

〈 논문 〉

액체 온도 변화에 따른 평판 충돌 액적의 거동에 관한 연구

김호영[†] · 이동조^{*} · 박병성^{*} · 정진택^{**}
(2004년 9월 1일 접수, 2004년 12월 27일 심사완료)

Behavior of an Impinging Droplet on a Solid Surface with a Variation of Liquid Temperature

Ho Young Kim, Dong Jo Lee, Byung Sung Park and Jin Taek Chung

Key Words: Droplet Generator(액적 발생기), Impinging Droplet(충돌 액적), Incident Angle(입사각), Liquid Film Flow Rate(액막 유량), SMD(Sauter Mean Diameter), Volume Concentration(체적 농도)

Abstract

An experimental study on the behavior of droplets impinging on a solid flat surface was carried out in the present study. Breakup of a liquid droplet impinging on a solid surface has been investigated experimentally for various liquids with different properties. The liquid droplet temperature and incident angle were chosen as major parameters. Liquid droplet temperature and incident angle varied in the range from -20°C to 30°C and from 30° to 60° , respectively. It was found that the variation of droplet temperature influences upon the mean diameter and uniformity of droplets which were bounced out from the solid surface. With increase of incident angle the dispersion mass fraction increases, causing the decrease of liquid film flow rate. As the liquid temperature increases, dispersion mass fraction increases since the surface tension decreases.

1. 서 론

자동차, 항공기 등 현재 사용 중인 운송기관의 엔진들은 액체연료의 표면적을 증가시켜 연소율을 증대시키려는 목적으로, 노즐을 통하여 연료를 미립화 시킴으로써 작은 크기의 액적들로 구성된 분무형태로 공급하여 연소시키는 분사연소 방법을 택하고 있다. 이때 노즐을 통하여 분무된 액적들의 일부는 공기 중으로 유동하지 않고 연소실 벽면 또는 흡기포트벽면이나 흡기밸브 표

면에 충돌한다. 벽면에 충돌한 액적들은 충돌상태에 따라 일부분은 다시 튀어나와 분무를 형성하나, 나머지는 벽면에 액체연료 액막을 형성하게 된다. 이와 같이 형성된 액막은 액체연료의 완전한 미립화를 방해하여 연소효율의 저하를 가져오는 물론 공해물질의 배출을 증대시킨다. 특히 엔진의 시동 시는 연료와 벽면의 낮은 온도에 의하여 일반 분무거동은 물론 충돌분무의 거동 또한 정상상태와는 매우 다르게 나타나며, 따라서 불완전 연소와 이로 인한 공해물질 배출이 정상상태에 비하여 크게 나타난다. 즉 연료의 온도 변화에 따른 분무특성은 물론, 벽면충돌 후 액적의 거동은 현상 그 자체의 특이성과 연소효율 및 배기가스 조성에 미치는 영향으로 인하여 지속적인 연구의 대상이 되어 왔다.⁽¹⁾

분사된 액적들의 벽면 충돌은 내연기관 및 가스터빈 연소기의 분무연소, 철강 산업에서의 분

[†] 책임저자, 회원, 고려대학교 기계공학과
E-mail : kimhy@korea.ac.kr
TEL : (02)3290-3356 FAX : (02)3290-3752

^{*} 회원, 고려대학교 대학원 기계공학과

^{**} 회원, 고려대학교 기계공학과

무냉각, 터빈 블레이드의 냉각, 연속주조시의 열처리 등에 광범위하게 나타나고 있으며, 특히 최근 자동차 배기가스에 대한 환경규제의 강화로 인해 내연기관의 오염물질 저감과 저 연비 엔진의 구현이 요구됨에 따라 연료의 미립화와 벽면 충돌에 관한 연구의 중요성이 더욱 증대되고 있다.^(2,3)

또한 열효율이 우수한 디젤엔진이 소형자동차에 적용되고 있는 추세이며, 이로 인한 엔진의 고속화와 함께 연료의 고속분사를 요구하게 되었다. 결과적으로 고속 분사된 연료는 분무의 침투 깊이가 깊어지게 되어 연소실 벽면에 충돌하게 되는데 그 중 일부는 벽면에 액막을 형성함으로써 증발 및 주위 공기와의 혼합을 어렵게 한다.⁽⁴⁾ 특히 겨울철 저온 환경에서 기관의 초기 시동 시 액적은 저온의 상태에서 분사되어 연료 물성치가 변화하므로 분무거동이나 액적의 벽면충돌거동이 상온 시 또는 엔진이 정상상태로 운전될 때의 거동과 매우 다른 현상을 나타낸다. 또한 이로 인하여 분무상태의 불량은 기관의 성능 및 배기가스 조성에 크게 영향을 미치게 된다. 즉, 연료의 온도 변화에 따른 액적의 벽면충돌 거동에 대한 연구는 분무특성에 대한 연구와 함께 꼭 필요한 분야이다.

Kazushi et al.⁽⁵⁾이 벽면에 액적이 충돌할 때 액적의 변형 과정과, 가열 평판에 충돌할 때 열전달 모델 및 액적의 증발 수명에 관하여 제시한 수치적 결과는 실험 결과와 일치하였으며, 가열 평판에 충돌한 액적내부의 온도분포는 일반적인 에너지 평형식에 의한 것보다 일차원이나 이차원 열전도 방식에 의한 것이 더 정확함을 보였다. Chang et al.⁽⁶⁾은 액적이 벽면에 충돌할 때 액체의 물성과 벽면의 특성이 액적의 거동에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하여, 액적의 유체역학적 거동은 점성보다는 표면장력의 영향이 더 지배적임을 실험을 통하여 보였다.

