

공 학 석 사 학 위 논 문

액침법에 의한 바이오디젤유의
액적분포에 관한 연구

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제어기계공학과

도현철

공 학 석 사 학 위 논 문

액침법에 의한 바이오디젤유의
액적분포에 관한 연구

지도교수 안 수 길

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2006년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

제어기계공학과

도현철

도현철의 공학석사 학위논문을
인준함

2005년 2 월 24일

주 심 공학박사 김 시 영 (인)

위 원 공학박사 고 대 권 (인)

위 원 공학박사 안 수 길 (인)

목 차

abstract	II
기호 설명	IV
1. 서론	1
2. 액적분포의 용어 정의	5
3. 시료 및 물성치	8
3.1 시료	8
3.2 시료의 물성치	9
4. 실험장치 및 방법	11
4.1 실험장치	11
4.2 실험방법	13
5. 실험 결과 및 고찰	14
5.1 화상처리방법과 목측과의 비교	14
5.2 시료에 따른 미립화 사진	16
5.3 시료에 따른 개수비, 체적비 및 누적체적	20
5.4 분위기 압력에 따른 SMD와 Rosin Rammler분석	
.....	34
6. 결론	42
참고 문헌	43

A Study on Droplet Distribution of Bio Diesel Fuels
Using Immersion Sampling Method

Hyun-Chul Doh

Department of Control Mechanical Engineering
Graduate School
Pukyong National University

Abstract

It is necessary to develop an alternative and environmental friendly fuel for diesel engine. The BDF(Bio Diesel Fuel) is the one for the engine. There were some papers for diesel engine performance tests using BDF, but we can't find any paper for droplet distributions and SMD of diesel spray for BDF.

In this study, droplet distributions and SMD of BDF are measured. Droplets are sampled with a conventional immersion sampling method and are taken the image of droplets by optical microscope with CCD camera. The image of droplets distributions are measured using image processing program, Sigma Scan.

The results of the above experiment are summarized as follows;

- (1) There are 10% error between droplet diameter measured with image processing and droplet diameter measured on eye.
- (2) BDF is similar with light oil on droplets distribution of ambient pressure, 1kg/cm^2

(3) SMD variations of BDF are small as on ambient pressure 3kg/cm^2 above.

(4) On Rosin-Rammler analysis, droplets size distribution of blend 30 uniform more than transesterfied vegetable oil 20.

(5) Increasing of SMD on rising ambient pressure is effected by a collision and consolidation than lack of stability of droplets as increasing We number.

기호 설명

D_j : j 입경의 액적	[μm]
D_{32} : SMD, Sauter 평균 입경	[μm]
dx : 구간 당 입경	[μm]
$fd(D_j)$: 입경 확률 밀도 함수	
$fv(D_j)$: 체적 확률 밀도 함수	
$Fv(D)$: 누적 체적 분포 함수	
Δp : 분사압과 분위기 압력 차	[kg/cm^2]
Ur : 분출 속도	[m/s]
v : 누적 체적 분율	
\bar{x} : 입경 파라미터	
ρ_A : 공기 밀도	[kg/cm^3]
δ : 분포 파라미터	

1. 서론

최근 우리들은 화석에너지의 무분별한 채취와 과소비로 인하여 에너지 고갈의 위기와 환경 파괴에 직면하고 있다. 따라서 에너지 위기의 극복과 환경을 보전하기 위해 대체에너지의 개발이 절실히 요구된다.

대체 에너지 중 바이오(Bio)계의 연료로는 식물유, 알코올, 동식물 폐기물(Biomass), 생물 가스(Biogas) 등이 있지만 디젤기관의 경우 식물유의 사용이 검토되고 있다. 이는 기존 기관을 개조하지 않고 사용할 수 있을 뿐만 아니라 알코올 사용의 경우와 같은 부식성과 독성물질인 알데히드의 배출이 없기 때문이다. 식물유는 원래 점도가 높고 휘발성이 낮기 때문에 그대로 디젤 연료로 사용할 수 없고 에스테르화하여 경유와 혼합한 혼합유의 사용이 시도되고 있다.

A.K. Agarwal등^(1,2)은 아마유의 메칠 에스테르유 20%와 80%의 경유를 혼합한 Bio를 디젤기관에 적용하여 성능 및 내구성을 실험한 결과 2.5%의 효율 향상과 smoke의 농도가 감소되었을 뿐 아니라 마모량은 아마유의 윤활성 때문에 순수 경유를 사용했을 때보다 저감되었음을 나타내었다. 뿐만 아니라 국내에서도 정⁽³⁾등은 폐식용의 에스테르유 및 정제 폐식용유를 경유와 혼합한 Bio 혼합유를 DI디젤기관에 적용하여 사용 가능여부 및 연소특성을 조사한바 있고 Ryu⁽⁴⁾등의 미강유 (rice bran oil)에 의한 에스테르유 경유 혼합유를 IDI 디젤기관에 적용하여 연소 특성을 조사한바 있다. 그러나 연소에 크게 영향을 끼치는 바이오 디젤 분

무의 분무특성에 대해 조사한 것은 찾아 볼 수 없었다.

디젤분무특성에는 미립화 정도 (SMD, D_{32}), 도달거리, 분무각 등의 인자가 있지만 그 중에서도 미립화는 유해물질의 생성, 연소 등을 좌우한다. 즉 고온 고압의 분위기 중에 분사되는 간헐 디젤 분무의 미립화는 액적들의 표면적을 증대하여 열전달 및 물질 전달에 의해 유증기와 주위 공기의 혼합에 의해 연소한다. 이때 액적의 크기와 그 분포는 혼합기 형성과 연소시간을 좌우한다.

예로 Fig.1 과 ⁽⁵⁾같이 입경의 크기와 연소시간의 관계를 보면 임의로 선택한 연소 시간을 크랭크 각도로 10도라 하고 6000rpm으로 운전되는 소형 기관의 경우 연소에 요구되는 시간은 약 $280\mu\text{s}$ 로 이 시간에 연소가 완결될 수 있는 입경은 액체 연료의 성질에 따라 달라지지만 약 $18\mu\text{m}\sim 32\mu\text{m}$ 의 직경을 갖는다. 또한 대형 저속인 경우 예로 90rpm 기관이라 하면 $10850\mu\text{s}$ (크랭크각 10도)로 이에 유추되는 입경 범위는 $140\mu\text{m}\sim 260\mu\text{m}$ 이다.

이와 같이 기관에 따라 사용연료의 분무 입경 분포 및 평균 입경을 아는 것은 매우 중요하다.

디젤분무의 경우 입경 분포 측정에는 액침법에 의한 측정⁽⁶⁾과 프란호프(Fraunhofer) 회절이론에 의한 광학적 측정⁽⁷⁾에 의한 해석이 있으나 본 연구의 경우는 액침법에 화상처리기법(Image processing)을 적용하여 시간을 절약하고자 하였다.

분무 액적 분포의 측정법 중 액침법은 측정 장치에 많은 경비가 들지 않았을 뿐 아니라 간헐 분무 전체의 입경 분포를 조사하는데는 매우 편리하다. 광학적 측정법인 프란호프 회절 이론에 의한

것이나 PDPA등은 공간적인 시간적인 분포의 추이는 쉽게 측정할 수 있지만 고가의 장치가 필요하다. 그리고 광로 중의 평균 입경 및 분무의 일부 입경 측정에는 유리하지만 간헐 분무 전체의 입경 분포 및 SMD를 아는데는 액침법이 더 유리하다.

따라서 본 연구에서는 바이오대체 연료의 연소 특성을 체계적으로 연구하기 위하여 바이오연료인 폐식용의 에스테르유 및 이의 경유 혼합유와 정제 폐식용유와 경유 혼합유의 물성치를 조사하고 이들 연료유의 간헐 분사시 입경 분포와 평균 입경(SMD)을 조사하는 것이 목적이다.

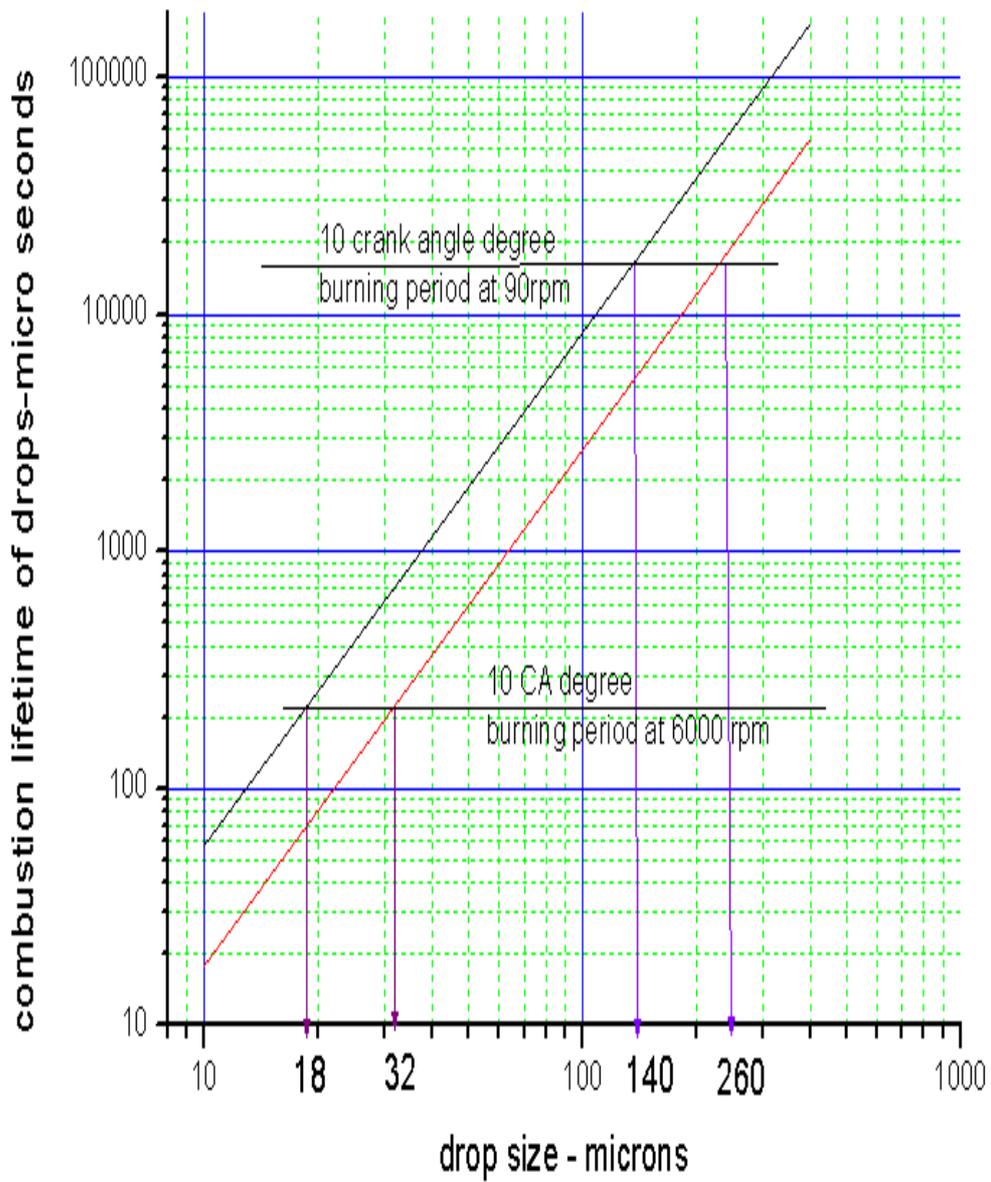


Fig. 1 Combustion lifetime of drop vs. drop size

2. 용어의 정의

개수비, 체적비, 누적 체적을 정의하면 다음과 같다.

