

‘본 연구는 1997년도 교육부 학술 연구조성비(기계공학 ME97-A-17)에 의해 연구되었음’

가정용 보일러의 유화연료 공급장치 개발 및 분무 특성에 관한 연구

A Study on the Development of Emulsified Fuel Supplier and Spray Characteristics of Domestic Petroleum Boiler

윤 면 근*, 김 용 국*, 류 정 인**
M. K. Yoon, Y. K. Kim, J. Y. Ryu

ABSTRACT

The spray characteristics of emulsified fuel of W/O type has been experimentally investigated. The mixture of light oil and water by using ultrasonic energy adding system is used as the emulsified fuel. The SMD of sprayed droplet of emulsified fuel is measured by using the particle size analyzer. Major parameters of the present experimental study are the volume fraction of water in emulsified fuel, 0~30% by 5%, injection pressure, 10kg/cm²~18kg/cm² by 2kg/cm², and the measurement distance, 10 ~100mm, between injection nozzle tip and analyzer beam.

Compared with light oil, the SMD of emulsified fuel is larger gradually by increasing the volume fraction of water in emulsified fuel, heightening injection pressure and increasing the spray distance. Also, In considering the fact that the pattern of drop size distribution of emulsified fuel is alike that of light oil, the real time spray in coincidence with making emulsified fuel by adding ultrasonic energy can stabilize spray pattern without modificating the injection system used by now.

주요기술용어 : emulsified fuel(유화연료), SMD(Sauter 평균입경), ultrasonic energy adding system(초음파 에너지 공급장치), W/O type(유중 수적형)

1. 서 론

저질의 액체 연료를 사용하는 열기관에서는 NOx 및 soot의 배기발생이 대기오염의 큰 비중을 차지하므로 그 발생을 최소

화하는 방법의 하나로 물의 잠열을 이용하여 연소온도를 저하시키고, 물의 수성화 반응을 이용하는 라디칼 형성을 극대화시킨 완전연소를 이룩함으로써 열기관의 효율성을 극대화시키는 한편 유해 배기가스를 저감시키는 등의 많은 연구들이 수행되어져 왔다.¹⁾⁻³⁾ 유화연료는 경유에 물을 첨가한 연료로서 연소시 물이 연료의 기화를 촉진

* 충남대학교 기계공학과 대학원

** 충남대학교 기계공학부

시켜 효율적인 연소진행을 도와주므로 기관의 성능을 향상시키고, 엔진내의 온도를 낮추어 thermal NOx를 저하시키고 soot의 생성을 억제하는 장점을 가지고 있다. 또한, 연료 분사시 함유된 물은 연료의 물리적 특성값을 변화시키므로 분무 액적의 크기에 영향을 주며, 연소시 화염의 유지 및 화염형상에도 영향을 미치게 된다.^{1)~3)} 또한 연소시 미소폭발과 수성화 반응 등에 의하여 배기가스의 생성과 열효율에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서, 본 실험에서는 초음파에너지를 이용하여 유화연료를 제조하였으며, 열기관에 적용하기 전의 선행 연구로서 연속형 단공 노즐을 사용하여 유화연료내의 함유량, 분사압, 분무선단 거리에 따른 분무 실험을 수행하여 액적의 크기 변화를 실험 연구한 후, 순수 경유 분무와 결과를 비교, 고찰하였다.

2. 관련 이론

2.1 초음파

초음파는 구형파와 비교하여 볼 때 일정 방향으로 강하게 방사되는 성질(directivity)을 가지는데, 지향성에 의하여 크기가 같은 구형파보다 훨씬 큰 방사압을 가지게 되므로, 초음파를 초점에 집중하면 매우 큰 음압강도를 만들 수 있게 된다. 또한, 이 방사압이 매우 크므로 음압의 큰 소밀차를 발생시켜 음압차에 의하여 기포가 집합, 성장, 압괴되는 초음파 공동현상(ultrasonic cavitation)이 발생하게 된다. 기포가 압괴되는 순간에 매우 큰 순간압력의 충격파가 발생하여 액체 내에 격렬한 잠음이 발생하며 액체가 충돌하여 합쳐지고 파괴되고 다시 합쳐지면서 방사압이나 직진류도 가해져 액면이 발달하여 솟아오르며 유괴(流塊)도 생기면서 주파수 고유의 가느다란 분무가 발생된다.^{4)~7)} 한편, 초음파의 압력이 계속하여 부가되는 경우 이미 공동현상으로

