

극초고압 디젤충돌분무의 충돌거리 및 충돌각에 대한 분무특성 해석

An Analysis on Ultra High Pressure Impinging Diesel Spray Characteristics with Impinging Distance and Impinging Angle

정대용* · 김홍준* · 정찬문** · 이종태***

D. Y. Jeong, H. J. Kim, C. M. Chung and J. T. Lee

Abstract

To find suitable injection pressure, ultra high pressure impinging spray characteristics were investigated with a impinging distance and a impinging angle by using high pressure injection system. As impinging distance was increased, spray penetration was decreased but spray height was increased. For increase of injection pressure, spray penetration and spray height were increased until 2,500bar. But over this injection pressure region, the rate of increase was decreased suddenly.

주요기술용어: Ultra high pressure injection (극초고압분사), Impinging spray(충돌분무), Suitable injection pressure(적정분사압력), Impinging distance(충돌거리), Impinging angle(충돌각), Spray characteristics(분무특성)

1. 서론

디젤 연료를 극초고압 분사하는 경우 액적의 운동에너지 및 연료와 공기와의 상호작용 증가로 분무특성이 향상되고 분무액적과 벽면 사이의 충돌로 인하여 2차 미립화가 촉진될 것으로 예측된다. 분사압력을 극초고압화시키는 경우 분무 및 연소향상 효과가 어느 정도 있을 것이라 기대된다. 그러나 분사압력 증가에 따른 상기 향상 효과의 증가율이 완만해지는 분사압력, 즉, 분무특성 향상을 측면에서 적절한 분사압력이 존재할 것으로 생각된다.

본 연구실에서는 디젤연료를 초고압 자유분무하는 경우 분사압력 2000bar 정도에서 연료의 공간분포 및 분무특성이 최대가 되는 것을 확인한 바가 있다. 그러나 기관에서의 연료분사는 충돌분무이므로 적정분사압력을 해석하기 위해서는 극초고압 영역에서의 충돌분무특성에 관한 결과도 종합적으로 고려해야만 한다.

충돌분무특성은 충돌조건, 즉 인젝터와 충돌면의 거리 그리고 충돌면의 각도 등에 의존한다는 것이 H. Tanabe와 M. Takahashi⁽¹⁾, 차견종⁽²⁾, 박권하⁽³⁾, 구자예⁽⁴⁾ 등에 의해 보고되고 있다. 그러나 이들의 연구는 분사압력 600bar 미만에 대한 것으로서 분사압력 3,000bar 이상의 극초고압 영역에서의 충돌거리 및 충돌각의 변화에 따른 충돌분무특성에 대한 연구는 아직 보고된 바가 없는 실정이다.

본 연구에서는 4,000bar 이상의 상용의 분사

* 성균관대학교 대학원

** 여주대학교

*** 성균관대학교

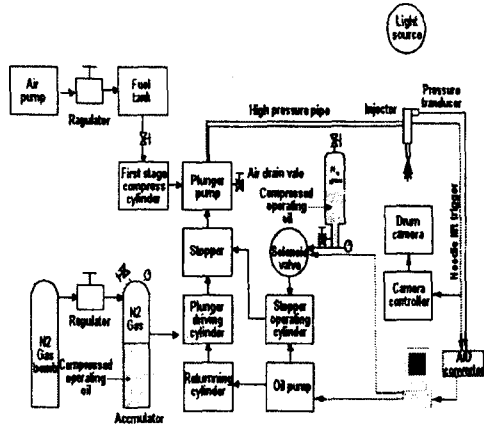


Fig. 1 Photograph and schematic diagram of experimental system

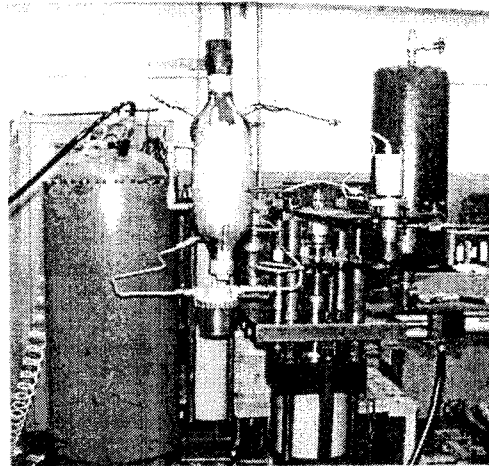


Fig. 2 Photograph of high pressure injection system

압력을 달성할 수 있는 극초고압 분사장치를 사용하여 충돌거리 및 충돌각을 변화시킨 경우 충돌분무가시화 결과로부터 충돌분무거동과 특성을 해석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

극초고압 분사시 분무특성을 파악하기 위한 전체 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 나타낸다.

