

정전용량센서를 이용한 W/O형 유화연료의 정전용량 측정

조성철[†] · 오양환* · 임석연**

[†]국제대학 자동차계열

*국제대학 웰빙건강관리과

**충남대학교 대학원

(2007년 9월 8일 접수 ; 2007년 11월 20일 채택)

The measurement of capacitance of W/O type emulsified fuel using by capacitance sensor

Seongcheol Cho[†] · YangHwan Oh* · Seokyeon Im**

[†]Department of Automotive Engineering, Kookje College, Kyonggi-do 459-070, Korea

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

**Graduate School of Mechanical Engineering, Chungnam National University,
Daejeon, 305-764, Korea

(Received September 8, 2007 ; Accepted November 20, 2007)

Abstract : We designed capacitance sensor in order to examine characteristics of W/O type emulsified fuel, so it concluded the following conclusions.

The capacitance value of emulsified fuel, using with capacitance sensor, increases as water content increases due to the coalescence. When surfactant increases, the capacitance value decreases, the condition of W/O type emulsified fuel was maintained stably. There was revealed the capacitance value difference of W/O type emulsified fuel in in according to water content. We checked the phase separation of emulsified fuel with the capacitance value difference. The surfactant($HLB=5.4$) had better stable condition than surfactant($HLB=4.3$). Also, we confirmed that two mixture surfactants were better than one surfactant.

Key words : W/O type emulsified fuel, capacitance sensor, surfactant, separation ratio, capacitance value difference

Nomenclature

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

[†]주저자 (E-Mail : csc8024@hanmail.net)

A, B : index of surfactants

1. 서론

에너지 절약 및 대기 환경오염을 줄이기 위하여 연소성능 개선, 대체연료의 개발 등 여러 가지 방법이 연구되고 있으며 특히, 디젤기관에서는 출력향상과 동시에 유해배기가스 저감이라는 두 가지 특성을 최적화시키기 위한 방법이 계속 연구되고 있다[1].

탄화수소계열 연료에 물을 혼합하여 연료로 사용하는 유화연료에 관한 연구는 저공해 에너지 관점에서 진행되고 있다. 유화연료는 연소효율을 높이고 배출가스 중의 Soot저감과 동시에 NOx농도를 저감하는데 유용한 연료로서 알려져 있다. 그러나 유화연료는 내연기관 연료로서 아직 실용화에는 이르지 않고 있다. 유화연료를 내연기관 특히 디젤기관에 이용하려고 하는 경우, 연료공급계통에서의 유동특성, 분무특성 및 고온에서의 증발특성 등이 중요한 변수로 고려되어야 한다.

유화연료가 연료로서 안정성을 지니려면 유화연료 제조 후에 일정기간동안 상 분리 현상이 발생되지 않아야 연료로서 타당성을 가진다. 일반적으로 유화연료의 안정성을 확인하는 방법으로는 유화연료를 제조 후에 용기에 담아 시간에 따른 변화특성을 확인하는 방법이 많이 사용되어 왔다. 하지만 이러한 방법은 유화연료의 단점인 상 분리 현상을 정량적으로 분석할 수 없다.

일반적인 유화연료 제조방법으로는 기계적 교반, 초음파에너지 이용 교반장치 및 Homogenizer 등의 방법이 있고 유화연료의 특성상 상 분리 현상이 관찰된다.

본 실험에서는 액체의 유전율에 근거한 정전용량을 측정하는 방법을 고안하였다. 이 때 측정에 사용되는 계측기가 정전용량 센서다. 정전용량 센서는 기상, 농업, 환경, 토목, 화력발전소 등과 같이 물과 직접적으로 관계가 깊은 분야에서는 사용되는 액체수위의 정확한 측정에 관한 용도로 사용되고 있고, 일반공장에 설치되어 있는 각종 유체 저장 탱크에 채워져 있는 양과 상태를 연속적으로 즉시 파악하고 원하는 양으로 자동으로 조절할 수 있는 공장 자동화 시스템에 이용되기도 한다[2].

본 실험에서는 고 회전수의 Homomixer를 이용하여 경유와 물을 일정 비율로 혼합한 유중수적형(W/O type) 유화연료를 제조한 후 유

화연료의 안정성 평가를 위하여 정전용량 센서를 설계 제작하고[3] 유화연료의 정전용량 값을 이용하여 유화연료의 안정성을 확인하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 정전용량센서

전기 용량변화를 발생시키는 센서의 기본구조 중 평판형을 이용하는 것보다 동심원통형을 이용하는 것이 형태적인 면에서 표류용량이나 센서를 구성하고 있는 전극간의 오차를 줄일 수 있다. 또한 정전용량을 측정하기 위한 전기용량 셀은 구조적 대칭성이 요구된다[3].