인하여 생성된 기포는 수축하여 온도 및 압력이 상승하게 되는데, Rayleigh는 기포내가 진공인 것으로 가정하여 이 온도를 계산하였으나, Noltingk는 기포 내에 공기가 일부 들어있으며 기포가 단열 압축하는 것으로 가정하여 온도 및 압력 상승에 대한 식을 유도하였는데, 기포가 최대로 작게 되는 압력은 정수압의 4000배 정도의 높은 압력을 가지게 되며, 기포내의 압력이 어느 정도 되는지는 확실치 않지만 일반적으로 최대 수천기압에 이르는 것으로 믿어지고 있다.⁶⁾ 이런 현상은 경유에서도 같은 결과가 예상되어지며, 혼에 의한 충격에너지와 국부적 온도상승 및 압력상승 효과가 연료의 계면에 작용하여 연료의 표면장력 및 점도를 저하시킴으로써, 결국 분무 미립화 특성에 영향을 미치게 된다. 현재 이러한 초음파 특성은 초음파 세척장치 등에 응용되어지고 있다.⁷⁾ 초음파 에너지 부가에 의한 미립화 측면에서, 동일한 분사조건하에서 초음파에너지를 부가한 액체연료는 비부가 액체연료보다 미립화 효과가 우수하므로 연료의 분사압력을 낮춤으로써 분사효율의 향상에 의해 종합적인 효율의 향상에 일조할 수 있다.

2.2 유화연료

유화연료(emulsified fuel)란 물과 기름이 유화상태에 있는 연료를 말하며, 물과 기름의 함량에 따라서 크게 유중수적형(W/O type)과 수중유적형(O/W type)으로 구분되는데, 연료로서는 유중수적형이 많이 사용된다. 유화연료를 생성하는 방법은 크게 기계적인 장치를 이용하는 것과 초음파 에너지를 이용하는 것이 있는데, 기계적인 장치는 부피와 중량이 커서 차량 등에 탑재가 어려우며, 저장시 유화연료의 상분리 문제가 발생한다.^{1)~3)} 이를 극복하기 위한 기술로서, 후자는 앞서 언급한 초음파 에너지를 어떤 액체에 부가하여 미세한 액적을 만드

는 동시에 다른 액체내에 균일하게 분산시켜서 유화연료를 제조한다. 연료가 상분리하면 안정성 부족으로 분무가 불균일해지므로, 이러한 문제를 극복하기 위하여 연료 분사 펌프 직전에 유화연료 제조장치를 부착하여 유화연료의 제조와 동시에 곧바로 분무시키며, 유화연료 공급을 위한 별도의 장치가 필요하지 않다.^{3)~4)} 즉, 초음파 에너지는 물과 경유의 계면을 약화시키는 순간적 유화제의 역할을 대신 수행함으로써 액체간의 용합을 촉진하는 주역할을 하며, 이에 따른 계면활성제의 사용으로 인한 경제적, 유해 배기 배출을 사전에 방지하며, 부수적으로 초음파 에너지에 의한 미립화 효과까지 동시에 얻을 수 있다.

3. 실험장치 및 방법

3. 1 유화연료 공급 및 분무입경 측정

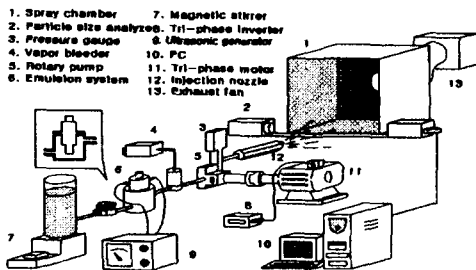


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

본 실험의 전체 장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같으며, 구성은 크게 유화연료 제조 및 공급장치부와 분무입경 측정장치부로 구성된다. 전자석 교반기(magnetic stirrer)를 설치하여 물과 기름을 일정 부피비로 유화실로 유입시켰으며, 유화실에서 초음파 에너지부가에 의하여 유화연료가 제조된 후 가스흡입장치와 연료 분사펌프를 지나 노즐을 통해 분사된다. 유화실과 연료 분사

펌프 사이에는 가스흡입장치를 장착하였는데, 이 장치는 초음파에 의한 공동현상으로 발생된 기포를 대기로 내보냄으로써 연료 분사펌프가 정속운전을 하게 한다. 연료 분사펌프는 3상 로터리 방식이며, 펌프의 구동을 인버터로 rpm제어함으로써 분사압력을 정량적으로 제어하였다.

