

내연기관의 엔진오일상태에 대한 유전율 변화 특성

김동민¹ · 김영주² · 이승희^{3,†}
¹홍익대학교 과학기술대학 전기전자공학과
²홍익대학교 과학기술대학 전기전자공학과
³홍익대학교 과학기술대학 화학시스템공학과

Characteristics of Variant Dielectric Constants With Respect to Internal Combustion Engine Oil States

Dong Min Kim¹, Yong Ju Kim² and Seung Hee Lee^{3,†}

¹Department Electronics and Electrical Engineering, Hong-Ik Univ. Jochiwon, Chungnam 339-701, Korea

²Department Electronics and Electrical Engineering, Hong-Ik Univ. Jochiwon, Chungnam 339-701, Korea

³Department Chemical System Engineering, Hong-Ik Univ. Jochiwon, Chungnam 339-701, Korea

요 약

내연 기관의 엔진오일은 열화작용에 의해서 수명이 짧아지고 대기오염을 유발하게 된다. 엔진오일의 상태를 정확히 측정하여 새오일로 교환함으로써 엔진의 수명 연장 및 환경오염을 줄일 수 있다. 정전용량 프로브는 엔진오일과 같은 유체의 유전율을 측정하는데 사용 할 수 있다. 본 논문은 엔진 오일의 열화 정도에 따라서 달라지는 유전율 특성을 분석하였다. 오일의 상태에 따라서 달라지는 프로브의 정전용량을 각각 LCR Meter로 측정하여 엔진오일의 유전율을 계산하였다. 또한, 프로브의 크기에 따른 정전용량의 변화를 측정하여 유전율 측정의 정확도를 제시한다. 오염된 오일 일수록 유전율이 증가하며, 유전율로 오일의 오염정도를 판단하는 것이 가능하다.

Abstract – The engine oil life of internal combustion engine is shorted by the thermal effect and that causes air pollution. In order to measure the status of engine oil accurately, the exchange of new oil extends the life of combustion engine and reduces environmental pollution. Capacitance probes, such as engine oil and fluids can be used to measure the dielectric constant. In this paper, the degradation of engine oil varies depending on the degree of dielectric properties was analyzed. Depending on the state of the oil, the variant capacitance of the probe was measured by LCR Meter, respectively, and then the permittivity of oil was calculated. In addition, according to the size of the probe by measuring the change in capacitance measurement, accuracy of dielectric constant are presented. According to oil contaminated with the more increase in dielectric constant, we can decide that contaminated oil is available.

Keywords: Capacitive application(전정용량), Probe dimension(프로브의 크기), Oil deterioration(오일열화), Complex permittivity(복소유전율), Engine oil(엔진오일)

1. 서 론

내연기관 엔진오일은 윤활, 냉각, 청정분산 기능을 하는데 오일의 수명이나 사용한계는 열화현상에 의해서 제한된다. 열화현상이란 합은 오일의 산화 및 이물질의 유입에 의해서 결정 되는데 오일

의 산화속도는 온도, 촉매, 공기와 접촉하는 엔진오일의 종류 및 첨가물의 종류에 따라 달라진다. 엔진오일이 산화되면 케톤, 알데히드, 알코올 등과 같은 유용성의 산소화합물이 먼저 생성되고 다음으로 이것이 유기산으로 바뀌며, 최후에는 오일에 용해되지 않는 수지상의 물질을 생성하게 된다(C.Pu et al.[2000]). 실험에 의하면, 엔진 오일이 열화 될수록 유전율과 전기 전도도가 증가함이 밝혀졌다(Jangannathan and Raju[2000]). 또한, 이물질에는 여러 가지 중

[†]Corresponding author: shlee@hongik.ac.kr

류가 있겠지만 수분의 함유량에 의해서 유전율이 증가하게 된다. 내연 기관의 엔진오일은 열화작용에 의해서 수명이 짧아지고 대기 오염을 유발하게 된다. 엔진오일의 상태를 정확히 측정하여 새오일로 교환함으로써 엔진의 수명 및 환경오염을 줄일 수 있다(오상우 등 [2011]).

엔진 오일의 전기적인 특성인 유전율 변화에 의한 정전용량 프로브의 특성임피던스 변화가 일어나므로 엔진오일의 상태를 감지하는 연구가 진행 중이다(Simon and Yingjie[2003]). 엔진오일의 열화 정도에 따른 유전율을 측정하는 방법(김영주 등[2011])에는 여러 가지 방법이 있지만 본 연구에서는 정전용량을 이용하여 유전율을 산출하였다. 정전용량을 이용한 프로브의 설계에는 크게 두 가지가 고려된다. 첫 번째로는 프로브의 형태와 크기, 물질의 전기적인 성질, 필드의 크기 그리고 신호/파워밀도이다. 두 번째로는 입력출력에서의 전압, 전류, 주파수, 임피던스이다. 이 두 요소는 수치해석과 유한 요소 방법을 이용하여 상관관계를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 엔진오일의 상태에 따른 정전용량의 크기를 측정하고 유전율을 계산하였다. 또한, 프로브의 크기와 전극사이의 간격을 변화 시켜 정전용량을 측정하고, 유전율의 정확도를 계산하였다.