실험장치는 크게 고압분사시스템, 디젤연소장치, 분무가시화장치, 제어장치 및 데이터 취득장치로 구성된다.

극초고압분사장치 : Fig. 2는 초고압분사시스템의 실물사진을 나타낸다. 초고압분사장치는 플런저에 공급되는 연료를 1차 가압하는 1단 압축부, 가압된 연료를 플런저 펌프에 의해 2차 가압하는 2단 압축부, 작동된 플런저구동용 실린더를 원상태로 복귀시키는 복귀장치부로 구성된다. 압축실린더에 의해 1차 압축된 연료는 고압가스에 의해 가압된 작동유가 순간적으로 플런저구동실린더에 공급됨으로서 2차 압축되어 초고압의 실현이 가능한 장치이다. 플런저 구동실린더에 의해 플런저 펌프가 가압할 수 있는 연료의 최대압축압력은 작동유 압력이 80bar인 경우 약 12,000bar이며, 플런저

펌프는 상용의 PE-P형을 고압분사펌프를 사용하였다. 고압인젝터는 분사공 지름 0.2mm, 니들리프트 0.3mm의 DLL-S type의 단공 인젝터를 개조하여 사용하였다.

충돌분무실 : 충돌분무실은 200×200×300mm인 직육면체로서 재질은 S45C강이다. 충돌분무실의 양쪽면과 정면에는 200×300×10mm(w×h×t)의 가시화창을 설치하였다. 인젝터의 설치위치는 인젝터의 분사각을 고려하여 분무실 뒷쪽에 설치하였다.

충돌분무실의 중앙에는 직경 40mm의 원형 충돌판을 설치하였다. 충돌판의 위치변화에 대한 실험을 수행하기 위해 0~250mm까지 위치

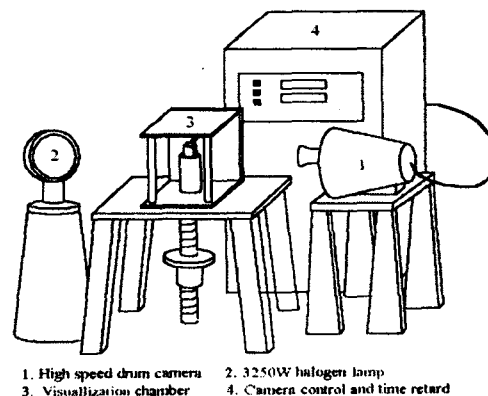


Fig. 3 Visualization system for high pressure impinging spray

변화가 가능한 가변 변위장치를 충돌분무실 하단에 장착하였다. 또한 충돌각은 충돌판을 교환 부착하여 변화시킬 수 있다.

분무 가시화장치 : 극초고압 충돌분무의 양상과 충돌분무높이 및 충돌분무도달거리 등의 분무특성을 측정하기 위한 가시화 장치는 고속드럼 카메라, 고속 카메라 제어장치, 충돌분무 가시화 챔버, 광원 등으로 이루어진다. Fig. 3은 분무 가시화 장치의 개략도를 나타낸 것이다.

고속카메라(Cordin 350)는 최대 35,000fps의 속도로 사진촬영이 가능하고 렌즈는 105mm zoom 렌즈를 사용하였으며, 광원은 3,250W Halogen 램프(650W×5개)를 사용하였다. 카메라와 광원사이에는 광원의 직접 노출방지와 균일한 산란을 위하여 반투명 스크린을 설치하였다.

제어 및 데이터 취득 장치 : Fig. 4에 분무양상을 시간경과에 따라 가시화하기 위한 고속드럼 카메라, 카메라 controller 그리고 고압분사장치의 제어도를 나타낸다.

결림장치가 개방되면 가압장치부의 로드가 구동되며 이때 가압장치부의 로드가 결림장치부에 장착된 광센서의 신호를 발생시킨다. 이 신호는 time retarder(Model 555 pulse delay generator, BNC)에 의해 일정시간 지연된 후 분사직전에 trigger 신호가 고속드럼카메라의

controller를 통해 고속드럼카메라에 입력된다. 이 신호에 의해 카메라의 셔터가 분사 직전에 작동하게 된다.