(1) 개수비는 입경 확률 밀도 함수 (size probability density function, $f(d, d_j)$)에 의해 평가되며 다음 식 (1)와 같으며 이는 입경 분포에서 입경 d_j 를 가질 수 있는 확률에 해당한다.

$$f(d, D_j) = \frac{d n_j}{dx} \quad (1)$$

여기서 dx 는 입경 구간이고 $d n_j$ 는 입경 $d_{j \pm \frac{dx}{2}}$ 구간에 있는 입경수 $d n$ 를 총입경수 N 으로 나눈 구간 당 입경비이다.

(2) 체적비는 체적 확률 밀도 함수 (volume probability density function, $f_v(d, d_j)$)에 의해 평가되며 다음 식 (2)과 같으며 이는 구간 당 체적비와 같다.

$$f_v(d, D_j) = \frac{D_j^3 f(d, D_j)}{\int_0^{d_{max}} D^3 f(d, D) dD} \quad (2)$$

(3) 누적 체적은 누적분포 함수 (cumulative distribution function)중 누적 체적 분포 함수에 의해 평가된다.

여기서는 누적 입경 분포 함수, $F(d, d)$ 와 누적 체적 분포 함수

$F(d)$ 가 있다. 이는 전체 액적들의 총 개수 또는 총 체적에 대해 d 이하의 액적들의 누적 개수 또는 누적 체적을 의미한다.

즉 개수 또는 체적의 누적 분률이 되며 다음 식 (3),(4)와 같다.

$$F(d) = \sum_{k=1}^j f_k(d) \quad (3)$$

$$F(D) = \int_0^D f(D) dD \quad (4)$$

특별한 응용에서 입경 분포는 하나의 단일 입경에 가중치를 둔 평균 입경에 의해 대표되는 경우가 많다. Mugele등⁽⁹⁾은 일반적으로 평균 입경들에 다음 식 (5)과 같이 정의하였다.

$$D_{pq} = \left[\frac{\int_0^{D_{max}} D^p f(D) dD}{\int_0^{D_{max}} D^q f(D) dD} \right]^{\frac{1}{p-q}} \quad (5)$$

여기서 p 와 q 는 정수이다.

충분히 많은 액적들의 직접 측정에서 평균 입경들은 다음 식(6)과 같이 계산된다.

$$D_{pq} = \left[\frac{\sum_{j=1}^N D_j^p}{\sum_{j=1}^N D_j^q} \right]^{\frac{1}{p-q}} \quad (6)$$

입경 분포 중 산술적 평균 입경 (D_{10})은 보통 미량적인 비교에 유용하며 Sauter 평균입경 (SMD), D_{32} 는 가장 일반적인 것으로 운동량, 열 및 물질 전달 등에 응용된다. 또한 분포의 특성을 나타내는데 주로 사용되는 체적 중심 입경(volume median diameter) D_{vm} ($D_{0.5}$)가 있는, 즉 체적 누적 분포의 50%에 해당하는 $F_v(D_{vm})=0.5$ 일때의 입경을 나타낸다. 일반적으로 평균 입경들과 중심 입경과는 다음과 같은 관계가 있다.

$$D_{10} < D_{20} < D_{32} < D_{vm}$$

3. 시료

3.1 조성

실험에 사용한 시료로는 경유, 블랜드 30, 에스테르유, 에스테르 20을 사용하였다. 경유는 일반 시중 주유소에서 판매하는 자동차용 경유를 사용하였고, 블랜드30은 전 처리한 폐식용유와 경유를 3:7의 중량비로 단순 혼합하여 제조하였다. 에스테르유(TVO; transesterified vegetable oil)는 여과된 폐튀김유를 에스테르화 과정을 거쳐 실험에 사용하였다. 에스테르유의 제조는 폐식용유와 메탄올을 2:1의 체적비로 혼합하고 수산화칼륨 촉매를 폐유 1L당 5g을 첨가하여 상온에서 약 2시간 정도 교반하였다. 교반 후 반응기에는 위로부터 미반응 메탄올, 에스테르유, 글리세롤이 층상을 이루었고, 이 층상은 육안으로 쉽게 구분되었다. 폐유 1 l 당 1 l 의 에스테르유가 추출되어졌다. 에스테르 20은 경유와 에스테르유를 체적비로 8:2로 단순 혼합한 것이다.

시료에 따른 분무 액적 분포를 알아보기 위해서 각 시료에 대한 표면장력, 점도, 비중 등의 물성치를 측정하였다.

3.2 물성치

표면 장력의 측정은 직접 구성한 장치(Photo 1)를 이용하였다. 측정원리는 양팔 저울을 이용하여 저울의 한쪽에 뷰렛(burette)에서 물이 공급되면 지레의 원리에 따라 저울의 반대편의 링이 올라간다. 이때 링에 딸려 올라간 액주가 파괴되기 직전까지의 높이를 측정하고 다음 식 (7)로 표면장력을 구할 수 있다. 저울 한쪽 뷰렛에서 공급된 물의 무게와 저울 반대편에서 들어 올려지는 액주의 무게가 링의 표면장력과 같다고 볼 수 있다.



Photo 1 Surface tension measurement equipment

$$2\pi(r_1 + r_2)\sigma + \pi(r_1^2 - r_2^2)h\rho g = W$$

$$\sigma = \frac{W}{2\pi(r_1 + r_2)} - \frac{r_1^2 - r_2^2}{2} \times h\rho g \quad [N/m] \quad (7)$$

r1 : 링의 외경 (m)

h : 액주의 높이 (m)

r2 : 링의 내경 (m)

ρ : 물의 밀도 (kg/m³)

g : 중력 가속도 (m/s²)

W : 뷰렛에서 공급된 물의 무게 (N)

$$1N/m = 10^3 \text{ dyne/cm}$$

본 장치로 물의 표면장력을 12회 측정한 평균값이 알려진 물의 표면장력과 근접함을 확인하여 장치에 대한 신뢰도를 확보하였다. 시료의 표면장력을 20회 이상 측정한 평균값으로 Table.1 에 나타내었다. "Brookfield DV-1+" 디지털 점도계를 사용하여 25℃에서 점도를 측정하고 밀도를 이용하여 동점도로 환산하였다. 점도를 측정하기 위해서 항온 실험장치를 이용하여 일정한 온도에서 점도를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 시료에 대한 비중은 비중계를 이용하여 25℃에서 측정하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Properties of fuels at 25℃

Fuels	Light oil	Blend 30	TVO	TVO 20
Surface tension(dyne/cm)	32	39	40	33
Kinematic viscosity(cSt)	6.57	11.83	26.41	8.67
Gravity	0.82	0.862	0.905	0.937

4 실험 장치 및 방법

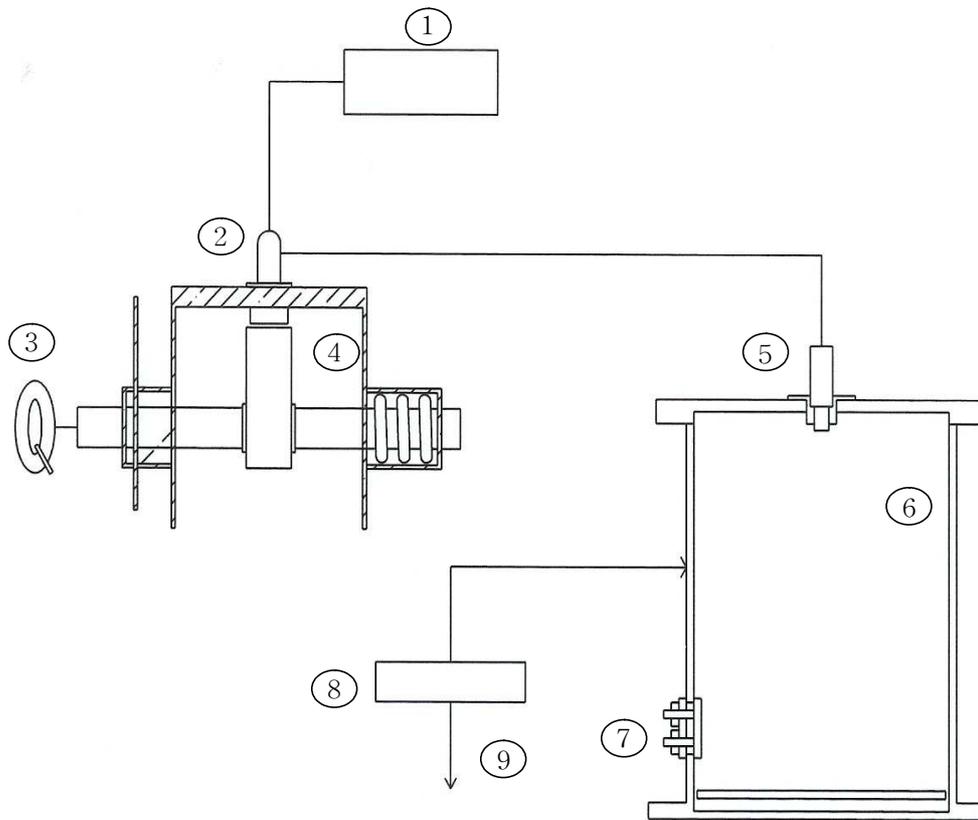
4.1 실험 장치

Fig. 2에 디젤 분무의 입경과 입경분포를 측정하기 위하여 본 실험에서 사용한 실험장치도를 나타내었다.

이 장치는 연료 공급호스와 연료 분사 펌프 그리고 단발 분사를 위하여 스프링의 장력에 의한 캠 구동장치와 분위기 압력에 따른 분무 입경을 측정하기 위한 압력 용기 및 공기 압축기로 구성되어 있고 용기 하단부에 관찰 공을 뚫어 놓았다.

이 장치의 작동원리는 캠축의 우측단에 스프링력을 작용시킨 상태에서 좌측 단의 스톱퍼(stopper)를 해제시키게 된다. 그러면 캠축의 회전으로 연료 분사펌프의 플린저가 상승 하게 되고, 연료가 가압되어 연료분사노즐을 통해 분사하게 된다. 그리고 노즐은 압력 용기 상단 중앙에 부착하여 직각으로 분사되도록 하였다.

사용 노즐은 0.7mm의 선박용 핀틀 노즐을 사용하였으며 분기위 압을 1, 3, 6kg/cm²으로 변화시켰다. 그리고 압력 용기는 분사된 자유 분무가 하부와 벽면에 충돌하지 않도록 크게 제작하였으며 그 크기는 지름 250cm에 높이 1000cm 이다. 압력용기 측면 하단부의 구멍을 통해 포집 셀(cell)을 넣고 분무 액적을 수집하였다. 그리고 광학 현미경을 이용하여 액적 사진(640×480의 화소)을 얻었다.



