

## 정전용량센서를 이용한 W/O형 유화연료의 안정성 평가

조성철 · 오양환\* · 임석연<sup>†</sup>

국제대학 자동차계열

\*국제대학 보건관리과

<sup>†</sup>충남대학교 기계·금속공학교육과

(2011년 2월 18일 접수 ; 2011년 3월 15일 채택)

## An Estimation on the Stability of W/O Type Emulsified Fuel Using by Capacitance Sensor

Seong-Cheol Cho · Yang-Hwan Oh\* · Seok-Yeon Im<sup>†</sup>

*Department of Automotive Engineering, Kookje College, Kyonggi-do 459-070, Korea*

*\*Department of Health Management, Kookje College, Kyonggi-do 459-070, Korea*

*<sup>†</sup>Department of Mechanical & Metallurgical Engineering Education,*

*Chungnam National University, Daejeon, 305-765, Korea*

*(Received February 18, 2011 ; Accepted March 15, 2011)*

**Abstract** : We estimated on the stability of W/O type emulsified fuel using by capacitance sensor, so it concluded the following conclusions.

For the first 24 hours, prepared emulsified fuel reveals phase separation ratio of 5%, maintains stable status which verifies the stability of emulsified fuel. Adding more water increases the phase separation ratio rapidly, and adding more surfactant displays stable emulsification. Adding water causes larger size of water droplet diameter, and adding surfactant mixture causes smaller size of water droplet diameter.

In conclusion, the size of W/O type emulsified fuel water droplet diameter is directly related to the volume of surfactant, and density of water droplet diameter changes the distribution according to water contents.

*Keywords* : W/O type emulsified fuel, capacitance sensor, stability, phase separation ratio, surfactant, water droplet diameter

$W_A$  : weight of Span80( $HLB=4.3$ )

$W_B$  : weight of Tween80( $HLB=15$ )

$HLB$  : Hydrophilic Lipophilic Balance

$HLB_A$  :  $HLB$  value of Span80( $HLB=4.3$ )

$HLB_B$  :  $HLB$  value of Tween80( $HLB=15$ )

W/O : water in oil

$C_p$  : capacitance(pF)

### Subscripts

A, B : index of surfactants

<sup>†</sup>교신저자 (E-mail : imsy@cnu.ac.kr)

## 1. 서론

유화(emulsion)란, 균일하게 용해되지 않는 두 가지 유체사이에서 한 유체의 미립자가 다른 액체에 분산되는 것이며, 유화연료(emulsified fuel)란 물과 기름이 유화상태로 있는 연료이다. 물과 기름의 함유량에 따라 크게 유중수적형인 W/O(water in oil) 형과 수중유적형인 O/W(oil in water) 형으로 구분된다. 이 두 종류 중에서 공업용 연료로서 W/O형이 많이 쓰이고 있다. 연료중에 물 입자가 첨가되면 화학적, 물리적으로 연소특성에 영향을 미친다. 화학적 영향은 가용 연소에너지의 일부가 물의 증발과 가열에 사용됨으로서 노크현상을 유발하는 압축비를 피할 수 있어 디젤기관에서 문제가 되고 있는 조기점화 및 데토네이션 현상을 현저하게 감소시킬 수 있다[1].

이와같이 탄화수소계열 연료에 물을 혼합하여 연료로 사용하는 유화연료에 관한 연구는 저공해 관점에서 진행되고 있다. 유화연료는 연소효율 향상, 배출가스 중의 Soot와 NOx농도를 저감하는데 유용한 연료로서 알려져 있다. 그러나 유화연료는 내연기관 연료로서 아직 실용화에는 이르지 않고 있다. 유화연료를 내연기관 특히 디젤기관에 적용할 경우 연료공급계통에서의 유동특성, 분무특성 및 고온에서의 증발특성 등이 중요한 변수로 고려되어야 한다[2].

일반적인 유화연료 제조방법으로는 기계적 교반, 초음파에너지 이용 교반장치 및 homogenizer 등의 방법이 있고 유화연료의 특성상 상 분리 현상이 관찰된다. 이러한 상분리 특성을 방지하기 위하여 계면활성제가 사용된다.