연료분사 인젝터 전방의 연료공급라인에는 분사압력을 측정하기 위해 측정압력이 최대 10,000 bar인 piezo type의 압력변환기(6213B, Kistler)를 삽입하였다.

고압 인젝터의 니들 리프트는 측정범위가 0~2mm인 갭센서(VE-231 type)로 측정하였다. 갭센서는 인젝터 니들의 변위에 비례하여 전압신호를 출력하는 proximeter (model VT-510, Onosokki)와 연결되어진다.

2.2 실험방법

실험은 분사압력의 극초고압화에 따른 충돌분무양상을 충돌거리 및 충돌각을 변수로 가시화하는 것이다. 분사압력은 디젤기관의 최고분사압력이 1300bar 정도인 점을 고려하여 1,500bar에서 극초고압영역인 3,500bar까지 500bar 간격으로 단계적으로 변화시켰다.

각각의 분사압력에 대해 충돌거리는 노즐선단으로부터 충돌판까지의 거리로서 가변변위장치를 조절하여 30mm와 15mm로 하였다. 충돌판의 경사각, 즉 충돌각은 0°와 15°의 2종류이다.

3. 충돌거리 및 충돌각에 대한 초고압 충돌분무 특성

3.1 충돌거리의 영향

Fig. 5는 충돌거리가 15mm 및 30mm인 경우, 극초고압 충돌분무의 가시화 사진을 시간의 경과에 대해 나타낸 일레이다. 여기서, 분사압력은 1,500bar이며 충돌각은 0°인 경우이다.

그림에서 보는 바와 같이 분사된 연료는 빠른 속도로 충돌면에 부딪히며 충돌면을 따라 반경방향으로 퍼져나가는 양상을 보인다. 충돌거리의 차이에 의한 충돌분무반경 및 상하방향의 최대 넓이인 충돌분무높이는 분무성장의 초기에는 명확히 차이를 구분할 수 없지만 시간이

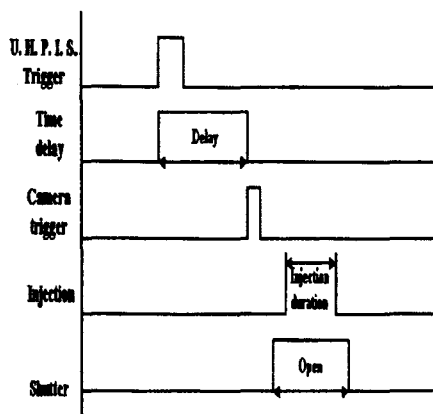


Fig. 4 Signal diagram for visualization

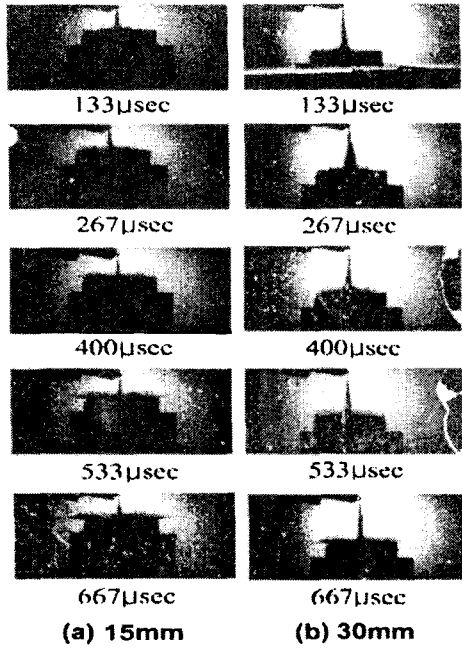


Fig. 5 Impinging spray pattern at 1,500bar with different distance

경과함에 따라 감소 및 증가하는 것을 알 수 있다.

반경방향으로의 퍼짐은 충돌거리의 증가에 따른 충돌면에서의 분무액적의 운동에너지의 감소에 기인하여 감소하는 것으로 판단된다. 한편 분무두께의 증가는 충돌면 거리의 증가에 따라 분무액적의 분열에 의한 연료입자의 미립화와 충돌후 분무입자의 재미립화로 인해 상하방향으로 퍼져나가기 때문에 분무높이가 증가하는 것으로 생각된다. 그러나 충돌거리가 가까울수록 충돌분무반경의 증가폭에 대한 분무높이의 감소폭이 미미하여 전반적으로 분포도가 향상되어짐을 알 수 있다.