- | | |
|--------------------|-------------------|
| ① Fuel tank | ② Fuel pump |
| ③ Cam drive | ④ Fuel cam |
| ⑤ Injection nozzle | ⑥ pressure vessel |
| ⑦ Inspection hole | ⑧ Air compressor |
| ⑨ Air vent line | |

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

4.2 실험 방법

실험방법은 먼저 포집액을 용기에 넣고 압력 용기의 실험 조건에 따라 용기에 압력을 공기 압축기로 충전 후 시료를 단발 분사한다. 단발 분사 후 미립화된 액적이 포집액의 포집셀에 포집될 때 까지 충분한 시간이 지난 후 포집액에 포집된 액적들을 CCD카메라가 장착된 광학 현미경에서 40배로 확대하여 컴퓨터에 메모리시켰다. 본 실험에 사용된 포집액은 비중이 낮을수록 유동성이 증가하여 포집셀을 광학 현미경으로 옮길 때 액적의 유동에 의한 입경의 변화가 많아 포집액의 비중을 0.9로 고정하여 실험하였다. 포집셀의 현미경 관찰에서 비중에 따른 액적의 변형이 거의 보이지 않았다.

컴퓨터에 저장된 액적 사진(640×480의 화소)들은 “Sigma scan” 이라는 화상처리 프로그램(Image processing program)을 이용하여 액적의 지름을 구하였다. 프로그램을 통해 얻어진 액적의 원넓이로부터 지름을 구하고 이를 픽셀수로 환산하여 여기에 0.2mm 강철 침을 같은 배율의 광학 현미경에서 얻어진 이미지의 픽셀수로 나눈 값에 픽셀의 실제 길이를 곱하여 액적의 지름을 측정하였다.

그리고 이때 사용된 시료는 경유, 블랜드 30, 에스테르 20, 에스테르유이고 분위기 압력은 1, 3, 6kg/cm² 이었다. 이에 해당하는 분위기 밀도는 이상기체의 상태 방정식에서 계산하면 2.33kg/m³, 4.63kg/m³, 8.07kg/m³이었다.

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 화상처리기법과 목측과의 비교

Fig. 3은 분위기 압력 6kg/cm^2 일때의 에스테르의 액적 사진이다. 목측과 이미지 프로세싱을 이용하여 계산되어진 값을 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 나타난 것과 같이 목측의 경우가 약 10%정도 커진 것으로 나타났다. 이러한 결과는 측정자의 기준에 따라 오차가 발생할 수 있고, 이미지 프로세싱의 경우 한 픽셀당 길이가 $4.8\mu\text{m}$ 정도이므로 측정 픽셀의 선정 기준에 따라 값이 달라질수 있다. 이미지프로세싱 프로그램은 콘트라스트를 조절하여 이미지의 윤곽을 동일하게 조정할 수 있고, 동일한 기준의 인텐시티 스레숀딩(Intensity thresholding)으로 액적 이미지의 윤곽을 확실히 할 수 있다. 목측으로는 주관적으로 액적 이미지의 윤곽이 정해지지만 이미지 프로세싱은 객관적인 기준에서 이미지의 윤곽이 정해지므로 목측의 오차가 이미지 프로세싱의 오차보다 확연히 크다고 보여진다.

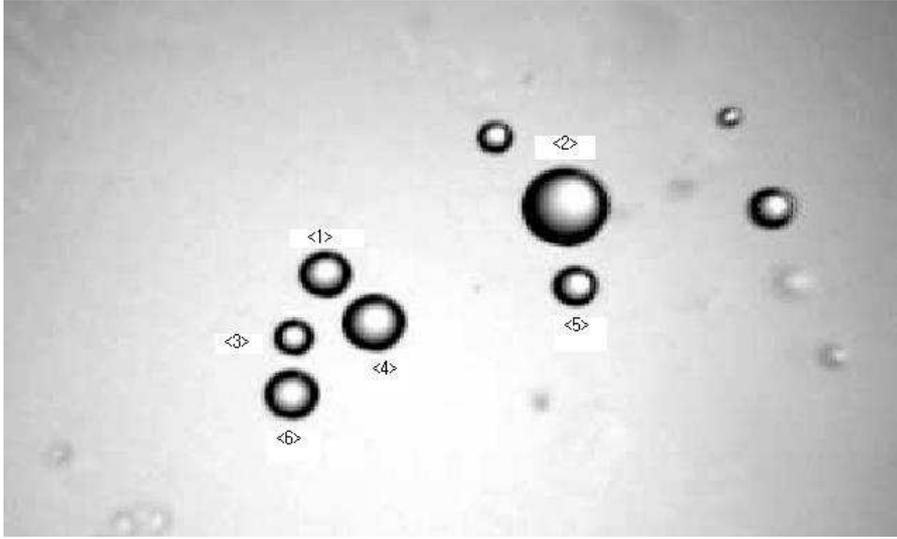


Fig. 3 Image of transesterified vegetable oil on ambient pressure 6kg/cm^2

Table 2 Comparison eye measurement with image processing
(단위 : μm)

Number	1	2	3	4	5	6
Eye measurement	82	145	55	100	73	91
Image processing	73	130	47	90	66	79

5.2 미립화 사진의 검토

시료에 따른 액적의 형상은 육안으로도 그 경향을 알 수 있었다. 동일 시료의 경우 분위기 압력이 증가함에 따라 액적의 크기가 증가함을 정성적으로 알 수 있었다. 다음은 분위기 압력에 따른 시료에 따른 액적 사진들을 Fig 4, 5, 6, 7에 나타내었다.

(1) 경유



(a) 1kg/cm^2



(b) 3kg/cm^2

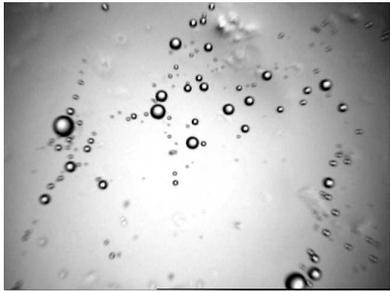


(c) 6kg/cm^2

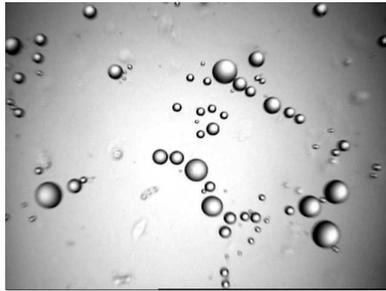
Fig. 4 Light oil image for ambient pressure change

(2) 블랜드30

블랜드30도 분위기 압력이 증가함에 따라 액적들의 크기가 커지고 있음을 확인할수 있었다.



(a) 1kg/cm^2



(b) 3kg/cm^2



(c) 6kg/cm^2

Fig. 5 Blend 30 image for ambient pressure change

(3) 에스테르유

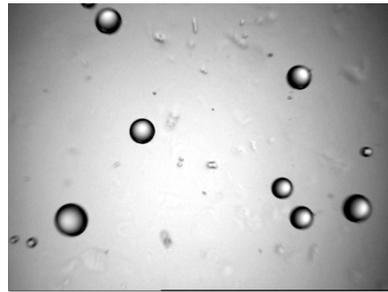
에스테르유도 다른 시료와 같이 분위기 압력이 증가함에 따라 액적들의 크기가 커지고 있음을 볼 수 있다.



(a) 1kg/cm^2



(b) 3kg/cm^2



(c) 6kg/cm^2

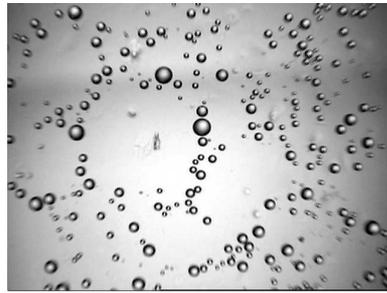
Fig. 6 Transesterified vegetable oil image for ambient pressure change

(4) 에스테르20

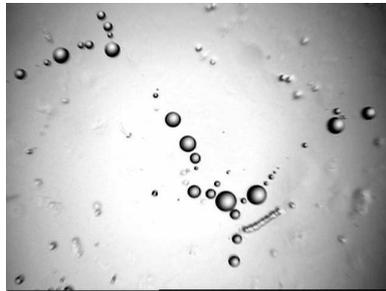
에스테르20도 다른 시료유와 같이 분위기 압력이 증가함에 따라 큰 액적들의 분포가 많아지고 있음을 알 수 있다. 에스테르20이 경유와 모든 물성치에서 유사한 값을 가지고 있는 것에서 다른 시료유에 비해서 에스테르20이 경유와 가장 유사한 경향을 보임을 볼 수 있다.



(a) 1kg/cm^2



(b) 3kg/cm^2



(c) 6kg/cm^2

Fig. 7 Transesterified vegetable oil 20 image for ambient pressure change

5.3 개수비, 체적비, 누적 체적의 검토

Fig. 8에서 Fig. 10까지는 분위기 압력 1, 3, 6kg/cm²에 따른 경유의 액적 분포를 나타낸다. 분위기 압력이 증가함에 따라 액적 크기가 커지는 것을 보여주고 있다. 어는 We수에서 분출속도의 감소로 액적이 커짐을 짐작할 수 있다.

Fig. 11에서 Fig. 13까지는 분위기 압력에 따른 블랜드30의 액적 분포를 나타내었다. 브랜드30 역시 경유와 같은 경향을 보이고 있으며 분위기 압력 3kg/cm²에서 체적분포가 우측 개수분포에 비해서 크게 나타난다. 그 이유는 체적분포는 액적 지름 3승에 비례하므로 작은 액적과 큰 액적의 체적차가 크게 나기 때문에 상대적으로 크게 나타나게 된다고 생각된다.

Fig. 14에서 Fig. 16까지는 분위기 압력에 따른 에스테르의 액적 분포를 나타내었다. 에스테르유 역시 다른 시료와 유사한 경향을 보이고 있으며 다른 연료유에 비해 액적 크기가 큼을 알 수 있다. 이는 에스테르유가 다른 연료유에 비해 점성이 크기 때문이라고 생각된다.

Fig. 17에서 Fig. 19까지는 분위기 압력에 따른 에스테르20의 분포를 나타내었다. 에스테르20도 다른 시료와 같은 경향을 보이고 있다.

경유, 블랜드30, 에스테르유, 에스테르20 모두 거의 비슷한 개수비의 분포를 보이고 있으며 체적비 또한 유사한 분포를 보인다. 그리고 분위기 압력 3kg/cm²일때, 1kg/cm²에 비해 경유와 에스테르의 체적비가 다른 시료에 비해 액적 크기가 큰쪽으로 이동해

간 것을 보면, 이는 경유와 에스테르유가 다른 시료에 비해 표면 장력이 작아서 분위기 압력에 변화에 따른 체적분포비 변화가 커진 것 같다. 분위기 압력 6kg/cm^2 일 때는 다른 연료에 비해 에스테르는 전구간에 걸쳐 넓게 퍼져있는데 이는 수백장의 액적 이미지 중에서 좋은 이미지를 뽑아서 사용하는데 사용된 이미지들의 액적크기가 고른 분포에서 뽑혀 온 것으로 사료된다.