Pasandideh⁽⁷⁾는 가열 면에 충돌한 물방울의 냉각 효과에 대한 수치시뮬레이션을 통해 충돌 속도는 열유속(heat flux)과 접촉면의 온도변화에 크게 영향을 주지 않는다는 결과를 보였다. Johnen et al.⁽⁸⁾은 SI엔진의 흡기 포트에서 형성되는 연료 액막의 발달과 충돌분무구조에 대한 실험을 수행하여, 액막의 두께는 흡입공기의 유동과 분사되는 연료의 종류와 성질에 따라 다른 특성을 나타

나게 되는데, 액적들이 벽면에 충돌하는 위치보다 흡기밸브에 가까운 위치에서 파형의 두꺼운 막을 이루고 있음을 보였다.

또한 Rho 등⁽¹¹⁾이 MPI용 핀틀 형 연료분사기를 이용하여 일정한 흡입유동 중에 분사기의 경사각과 흡입공기 유속을 변화시켰을 때 액적의 크기가 작을수록 흡입유동을 잘 따르고 흡입공기 유속이 클수록, 연료분사기의 경사각이 클수록 흡입유동에 대한 유동각이 작게 나타나므로 흡입공기 유속을 잘 따름을 보였다. Ryoo 등⁽¹²⁾은 소형 디젤 연소실내에 충돌부의 형상 및 크기를 변화시킬 때 충돌분무의 특성 변화를 수치 해석을 통하여 해석하여 충돌부의 경사각이 클수록 분무의 관통길이는 감소하는 반면, 분무의 상하부 폭은 충돌 면을 기준으로 경사면 근처에 주위 가스 유동에 의하여 고루 퍼짐을 보였다. 또한 연료의 증발이 넓은 부분에서 이루어지며 경사각이 클수록, 충돌부위의 면적이 넓을수록 미립화가 잘 이뤄짐을 보였다. Moon 등⁽¹³⁾은 가열이 가능한 플러그(Glow plug)에 액적을 충돌시키는 실험을 수행하여 충돌시키지 않고 분사시켰을 때와 비교하였는데 분사 액적들의 증발율은 가열된 플러그의 표면에 충돌하였을 때가 상온에서 충돌 없이 분사하였을 때보다 높음을 실험적으로 보였다.

현재까지의 연구는 대부분 충돌면의 온도가 상온 또는 고온 일 때 분무의 충돌 거동 자체와 이때의 액막 형성을 규명하는 것들에 초점이 맞춰져 있었으며, 액적의 온도변화나 저온일 때의 충돌거동에 대한 연구는 미진한 상태이다.

본 연구에서는 액적의 벽면 충돌 거동을 구체적으로 규명하기 위하여 단일 액적이 벽면에 충돌할 때, 액체의 종류와 온도 변화에 따른 벽면 충돌 거동에 대한 실험을 수행하며, 특히 연료의 온도가 저온 영역일 때를 포함하여 특성을 고찰한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 액적발생장치와 분사액체

본 실험에서 사용한 액체의 미립화 장치는 단일 액적을 형성시키기 위하여 진동방식 단 분산 분체 입자 발생기(Vibrating orifice mono-disperse aerosol generator)를 사용하였다. 분무장치는 비교적 낮은 압력에서 단공노즐에 의해 형성되는 액

주를 분열시키기 위하여 액주에 기계적 에너지를 가하여 미립화 시키는 방법이며, 액주(liquid column) 또는 원통형 액체 분류(cylindrical liquid jet)의 불안정성과 분열 원리를 이용한 것이다.⁽⁹⁾

단공형 단순 미립화 장치인 노즐 또는 오리피스로부터 형성된 원통형 액주는 분사 압력 또는 유속이 매우 작은 경우에는 액체는 노즐출구에서 방울방울 떨어지는 적하(dripping)현상이 나타난다. 그러나 여기서 약간의 압력이나 유속을 좀 더 가해준다면 원통형 액체 분류는 제어가 힘들어져 불안정해지며 액적으로 분해되려 하는데 이러한 상태를 제어하지 않고 두면 불균일(non-uniform)한 액적이 생기지만, 이 원통형 액체 분류에 규칙적으로 적절한 주파수의 외란(disturbance)을 주게 되면 매우 균일한 액적이 발생하게 되며 분열 과정을 제어할 수 있게 되는 것이다. 외란을 주는 방법으로 전기적 신호에 따라 진동하는 Piezoelectric Ceramic을 이용하였다. 또한 주파수당 하나의 액적이 발생하므로 교란의 주파수와 액체의 공급유량으로부터 단일 액적의 체적을 정확히 계산할 수 있다.

본 연구에서는 Berglund-Liu⁽¹⁰⁾가 제시한 오리피스를 통하여 분사되어진 원통형 액주를 진동자로 교란을 주어 분열시키는 방법을 사용하였다.