초음파 유화연료 제조장치는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 초음파 발진장치, 진동자, 초음파 혼, 유화실로 구성되어 있다. 초음파 발진장치에서는 28kHz의 주파수를 발진하며, 진동자에서는 발진된 주파수로 진동하도록 설계되어져 있다. 초음파 혼과 진동자의 단면적비를 1:4로 함으로써 초음파 혼에서의 진폭을 진동자 진폭의 4배가 되도록 하였으며, 혼의 재질은 Al 70계열로서 유화연료가 제조되는 혼 끝단에서의 초음파 진폭을 최대로 하기 위하여 혼의 길이를 초음파 파장의 3/4배로 계단형(step type)으로 설계, 제작하였다.

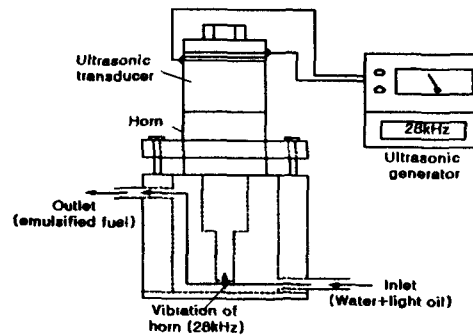


Fig. 2 Ultrasonic emulsified fuel manufacturing system

연료 분사노즐은 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 압력식 단공 노즐로서 기준 분무각은 60°이고, 분사유량은 7bar를 기준으로 하여 시간당 3.21인 상용 보일러 노즐을 사용하였다. 연료가 분사노즐로 유입된 후 필

터틀 지나 throat hole을 통과한 후 오리피스스를 통해 분사가 행하여 지는데, 이 때 throat hole 3개가 방사성으로 존재하므로 triple jet을 형성하여 노즐 오리피스스를 통과 하면서 충돌분무효과가 나타나며, throat hole은 노즐의 축방향에 대해서 15°정도 경사져 있어서 약간의 와류도 형성하게 된다. 이와 같은 요소들의 복합적인 영향으로 분무는 내부 반중공형(simi-hollow corn) 형태를 띤다.

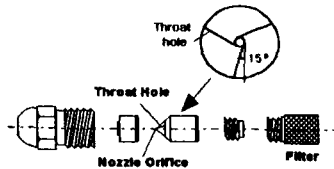


Fig. 3 Schematic diagram of nozzle

2. 2 분무입경 측정

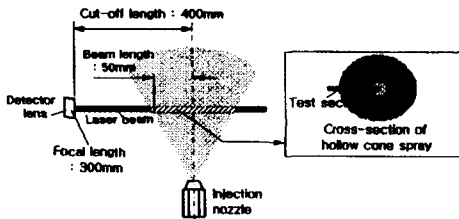


Fig 4. The test-section of spray

분무입경을 측정은 Fraunhofer 회절원리를 이용한 Malvern 2600D system를 이용하였으며, Fig. 4에 측정을 나타내었다. 분무입경 측정시 초점거리(focal length)는 300mm 렌즈를 사용하였으며, 비그네팅(vig-netting)현상을 방지하기 위해 수광부렌즈로부터 측정지점과의 거리를 400mm 이내로 하였으며, 측정 레이저 빔의 길이는 50mm로 하였다. 분무의 측정은 모든 원주방향에 대해 측정해야 하나, 분무의 단면은 내부 반중공형으로 원주방향으로는 분무의 형태가 거의 대칭적으로 균일하며 반경방

향으로는 분무가 다른 양상을 보이므로, Fig. 4과 같이 측정 영역(test section)을 정하였다.

분사노즐의 거리에 따른 분무입경 측정하기 위하여 초음파 유화연료 공급장치를 테이블 위에 고정시킨 후 레이저 광의 수직방향으로 테이블을 이동시켜면서 거리별에 따른 분무입경을 측정하였다. 연료는 분무실로 분사하였으며, 분무실 후방에는 배기팬을 설치하여 기분무된 부유 미세액적들을 제거함으로써 분무입경 측정에 정확성을 기하였다.