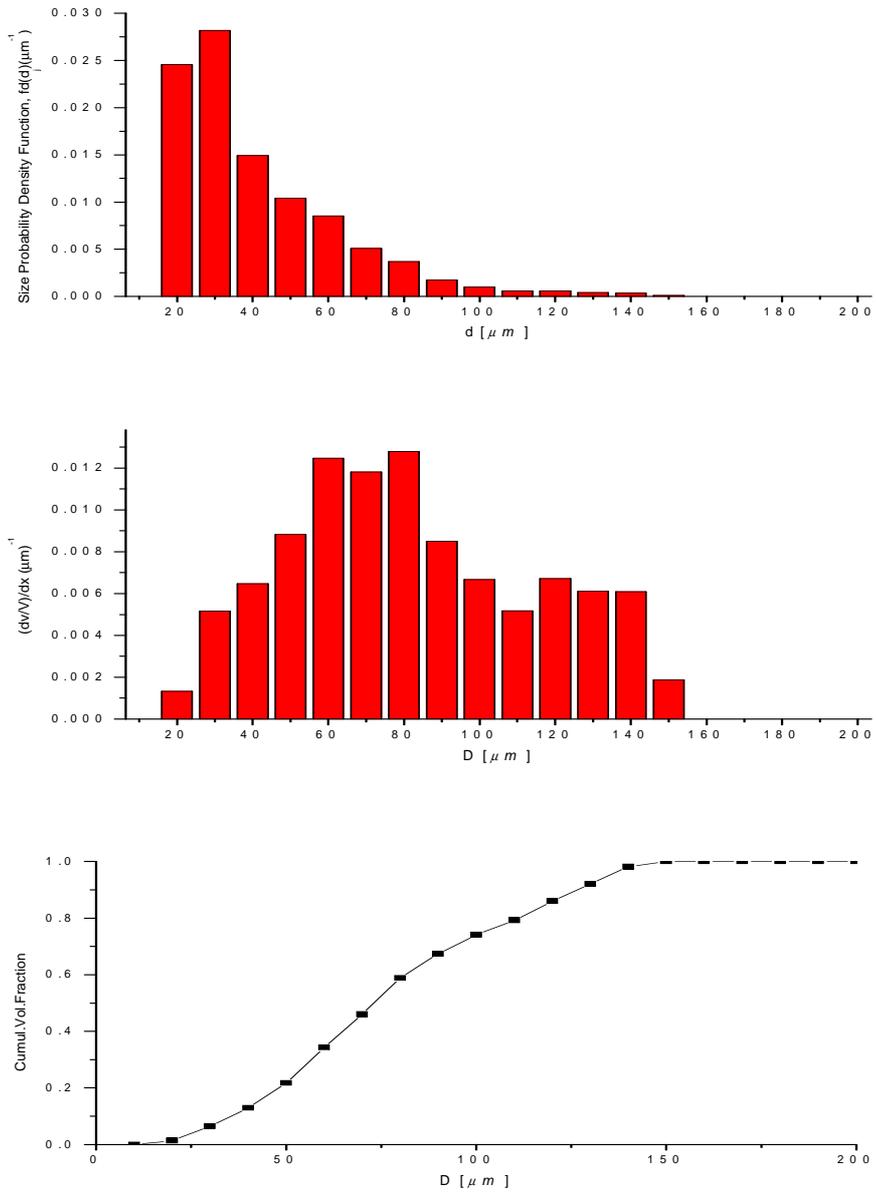


Fig. 8 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of light oil under pressure 1 kg/cm^2

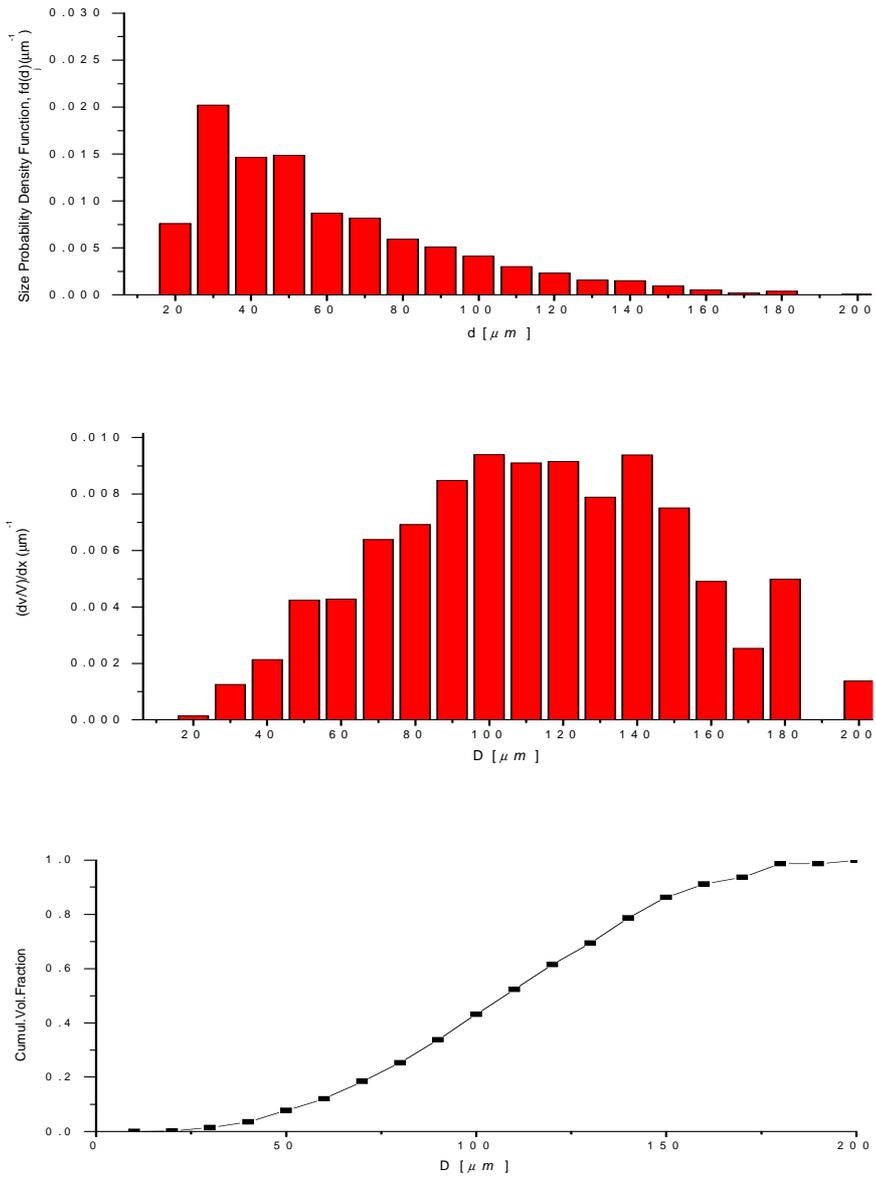


Fig. 9 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of light oil under pressure $3kg/cm^2$

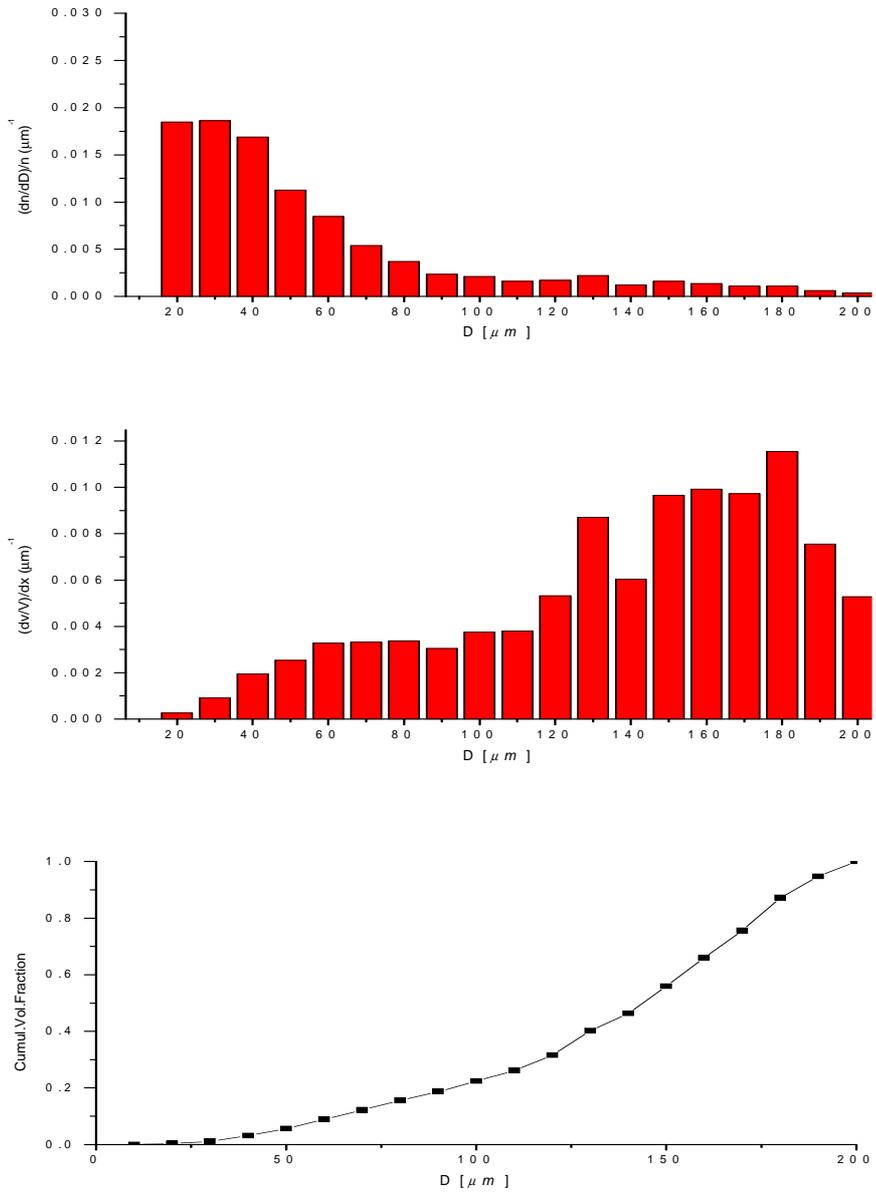


Fig. 10 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of light oil under pressure 6kg/cm^2