Fig. 6은 분사압력을 극초고압까지 증가시킨 경우 충돌거리 변화에 대한 충돌분무반경을 상기의 가시화 결과로부터 구한 것이다.

충돌분무반경은 분사압력 2,500bar 및 충돌거리 15mm인 경우가 분사압력 3,500bar 및 충돌거리 30mm인 경우에 비해 약 3.3mm정도 큰 것을 보이고 있다. 분사압력을 1,500bar에서 2,500bar까지 증가시킨 경우 충돌판 거리

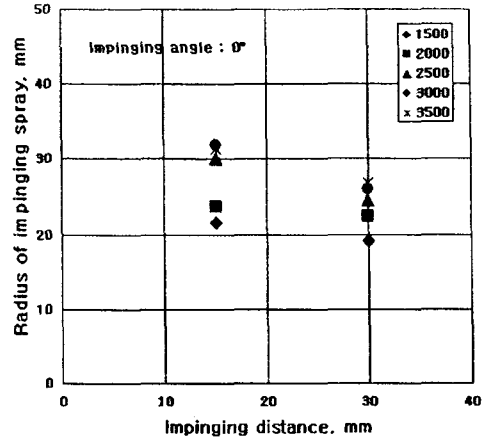


Fig. 6 Radius of impinging spray as a function of impinging distance

15mm 및 30mm일 때의 평균충돌분무반경 증가율은 약 28% 정도로 현저하다. 그러나 분사압력을 3,500bar까지 더 증가시키면 평균충돌분무반경 증가율은 약 9%정도만이 증가되는 것을 나타내었다.

Fig. 7은 충돌거리의 변화에 따른 충돌분무높이를 나타낸 것이다.

충돌분무높이는 충돌거리가 멀수록 증가하여 충돌거리 15mm이고 분사압력 3,500bar의 분무높이와 충돌거리 30mm, 분사압력 2,500bar의 분무높이가 유사한 크기를 보이고 있다. 분사압력 증가에 대한 분무높이의 증가율은 분

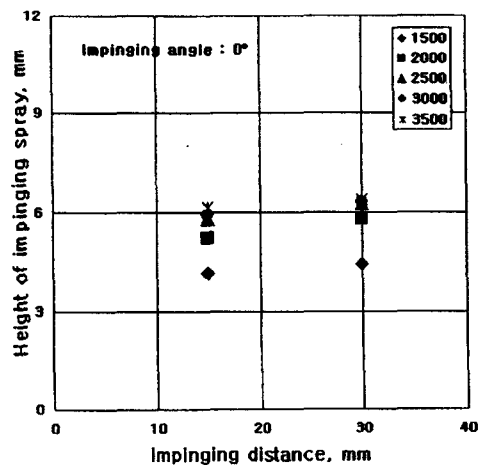


Fig. 7 Height of impinging spray as a function of impinging distance

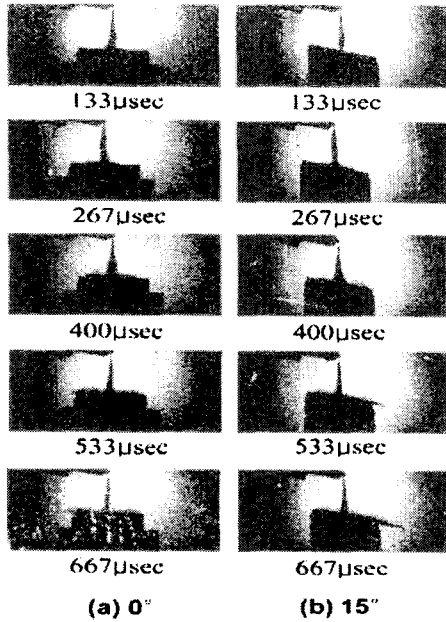


Fig. 8 Impinging spray patterns at 1,500bar with different plate angle

사압 2,500 bar까지 약 41%정도 현저히 증가하지만 이보다 증가시키면 증가율이 완만하게 되어 충돌분무반경과 마찬가지로 3,500bar까지 약 2%정도만 증가하게 된다.

충돌분무반경 및 분무높이의 증가율은 충돌거리 변화에 대해 분사압력이 극초고압화되는 경우 유사한 양상을 보이고 있다. 즉, 2,500bar 이상의 극초고압 분사영역에서는 충돌판 거리가 변해도 충돌분무반경 및 분무높이의 증가율이 크지 않음을 나타내고 있다.

