 0.2 mm, 분공장 1.1 mm의 단공노즐을 사용하였다. 분사기간은 1.46 ms로 하였으며 평균 분사율은 4.2 mm³/ms, 분사량은 6.13 mm³이다. 실제 기관의 분사계를 사용한 관계로 분사기간

중 분사압력은 변동하지만 분사기간동안의 평균 분사압력이 약 14.7 MPa로, 실험전에 미리 확인한 분사계의 재현성여부는 문제되지 않았다. 분위기의 조건은 상온상태로 실제기관의 압축행정 중의 분위기압력을 고려하여 고압으로 하였으며 1.5 MPa의 공기를 고압용기에 충전하였다. 이 경우 분위기밀도는 약 17.8 kg/m³이 된다. 또한, 경사각 α 는 0, 15, 30, 45 $^{\circ}$ 의 4조건으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4에 수직충돌(충돌각 $\alpha = 0^{\circ}$)인 경우, Fig. 5에 경사충돌(충돌각 $\alpha = 30^{\circ}$)인 경우의 벽면에 충돌하는 분무사진을 나타낸다. 좌측으로부터 각각 분사개시후의 시간 $t = 0.6, 0.8, 1.0, 1.2$ ms일 때의 것으로 모두 분사기간내의 것이다. 각각의 시간에 있어서 위쪽은 벽면에 충돌하는 분무의 투과광에 의한 사진이며 아래쪽은 벽면아래에서 촬영한 산란광에 의한 사진이다. 투과광에 의한 사진의 경우는 분무의 단면에 대한 정보는 얻을 수 없으나 연료액적 밀도분포의 정성적인 정보가 내포되어 있고 분무가 성장해 가는 외형적인 형상은 알 수 있다.

수직충돌의 경우, 일단 벽면에 충돌한 분무는 벽면아래에서의 산란광에 의한 사진에서 알 수 있듯이 벽면상을 축대칭을 이루면서 반경방향으로 확산되어 간다. 분무의 반경방향 선단부는 벽면상을 액막의 형태를 유지한 상태에서 확산하면서 정지해 있는 주위기체로부터의 저항을 받으면서 감속되고 윗쪽으로 떠밀리는 현상이 있음을 볼 수 있다. 이것은 본 연구의 실험조건에서 언급하였지만 고압용기내의 분위기밀도가 비교적 높기 때문이며 분무의 반경방향 도달거리가 작아지는 원인이 된다고 본다. 또한, 시간 t 가 경과하여 분무가 반경방향으로 성장함에 따라서 벽면으로부터의 두께가 증가하게 된다.

경사충돌의 경우에는 $t = 0.8$ ms 이후 주로 순류방향(R_z 방향)으로 성장을 보이면서 그 선단부가 날카롭게 위로 말려 올라가는 형상을 하고 있으며, 분사개시후 시간이 경과되더라도 수직충돌의 경우에 비하여 상대적으로 역류방향(R_z 방