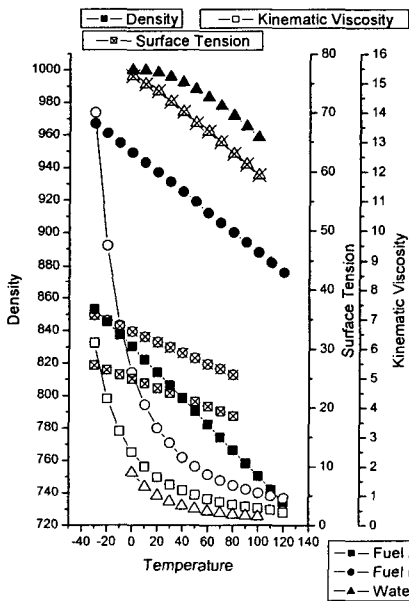


Fig. 1 The properties of Fuel A, Fuel B and Water

실험에 사용된 분무 액체는 등유(kerosine)계열 연료인 연료 A, 연료 B와 물이며 Fig. 1은 각각의 온도에 따른 물성치의 변화를 나타낸 것이다.

연료 A와 연료 B의 밀도와 표면장력은 온도 증가에 따라 선형적으로 감소하며, 점성계수는 저온 영역에서 온도가 증가함에 따라 급격히 감소하다가 온도가 계속 증가하면 완만한 감소를 보인다. 즉 액체의 온도가 낮아질 때 연료의 미립화에 크게 영향을 미치는 점성계수가 표면장력의 변화에 비하여 급격히 변화함을 볼 수 있다. 한편 물의 밀도와 점성은 온도의 증가에 따라 서서히 감소한다. 표면장력과 밀도는 물, 연료 B, 연료 A 순으로 큰 값을 나타내나 점성은 연료 B, 연료 A와 물의 순으로 큰 값을 갖는다.

2.2 연료공급장치

Fig. 2는 실험장치의 전체 개략도로서 실험 유체는 1차 필터(Membrane)를 지난 후 스테인리스 탱크에 공급된다. 질소가스에 의해 가압된 연료는 1/2" 관을 통하여 -45°C~250°C로 온도를 조절할 수 있는 고/저온 항온조에 공급된다. 항온조에 장착된 열교환기에서 온도가 조절된 액체는 다시 필터를 거친 후 액적발생기로 공급된다. 이때, 액적발생기의 입구에 압력계와 열전대를 장착하여 연료의 분사압력과 온도를 각각 측정하였다. 분사압력은 액적 발생기가 안정적으로 액적을 형성할 수 있는 2kg/cm²로 하였다.

2.3 액적직경측정

본 실험에서는 액적의 평균직경 측정을 위하여 빔의 회절을 이용하여 액적의 크기를 측정하는

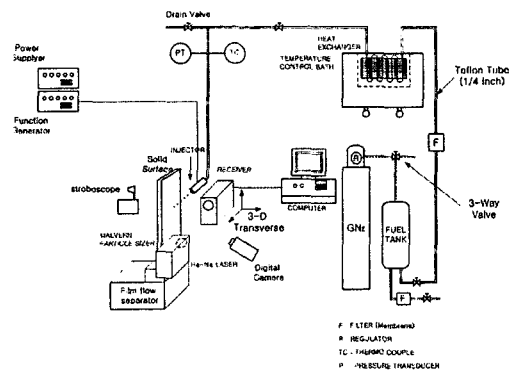


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental apparatus

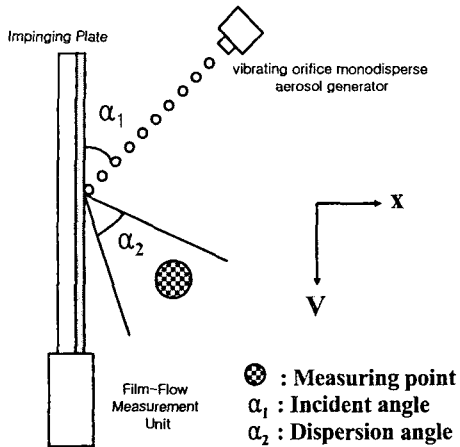


Fig. 3 Schematic diagram of incident droplet angle and dispersion angle

Malvern Particle Sizer를 사용하였으며, 측정 입경 범위가 $5.8\mu\text{m}$ ~ $564\mu\text{m}$ 인 300mm 렌즈를 사용하였다. 충돌 분무 액적들의 평균 직경은 차광 거리 (Cut-off-Distance)를 고려하여 측정하였고 측정할 때에는 빔의 직경이 10mm임을 감안하여 평판에 액적이 충돌하는 위치로부터 수평방향(X)으로 0.5cm 간격으로, 수직방향(Y)으로는 1cm 간격으로 변화시켜가며 측정하였다. 모든 실험 측정치는 방해도(Obscuration)가 0.01~0.5인 신뢰할 수 있는 값들만을 택하였다.

Fig. 3은 액적이 평판에 입사할 때에 평판과 액적이 이루는 각도인 액적 입사각 α_1 과 평판에 충돌하여 반사되어 나오는 액적들이 이루는 분산각인 α_2 을 나타내고 있다. 측정위치를 효과적으로 나타내기 위하여 충돌 점으로부터 수직 거리를 Y, 수평거리를 X로 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

본 실험에서는 평판에 입사되는 액적의 온도가 충돌 분무의 거동에 미치는 영향을 규명하기 위하여 분무 액체로는 물성치가 각각 다른 물, 연료 A와 연료 B를 사용하였다. 물의 경우에 분사가 원활하게 이루어질 수 있는 온도 범위인 10°C ~ 30°C 에서 실험을 수행하였으며, 연료 A와 연료 B는 -20°C ~ 30°C 의 범위에서 실험을 수행하였다. 온도는 액적 발생기로 액체가 들어가기 전 2cm지점에서 측정하였으며, 각각의 경우에 대한