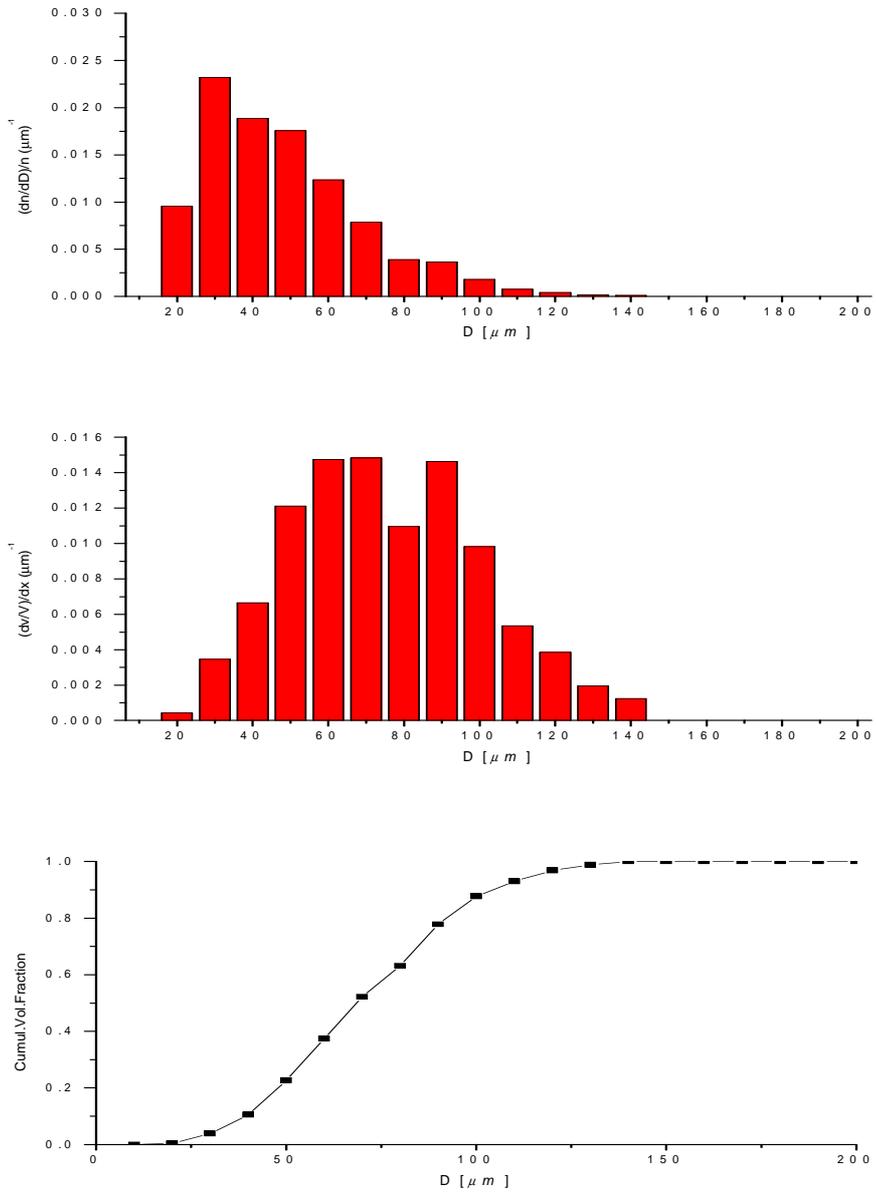


Fig.11 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of blend 30 under pressure $1kg/cm^2$

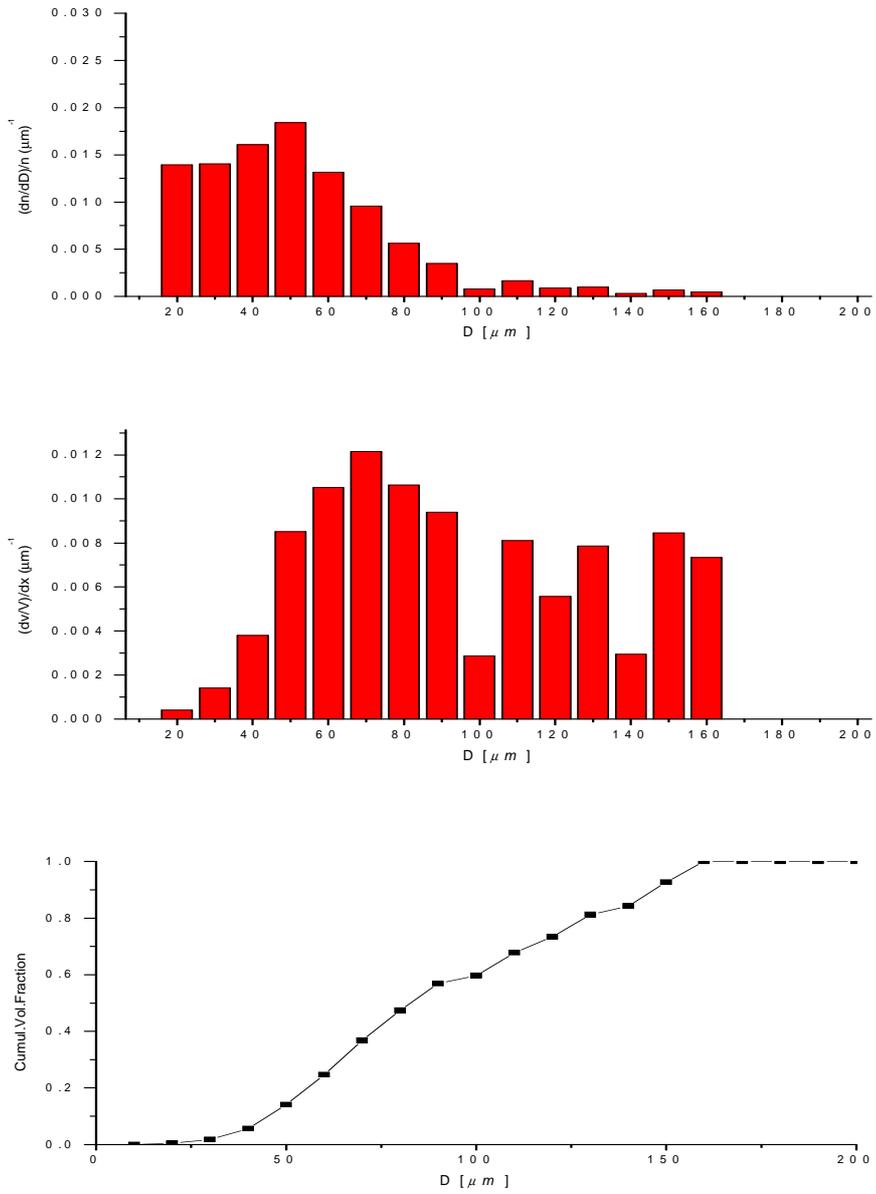


Fig. 12 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of blend 30 under pressure $3kg/cm^2$

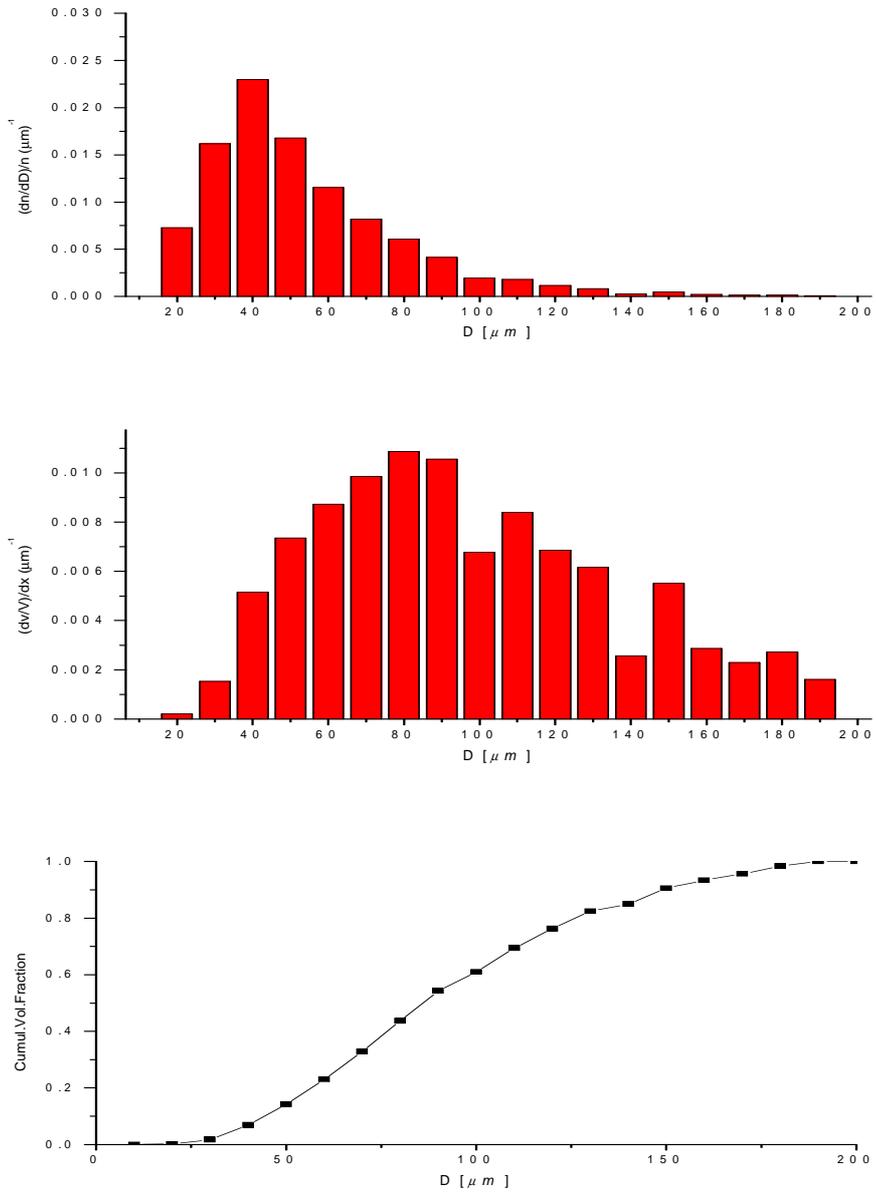


Fig. 13 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of blend 30 under pressure 6kg/cm^2

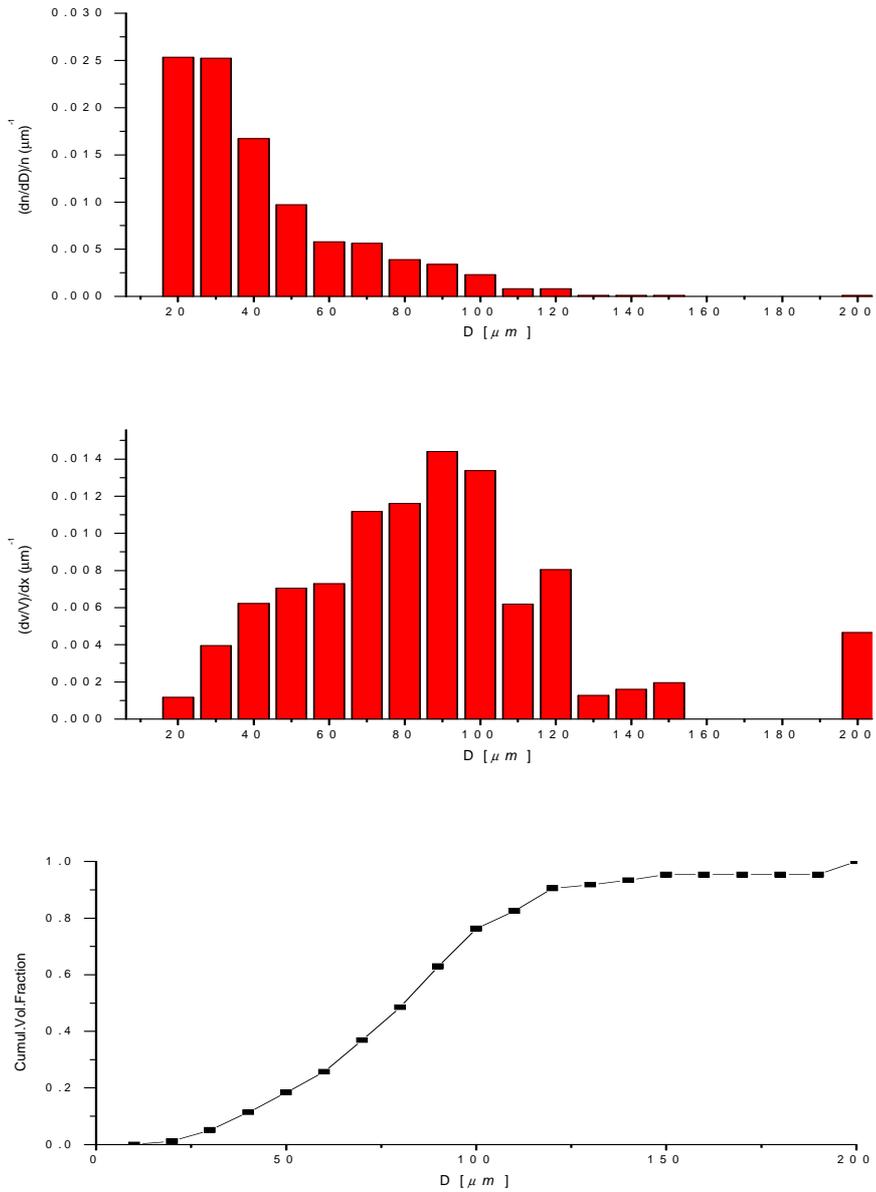


Fig . 14 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil under pressure $1kg/cm^2$