3.2 충돌각의 영향

Fig. 8은 분사압력 1,500bar, 충돌판의 거리 30mm인 경우의 충돌각 변화에 따른 가시화 사진을 나타낸 것이다.

그림에서 보듯이 동일시간에 대해 충돌각이 15°인 경우의 충돌분무퍼짐은 충돌각 0°인 경우에 비해 크게 나타나고 있으며 이러한 경향은 시간이 경과함에 대해 현저한 것을 보이고 있다. 또한, 충돌판 경사각이 증가함에 따라 경사면 위로의 퍼짐은 급격히 줄어드는 반면, 아래로의 퍼짐은 증가하는 것을 알 수 있다. 그

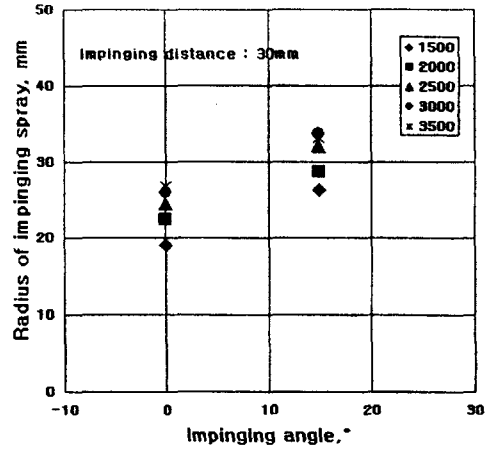


Fig. 9 Radius of impinging spray as a function of impinging angle

리고, 충돌판의 반경을 벗어나면서부터 분무가 충돌판 아래로 흐르는 경향이 나타난다. 충돌판의 경사각이 큰 경우 경사면 아래의 반경방향의 퍼짐에 비해 축방향의 분무퍼짐의 증가율이 훨씬 크게 나타나고 있다.

Fig. 9는 충돌거리 30mm인 경우 충돌각 0°와 15°인 경우의 충돌분무 반경을 나타낸 것이다. 여기서 충돌분무 반경 및 충돌분무높이는 분포도가상단부 보다 큰 하단부를 기준으로 해석을 수행하였다.

분사압력이 증가함에 따라 충돌분무반경은 모두 증가하는 것을 보인다. 충돌분무반경은 그림에 나타난 바와 같이 경사각이 15°인 경우가 크게 나타나는 경향을 보이고 있다. 이는 경사각에 의한 충돌분무입자의 운동에너지 감소가 상대적으로 0°보다 작기 때문에 분무반경이 증가하는 것으로 판단된다. 충돌각 15°인 경우 분사압력이 증가함에 따라 충돌분무반경의 증가폭이 증가하다 분사압력 2500bar 이후에서는 급격히 감소하며 이후의 압력 증가에 대해서는 약간의 증가만을 나타내고 있다.

하단부분무반경은 분사압력 1500bar, 충돌각 15°인 경우와 분사압력 3000bar, 충돌각 0°인 경우와 유사함을 보이고 있다. 경사각 0°와 15°에서 분사압력 3,500bar일 때 하단부분무반경의 평균증가율 약 33% 정도이다. 분사압

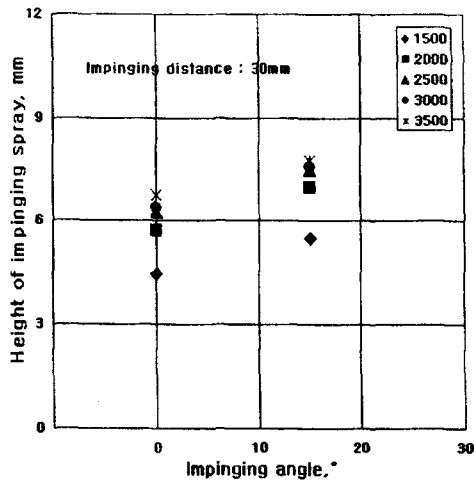


Fig. 10 Height of impinging spray as a function of impinging angle

력을 1,500 bar에서 2,500bar로 증가시키는 경우 약 25%의 증가율을 보이고 이후 분사압력을 2,500 bar에서 3,500bar까지 증가시키는 경우 약 8%정도의 증가율을 나타내었다.

Fig. 10은 충돌거리 30mm인 경우 각각의 분사압력에 대해 충돌각에 대한 충돌분무높이를 나타낸 것이다. 경사면의 경우 충돌분무높이는 충돌각이 증가하면서 액적들이 멀리 튀어 올라가기 때문에 증가하는 것으로 생각된다. 이러한 경향은 충돌판의 위치 변화와 분사압력이 증가한 경우에도 동일한 경향을 보이고 있다.