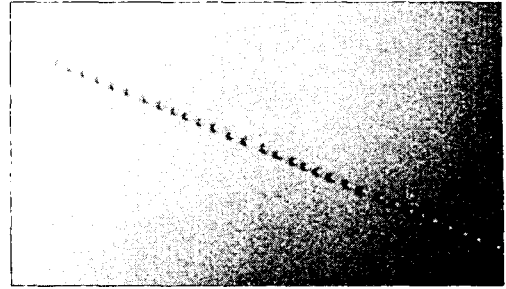


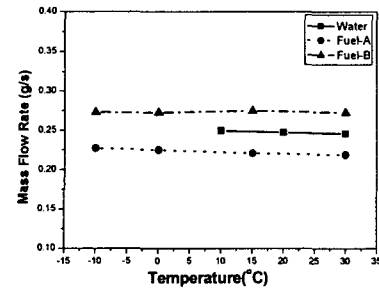
Fig. 4 Direct Photograph of uniform droplets generated by droplet generator

실험을 시작하기 전에 평판의 충돌지점에 열전대를 설치하여 약 10분 동안 온도를 측정하여 두 가지 온도를 비교한 결과 온도차가 없거나 매우 작음을 확인하였다.

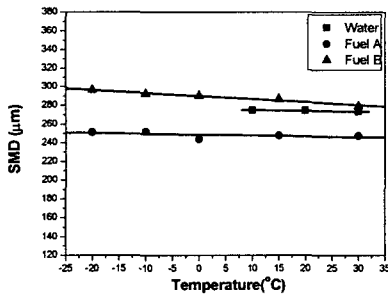
실험 중 액적 발생기와 충돌평판과의 거리는 항상 3cm로 일정하게 유지하였으며, 액적 발생기의 오리피스 직경은 $150\mu\text{m}$ 로 동일하게 하였다. 액적 발생기에 가해준 교란 주파수는 물의 경우 10.0kHz, 연료 A는 38.3kHz, 연료 B는 27.7 kHz로써 입사 액적이 균일하게 분열되는 주파수로 설정하였다. 이렇게 각 액체가 분열되는 주파수 영역대의 차이가 있기 때문에 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 $20\mu\text{m}$ ~ $30\mu\text{m}$ 정도로 입사액적의 크기에 차이가 있으며 Fig. 9와 13처럼 세 가지 액체를 동시에 비교할 때는 입사액적의 크기를 고려하였다.

Fig. 4는 물의 온도가 20°C 이고 액적 발생기 오리피스 직경이 $150\mu\text{m}$ 일 때 액적발생기에서 생성된 액적들의 직접 사진이다. 실험에서 사진은 Nikon 50mm렌즈에 접사링(Extension tube)과 스트로보스코프를 사용하여 촬영하였다. 사진에서 보면 균일한 액적이 일정한 간격을 유지하며 분사됨을 확인할 수 있다.

Fig. 5의 (a)와 (b)는 각 액체의 온도변화에 따른 분사액적 측, 충돌 전 액적들의 질량유량과 SMD 변화를 비교 도시한 것으로, 온도변화에 따라 질량유량은 거의 변화가 없으며, 액적의 크기 즉 SMD는 물의 경우는 거의 일정하고 온도의 변화에 따른 물성치의 변화가 큰 연료 A와 B의 경우는 약간 감소함을 보여준다. 이는 온도가 증가함에 따라 표면장력이 감소하기 때문 SMD가 약간 감소하며 그 차이는 최대 $10\mu\text{m}$ 로 그 영향은 매우 작다.

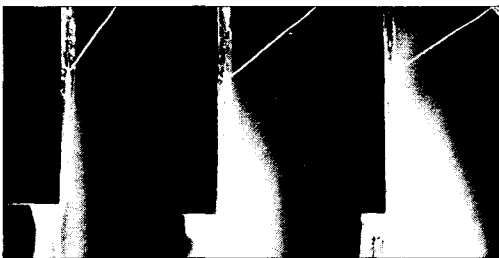


(a) Initial mass flow rate



(b) SMD

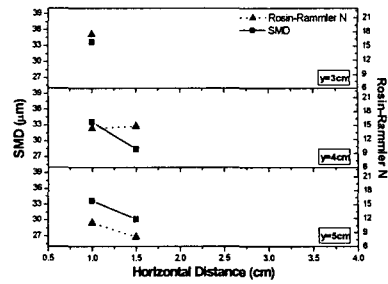
Fig. 5 The effect of droplet temperature on initial mass flow rate and mean diameter



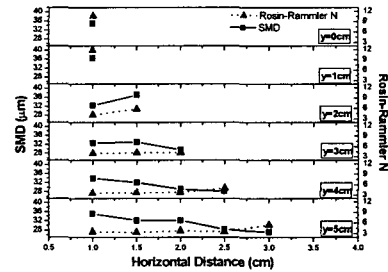
(a) $\alpha_1=30^\circ$ (b) $\alpha_1=45^\circ$ (c) $\alpha_1=60^\circ$

Fig. 6 Direct images of impinging droplet behavior for the variation of incident angle (Water, droplet temperature=20°C)

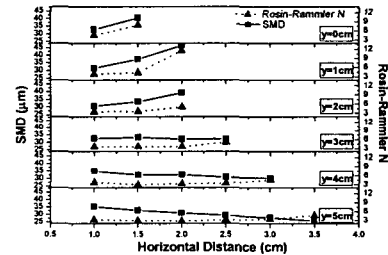
Fig. 6은 20°C 물의 입사각(α_1)을 30°, 45°, 60°로 변화시키면서 벽면에 충돌시켰을 때 분무의 거동을 직접 촬영한 사진이다. 입사각이 작은 경우는 충돌 후 튀어나와 분산되는 액적들이 벽면 근처의 좁은 영역에 분포되어 있어 분산각(α_2)이 작으나, 충돌액적의 입사각이 증가하면 튀어나온 액적들의 분포영역이 커져서 분산각이 증가함은 물론 충돌 점 위쪽에도 분산된 액적들이 나타남을 볼 수 있다.