본 실험은 10℃, 대기압 상태의 밀폐된 공간상에서 행하였다. 물의 함량에 따른 분무입경 측정을 위하여 유화연료내 물의 함량을 0~30%까지 5%간격으로 부피비로 계량하였으며, 물의 함량이 0%인 순수경유의 경우에는 초음파 에너지를 부가하지 않았다. 분사압에 따른 분무입경 측정을 위하여 분사압을 10kg/cm² 에서 18kg/cm²까지 2kg/cm² 간격으로 변화시켰다. 거리에 따른 분무입경은 분사노즐 선단 위치가 레이저 광(beam) 상에 있을 때를 기준으로 하여 10mm~100mm까지 10mm씩 테이블을 이동시켜면서 측정하였다. 분무입경의 측정은 1회에 3,000개씩 5회 반복 측정함으로써 1개의 sample당 15,000개의 data를 측정하여 전산처리 하여 측정오차를 ±5% 이내로 하였다. 분포함수는 Rosin-Rammler 분포함수를 사용하였으며, 분사 적용모델은 액적분사(liquid droplet spray ; lds)모델을 사용하였다.^{8)~10)}

4. 결과 및 고찰

3. 1 분무입경

Fig. 5(a)~(g)는 각각 물의 함량이 일정한 경우에 분사노즐 선단으로부터의 거리의 증가에 따른 분무입경 분포를 각 압력별로 나타낸 그래프이다. 물의 함량과 분사