Fig.1에 자체설계 제작한 원통형 정전용량 센서를 나타내었다. 원통은 화학적 부식이 없는 SUS를 사용하였고 전극간의 절연을 위하여 테프론봉을 절연체로 사용하였다. 정전용량을 검출하는 센서부의 내통과 외통에 전극을 설치하고 센서 상부와 하부는 접지를 한 3단자형 구조로 구성하였으며 정전용량 센서 검출부와 내통사이에는 테프론 봉으로 절연을 하여 SUS원통이 guard전극이 되게 제작하였다. 이때 사용된 전선은 2중 실드 동축 케이블(triaxial cable)을 사용하여 noise발생을 제거하였다.

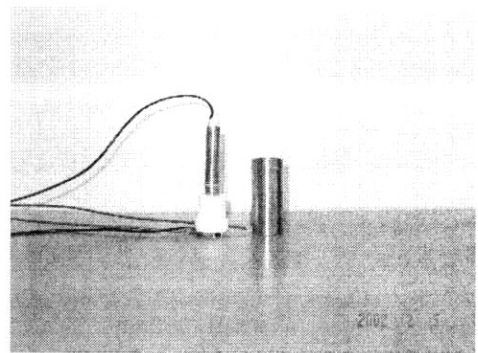


Fig. 1. Capacitance sensor

2.2 유화연료 정전용량 측정장치

실험에 사용된 시료는 비중이 0.82인 경유와 중류수를 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30%비율로 중량비로 혼합한 6개를 사용하여 유중수적형인 W/O형 유화연료를 사용하였다. 또한 실험에 사용된 비이온성 계면활성제는 2가지를

사용하였는데 각각 혼합비율은 경유의 중량비로 1, 2, 3%를 사용하였다.

선행 연구자들에 의하면 계면활성제는 하나 보다는 두 가지 이상을 혼합하여 사용하는 것이 유화에 더 효과가 있고, 또한 경유와 물을 혼합할 때에는 $HLB=4.3$ 의 비이온성 계면활성제가 효과적이고 경유, 물, 메탄올을 혼합할 경우에는 $HLB=1.8$ 의 계면활성제가 효과적이라는 보고가 있다[4]. 일반적으로 W/O형 유화연료는 HLB 가 3.5~6정도가 타당하다[4, 5].

실험에 사용된 계면활성제는 HLB 가가 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 Ross사의 Homomixer(최대회전속도 10,000rpm)를 사용하여 5분동안 혼합하여 균질한 유화연료를 제조하였다.

이때 사용된 정전용량 측정장치는 원통형 정전용량센서로 선행 실험결과에서 최대 4% 미만의 오차로 상 분리 현상을 측정할 수 있는 장치를 사용하였다[7,8].

Fig.2에 정전용량 측정장치를 나타내었다. 유화연료를 제조한 후 정전용량 센서의 측정부에 넣은 후 LCR meter를 이용하여 정정용

량 값을 측정하였다. 실험에 사용된 LCR meter는 EDC-1630(주식회사 ED)을 사용하였고 공급전원은 1Volt, 주파수는 10kHz로 초당 30번 측정해서 평균값을 나타내었다. LCR meter의 사양은 Table 1.에 나타냈다. 또한 Fig. 3에 LCR meter의 사진을 나타냈다.