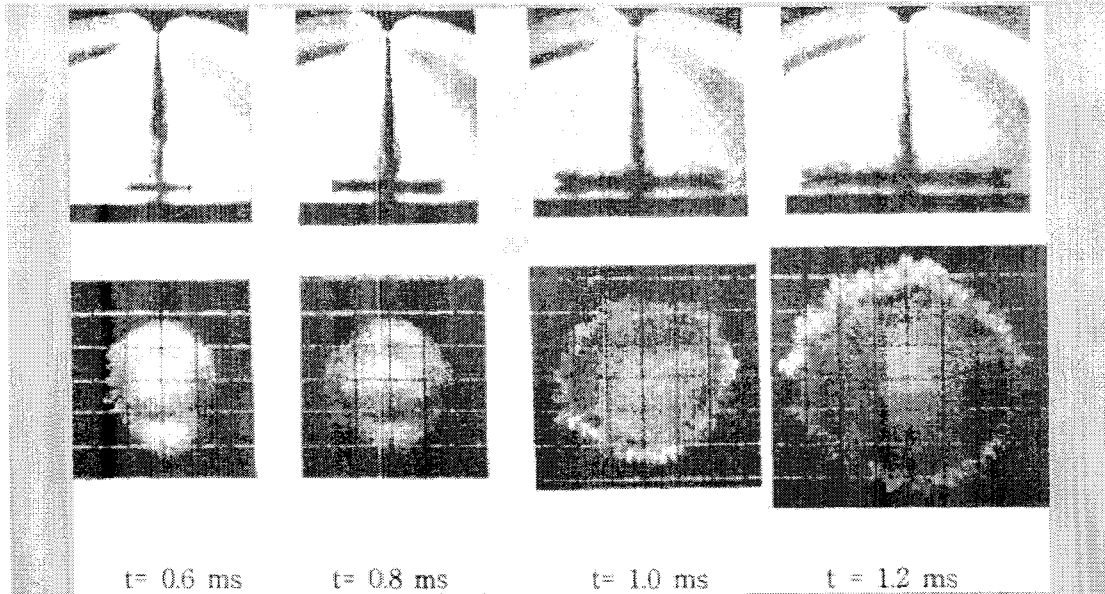


Fig. 4 Growth of spray on the wall ($\alpha=0^\circ$)

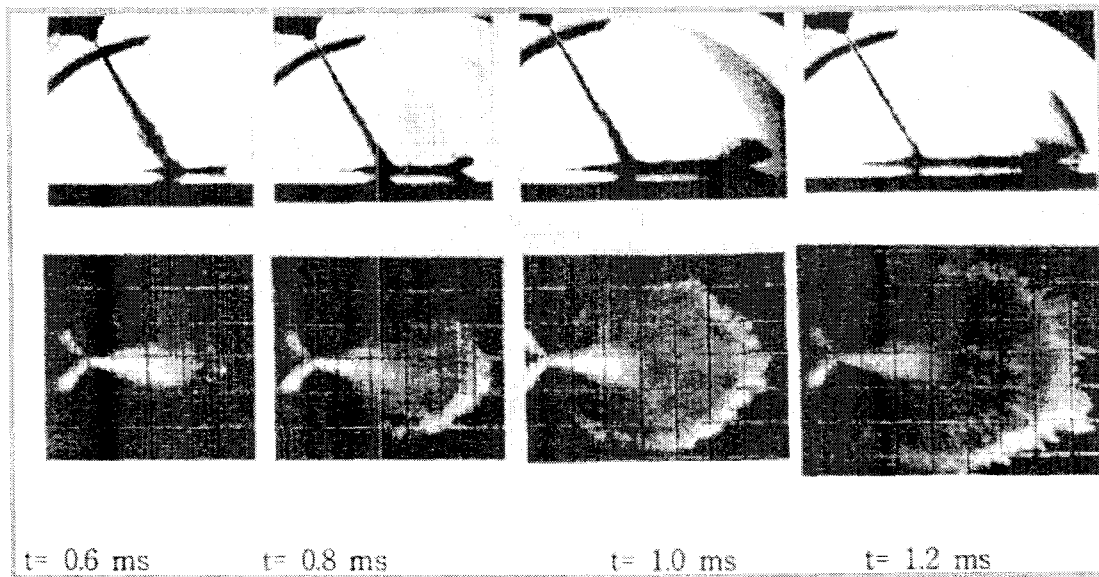


Fig. 5 Growth of spray on the wall ($\alpha=30^\circ$)

향)으로의 성장은 거의 보이지 않는다. 이러한 현상은 분사방향의 경사각이 30° 인 경우에 한정되지 않고 경사각이 클수록 더욱 현저하게 나타난다. 그리고 벽면아래의 산란광에 의한 사진을 보면 $\alpha = 0^\circ$ 의 경우와 대조적인 모양을 하고 있다.