선행 연구자들에 의하면 계면활성제는 하나 보다는 두 가지 이상을 혼합하여 사용하는 것이 유화에 더 효과가 있고, 경유와 물을 혼합할 때에는  $HLB=4.3$ 의 비이온성 계면활성제가 효과적이고 경유, 물, 메탄올을 혼합할 경우에는  $HLB=1.8$ 의 계면활성제가 효과적이라는 보고가 있다. 일반적으로 W/O형 유화연료는  $HLB$ 가 3.5~6정도가 타당하다[3, 4].

본 실험에서는 고 회전수의 homomixer를 이용하여 경유와 물을 일정 비율로 혼합한 유중수적형(W/O type) 유화연료를 제조한 후 유화연료의 안정성 평가를 위하여 정전용량 센서를 설계 제작하고[5] 유화연료의 정전용량 값을 이용하여 유화연료의 안정성 및 상 분리 현상을 파

악하였으며 유적속의 수적경 평균입경 크기를 측정하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 유화연료 제조

실험에 사용된 시료는 비중이 0.82인 경유와 증류수를 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30% 비율의 중량비로 혼합한 6개를 사용하여 유중수적형인 W/O형 유화연료를 사용하였다. 또한 실험에 사용된 비 이온성 계면활성제는 2가지를 사용하였는데 각각 혼합비율은 경유의 중량비로 1, 2, 3%를 사용하였다[5].

실험에 사용된 계면활성제는  $HLB$ 가 4.3인 Span80의 90%와 10%의 Tween 80( $HLB$ 가 15)을 아래의 식을 이용하여  $HLB$ 가 5.4인 계면활성제를 제조하였다.

$$\frac{(W_A \times HLB_A) + (W_B \times HLB_B)}{W_A + W_B} \quad (1)$$

여기서  $W_A$  및  $W_B$ 는 각각 Span80( $HLB$ 가 4.3)과 Tween 80( $HLB$ 가 15)의 첨가중량이다[6].

유화연료의 혼합에는 Fig. 1과 같이 Ross사의 homomixer(최대회전속도 10,000 rpm)를 사용하여 5분 동안 혼합하여 균질한 유화연료를 제조하였다.

### 2.2. 안정성 측정장치

유화연료의 상 분리 특성은 Fig. 2에서 보는 것처럼 길이 15 mm, 내경 7 mm의 얇은 파이프를 이용하여 측정하였다. 유화연료를 제조 한 후 연료를 파이프 속에 넣고 시간의 경과에 대하여 height gauge를 이용하여 전체길이에 대한 상 분리 현상을 관찰하였다.



Fig. 1. Photograph of homomixer.

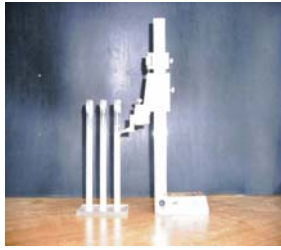


Fig. 2. Measuring system of emulsified fuel stability.

유화연료 특성상 시간이 경과함에 따라 상부와 하부는 눈에 띄게 변화되는 현상을 볼 수가 있었다. 본 실험에서는 전체 길이에 대한 상부의 상 분리 특성을 72시간(3일) 동안 관찰하였다.

하부에는 유화연료의 합일현상에 의하여 첨가된 물의 상태로 변화해 갔으며 상부는 비중이 작은 경유층이 형성되는 것을 관찰할 수 있었다. Fig. 3에 그 현상을 나타냈다.



Fig. 3. Stability of emulsified fuel in according with the lapse of time.

### 2.3. 수적경 측정장치

유화연료의 유적중에 분포되어 있는 수적경을 측정하기 위해서 공구현미경을 이용하였다. 현미경은 최대 1000배의 배율까지 확대가 가능한 (주)HanRa의 HR-303 Hi-Vision 공구현미경을 사용하였다. 이 공구현미경은 광케이블을 사용하기 때문에 일반 현미경에서 발생하는 열원에 의한 유체의 유동현상이 발생하지 않는 장점이 있다.

유화연료는 homomixer로 제조한 후에 주사기를 이용하여 slide glass위에 올려놓고 측정하였다. 또한, 시료의 측정부위는 경유-물-계면활성제를 혼합한 연료이므로 제일 상부는 일정시간이 지나면 경유층이 형성되고 중간부와 하부는 각각 유화연료의 성상을 유지하고 있으므로

현미경 촬영은 하부를 선정하여 유화연료를 제조한 순간과 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 간격으로 측정하여 유적중에 분포되어 있는 수적경의 입경 크기와 수적경의 분포상태를 측정하였다. 측정장비는 Fig. 4과 Fig. 5에 나타냈다.



