

엔진오일 상태에 대한 프로브의 이론 특성

김 영 주[†]
홍익대학교 전자 전기 공학과

Theoretical Characteristics of the Probe with Respect to the Engine Oil States

Young ju Kim[†]
Department of Electronics and Electrical Engineers Hongik University

요 약

엔진오일 상태에 따라서 엔진 오일의 유전율이 변화하게 된다. 오일의 유전율은 프로브의 특성 임피던스와 관계가 있으며, 프로브의 특성 임피던스는 프로브 입력단의 반사 신호를 결정한다. 본 논문에서는 프로브의 등가회로를 유도하고 정전용량 측정에 의해서 구한 유전율의 변화에 따른 프로브의 반사 계수를 이론적으로 계산 하였다. 결과로 오일의 상태가 열화 되면 반사 계수가 증가 되는 것을 알 수 있다.

Abstract – Depending on the status of the engine oil, the dielectric constant is changed. Dielectric constant of oil is related to the characteristic impedance of the probe and the characteristic impedance of the probe determines the reflected signal. In this paper, we derive an equivalent circuit of the probe and using the dielectric constant obtained by measuring the capacitance, the theoretical reflection coefficient of the probe was calculated. In the results, if the engine oil is deteriorated, we can see that the reflection coefficient is increased.

Keywords: Reflection coefficient(반사 계수), oil deterioration(오일열화), dielectric constant(유전율), engine oil(엔진오일), characteristic impedance(특성임피던스)

1. 서 론

엔진오일의 내구성을 나타내는 수명이나 사용한계는 산화 및 이물질의 유입에 따라 정해지게 된다. 이는 양질의 엔진오일이라 할 지라도 사용 중에 변질되어 그 성질이 저하되는 열화현상이 나타나기 때문이다. 내연 기관에서 엔진오일의 상태를 측정 할 수 있다면 적절한 시기에 엔진오일을 교체할 수 있으므로, 엔진마모 감소에 따른 엔진수명이 증가되어 엔진기능의 최적화가 이루어지며 엔진오일의 산화에 따른 환경오염을 방지 할 수 있다.

엔진오일의 열화 중 가장 큰 원인은 공기 중의 산소에 의한 산화작용이며, 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 용해되

지 않는 수지상의 물질을 생성하게 된다. 사용기간에 따른 엔진오일의 혼탁도와 점도 등의 변화는 마모된 엔진의 금속 입자들과 연소 찌꺼기 입자, 수분 등과 관계가 있으며 이런 성분들이 결국 엔진오일의 유전율을 달라지게 한다(C.Pu *et al.*[2000]; Jangannathan and Raju[2000]; Simon and Yingjie[2003]; 전상명 [2006]).

엔진오일의 유전율을 측정하는 방법(Bois *et al.*[2000]; Anderson *et al.*[1994]; Kraszewski and Nelson[1992])은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 프로브의 특성을 분석하기 위하여 전송선로 이론을 적용 하였다.

필스를 이용한 오일 상태 측정 시스템의 프로브 특성을 분석하면 내연 기관엔진의 오일 상태를 측정하는 시스템에 응용할 수 있다.