2. 용량성 프로브에 의한 이론적 유전율 계산

2.1 용량성 프로브의 구조

엔진오일의 유전율과 프로브의 정전용량의 관계를 산출하기 위해서 아래와 같은 프로브를 설계하였다.

Fig. 1은 프로브의 구조도이며, Table 1은 프로브의 외경 및 내경의 크기가 변화하는 경우이며, Table 2는 프로브의 내경의 크기가 달라지는 경우이다.

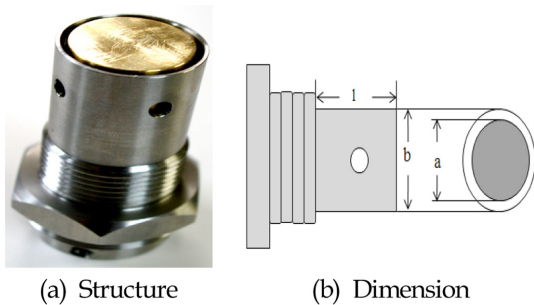


Fig. 1. Capacitive probe.

Table 1. Probes with different sizes of inner electrodes and outer electrodes

Probe	a (mm)	b (mm)	l (mm)
1-1	14	16	17.7
1-2	22	24	17.7

Table 2. Probes which differ only in the sizes of inner electrodes

Probe	a (mm)	b (mm)	l (mm)
2-1	14	24	17.7
1-2	22	24	17.7

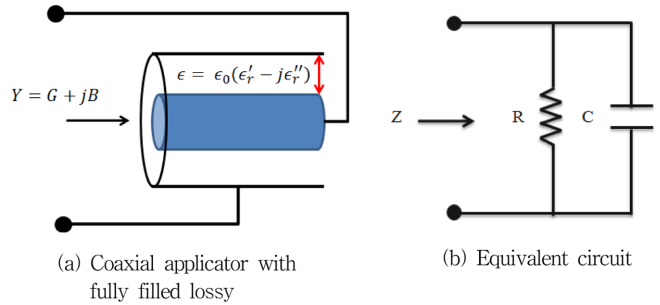


Fig. 2. Coaxial applicator with fully filled lossy and equivalent circuit.

2.2 정전용량과 유전율의 상관관계 계산

동축형으로 구성된 프로브의 모델은 일차 함수 형태의 Laplace equation의 해를 통해 유전범위에 따른 전위 함수를 산출한다[4].

실제로 프로브가 오일에 삽입 되었을 경우는 Fig. 2와 같다. 오일의 복소 유전율이 $\epsilon = \epsilon_0(\epsilon_r - j\epsilon_r)$ 이라는 가정하에, 저항과 정전용량을 구하면 다음과 같다.

$$R = \frac{(b/a)}{2\pi\omega\epsilon_0\epsilon_r} \tag{1}$$

$$C = \frac{2\pi\omega\epsilon_0\epsilon_r}{(b/a)} \tag{2}$$

여기서 a는 프로브의 내부 전극의 직경이고 b는 프로브 외부 전극의 직경이다. ϵ_0 는 공기 중의 유전율이고, ϵ_r 는 상대 유전율이고, ϵ_r 는 θ 이다. R값은 무한대가 나오므로 ϵ_r 계산은 할 수 없다. 따라서, 정전용량을 측정하면 오일의 상대유전율 ϵ_r 를 구할 수 있다.

3. 유전율 측정 결과

3.1 측정 실험

프로브는 내부 구조물(황동)과 외부의 원통(stainless steel)으로 구성되어 있다. 내부 구조물과 외부 구조물 사이에 오일이 채워질 수 있도록 내부 구조물이 외부 구조물 보다 2 mm 작게 설계 하였다. 전극 간격 사이로 원활한 오일 유입을 위해 외부 구조물에 둘레 4 mm의 원형구멍 4개를 뚫었다. Fig. 1에서 구조를 상세히 보여준다.

프로브의 정전용량을 측정하기 위해 Delta United Instrument co.,LTD 사의 Du-6000 LCR meter를 사용하였다.

측정한 엔진오일의 상태는 사용하기 전의 새 엔진오일(oil A), 약 1년 정도 사용하여 교환시기가 된 폐오일(oil B)과 새 오일 50%와 폐오일 50%를 섞은 오일을 준비 하였다. 각각의 오일상태는 동일한 실온(25 °C) 조건에서 측정 되었으며 LCR meter의 측정 주파수는 1 kHz로 하였다.