Fig. 4. Microscopic of water droplet diameter in emulsified fuel.

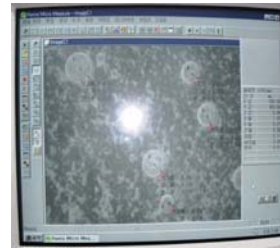


Fig. 5. Measuring system of water droplet diameter in emulsified fuel.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 유화연료 안정성 평가(상분리 현상)

Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8은 homomixer를 이용하여 10,000 rpm으로 5분 동안 유화연료를 혼합, 제조한 후부터 상 분리 현상을 6, 12, 24 및 48 시간동안 나타낸 그래프이다.

사용된 연료는 각각 10%, 20% 및 30% 물을 혼합하였고 HLB가 4.3과 5.4인 계면활성제를 각각 1, 2, 3% 혼합하였다. 상 분리 비율은 유화연료를 제조 한 후에 Fig. 3과 같은 내경 7 mm, 높이 15 mm의 파이프에 넣고 시간에 따른 전체 높이에서 상부의 경유층으로 분리되는 비율을 의미한다. 유화연료는 제조 후 최초 24시간까지는 상 분리 비율이 5%정도로 비교적 안정한 상태를 유지하였고 48시간까지도 최대 7%의 상 분리 비율을 나타내어 비교적 안정된 상태를 나타냈다.

계면활성제를 3% 혼합한 유화연료는 계면활성제의 HLB가 4.3과 5.4인 경우에 약 3~4%, 2~3%의 상 분리 비율을 나타내어 상당히 안정한 상 분리 특성을 나타내고 있다. 계면활성제의 첨가량을 증가시키면 경유와 물의 상(phase)을 잘 혼합시켜 서로 간에 이탈이 발생하지 않도록 튼튼한 층을 형성하여 합일을 방지하는 기능이 있기 때문에 계면활성제의 양을 많이 첨가할수록 안정된 상태의 유화연료가 지속되는 것으로 판단된다.

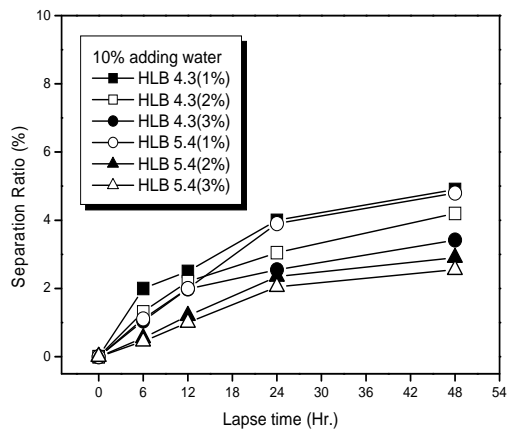


Fig. 6. Separation ratio of emulsified fuel in according to lapse time (10% adding water).

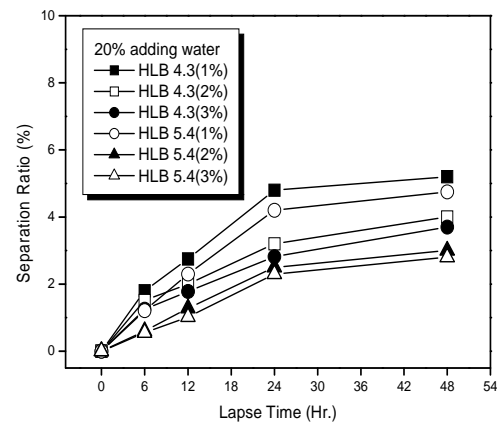


Fig. 7. Separation ratio of emulsified fuel in according to lapse time (20% adding water).

물의 혼합량을 Fig. 8에서 보는 것처럼 30%

혼합하였을 경우는 Fig. 6의 10%와 Fig. 7의 20%를 혼합하였을 경우에 비해서 상 분리 비율은 더 커지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 유화연료가 일정시간이 지나면 합일현상에 의하여 유화연료속의 수적경이 커져 유화연료를 이탈하는 침전속도가 빨라져서 상분리 비율이 커진 것으로 판단된다.