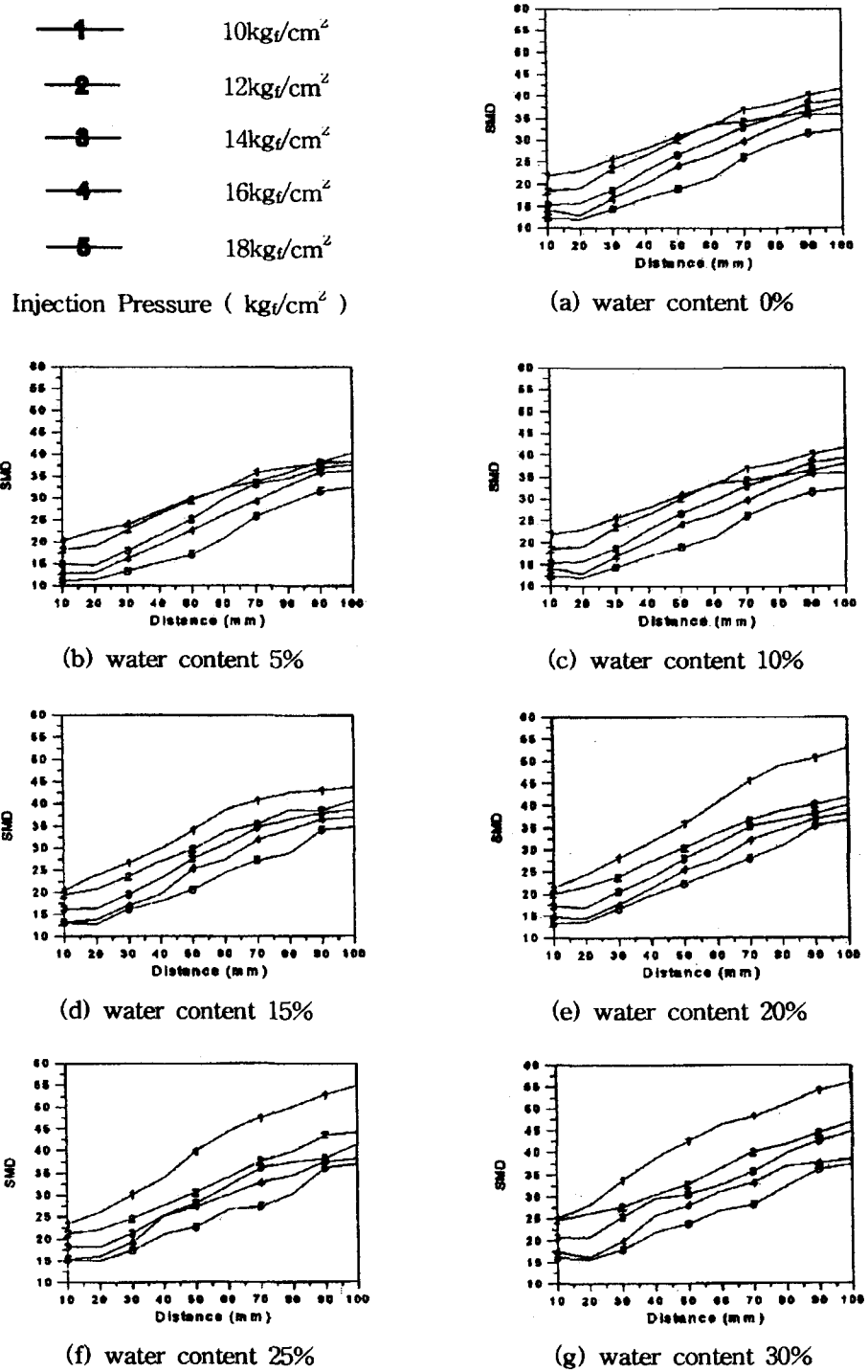


Fig 5. SMD vs. the distance from injection nozzle at each injection pressure

압력이 동일한 상태에서 분무선단으로부터의 거리가 증가함에 따라서 분무입경이 증가하는 경향인데, 이는 작은 액적은 큰 액적에 비하여 운동량이 작아 뒤쳐지게 되어 분무선단 거리가 클수록 분무의 증발과 동시에 큰 액적이 많이 존재하기 때문이라 할 수 있다. 물의 함량과 분무선단 거리가 동일한 상태에서 분사압력이 증가함에 따라서 분무입경이 감소하는 경향을 보이고 있는데, 이는 분사압력이 증가할수록 주위 공기와의 마찰뿐만 아니라 관통력과 분출 속도가 증가하여 운동량이 증가함으로써 전단력이 커져 미립화가 촉진되기 때문이라 할 수 있다. 또한, 유화연료내의 물의 함량이 증가할수록 분무입경이 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 액체의 표면장력이 커질수록 분무 입경이 증가하는 일반적인 경향으로 보아, 경유에 비하여 일반적으로 적경이 크므로 표면장력이 큰 물이 유화연료 내에 존재함으로써 유화연료의 전

체적인 표면장력이 증가하며, 그 결과 유화연료내의 물의 함량이 증가함에 따라 미립화특성이 불량하게 되어 분무입경이 증가하였으므로 사료되어 진다.

3. 2 분무입경 분포

기체 중에 집단적으로 존재하는 분무 액적은 다양한 크기의 통계학적 분포를 가지고 있다. Fig. 6~8은 Rosin-Rammler 분포를 사용하여 입경분포를 나타낸 것으로서, 분사압이 $10\text{kg}/\text{cm}^2$, $14\text{kg}/\text{cm}^2$, $18\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때의 입경분포 그래프이다.

일반적으로, 그래프에서 분무선단으로부터의 거리가 증가할수록 입경분포의 폭이 점차 넓어지고, 분포값들이 커지는 경향을 보인다. 분사압 변화에 비교해 볼 때, 유화연료 내의 물의 함량 변화에 대해서 입경분포의 폭은 대동소이하게 나타난다. 분사압 측면에서, 분사압이 낮을 때는 입경분포가 불균일하나 분사압이 증가할수록 입경분포