3.2 유전율 측정결과

간격이 일정한 프로브의 크기를 변화 시키는 경우와 프로브의 크기를 일정하게 하고, 간격을 변화시키는 경우로 나누어 LCR meter

Table 3. Measured capacitance and calculated permittivity

(a) The capacitance related with different dimensions of the inner and outer probe

측정 주파수	Probe	C(새 오일)	C(50%)	C(폐 오일)
1 kHz	1-1	15.50 pF	16.50 pF	17.60 pF
1 kHz	1-2	24.65 pF	25.88 pF	27.14 pF

(b) The permittivity related with different capacitance

Probe	유전율(새 오일)	유전율(50%)	유전율(폐 오일)
1-1	2.10	2.24	2.39
1-2	2.18	2.29	2.40

Table 4. Measured capacitance and calculated permittivity

(a) The capacitance related with different dimensions of the inner probe and fixed outer probe

측정 주파수	Probe	C(새 오일)	C(50%)	C(폐 오일)
1 kHz	2-1	3.71 pF	3.82 pF	3.95 pF
1 kHz	1-2	24.65 pF	25.88 pF	27.14 pF

(b) The permittivity related with different capacitance

Probe	유전율(새 오일)	유전율(50%)	유전율(폐 오일)
2-1	2.03	2.09	2.16
1-2	2.18	2.29	2.40

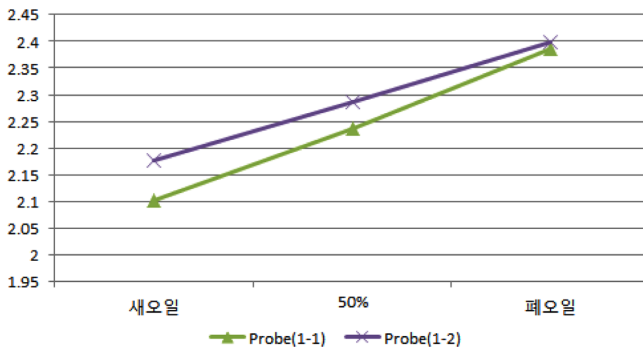


Fig. 3. The Relative Graph of Probe(1-1) and Probe (1-2).

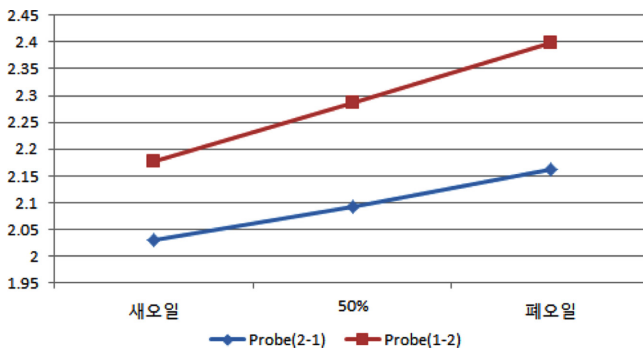


Fig. 4. The Relative Graph of Probe(2-1) and Probe (1-2).

로 측정된 정전용량과 계산된 유전율은 Table 3과 Table 4와 같다.

유전율 계산은 MATLAB 을 이용하였다.

Fig. 3와 Fig. 4는 Table 3과 Table 4에서 측정된 새 오일 유전율, 폐오일이 섞인 50% 오일 유전율과 폐 오일 유전율을 그래프로 표

현한 것이다.

오일이 열화되면 유전율이 증가하는 것을 알 수 있으며, 프로브의 크기가 작아질수록 폐 오일 보다 새 오일에서 유전율 오차가 증가 하는 것을 볼 수 있다. 또한, 프로브의 간격의 크기가 증가 하면 유전율이 감소하며, 유전율 오차가 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 엔진오일 상태에 따른 유전율 변화에 대한 정전 용량 측정으로 오일의 상태를 판별하는 결과를 보여준다.

오일의 상태에 따른 유전율 변화는 열화에 의해 증가 되는 것을 알 수 있으므로 유전율로 새 오일과 폐 오일의 정도를 파악 할 수 있다. 측정된 결과에 의하면, 프로브의 간격을 일정하게 하고 프로브의 크기를 변화 시켜도 유전율 오차가 크지 않지만, 프로브의 간격을 변화시키면, 유전율의 오차가 커지는 것을 알 수 있다.

정전용량 프로브는 저렴하고, 측정이 용이하며, 정확도를 신뢰할 수 있으므로 오일 상태 측정 장치 구현에 응용될 수 있다.

참고문헌

- [1] C.Pu et al, 2000, IEEE Photonics Technol. Letters, Vol. 12, No. 12, pp. 1665-1667.
- [2] Jangannathan, S, Raju, G.V.S. 28-30 June 2000, Remaining useful life prediction of automotive engine oils using MEMS technologies, American Control Conference, 2000. Proceedings of the 2000, Volume 5, pp. 3511-3512.
- [3] 오상우, 이문진, 최혁진, November 2011, 기름에 대한 실리콘의 부피 변화 성질을 이용한 유출유 탐지 센서 개발, Journal of the KOSMEE, Volume 14, No. 4, pp. 280-286.
- [4] Simon S. Wang, Yingjie Lin, 15 November 2003, A new Technique for detecting antifreeze in engine oil during early stage of leakage, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 96, Issues 1-2.
- [5] 김기훈, 김영주, June 2011, 초고주파 구형도파로를 이용한 엔진 오일의 유전율 측정, Journal of the KSTLE, Volume 27, No. 4.

2011년 12월 7일 원고접수

2011년 12월 14일 심사수정일자

2012년 1월 27일 게재확정일자