(a) Incident angle=30°



(b) Incident angle=45°



(c) Incident angle=60°

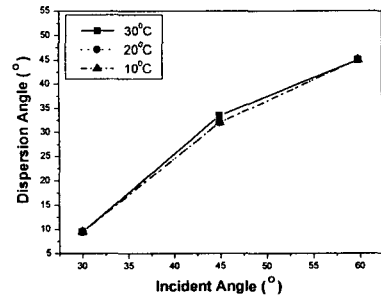
Fig. 7 The effect of incident angle on the distributions of SMD and Rosin-Rammler N (Water, droplet temperature=20°C)

Fig. 7의 (a), (b)와 (c)는 Fig. 6의 경우 즉 20°C 물을 입사각 α_1 이 30°, 45°와 60°로 평판에 충돌시켰을 때의 SMD와 Rosin-Rammler N의 수평(X)방향 분포를 수직(Y)방향 여러 위치에서 비교도시한 것이다. 여기서 N은 분포함수에서 분무액적의 크기분포의 폭, 즉 균일 정도를 나타내며, N이 크면 분포의 폭이 좁아져서 균일한 분포이며 N값이 작으면 분포의 폭이 넓고 분포가 불균일하여 여러 크기의 액적들이 존재함을 의미한다.

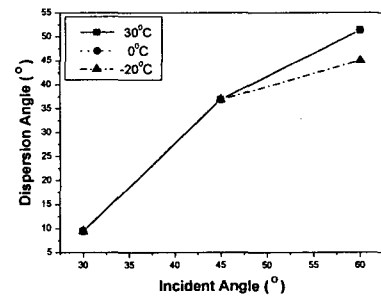
액적의 입사각이 증가하면 충돌 후 분산되는 액적이 나타나는 영역이 증가함은 물론 SMD도

큰 값을 나타낸다. 또한 액적의 입사각 α_1 이 30°인 (a)의 경우는 충돌위치 근처($Y=0\text{cm}$)에서는 분산 액적이 측정되지 않으나, 입사각이 45°와 60°인 (b)와 (c)의 경우 수직거리 $Y=0\text{cm}$ 즉 충돌 위치에서도 분산된 액적들이 나타난다. 이는 입사각이 큰 경우 액적이 충돌 후 분산 액적이 충돌점 상류로 튀어 나옴으로써 나타나는 현상이다. Fig. 7 (c)에서는 $Y=0\text{cm}$ 와 $Y=1\text{cm}$ 영역 즉 충돌 위치 근처에서 평판($X=0\text{cm}$)으로부터 수평방향 즉 X방향 외곽으로 갈수록 SMD와 Rosin-Rammler N 값이 증가함을 보여준다. 이는 충돌점 위쪽으로 분산된 액적들 중에서 작은 액적들은 운동량이 작기 때문에 수평방향 외부 쪽으로 유동하는 침투깊이가 작아 평판부근에서 작은 크기의 액적으로 나타나고, 비교적 크기가 큰 액적들은 운동량이 크기 때문에 평판에서 수평방향 외곽으로 멀리 튀어나와 유동하므로 나타나는 현상으로 해석된다. 그러나 하루로 가면 수평거리가 증가함에 따라 SMD는 감소하며, Rosin-Rammler N은 일정하다가 분무 경계근처 외곽에서 약간 증가한다.

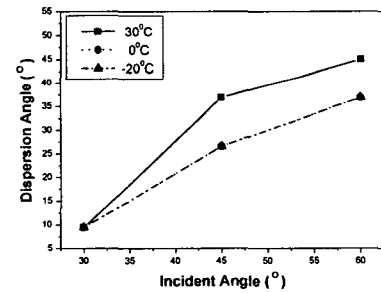
Fig. 8의 (a), (b)와 (c)는 입사 액적이 각각 물, 연료 A와 연료 B 일 때 다양한 입사 액적온도에 대하여 입사각의 변화에 따른 분산각의 변화를 도시한 것으로서, 분산각은 측정된 체적농도를 이용하여 구하였다. 모든 경우 액적의 입사각이 증가함에 따라 수평방향 운동량이 증가하게 되고 벽에서 반사될 때 충돌로 인한 액적의 변형시 continuity를 만족시키기 위해 액적분무방향에 횡축인 방향으로의 운동량 성분도 증가하기 때문이라고 판단된다. Fig. 8의 (a)는 액적인 물의 온도가 10, 20과 30°C의 경우에 대하여 입사각의 변화에 따른 분산각의 변화를 비교 도시한 것으로서, 온도가 감소하면 분산각도 약간 감소하나 온도 변화에 따른 분산각의 변화는 크지 않음을 보여준다. 이는 액적이 충돌 후 표면장력과 점성이 클수록 반발력을 감소시키는데 물의 경우 온도 변화 범위 내에서 표면장력과 점성의 변화가 다른 두 액체에 비하여 때문이라 생각 된다. Fig. 8의 (b)는 액적인 연료 A의 온도가 -20, 0 및 30°C의 경우에 대하여 비교 도시한 것으로, 물의 경우와 다르게 입사각 60°에서 온도가 저온일 경우 분산각이 감소한 것을 볼 수 있는데 이는 연료 A는 온도가 낮을수록 점성과 표면장력이 증가하게 되어 평판 충돌 후 분산되는 액적의 반발력