충돌각 0°인 경우 분사압력 3000bar에서의 하단부분분무높이는 분사압력 2000bar, 충돌각 15°와 유사함을 보이고 있다. 경사각 0°와 15°에서 분사압력 3,500bar일 때 하단부분분무높이 평균증가율은 각각 약 47%정도이다. 분사압력을 1,500bar에서 2,500bar로 증가시키는 경우 약 39%의 증가율을 보이며, 2,500bar에서 3,500bar까지 증가시키는 경우는 약 8%정도의 증가율을 나타내고 있다.

충돌분무반경 및 충돌분무높이는 충돌각이 변하더라도 분사압력 2,500bar이상의 영역에서는 변화폭이 크지 않음을 나타내었다.

4. 결론

연료를 극초고압 분사하는 경우, 충돌거리 및 충돌각의 변화에 따른 충돌분무의 거동 및 분무특성을 해석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 극초고압 충돌분무의 충돌거리와 충돌각의 변화에 따른 가시화 결과, 분사압력이 증가함에 따라 분무반경 및 축방향의 분무성장은 모두 증가하는 경향을 보였다. 그러나 모든 조건에 대해 분사압력 2500bar 이후에서의 분무의 성장 정도가 급격히 감소하는 것을 나타내었다.

2. 충돌판 거리 15mm, 30mm에 대해 분사압력을 1,500bar에서 2,500bar로 초고압시키는 경우 충돌분무반경은 약 28%, 충돌분무높이는 약 41%정도 증가하는 것이 보여졌다. 그러나 분사압력을 2,500bar에서 3,500bar로 증가시키면 각각의 증가율은 9%와 2%로 완만해졌다.

3. 충돌판의 거리가 가까울수록 충돌분무반경의 증가폭은 현저히 커지고 분무높이는 감소하나 분사압력이 2,500bar이상 초고압화되면 충돌판 거리에 상관없이 변화율이 둔화되는 것을 알 수 있었다.

4. 충돌판의 경사각 0°, 15°에 분사압력을 1,500bar에서 3,500bar로 증가시키는 경우 충돌분무반경 및 분무높이의 증가율은 각각 약 33%, 47%정도이다. 이중 분사압력 2,500bar까지는 약 25%와 39%의 증가율을 보이고 이후 3,500bar까지는 두 경우 모두 약 8%정도이다.

5. 상기의 결과로부터 분사압력이 극초고압화 되는 경우 충돌거리가 가까우며 경사각이 큰 경우 충돌분무반경 및 분무높이와 같은 분포도는 향상되었다. 분사압력 증가에 따른 분무특성의 향상 효과의 증가율이 완만해지는 적정분사압력은 자유분무인 경우 2000bar 정도를 나타내었으나 충돌분무에서는 약 2,500bar를 전후로 하여 존재하는 것을 알 수 있었다.

한편, 적정분사압력을 상세히 파악하기 위해서는 연소측면에서의 해석이 요구되고 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(R01-2001-00386-000(2002))지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

1. H. Tanabe, M. Takahashi, G. T. Sato, S. Kato, S. Onishi : "Experimental Study on Unsteady Fuel Spray Impinging onto a Projection on a Wall," international Symposium COMODIA 94, pp. 379~384, 1994.
2. 차건중, 김덕줄 : "충돌판에 의한 원판형분무의 공간분포에 관한 실험적 연구," 대한기계학회논문집, 제 19권, 제1호, pp. 251~262, 1995.
3. 박대순, 김문현, 박권하 : "주위압력 및 충돌면 위치 변화가 디젤분무에 미치는 영향," 한국자동차공학회논문집 제5권 제3호, pp. 95~105, 1997
4. S. K. Moon, J. Y. Koo : "Characteristics of a Diesel Spray Impinging on the Hot Plate," SAE paper, NO. 99370251, 1999.
5. 하성업, 김홍열, 류구영, 구자예 : "노즐분공내 유체충돌이 있는 디젤노즐의 유동 및 분무특성 연구," 대한기계학회논문집, 제 21권, 제12호, pp. 1635~1646, 1997.
6. 정대용, 박성진, 김홍준, 이종태 : "초고압분사의 적정분사압력에 관한 연구," 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, pp. 913~918, 2000