Matsuoka⁽⁷⁾가 급속압축장치의 연소실내에서

벽면에 수직으로 충돌하는 분무화염의 고속도사진을 촬영한 결과에 의하면 분무의 외연부에 도우넛형상의 화염이 발생하고 있다. 또한 경사충돌의 경우는 화염이 순류방향의 선단부에 크게 편중되어 있고 역류방향에는 거의 보이지 않고 있다. 이것은 경사충돌의 순류방향 선단의 말려 올라가는 부분에서 연료분무와 주위기체와의 난

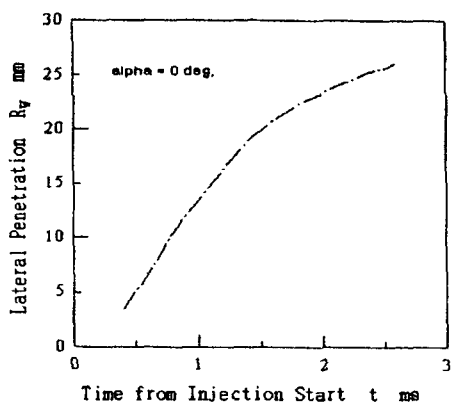


Fig. 6 Lateral penetration R_w

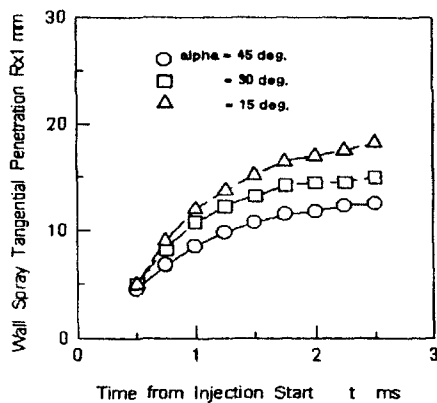


Fig. 8 Tangential penetration R_{x1}

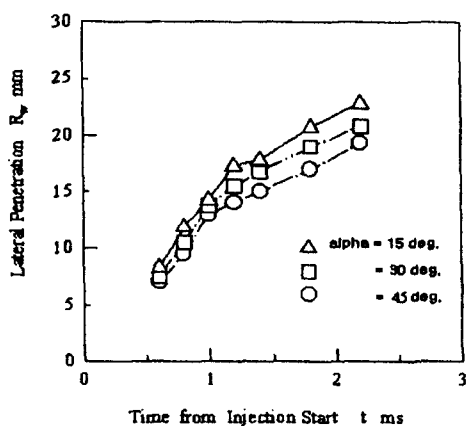


Fig. 7 Lateral penetration R_w

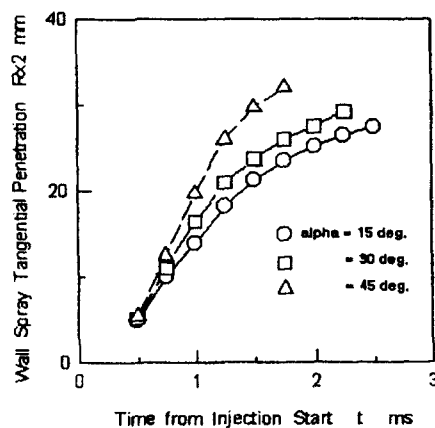


Fig. 9 Tangential penetration R_{x2}

류혼합이 수직충돌의 경우에 비하여 상당히 활발하게 이루어지고 있기 때문이라고 생각되며, 본 연구의 결과와 일치하고 있음을 알 수 있다.

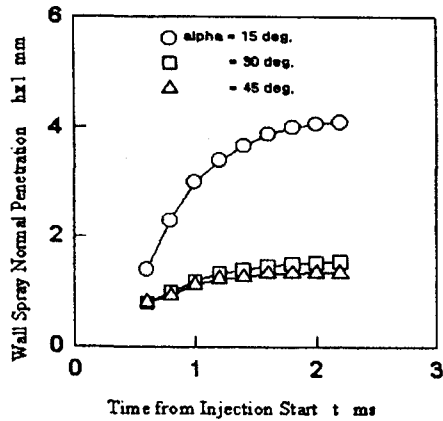
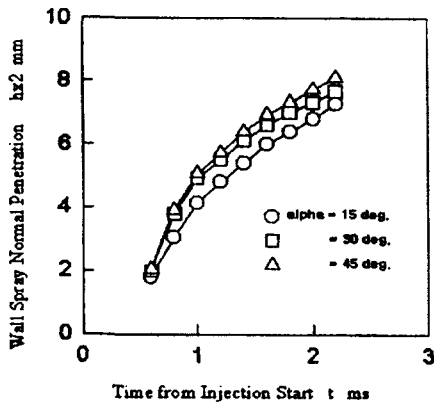
충돌분무의 반경방향도달거리 R_w 는 $\alpha = 0^\circ$ 의 경우를 Fig. 6에, $\alpha = 15, 30, 45^\circ$ 의 경우를 Fig. 7에 나타낸다. $\alpha = 0^\circ, 15^\circ$ 에서는 도달거리가 거의 같은데 비하여 경사각이 $30^\circ, 45^\circ$ 로 커짐에 따라서 R_w 가 작아짐을 알 수 있다. 이것은 경사각 α 가 커짐에 따라 순류방향으로 연료액적의 비산이 증가되면서 R_w 방향의 비산이 작아지기 때문이다.