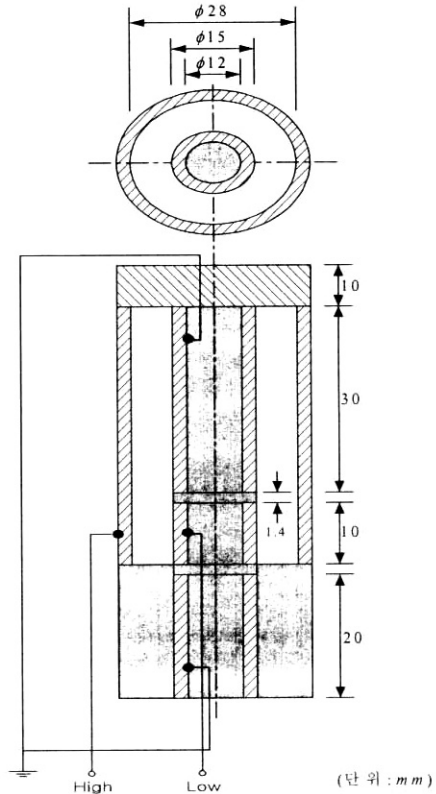


Fig. 2. Schematic diagram of measuring system

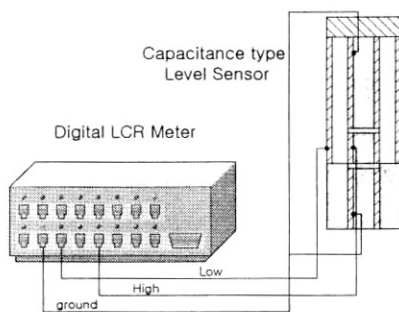


Fig. 3. Photograph of measuring capacitance using LCR meter

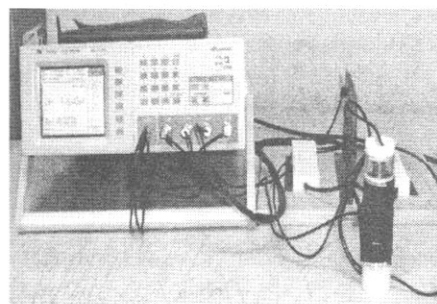


Table 1. Specification of LCR meter

Measurements	Q and Inductance (L) : 0.01 μ H~9999H
	D and Capacitance (C) : 0.01pF~9999 μ F
	Resistance : 1m Ω ~100k Ω
Measuring Frequency	12Hz~100kHz
Measuring Voltage	5mV~1.275Vrms
Accuracy	L : 0.02%(20 μ H~2000H)
	C : 0.02%(10pF~1000 μ F)
	R : 0.02%(10 Ω ~400k Ω)
Input Power	AC 110/220V, 50/60Hz

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유화연료 정전용량 측정

Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 HLB가 4.3과 5.4의 두 가지 계면활성제를 사용하여 경유에 물을 각각 5, 10, 15, 20, 25, 30%를 혼합하고 계면활성제를 1, 2, 3% 혼합한 후 180분 동안의 시간에 따른 정전용량 변화를 측정하여 나타냈다. 물의 첨가량을 30% 첨가하였을 경우에는 HLB가 4.3과 5.4인 경우에 동일하게 가장 큰 정전용량값을 나타내고 있다.

상대적으로 물의 첨가량이 5%, 10%인 경우에는 시간이 경과하여도 거의 일정하고 낮은 값을 나타내고 있다. 이것은 물의 첨가량이 많을수록 시간이 경과함에 따라 유화연료가 합일현상에 의하여 수적의 크기가 커지면서 정전용량 센서부의 하부로 침전현상이 발생하고 또한 침전속도가 빨라져서 더 큰 정전용량 값을 나타낸 것으로 판단된다.

계면활성제의 양을 증가시키면 정전용량센서에서 검출되는 정전용량값은 낮은 값을 나타내는데 이것은 계면활성제가 경유와 물의 상(phase)을 잘 혼합시켜 이탈이 발생하지 않도록 튼튼한 층을 형성하여 합일을 방지하는 기능이 있기 때문에 양을 많이 첨가할수록 안정된 상태의 유화연료가 지속되어 정전용량값이 낮게 나타난다. 하지만 계면활성제는 경유의 질량비로 소량첨가 하지만 고가이다 보니 경제성의 문제를 필히 검토해야 한다.

그림에서 보는 것처럼 정전용량 값은 유화연료를 최초로 제조한 초기순간부터 변한다. 일반적으로 육안에 의한 유화연료의 상태를

확인하는 경우보다 센서를 이용하면 정확하게 정전용량 값을 정량적으로 측정할 수 있기 때문에 유화연료의 상태를 좀 더 정확하게 정량적으로 확인할 수가 있다.