(a) Water



(b) Fuel A



(c) Fuel B

Fig. 8 The effect of liquid temperature and incident angle on the dispersion angle

을 저하시키기 때문이라 생각된다. Fig. 8의 (c)는 연료 B에 대한 결과로서 물과 연료 A의 경우와는 다르게 입사각 60°에서 뿐만 아니라 45°에서도 온도가 저온일 경우 분산각이 크게 감소한 것을 볼 수 있는데, 이는 연료 B는 온도가 낮을수록 점성과 표면장력이 크게 증가하여 평판 충돌 후 액적이 갖게 되는 반발력을 크게 저하시키기 때문이라 생각된다.

Fig. 9는 액적의 온도가 20°C일 때 각각의 액체에 대하여 입사각 변화가 충돌 후 튀어나오는 분산액적의 질량유량에 미치는 영향을 비교하여 나

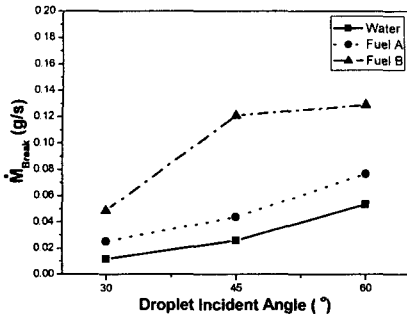


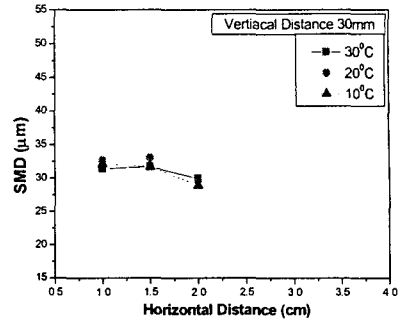
Fig. 9 The effect of incident angle on the dispersion mass fraction for various liquids (droplet temperature=20°C)

타낸 것이다. 본 연구에서는 벽면에 입사된 액적의 질량유량에 대한, 충돌 후 튀어나오는 분산액적의 질량유량의 비를 분산 분율(dispersion mass fraction)로 정의하여 사용하며 분산유량과 벽면에 부착되어 흐르는 액막유량의 관계는 다음과 같다.

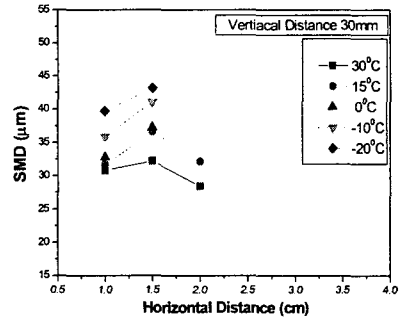
$$\dot{M}_{break} = \dot{M}_{initial} - \dot{M}_{film}$$

3가지 액체 모두 입사각이 증가하면 분산 분율은 증가하며, 그 크기는 표면장력이 제일 큰 물의 경우가 제일 작고, 연료 B의 경우에는 표면장력은 연료 A보다 크지만 Fig. 5의 (b)에서 보듯이 입사액적 크기가 가장 커서 운동량이 크고 반력 또한 증가하기 때문에 분산 분율이 가장 높게 나타난다. 즉 표면장력이 작고 입사액적의 크기가 큰 액체는 충돌 후 잘 분산되는 반면 표면장력이 크고 입사액적의 운동량이 작을수록 액막으로 흐르는 유량이 증가함을 의미한다. 또한 입사각이 증가할수록 평판에 수직인 방향의 액적속도성분이 증가하기 때문에 충돌 시 액적에 작용하는 반력이 증가하고 액적 내부압력이 증가하게 되므로 더 많은 양의 액적들이 분산되는 되는 것으로 해석된다.

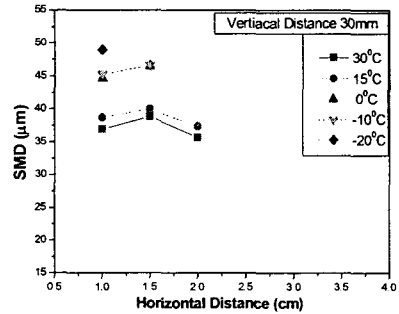
Fig. 10은 각각의 액체에 대하여 충돌 위치로부터 아래로 수직거리 3cm에서 각 액체의 온도변화에 따른 분산액적의 수평방향 SMD 분포를 비교 도시한 것이다. 연료 A와 B의 경우 SMD는 벽면에서 외부로 갈수록 약간 증가하다가 감소하는 경향을 보여주며, 물의 경우 액적의 온도변화에 따른 분산액적의 평균직경 즉 SMD 변화는 거