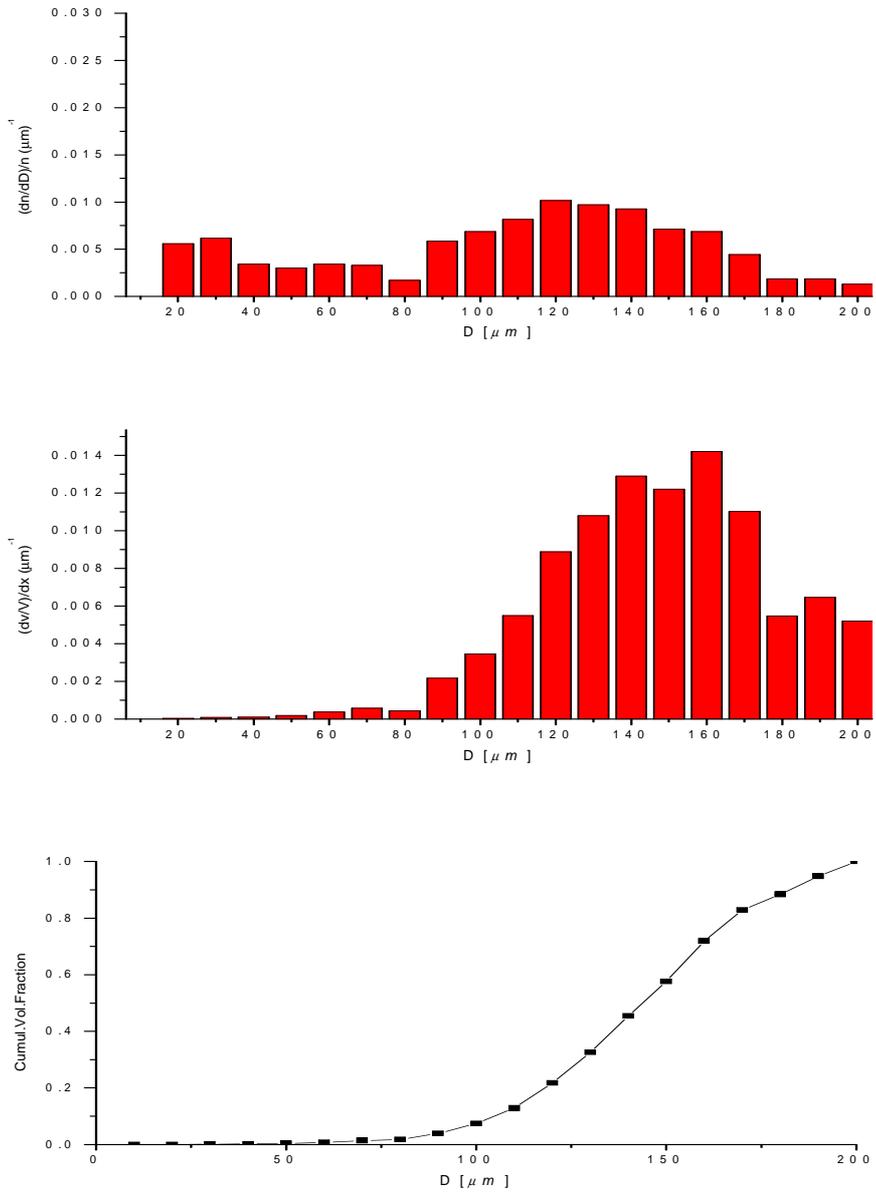


Fig. 15 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil under pressure 3 kg/cm^2

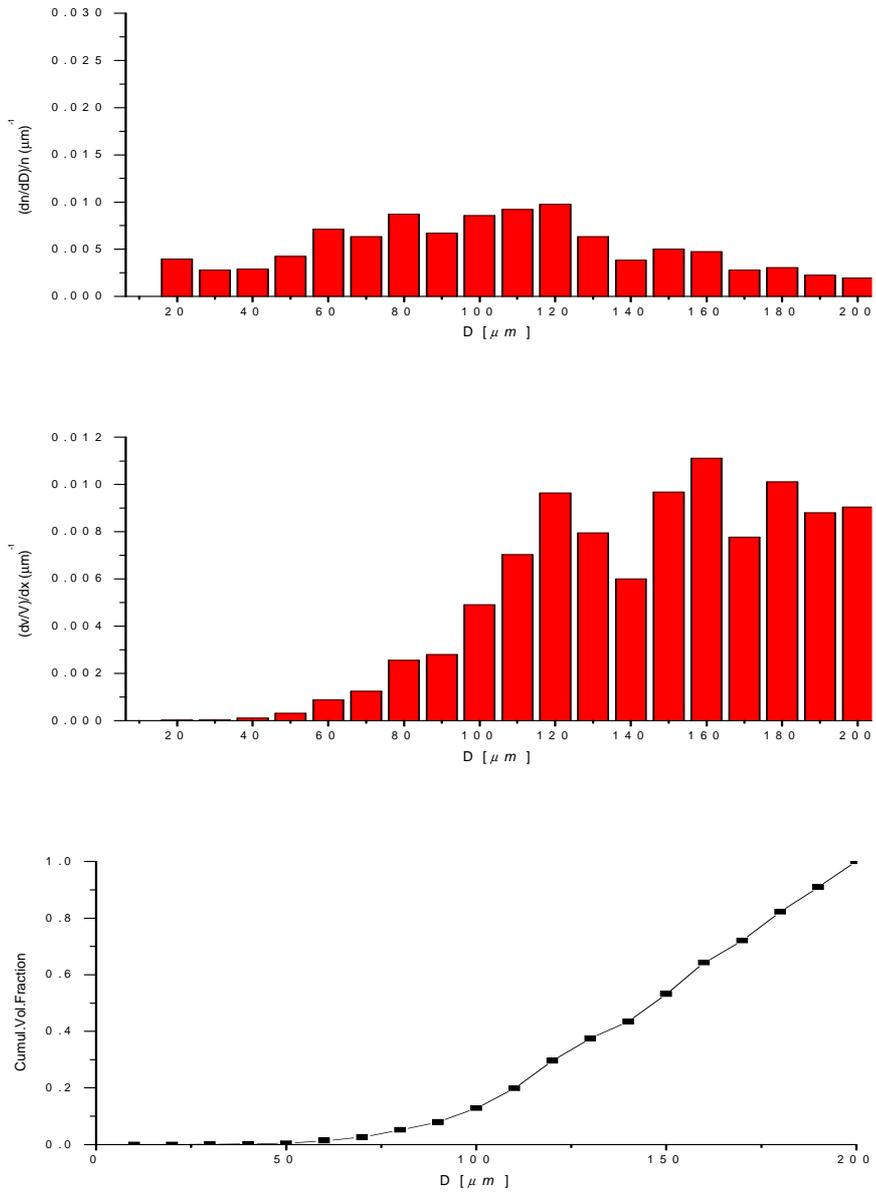


Fig. 16 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil under pressure $6 kg/cm^2$

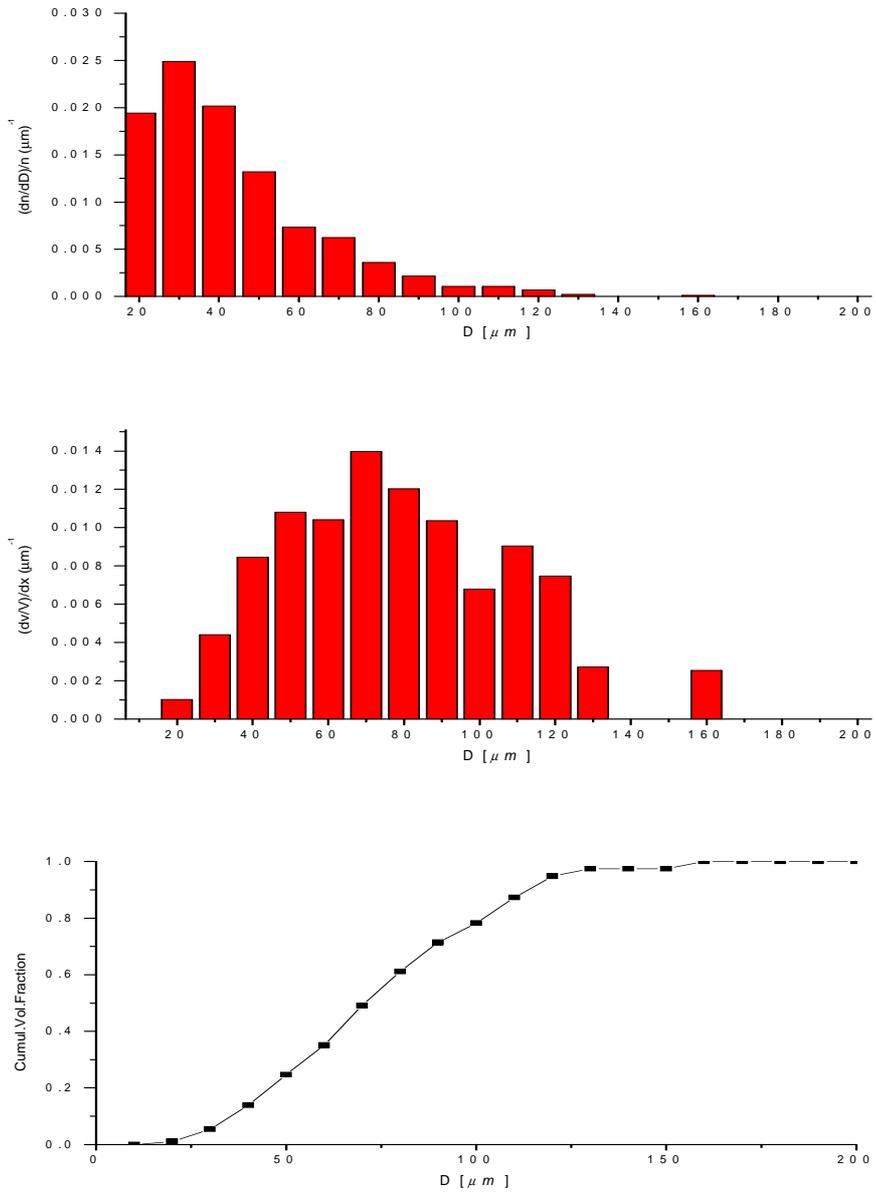


Fig 17 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil 20 under pressure $1kg/cm^2$