2. 프로브의 이론적 고찰

프로브는 동축형이며 Fig. 1(a)에서 보여지며 이 프로브의 등가회로는 Fig. 1(b)와 같다. 프로브의 외경과 내경 사이에 엔진 오일

[†]Corresponding author: yjkim5712@hotmail.com

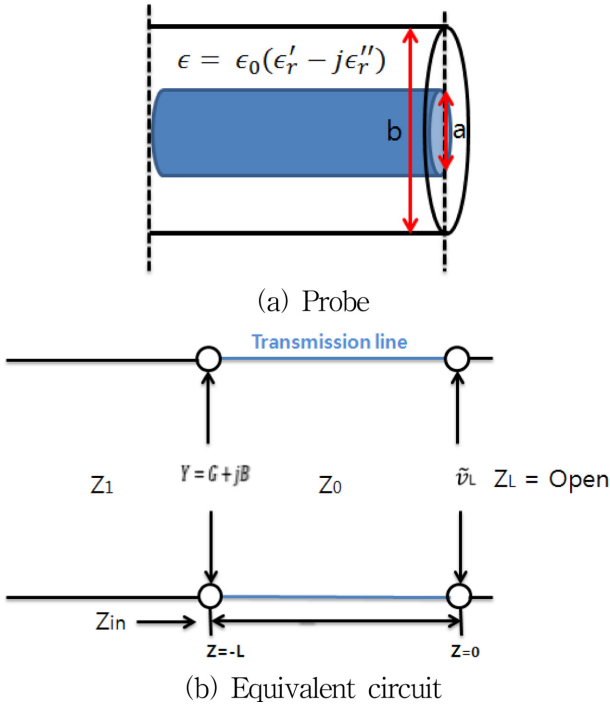


Fig. 1. Figure of probe and equivalent circuit.

이 채워져서 전송선로의 특성 임피던스가 달라지게 된다.

전송 선로에서 저주파 신호에 대해서는 입력임피던스 Z_{in} 은 특성임피던스 와 같다고 할 수 있다.

$$Z_{in} \approx Z_0 \quad (1)$$

특성임피던스 Z_0 값은 유전 상수에 의해 결정 된다.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{(b/a)}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_r - j\epsilon_r''}} \quad (2)$$

식 (2)에서 a 는 내부 직경이고, b 는 외부 직경이다. L, C 는 전송 선로의 단위 인덕턴스와 단위 커패시턴스를 의미하며, 상대 유전율 (ϵ_r)은 $\alpha(\epsilon_r)$ 보다 크므로 테일러급수를 이용하여, 간소화 시키면, 아래 식이 된다.

$$Z_0 = \frac{(b/a)}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(1 + \frac{1}{2} j \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'}\right) \quad (3)$$

따라서, 프로브 입력단의 반사 계수는 다음과 같다. Z_1 은 프로브의 앞단의 특성임피던스 이다.

$$\Gamma = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \quad (4)$$

Z_0 와 Z_1 은 복소수 이므로, 식 (4)는 다음과 같다.

$$\Gamma = \frac{Z_0^R + jZ_0^I - Z_1^R - jZ_1^I}{Z_0^R + jZ_0^I + Z_1^R + jZ_1^I} \quad (5)$$

여기서 Z_0^R 은 특성 임피던스의 실수값, Z_0^I 은 특성 임피던스의 허수값, Z_1^R 은 Z_1 의 실수값이며, Z_1^I 는 Z_1 의 허수값이다.

여기서, 식 (3)에 의해 $Z_0^I \ll 0$ 이므로, 무시할 수 있다.

$$\Gamma = \frac{(Z_0^R - Z_1^R) - jZ_1^I}{(Z_0^R + Z_1^R) + jZ_1^I} \quad (6)$$

$|\Gamma|$ 를 구하면,

$$|\Gamma| = \frac{\sqrt{(Z_0^R - Z_1^R)^2 - (Z_1^I)^2}}{\sqrt{(Z_0^R + Z_1^R)^2 + (Z_1^I)^2}} \quad (7)$$

엔진오일상태에 따른 유전을 변화는 특성 임피던스 값을 변화시키고 식 (7)을 이용하면 반사 계수의 변화를 알 수 있다.

3. 프로브의 구조와 반사 계수

3.1 프로브의 구조

측정단은 엔진오일이 펄스 출력단 구조물과 그라운드 구조물 사이에 채워질 수 있도록 설계되어야 하고 엔진오일의 온도를 측정하기 위해 온도 센서가 부착된다. 구조물은 그라운드 구조물인 외부 원통(stainless steel)안에 그보다 직경이 2 mm 작은 원통 형태의 펄스 출력단 구조물(황동)로 설계를 하였다. 그러므로 엔진오일은 2개의 구조물 사이(간격 1 mm)에 채워지게 된다(Fig. 2참조). 구조물 간격으로 원활한 오일유입을 위해 그라운드 구조물 둘레에 지름 4 mm의 원형 구멍 4개를 뚫어 놓았다.