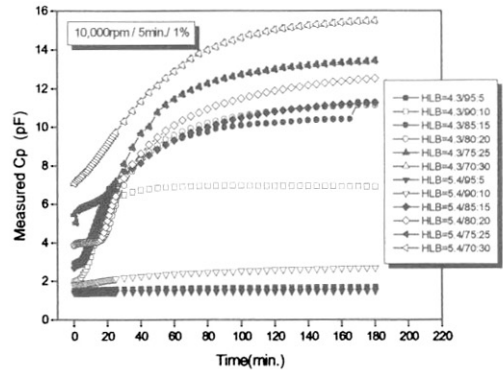


Fig. 4. Measured Cp value of emulsified fuel (HLB=4.3 and 5.4, surfactant : 1%)

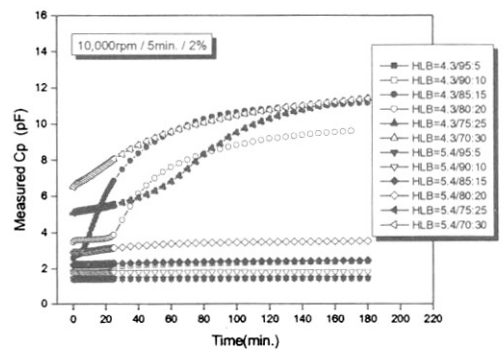


Fig. 5. Measured Cp value of emulsified fuel (HLB=4.3 and 5.4, surfactant : 2%)

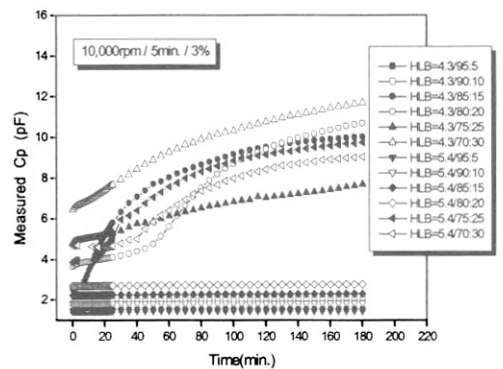


Fig. 6. Measured Cp value of emulsified fuel (HLB=4.3 and 5.4, surfactant : 3%)

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9는 물의 혼합량을 10%, 20%, 30%로 하고 HLB가 4.3과 5.4인 계면활성제를 1, 2, 3% 혼합하였을 경우의 정전용량 값을 나타냈다.

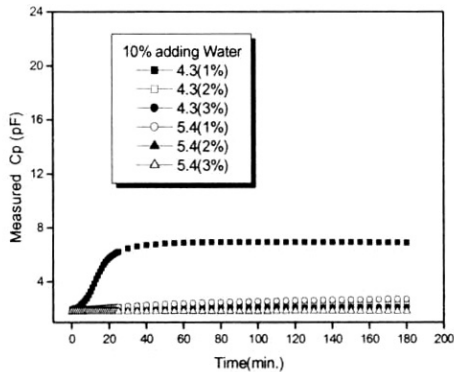


Fig. 7. Cp value of emulsified fuel adding water 10% (HLB=4.3 and 5.4)

Fig. 7에서 보는 것처럼 약 2pF의 정전용량 값을 나타내는 연료는 계면활성제를 3%첨가한 경우에서 나타나고 있다. 2%첨가한 경우에는 3%보다 더 큰 값을 나타내고 있으며 HLB가 4.3인 계면활성제를 1%첨가한 경우에는 유화연료를 제조한 순간부터 정전용량 값이 증가하여 30분 정도가 경과하였는데도 약 7pF를 나타내었다. 동일한 양을 첨가한 조건에서 이러한 결과가 발생하는 것은 계면활성제가 유화연료의 응집성에 큰 작용을 한 것으로 판단된다. 하지만 HLB가 5.4인 계면활성제를 1%첨가한 유화연료의 경우에는 정전용량 값이 크게 변하지 않고 서서히 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 물의 혼합량을 20% 첨가하였을 경우 시간에 대한 정전용량값을 나타냈다. HLB가 5.4인 경우의 정전용량값이 작은 값을 나타냈다. 10%의 물을 첨가하였을 경우보다 전체적으로 높은 정전용량값을 나타냈고 계면활성제의 양을 많이 첨가했을 경우가 작은 값을 나타내어 안정된 유화연료 상태를 나타냈다.

Fig. 9와 같이 물의 혼합량을 30%로 하였을 경우에 HLB가 5.4인 계면활성제를 3%첨가한 유화연료에는 초기값도 5pF 정도를 나타내었고 60분이 경과하면서 급격히 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 물을 30%첨가한 경우가

전반적으로 10% 첨가한 경우보다 훨씬 큰 정전용량 값을 나타내었다. 또한 HLB가 4.3보다는 5.4인 경우가 전반적으로 낮은 값을 나타내었고 시간이 경과함에 따라서도 안정된 변화율을 나타내었다.