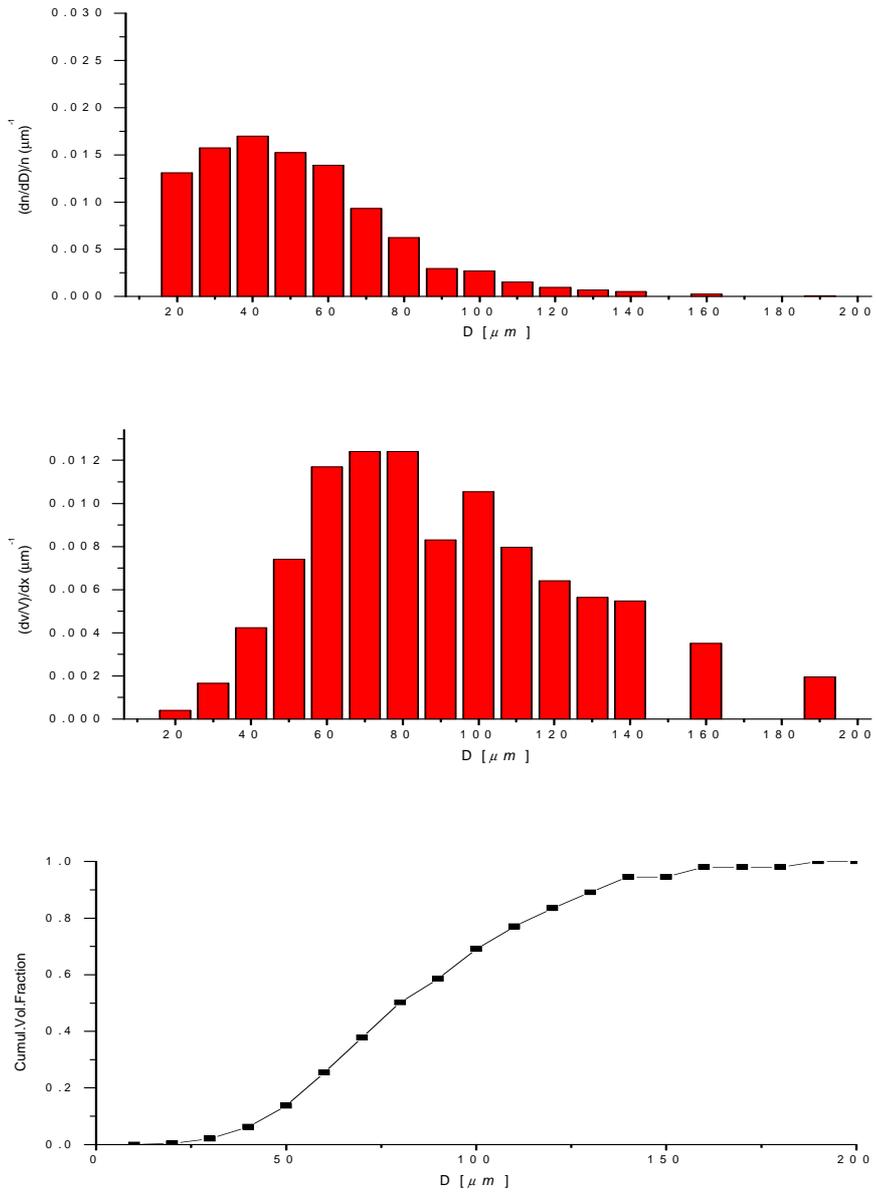


Fig 18 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil 20 under pressure $3 kg/cm^2$

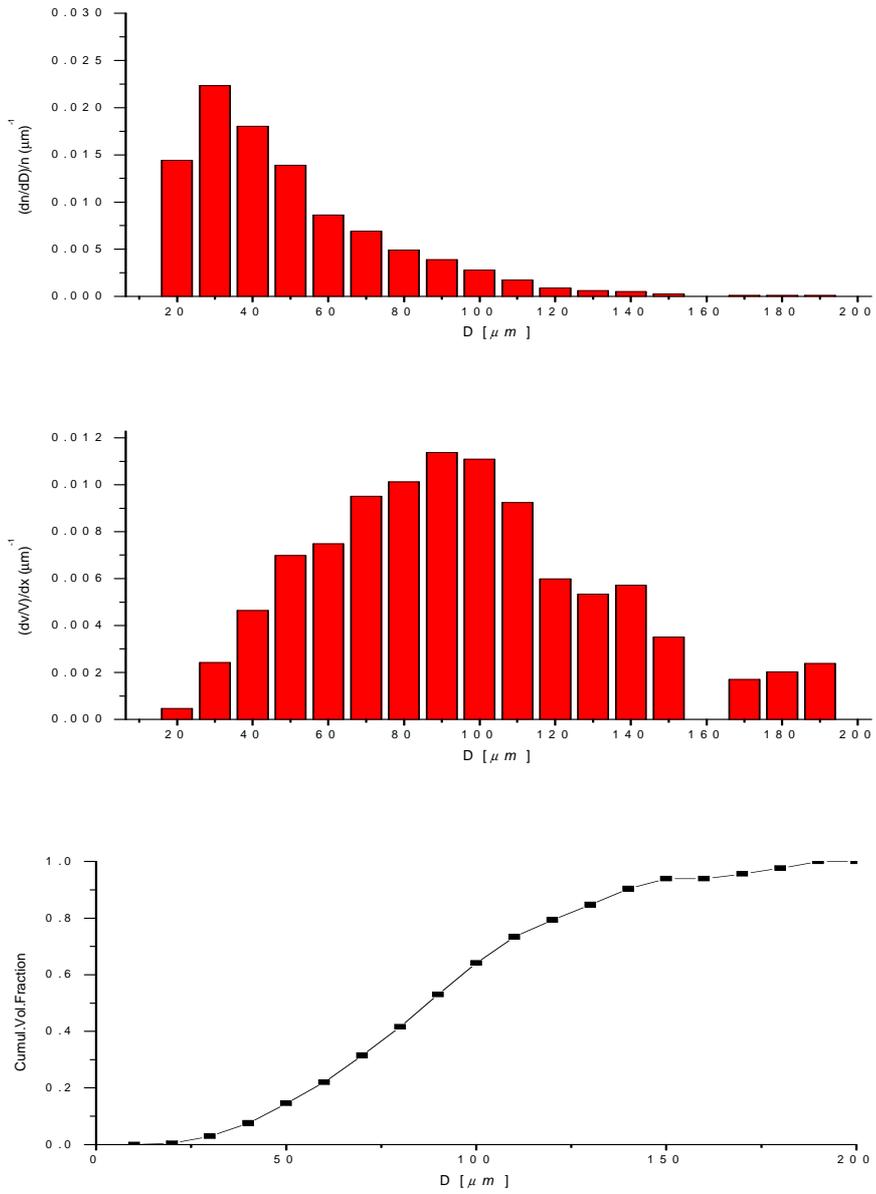


Fig 19 Size probability density function, volume probability density function and cumulative volume fraction of transesterified vegetable oil 20 under pressure 6 kg/cm^2

5.4 SMD와 ROSIN-RAMMLER 분석

(6)식에 의해 분위기 압력에 따른 시료의 SMD를 Table 3에 나타내었다. 분위기 압력이 증가함에 따라 SMD가 증가함을 보여주고 있다. 이것은 분위기 압력이 증가함에 따라 노즐 출구측과의 압력 차가 작아져 액적의 SMD가 크게 나타난 것으로 생각되어진다. 그리고 일정 분위기 압력(3kg/cm²) 이상에서의 SMD의 변화를 보면 모든 시료유에서 변화가 작게 나타나는 경향을 보인다.

Table 3 SMD of fuels under ambient pressure

(단위 : μm)

P(kg/cm ²) Fuels	1	3	6
Light Oil	67	96	117
Blend 30	66	79	80
TVO 20	66	77	79
TVO	72	140	142

시료별 분위기 압력에 따른 SMD는 Fig. 20에 나타내었다.

분위기 압력이 증가함에 따라 모든 시료에서 SMD가 증가하고 있다.

분위기 압력의 증가에 따른 SMD의 변화를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 분출속도($U_r = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$)는 분위기 압력이 증가하면 ΔP 의 값이 작아져 감소하므로 입경이 크게 되며,

둘째, We수($We = \frac{\rho_A u^2 R d'}{\sigma}$)는 공기밀도(ρ)에 비례하므로 증가하고 이는 액적의 불안정이 가중되어 쉽게 분열되므로 입경이 작아지고,

셋째, 분무 도달거리의 감소로 액적들의 수 밀도가 증가하므로 충돌과 합체의 확률이 증가하여 입경은 커진다.

따라서 본 연구의 경우는 We수의 증가로 인한 입경의 감소보다 분출속도와 분무 도달거리의 감소에 의해 SMD가 증가하였다고 생각되어진다.

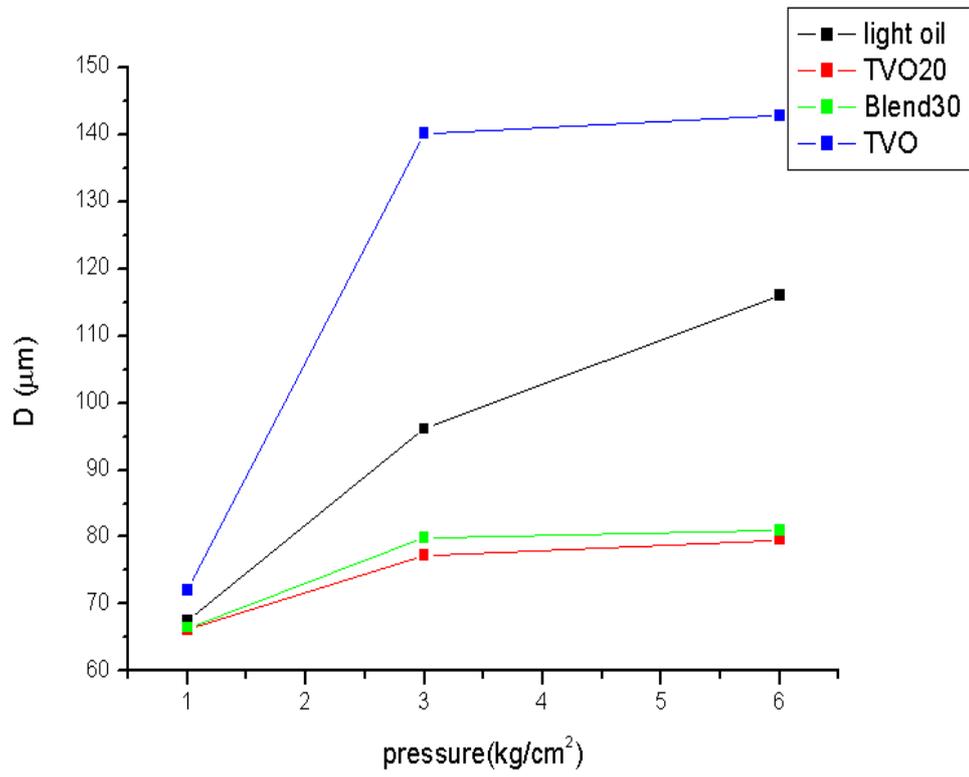


Fig. 20 SMD of fuels on pressures

Rosin - Rammler 분포식에 의한 분포 파라미터 δ 의 결정

Rosin - Rammler 분포함수는 누적 체적 분포함수로서 다음 식(8)로 나타낸다.

$$1 - v = e^{-\left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^\delta} \quad (8)$$

여기서 $1 - v$ 는 x 보다 큰 직경의 입경이 있을 수 있는 체적 분율이고 \bar{x} 는 입경 파라미터 이며 δ 가 분포 파라미터이다.