3.2 반사 계수 계산 결과

시뮬레이션의 계산에서는 $a=11$ mm, $b=12$ mm로 프로브의 내경과 외경의 반지름을 이용 하였다. 또한, 프로브 앞단의 특성 임피던스 Z_1 은 측정기의 회로에서 LCR meter로 측정하여 반사 계수를 MATLAB을 이용하여 계산하였다. 그래프와 표로써 계산 결과를 나타내었다(Fig. 3, Table 1참조).

반사 계수를 계산하기 위해서 정전용량에 따른 유전율을 오일의 상태에 따라서 측정해보니, 새 오일의 유전율(ϵ_r)은 2.18이고, 폐 오



(a) Probe

(b) Completed assembled part of measurement

Fig. 2. Detail of the measurement probe.

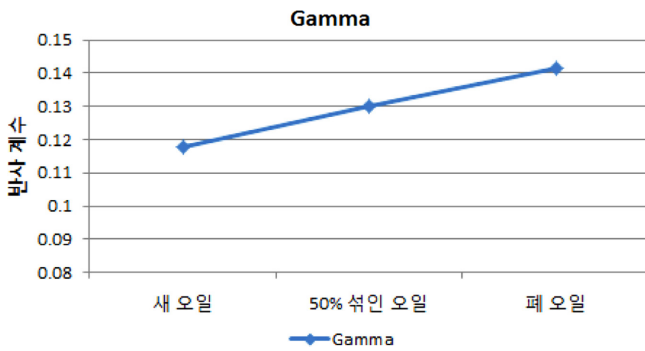


Fig. 3. Reflection coefficient graph.

Table 1. Reflection coefficient of probe

오일 상태	반사 계수
새 오일	0.1178
50% 섞인 오일	0.1299
폐 오일	0.1414

일이 50% 섞인 오일의 유전율은 2.29였고, 폐 오일의 유전율은 2.40 이었다. 이 결과를 사용하여 반사 계수를 계산하였다. 반사 계수 계산 결과에서 새 오일에서 반사 계수가 0.1178, 폐 오일이 50% 섞인 오일에서 반사 계수는 0.1299, 폐 오일에서 반사 계수는 0.1414 이다. 엔진오일이 열화과정을 거침에 따라 반사 계수가 증가된다는 것을 알 수 있다. 폐 오일이 열화 하면서 오일의 유전율이 증가하고 식 (3)에 의하여 프로브의 특성 임피던스가 감소하여 반사 계수가 증가하게 된다. 따라서, 반사 계수를 측정함에 따라 폐 오일과 새 오일의 상태를 판별 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구 에서는 엔진 오일의 상태를 판단하기 위해서 프로브의 등가회로를 이용한 이론적인 반사 계수 수식을 유도하였고 새 오일, 폐 오일이 50% 섞인 오일, 폐오일의 반사계수를 각각 계산하

였다. 이 결과로 오일 상태가 열화 하면 할수록 반사 계수가 증가하는 것을 알 수 있다.

따라서, 엔진오일의 열화 상태를 측정하는 측정장치에 사용되는 프로브에 이용될 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] 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.
- [4] 전상명, 2006, 엔진오일의 화학적 및 물리적 변화에 의한 퇴화 정도와 유전상수 변화에 관한 상호관계 연구, Journal of the KSTLE Vol. 22.
- [5] Bois, K.J., Benally, A.D., and Zoughi, R., 2000, Microwave near-field reflection property analysis of concrete for material content determination: IEEE Trans. Instr. and Meas.v. 49, p. 49-55.
- [6] Anderson, J.M., Sibbald, C.L., and Stuchly, S.S., 1994, Dielectric measurements using a rational function model: IEEE Trans. MTT, v. 42, pp. 199-204.
- [7] Kraszewski, A.W. and Nelson, S.O., 1992, Observations on resonant cavity perturbations by dielectric objects: IEEE Trans. MTT, v. 40, pp. 151-155.

2011년 12월 7일 원고접수
 2011년 12월 13일 심사수정일자
 2012년 1월 27일 게재확정일자