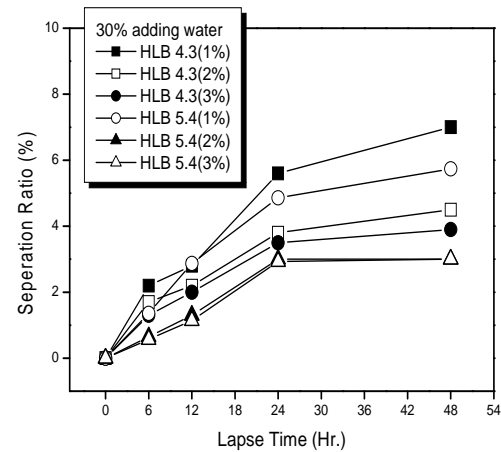


Fig. 8. Separation ratio of emulsified fuel in according to lapse time(30% adding water).

이와같이 계면활성제의 양을 증가시킬수록 상 분리 비율이 적어지는 것을 알 수 있는데 이것으로 계면활성제가 유화연료의 안정성에 중요한 역할을 하는 것을 판단할 수 있다. 또한 동일 조건에서 물의 혼합량이 많을수록 상분리 비율이 커졌다.

또한 유화연료의 상 분리 비율은 LCR 메타를 이용하여 측정된 정전용량 값과 아래의 식을 이용하여 유화연료 중 첨가한 물의 혼합비율을 예측 가능하다. 측정된 결과를 아래와 같은 산출식을 추정할 수 있다[7].

$$\text{측정 } C_p = [(\text{증류수 } C_p) \times \text{증류수 혼합비율}] + [(\text{경유 } C_p) \times \text{경유 혼합비율}] \quad (2)$$

경유와 물을 혼합한 유화연료를 100으로 보았을 때 일정시간이 경과하면 유화연료는 합일과 침전현상에 의하여 상 분리 현상이 발생한다. 이때 정전용량센서의 검출부에서 측정되는 정전용량 값은 첨가된 물의 양과 동일한 조건이 형성

된다면 유화연료의 상 분리 시점을 미리 예측해서 상 분리 시점과 그에 따른 유화연료의 재 혼합과 같은 조치를 취할 수 있다고 판단된다.

Table 1과 같이 *HLB*가 4.3이고 물을 30% 혼합하였을 경우 계면활성제를 1% 혼합하였을 경우 6시간 정도 지나면 유화연료중의 혼합된 물의 비율이 27.5%의 비율이 나타나는데 이 의미는 정전용량 값을 측정하는 센서부위에 물의 혼합비율이 27.5%이고 나머지는 유화연료 상태로 존재한다는 의미이다. 즉, 센서 계측부에서 측정되는 정전용량값 23.039pF은 물의 측정값인 80.67pF로 진행 중 이지만 6시간 정도에서는 27.5%만큼 물이 포함되어 있다는 의미이고 이것은 물의 혼합량이 30%이므로 이 시간범위까지는 안정된 상태를 유지하고 있다는 의미이다. 그 시간 이후에는 유화연료의 재 혼합과 같은 방법을 취해야 된다고 판단된다. 2% 혼합하였을 경우에는 24시간정도, 3%혼합하였을 경우에는 48시간정도까지는 안정된 상태를 유지한다고 판단된다.

Table 1. Prediction mixing rate of water in emulsified fuel (*HLB*=4.3, 30% adding water).

Time		0hr	6hr	12hr	24hr	48hr
70:30 (1%)	Measured Value[Cp]	7.411	23.039	27.984	35.637	49.345
	Distilled Water(%)	7.800	<b>27.500</b>	33.700	43.300	60.580
70:30 (2%)	Measured Value[Cp]	6.837	16.404	19.551	24.350	31.551
	Distilled Water(%)	7.100	19.100	23.100	<b>29.100</b>	38.200
70:30 (3%)	Measured Value[Cp]	6.745	13.882	16.782	21.587	25.000
	Distilled Water(%)	6.900	15.900	19.600	25.700	<b>30.000</b>

전체적으로 물의 혼합비율이 크면 예측시간이 빨리 발생했고 동일한 물의 혼합비율에서 계면활성제의 첨가량이 많으면 예측시간이 늦어져 유화연료상태가 안정하게 오래 지속되었다.