Data를 적용하기 위해 위에 식을 \ln 을 취해 정리 하면 다음 식 (9), (10)과 같다.

$$\text{즉 } \ln(1 - v) = - \left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^\delta \quad (9)$$

$$\ln\left(\frac{1}{1 - v}\right) = \left(\frac{x}{\bar{x}}\right)^\delta$$

$$\ln \ln\left(\frac{1}{1 - v}\right) = \delta(\ln x - \ln \bar{x}) \quad (10)$$

이 식은 $\ln \ln\left(\frac{1}{1 - v}\right)$ 이 $\ln x$ 에 선형적임을 나타낸다.

Fig. 21에는 입경에 대한 누적 체적분률 데이터를 로그 스케일로 나타내었다. 누적체적분률은 거의 직선을 이룬다. 분포파라미터 δ 는 이 직선의 기울기이다. 분포 파라미터 δ 가 크면 클수록 분포는 균일함을 나타낸다. 한편 입경 파라미터 \bar{x} 의 의미는 $x = \bar{x}$

이때 $1 - v = e^{-1}$ 이므로 ($e=2.718$) $\ln\left(\frac{1}{1-v}\right) = \log_{10} e = 0.434$ 이다.

로그 좌표에서 x축을 $\ln\left(\frac{1}{1-v}\right)$ 로 두고 y축을 입경 크기로 두고 x축의 0.434되는 지점을 찾으면 \bar{x} 는 약 $87\mu\text{m}$ 이다.

$\ln\left(\frac{1}{1-v}\right) = 0.434$ 에서 $\frac{1}{1-v} = 2.7$ 로 $v \approx 0.63$ 이고 누적 체적분을 63%에 해당하는 입경이 된다.

Fig. 8의 누적 체적의 63% 지점을 찾아보면 입경은 약 $83\mu\text{m}$ 이다. 이는 로그좌표에서 얻은 값 \bar{x} 와 거의 일치한다.

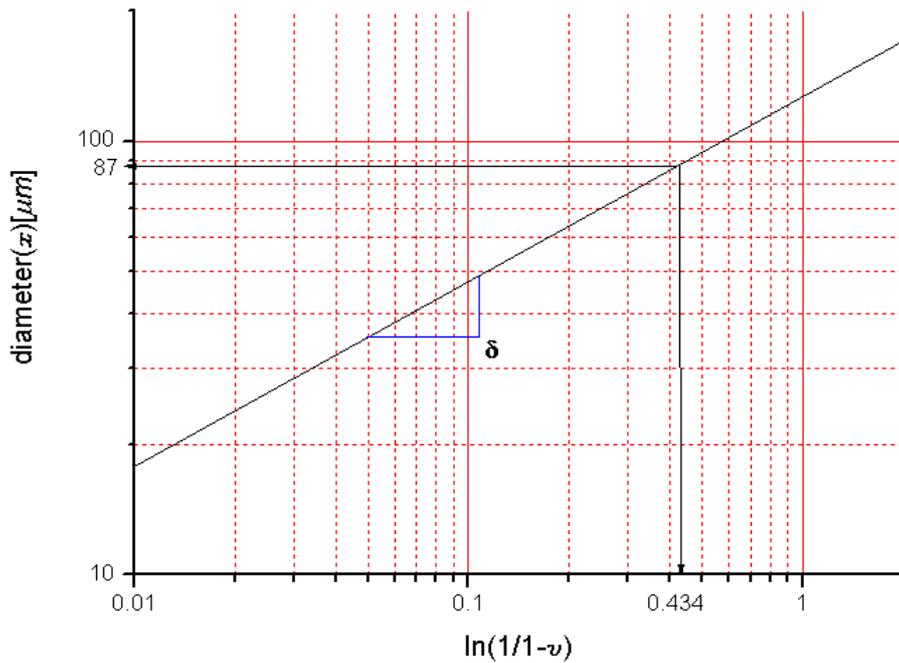


Fig. 21 Rosin-Rammler analysis of light oil under pressure $1\text{kg}/\text{cm}^2$

연료와 배압에 따른 δ 와 \bar{x} 의 값을 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Value of δ and \bar{x}

fuels	pressure(kg/cm ²)	δ	$\bar{x}(\mu\text{m})$
Light oil	1	3.719	87
	3	2.91	121
	6	2.42	161
Blend 30	1	3.13	80
	3	2.50	102
	6	2.56	104
TVO	1	2.53	93
	3	5.80	155
	6	4.18	160
TVO 20	1	2.67	81
	3	2.55	92
	6	2.76	102

에스테르20 그리고 블랜드30은 분위기 압력이 증가하여도 거의 비슷한 값을 나타내고 있으나 에스테르유의 경우에는 δ 값의 차이가 다른 연료에 비해 크게 나타나고 있다. 이는 동점도가 다른 시료에 비해 크기 때문에 분위기 압력 변화에 따른 시료의 미립화가 감소되기 때문으로 보여진다.

분위기 압력 1kg/cm²에서 유사한 \bar{x} 를 가지는 에스테르20 과 블랜드30을 비교해 보면 블랜드30의 δ 값이 더 큼을 알 수 있다. 이

는 블랜드30의 액적 분포가 더욱 균일하다는 것을 나타낸다.

에스테르20에서는 분위기 압력이 증가하여도 δ 값은 거의 변화 없고 \bar{x} 는 분위기 압력이 낮을 때의 \bar{x} 값이 더 작으므로 더욱 균일한 분포를 가진다. 이는 Fig. 17, 18, 19의 누적 체적 분포 곡선에서 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때의 기울기가 가장 큰 값을 가지는 것에서도 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 바이오 대체연료에 대해 연소에 중요 요소가 되는 입경분포와 SMD를 분위기 압력 변화에 따라 조사였으며 그 결과는 다음과 같다.

1) 화상처리기법을 이용하여 측정한 액적 지름과 목측에 의한 액적 지름은 약 10%의 오차를 갖고 있다.

2) 모든 시료유에서 분위기 압력이 증가함에 따라 큰 액적들의 분포가 증가하였다.

3) 분위기 압력 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 일 때 블랜드30, 에스테르20, 에스테르유는 경유와 유사한 SMD를 가졌다.

4) 모든 시료유에서 일정 분위기 압력($3\text{kg}/\text{cm}^2$) 이상으로 증가하면 SMD의 변화가 작게 나타났다.

5) Rosin-Rammler 분석을 통하여 분위기 압력 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 경우 블랜드30이 에스테르20보다 분포가 더욱 균일함을 알 수 있었다.

6) 분위기 압력 증가에 따른 SMD의 증가는 We수의 증가로 인한 액적들의 불안정화보다 충돌과 합체가 보다 지배적임을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. A.K Agarwal, L.M. das ; Biodiesel Development and characterization for use as a fuel in compression ignition engine , Transaction of the ASME , vol 123 , P440, April 2001.
2. A.K Agarwal, J. Bijwe , L.M. DAS ; Wear assessme in a biodiesel Fueled compression ignition engine, Transaction of the ASME, vol 125,p820,July 2003.
3. 정석호, 김명수, 장세호, 고대권, 안수길 ; PXI와 Labview를 이용한 직접분사식 디젤기관의 바이오 디젤유 연소 특성 분석, 한국동력 기계공학회지 제 8권 제 2호 P18, 2004.
4. Kyunghyun Ryu, Youngtaig Oh ; Combustion characteristics of an agricultural diesel engine using biodiesel fuel, KASME international journal vol.18, No 4, P709, 2004.
5. Otto A. Uyehara ; Factors that Affect BSFC and Emissions for Diesel engine , SAE870343, 1987.
6. H. Hiroyasu, T. Kadota; Fuel Droplet Size Distribution in Diesel combustion chambers ,SAE Trans., paper 740715, 1974
7. Yohan Chi, Eungseo Kim ; Measurement of Droplet Size Distribution of transient Diesel Spray, SAE paper 931949

8. Hoang Xuan Quoc ,Maurice Brun ; Study on Atomisation and Fuel Drop Size Distrubution in Direct Injection Diesel Spray, SAE paper 94019, 1994.
9. R. A. Mugele ,H. D. Evans ; Droplet Size Distribution in Sprays , Industrial and Engineering Chemistry vol. 43 No. 6, June 1951.
10. Sung Wool Park, Hyung Jun Kim and Chang Sik Lee ; Investigation of Atomization Characteristics and Prediction Accuracy of Hybrid Models for High-Speed Diesel Fuel Sprays ,SAE paper 2003-01-1045, 2003.
11. R. W. TATE ; Immersion Sampling of Spray Droplets , A. I. Ch. E. Journal , vol. 7 ,no. 4, pape 574~577, 1961.
12. In Goo Kim ,Sang Yong Lee ; A Simple Technique for sizing and Counting Spray Drops Using Digital Image processing, Experimental Thermal and Fluid Science vol. 3, p.214~221, 1990.
13. 김경현 ; 노즐 형상이 초고압 디젤분무의 미립화에 미치는 영향, 부경대 석사 학위논문, 1996.

감사의 글

대학원에 진학 한지가 엇그제 같은데 어느덧 그 생활의 마무리 하게 되었습니다. 대학원 생활을 무사히 마칠 수 있도록 애써주신 분들이 생각납니다.

대학원에 막 들어와 실험실에서의 생활과 많은 것을 알려 주셨던 정석호 선배, 조규학 선배님께 감사드립니다. 그리고 본 논문의 심사를 맡아주시며 충고와 격려를 아끼지 않으신 안수길 교수님, 고대권 교수님, 김시영 교수님 그리고 저에게 많은 가르침을 주셨던 문덕홍 교수님, 고성위 교수님, 양주호 교수님, 한규일 교수님, 김영복 교수님, 장지성 교수님께 깊은 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 또한 실험을 위해 밤늦게까지 고생하신 김명수 선생님께도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

무엇보다도 제가 대학원 생활을 하면서 여러 가지로 신경을 많이 써주신 안수길 교수님과 고대권 교수님께 다시 한번 감사의 말씀을 드리고 싶습니다.

마지막으로 대학원 생활을 충분히 잘 해 나갈 수 있도록 뒤에서 이끌어 주신 저희 부모님께 감사의 말씀을 드립니다.