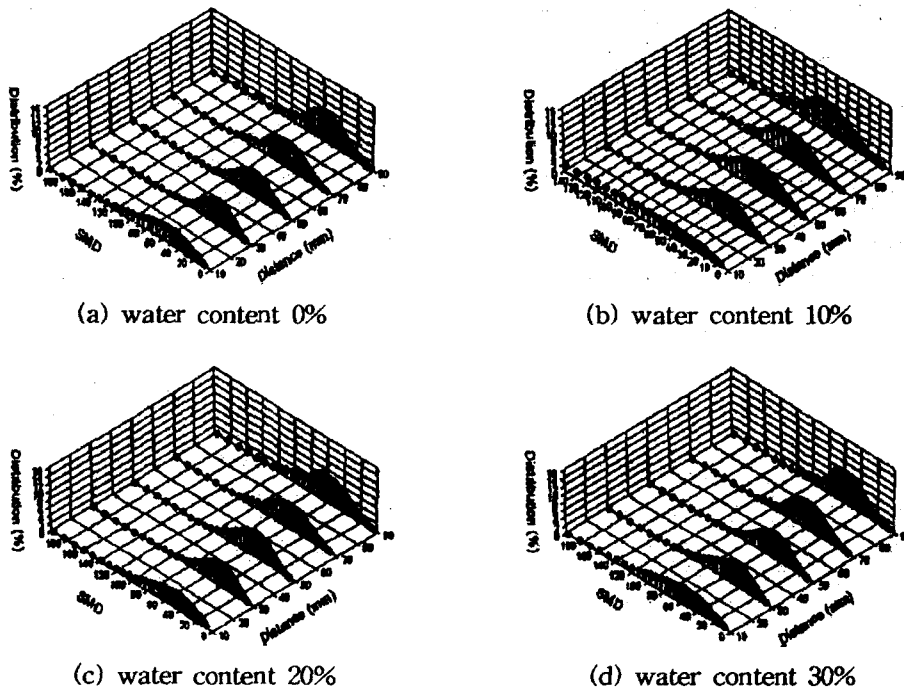


Fig. 6 Drop size distribution vs. the distance from inj. nozzle at inj. pre.= $10\text{kg}/\text{cm}^2$

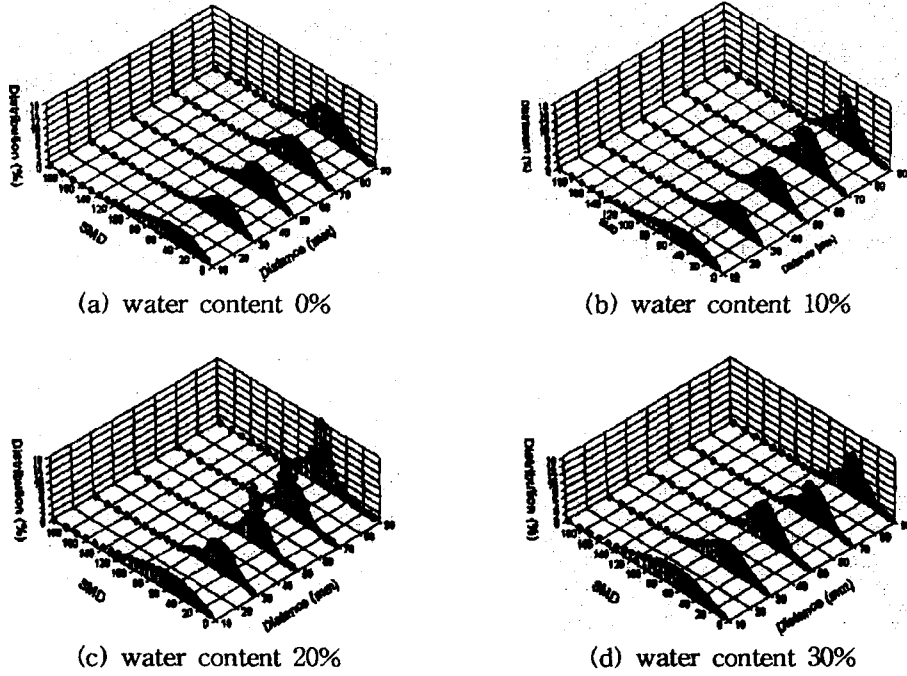


Fig. 7 Drop size distribution vs. the distance from inj. nozzle at inj. pre.=14kg/cm²