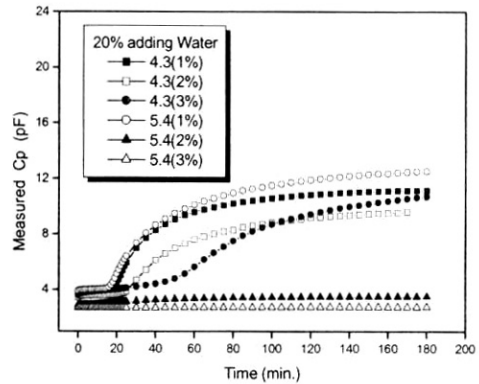


Fig. 8. Cp value of emulsified fuel adding water 20% (HLB=4.3 and 5.4)

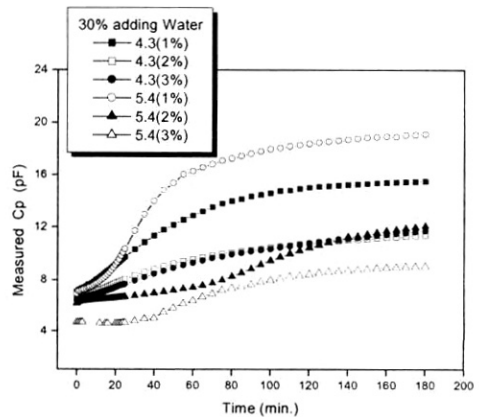


Fig. 9. Cp value of emulsified fuel adding water 30%(HLB=4.3 and 5.4)

4. 결론

정전용량 센서를 설계 제작한 후 유화연료를 제조하여 물의 혼합비율에 따른 유화연료의 정전용량값을 측정된 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 정전용량센서를 이용하여 유화연료의 시간에 따른 특성변화를 확인할 수 있었다. 유화연료는 제조한 후에 일정시간이 경과하면 합일에 의해 수적경의 크기가 커지면서 정전용량 센서 하부로 침전되는 현상이 발생하기 때문에 유화연료는 물의 첨가량에 따라 정전용량 값의 차이가 발생하며 이것을 이용하면 유화연료의 상 분리 현상을 확인할 수가 있다.
2. 물의 혼합량이 많을수록 계면활성제의 종류에 상관없이 큰 정전용량 값을 나타냈다. 또한 HLB가 4.3과 5.4에서 계면활성제의 첨가량이 1%인 경우가 큰 정전용량 값을 나타냈으며 3% 혼합하였을 경우는 시간이 경과함에 따라서도 일정하고 안정된 정전용량 값을 나타냈다. 본 실험에서 사용한 HLB가 4.3과 5.4의 계면활성제에서는 5.4인 경우에 더 좋은 상태를 나타내었고 유화연료의 계면활성제를 선정 할 때에는 하나의 종류보다는 2가지 이상을 혼합하여 사용하는 것이 더 좋은 결과를 얻는 것을 확인하였다.
3. S. C. Cho, D. J. Oh, J. W. Choi, and C. S. Lee, "A development capacitance sensor for stability measurement of W/O type emulsified fuel", *J. of Korean Soc. of Mechanical Technology*, **5(2)**, 89 (2003).
4. Naotaka Fujita, Kiichirou Nagakura, and Shigeru Tsunokake, "The Effect of Gas Oil-Water-Methanol Emulsified Fuel on Diesel Engine Performance", *Transactions of JSME(B)*, **53(48)**, 654 (1986).
5. Y. H. Kook, J. M. Lee, S. C. Cho, and S. D. Yeo, "Colloid and Surfactants", pp.105-112, Daekwang publish co. (1995).
6. Norihiro Sawa, Shuichi 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*, 70 (2003).
8. S. C. Cho, D. H. Mo, M. K. Yoon, and J. I. Ryu, "A development capacitance sensor for stability measurement of W/O type emulsified fuel", *2002 KSAE Spring Conference Proceedings*, Vol. III, 1525 (2002).

참고문헌

1. Shuichi Kajitani ,Norihiro Sawa, "A Study on Gasoil-Water (Water/Oil Type) Emulsified Fuel(The Effects of Lapse of Time on The Spray Characteristics)", *Trans. of JSME(B)* **56(531)**, 344 (1990).
2. Y. T. Park, H. J. Kim, and R. D. Lee, "A Development Capacitance Type Level Sensor", *Korean Applied Physics(Korean Physical Society)*, **1(2)**, 169 (1988).