(a) Water



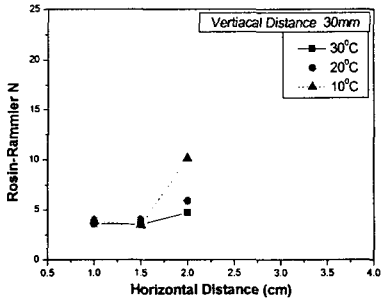
(b) Fuel A



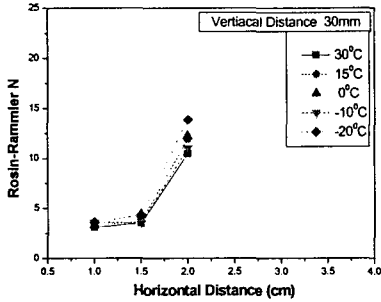
(c) Fuel B

Fig. 10 The effect of droplet temperature on the distributions of droplet mean diameter for the variation of liquid (V=3cm, incident angle=45°)

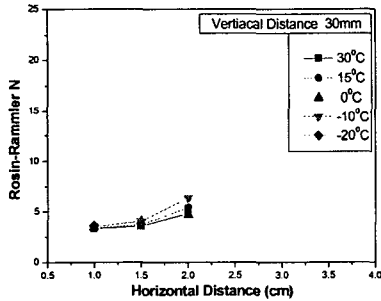
의 없음을 보여준다. 연료 A와 연료 B의 경우에는 Fig. 10의 (b)와 (c)에서 보는 것과 같이 연료 온도가 증가하면 SMD는 감소하고 분산된 액적이 존재하는 영역은 증가하며 물의 경우는 온도 변화에 따른 SMD의 변화가 작게 나타난다. 이는 온도의 증가로 인한 점성과 표면장력의 저하로 인하여 나타나는 현상이며, 특히 물의 경우는 표



(a) Water



(b) Fuel A

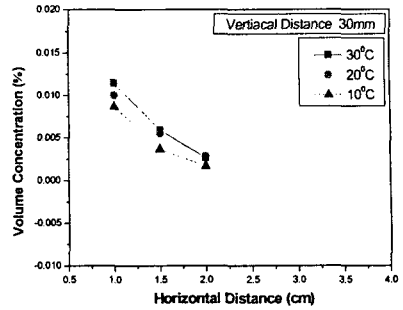


(c) Fuel B

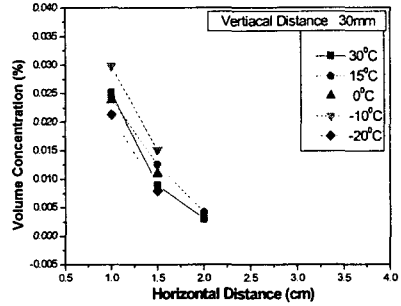
Fig. 11 The effect of droplet temperature on the distributions of Rosin-Rammler N for the variation of liquid (V=3cm, incident angle=45°)

면장력이 다른 액체에 비하여 클 뿐 아니라 온도 변화범위 내에서 표면장력과 점성의 변화가 연료 A와 B에 비하여 적기 때문에 나타나는 현상으로 해석된다.

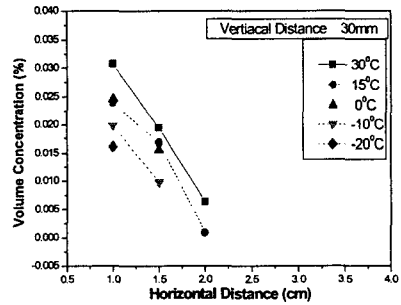
Fig. 11은 3가지 액체에 대하여 충돌 위치로부터 아래로 수직 거리 3cm에서 액체의 온도 변화에 따른 분산액적의 Rosin-Rammler N값의 수평방향 분포를 비교 도시한 것이다. 세 가지 경우 모두 N은 벽면에서부터 외부로 어느 위치까지 일정한 값을 유지하다가 분산분부의 외곽에서 감차



(a) Water



(b) Fuel A



(c) Fuel B

Fig. 12 The effect of droplet temperature on the distribution of Volume Concentration for the variation of liquid (V=3cm, droplet incident angle=45°)

기 증가한다. 이는 여러 등급크기의 액적들이 존재하는 분산액적들의 주 유동 영역이 벽면 근처에 형성되며 외부로 가면 액적 크기의 균일도가 증가함을 의미한다. N값의 수평방향 변화는 연료 A가 제일 크고 물의 경우가 다음이며 연료 B의 수평방향 변화는 작게 나타난다. 또한 온도가 증가할수록 즉 점성과 표면장력이 감소할수록 N값은 감소하며, 액체가 물일 때 분산분부 외곽에서의 온도에 따른 N값이 변화폭이 크지만 연료 B는 그 차이는 크지 않음을 보여준다. 이는

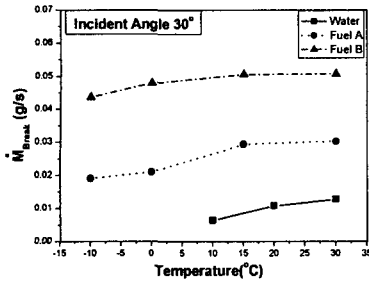


Fig. 13 The effect of droplet temperature on dispersion mass fraction for the various fuels

온도가 낮으면 표면장력과 점성이 커져서 다양한 크기의 액적을 생성하는 여러 단계의 분열과정이 억제되어 보다 균일한 액적이 생성되는 것으로 생각된다.