3.2. 수적경 분포 특성

Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11은 *HLB*가 4.3이고 계면활성제의 양을 1, 2, 3% 혼합하고 물의 혼

합량을 10%, 20%및 30%로 하였을 경우의 유화연료 속에 분포되어 있는 수적의 평균입경 크기를 나타냈다. 유화연료를 제조한 후 6시간, 12시간, 24시간, 48시간이 경과한 후에 공구현미경과 HR-303 Hi-Vision을 사용하여 수적의 평균입경 크기를 측정하였다. 그래프에서 보는 것처럼 48시간이 경과하여도 10 μm미만으로 수적이 존재하기 때문에 전반적으로 미세수적이 형성되었고 조대수적은 발견되지 않았다. 이것은 회전수가 10,000 rpm으로 고속회전을 하는 homomixer를 이용하여 유화연료를 제조하였기 때문으로 판단되며 동일한 양의 계면활성제를 첨가하였을 경우 물의 혼합량이 많을수록 시간이 경과함에 따라 수적의 크기가 커졌다.

Fig. 9와 같이 계면활성제의 *HLB*가 4.3이고 첨가량을 1%로 한 경우 물의 혼합량이 10%인 경우에는 48시간이 경과해도 1 μm에서 2.5 μm로 2.5배정도 수적이 커졌지만 물을 30%혼합하였을 경우에는 약 2 μm에서 9 μm로 약 4.5배 커졌다. 이러한 현상은 물의 혼합량이 많을수록 시간이 경과함에 따라 유화연료속에 분포되어 있던 물 입자가 합일현상에 의하여 수적경 크기가 커졌기 때문이다.

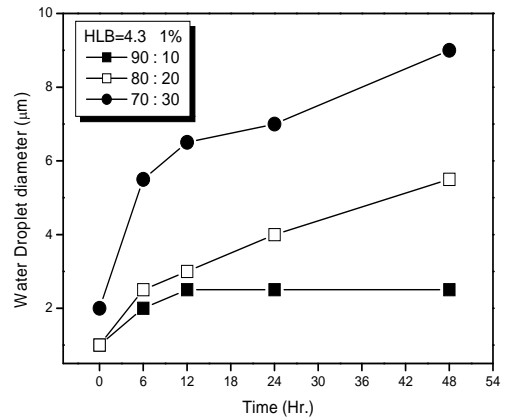


Fig. 9. Water Droplet diameter of emulsified fuel(*HLB*=4.3, surfactant : 1%).

Fig. 10과 Fig.11은 계면활성제를 2%, 3% 첨가한 경우의 수적경 분포를 나타냈다. 전체적으로 48시간이 경과해도 수적의 크기는 7μm미만의 미세수적이 형성되었고 계면활성제의 양을 증가시키면 수적의 합일현상이 방지되어 수적경의 크기는 작아져서 유화연료는 안정된 상태를 나

타내었다.

Fig. 12에 물의 혼합비율을 30%로 하고 계면활성제(*HLB* 4.3)를 1% 혼합하여 유화연료의 최초상태와 시간에 따른 변화를 현미경 촬영을 통하여 알아보았다. 시간이 경과함에 따라 수적의 합일현상에 의하여 수적경의 크기는 커지는 것을 나타냈다.

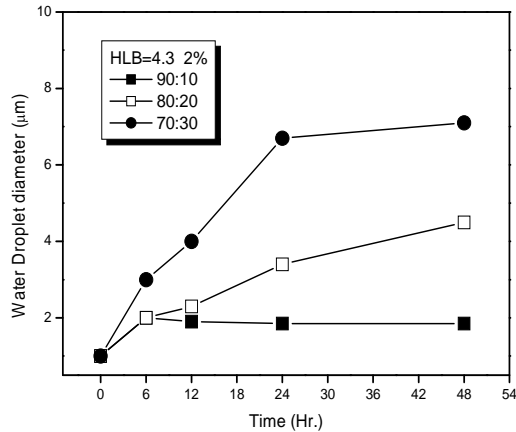


Fig. 10. Water Droplet diameter of emulsified fuel(*HLB*=4.3, surfactant : 2%).

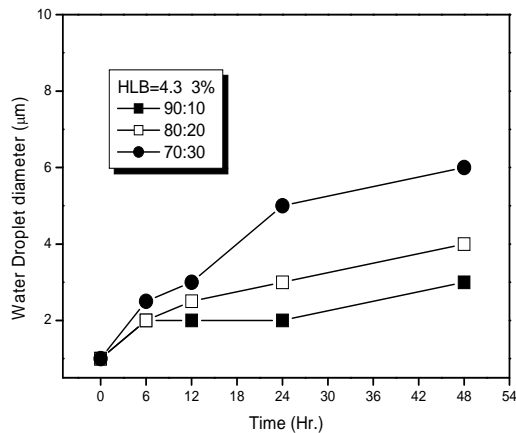


Fig. 11. Water Droplet diameter of emulsified fuel(*HLB*=4.3, surfactant : 3%).