Fig. 8에 경사각 α 를 각각 $15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ 로 변화시켜 벽면위의 분무중심축으로부터의 분무

의 역류방향 도달거리 R_{x1} 를 나타낸 것이다. 분무가 경사지게 벽면에 충돌할 경우, 순류방향에 비하여 역류방향의 도달거리는 상대적으로 짧게 되며, 이러한 경향은 경사각 α 가 클수록 현저하게 됨을 알 수 있다.

Fig. 9에 순류방향 도달거리 R_{x2} 를 나타낸다. 순류방향의 경우는 역류방향에 비하여 분무가 충돌후 크게 성장됨을 보이고 있다. 이것은 경사각이 클수록 순류방향으로 더욱 많은 연료액적이 비산되고 있음을 나타낸다.

Fig. 10에 역방향에서의 충돌분무의 두께 h_{x1} 을 나타낸다. 역방향의 분무두께는 도달거리의 경우와 동일하게 경사각이 30° 이상에서는 커다

Fig. 10 Spray height h_{x1} Fig. 11 Spray height h_{x2}

란 변화를 보이지 않고 있으며, 다만 $\alpha = 15^\circ$ 와 30° 를 경계로 차이를 보이는 것은 경사각이 커짐에 따라 대부분의 액적이 순류방향으로 비산해버리기 때문이라고 생각한다.

Fig. 11에 순방향에서의 층돌분무의 두께 h_{x2} 를 나타낸다. 역방향에서와는 달리 경사각이 커짐에 따라 h_{x2} 도 크게됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 상온고압용기중에서 평판의 벽면에 층돌하는 디젤분무의 거동을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 벽면의 경사각이 커짐에 따라 층돌분무의 역류방향으로의 성장은 감소하며 순류방향으로의 성장이 증가한다.

(2) 경사층돌의 경우에도 수직층돌의 경우와 같이 순류방향의 선단부에서 벽면으로부터 윗쪽으로 액적이 말려 올라가는 현상이 있다.

(3) 층돌분무의 역류방향에서의 분무두께는 본 연구의 범위내에서 경사각이 15° 와 30° 를 경계로 대소의 차이를 보인다.

참고문헌

1. Y. Matsui and K. Sugihara, "Sources of Hydrocarbon Emissions from a Small Direct Injection Diesel Engine", JSAE Review, Vol.7, 4-9, 1986
2. J. Naber, B. Enright and P. Farrell, "Fuel Impingement in a Direct Injection Diesel Engine", SAE 88136, 1988
3. J. D. Naber and R.D. Reitz, "Modeling Engine Spray/Wall Impingement", SAE 880107, 1988
4. J. Senda, Y. Fukami, Y. Tanabe, and H. Fujimoto, "Visualization of evaporative diesel spray impinging upon wall surface by exciplex fluorescence method", SAE 920578, 1992
5. T. Kamimoto, S.K. Ahn, Y.J. Chang, H. Kobayashi and S. Matsuoka, "Measurement of Droplet Diameter and Fuel Concentration in a Non-Evaporating Diesel Spray by Means of an Image Analysis of Shadow Photographs", SAE 840276, 1984
6. 坂根篤, 浜本嘉輔, 住本哲廣, "壁面に衝突するディーゼル噴霧の挙動", 日機論B, 54-503, 1861-1865, 1988
7. S. Matsuoka, T. Kamimoto, and H. Kobayashi, "Photographic and Image Analysis Studies of Diesel Spray and Flame with a Rapid Compression Machine and a DI Diesel Engine", Proc. FISITA-XX, No.845009