Fig. 12(a), (b)와 (c)는 물, 연료 A와 연료 B에 대하여 충돌 점으로부터 아래로 수직 거리 3cm에서 액체의 온도 변화에 따른 각 액체의 분산액적 체적농도의 수평방향 분포를 나타낸 것이다. 세 경우 모두 충돌벽면 가까운 곳에서 높은 분산액적의 체적농도를 보인 후 수평방향 외부로 갈수록 거의 선형적으로 감소하며 감소율은 연료 B가 제일 크고 물이 제일 작다. 또한 온도가 높을수록 점성과 표면장력이 감소함으로 인하여 분산액적의 체적농도가 증가한다. 이로서 분산액적은 벽면근처에 주로 존재하며 액체의 표면장력과 점성이 감소할수록 분산액적의 체적농도가 증가함을 알 수 있다.

Fig. 13은 입사각이 30°인 경우 각각의 액체 온도 변화에 따른 입사질량에 대한 분산액적의 질량비 즉 분산 비율의 변화를 나타낸 것이다. 물, 연료 A와 연료 B의 모든 경우에 온도가 증가함에 따라 분산액적의 질량유량이 서서히 증가하며, 이는 온도가 증가함에 따라 표면장력이 감소하여 분산을 촉진하므로 나타나는 현상으로 해석된다. 앞의 Fig. 9에서 살펴보았듯이 표면장력이 가장 큰 물의 분산 비율이 제일 작고, 표면 장력은 연료 A보다 크지만 입사액적의 크기가 가장 큰 연료 B의 분산 비율이 제일 크게 나타난다.

4. 결론

액체의 온도변화가 액적의 벽면 충돌 후 분산 분포 특성에 미치는 영향을 규명하기 위하여

Kerosine 계열의 연료 A 연료 B 그리고 물을 액체로 하여 균일 액적의 평판 충돌에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 액적 입사각이 증가함에 따라 충돌 시 액적이 갖게 되는 평판에 수직인 속도 성분의 증가로 인해 액적이 평판에 의해 받게 되는 반력이 증가하고 액적 내부 압력이 증가하게 되어 충돌 후 분열되어 이탈되는 액적들의 분산각이 증가한다.

(2) 액적 입사각이 증가할수록 분산액적의 질량유량이 증가하여 액막유량은 감소하며 그 정도는 입사액적의 표면장력이 작을수록 입사액적의 크기가 클수록 더 크다.

(3) 액적의 온도가 증가함에 따라 액적들이 갖는 표면 장력과 점성의 감소로 인하여 이탈 액적의 SMD는 감소한다.

(4) 분산액적은 벽면 근처에 주로 존재하며 이곳에서 표면장력과 점성이 감소할수록 체적농도는 증가한다.

(5) 액적의 온도가 증가함에 따라 표면장력의 감소로 인하여 평판에 흐르는 액막의 양이 적어지게 되어 이탈 질량유량은 증가한다.

후 기

본 연구는 연소기술연구센터(CERC)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) John B. Heywood, 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill International Editions, pp. 15~25.
- (2) Tamura, Z. and Tanasawa, Y., "Evaporation and Combustion of a Drop Contacting with a Hot Surface," *Seventh Symposium on Combustion*, 1959, pp. 509~522.
- (3) Lee, J. H., Kim, T. K. and Choi, I. S., 1994, "Wall Impinging Behavior and Droplet Size Measurement in Diesel Spray," *SAE NO. 943741* pp. 39~49.
- (4) Bourke, M. C. and Evers, L. W., 1994, "Fuel Film Dynamics in the Intake Port of a Fuel Injected Engine," *SAE Technical Paper Series 940446*, pp. 23~43.

- (5) Kazushi-Trurutani, Masahiro-Yao, Jiro-Senda and Hajime-Fujimoto, 1990, "Numerical Analysis of the Deformation Process of a Droplet Impinging Upon a Wall," *JSME International Journal*, pp. 555~561.
- (6) Jy-Cheng Chang, Jiu-Zhang Lu and Lian-Haw Yu, 2001, "Experimental Study of the Effects of Fluid and Wall Surface Properties on Droplet Impingement," *ILASS-Asia*, pp. 100~105.
- (7) Pasandideh-Fard, M., Aziz, S. D., Chandra, S. and Mostaghimi, J., 2001, "Cooling Effectiveness of a Water Drop Impinging on Hot Surface," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, pp. 201~210.
- (8) Johnen, T. and Haug, M., "Spray Formation Observation and Fuel Film Developments in the Intake of a Spark Ignition Engine," *SAE Technical Paper Series 950511*, pp. 1~12.
- (9) Huimin Liu, 1981, *Science And Engineering Of Droplets Fundamental And Applications*, William Andrew publishing, pp. 52~59.
- (10) Berglund, R. N. and Liu, B. Y. H., 1973, "Generation of Monodisperse Aerosol Standards," *Env. Sci. & Tech.* 7, pp. 147~152.
- (11) Rho, G. J., Kang, S. J. and Kim, W. T., 1999, "A Study on the Spray Behavior of Air-Assist Type Gasoline Fuel Injector in Intake Port," *Trans. of the KSME B*, Vol. 23, No. 1, pp. 92~103.
- (12) Ryoo, S. M., Cha, K. J., Kim, D. J. and Park, K. H., 1998, "Numerical Analysis of the Formation of New Impinging Spray in the Diesel Combustion System," *Trans. of the KSME B*, Vol. 22, No. 11, pp. 1625~1634.
- (13) Moon, Y. H. and Oh, Y. T., 2002, "The Experimental Study of Atomization Characteristics of Gasoline Spray Impinging on Glow Plug," *KSME International Journal*, Vol. 16, No. 2, pp. 270~278.