물의 혼합비율이 높으면 수적의 합일현상으로 인하여 수적경의 크기가 커졌고 계면활성제의 양을 증가시키면 수적경 크기는 작아졌다. 또한 수적경의 크기는 계면활성제의 양에 관계가 있는 것으로 사료된다.

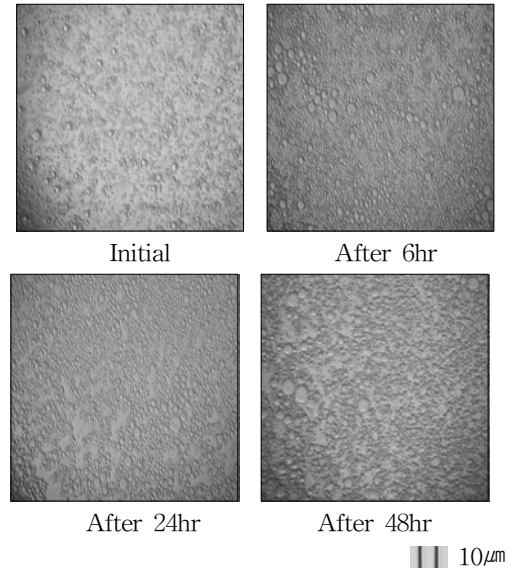


Fig. 12. Microscopic of emulsified fuel (70%:30%, *HLB*=4.3, surfactant:1%).

#### 4. 결론

정전용량 센서를 설계 제작한 후 유중수적형 (W/O type) 유화연료를 제조하여 물의 혼합비율에 따른 유화연료의 안정성 평가(상분리 특성)와 유적속에 포함된 수적의 평균입경 크기를 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 유화연료 제조 후 최초 24시간까지는 약 5%정도의 상 분리 비율을 나타내고 있어 비교적 안정한 상태를 유지하였다. 또한 물의 혼합량이 많을수록 상분리 현상이 빨리 발생했고 계면활성제의 양이 많을수록 안정한 유화상태를 나타냈다.
2. 물의 혼합량이 많을수록 합일현상에 의해 유화연료 수적경의 크기는 커졌고, 계면활성제의 양을 증가시키면 수적경 크기는 작아지는 현상을 관찰할 수 있었다. W/O형 유화연료의 수적경의 크기는 계면활성제의 양과 물의 함량에 따라 분포도가 변화하는 것으로 판단된다.
3. LCR메타를 이용하여 측정된 유화연료의 정전용량값과 본문 (2)식을 이용하여 유화연료에 혼합된 물의 비율을 예측할 수 있다. 전체적으로 물의 혼합비율이 크면 예

측시간이 빨리 발생했고 동일한 물의 혼합 비율에서 계면활성제의 첨가량이 많으면 예측시간이 늦어져서 유화연료상태가 안정하게 오래 지속되었다.

### 참고문헌

1. Korea Institute of Energy Research, Study on new technology of W/O emulsion for compression ignition engine(Ⅱ), KIER-941104, 33(1994).
2. K. Kimoto, Y. Owashi and Y. Omae, The Vaporizing Behavior of the Oil Droplet of Water-in-Oil Emulsions on the Hot Surface, *JSME(B)*, 52(477), 2275(1984).
3. N. Fujita, K. Nagakura and S. Tsunokake, The Effect of Gas Oil-Water-Methanol Emulsified Fuel on Diesel Engine Performance, *JSME(B)*, 53(48), 654(1986).
4. Y. H. Kook, J. M. Lee, S. C. Cho and S. D. Yeo, *Colloid and Surfactants*, 105, Daekwang publish co., Seoul(1995).
5. S. C. Cho, Y. H. Oh and S. Y. Im, The measurement of capacitance of W/O type emulsified fuel using by capacitance sensor, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, 24(4), 377(2007).
6. N. Sawa and S. Kajitani, Physical properties of emulsion fuel(water/oil type) and its effect on engine performance under transient operation, *SAE paper 920198*, 1992.
7. S. C. Cho, An Experimental Study on the Microexplosion phenomena of single droplet Emulsified Fuel, *Chungnam National University Ph.D Thesis*, 84~92(2003).