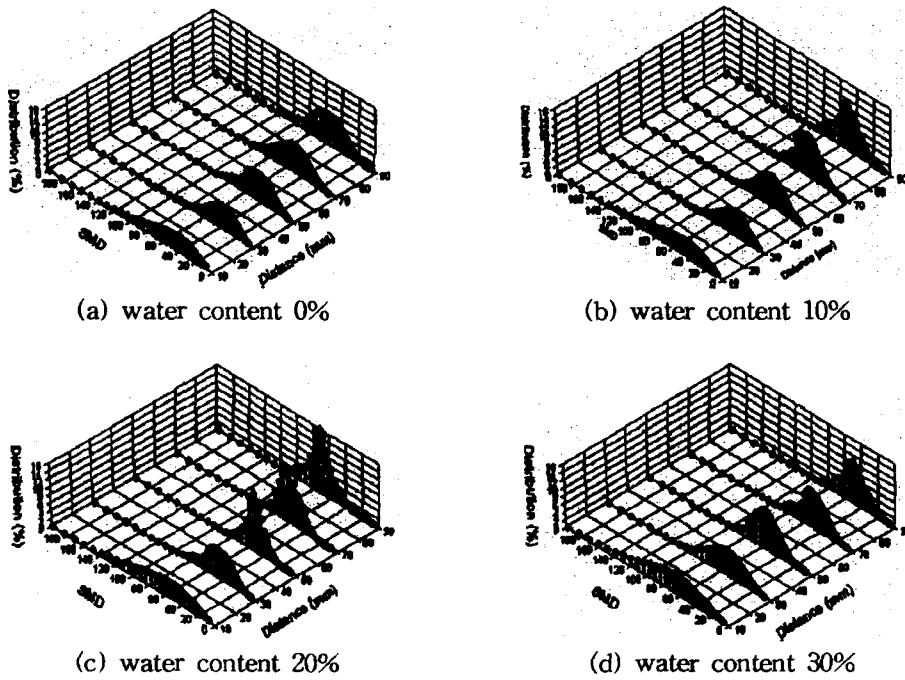


Fig. 8 Drop size distribution vs. the distance from inj. nozzle at inj. pre.=18kg/cm²

가 균일해지고 분포 액적들이 크기가 현저하게 작아진다. 이러한 현상을 볼 때, 분무의 평균입경 및 입경분포는 유화연료내의 물이 함량의 변화보다는 분사압 변화 영향이 우월하며, 물을 연료에 첨가하였음에도 불구하고 상용의 경유와 유사한 분무 패턴을 형성함으로써 안정적 분무가 얻어짐을 확인할수 있다.

5. 결론

유화연료의 분무특성 실험에서 연속형 단공노즐을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

유화연료를 순수경유와 비교해 볼 때, 동일한 조건하에서 순수경유에 비에너지원인 물을 혼합한 유화연료는 물의 함량이 증가함에 따라서 분무 분포액적들의 입경이 전반적으로 증가한 결과로 평균입경이 증가하며, 입경분포의 형태는 상용 경유와 거의 비슷한 형태를 보이고 있다. 그러므로, 분무특성 측면에서 볼 때, 초음파 부가식 유화연료를 제조 및 실시간으로 분무시키는 방식은 분무의 안정성을 확보함으로써 기존 분사계의 개조없이 양호한 분무특성을 얻을 수 있다.

유화연료의 분무실험의 결과는 순수경유보다 액적이 크게 나타났지만 연소시에는 유화연료내의 물에 의한 미소폭발현상이 발생하여 유화연료를 2차적으로도 미립화하는 물리적 현상과 수성화 반응과 같은 화학적 현상때문에, 실제기관에 적용시 이 현상들에 의한 복합적 연소특성 측정이 주목된다.

참고문헌

- 1) Minoru Tsukahara and Yasufumi Yoshimoto, "Influence of Emulsified Fuel Properties on the Reduction of BSFC in a Diesel Engine", SAE No. 891841, 1989.
- 2) Shuichi Kajitani 외 1인, "A Study on Gasoil-water(W/O Type) Emulsified Fuel (The Effects of Lapse of Time on the Spray Characteristics)", 日本機械學會論文集(B編) 56卷 531号, 1990-11
- 3) 권철홍 외 7명, "압축점화기관용 유화연료 이용기술 개발연구(II)", 한국에너지기술연구보고서 KIER-941104, 1994
- 4) 류정인 외 2인, "초음파 공급장치용 디젤자동차의 성능 향상에 관한 연구(II)", 한국자동차공학회논문집, 2(1), SAE No. 94370, 1994
- 5) 류정인 외 3인, "디젤자동차의 저공해형 연료 공급장치 개발 I", 한국자동차공학회 학술대회 논문집 No. 97380067, 1997
- 6) B. E. Noltingk 외 1인, "Cavitation Produced by ultrasonic; theoretical conditions for the onset of cavitation", Proc.phys. Soc., 64B1032, 1951
- 7) しるす, "超音波 噴霧", 山海堂, 1990, 12
- 8) 이상용, "액체의 미립화", 1996, 2
- 9) Arthur H. Lefebvre, "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing Corporation, 1989
- 10) L. Bayvel 외 1인, "Liquid Atomization", Taylor & Francis., 1993