

## 엔진오일의 유전상수 변화에 관한 연구

전 상 명<sup>†</sup>

호서대학교 자동차공학과

### A Study on the Changes in Dielectric Constant of Engine Oil

Sang Myung Chun<sup>†</sup>

Dept. of Automotive Engineering, Hoseo University

**Abstract** – The dielectric constants of fresh engine oils were obtained according to various types of oil, temperatures and frequencies. Through analyzing the characteristics of dielectric constant, the related correlation between the changes in dielectric constant of oil and the degree of oil deterioration is going to be found. The dielectric constant was calculated by cross capacitances measured by a sensor tube. Before finding the correlation, as a prerequisites study, the best condition measuring the dielectric constant was found. In general, it was found that the value of dielectric constant became stable below 60°C regardless frequency variation. Further, above 6 kHz, the dielectric constant became stable even if temperature had been above 100°C.

**Key words** – engine oil, oil deterioration, dielectric constant, capacitance.

#### 1. 서 론

엔진오일 교환주기는 설계된 엔진의 특성과 개인의 운전 성향에 따라 다르다. 그렇기 때문에 주행거리와 주행시간에 기초한 고정된 엔진오일 교환 주기는 엔진 오일의 퇴화정도를 정확히 판단된 상태에서의 오일 교환을 위한 이정표가 되지 못한다. 그 대안은 각 엔진 운전상황, 즉 엔진 형식에 따른 가혹도 차이, 엔진오일의 성능 차이, 운전자의 운전 방식 등에 따라 유연한 오일 교환주기를 알아내는 것이다. 다시말해, 자동차 운전 중에 엔진 오일의 퇴화정도를 실시간 측정하는 센서 시스템의 개발이 필요하다고 본다. 이러한 실시간 측정된 자료에 따라 오일 교환 시점이 판단 될 수 있어 운전자들이 엔진오일을 필요 이상으로 빨리 교환하는 습관을 방지하여 엔진 오일 교환에 따른 시간 및 경비의 손실방지와 엔진오일 자원의 낭비를 예방할 수 있는 경제적 이점이 있다.

이러한 상황 인식하에서 다음과 같은 엔진오일의 역학구조를 연구하고자 한다. 즉 엔진 내에서 유통유가

사용되는 동안 유통유의 화학적 물리적 성질이 변하여 그 사용 한계를 넘어서서 더 이상 사용할 수 없는 상태에 도달하게 된다. 이러한 한계 상황 파악은 일반적으로 특정 주행거리에서 엔진오일의 샘플을 채취하여 실험실에서 화학적 물리적 성질의 변화를 측정하여 엔진 오일의 퇴화정도를 판단하여 왔다. 그러나 본 연구에서는 이러한 엔진 오일의 화학적 물리적 성질의 변화에 의한 사용유의 퇴화정도를 실시간 측정할 수 있는 기반을 마련하기 위해 오일 퇴화와 관계가 깊은 전기적 성질인 유전상수 변화량과의 상호관계를 파악하고자 한다. 즉 다양한 엔진오일의 유전상수 변화에 대한 기초 자료를 얻어 유전상수 변화에 따른 엔진오일의 퇴화정도를 판단할 수 있는 객관적인 판단기준을 확립하는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

해외에서는 60년도 중반에 시작하여 80년대 초반에 이르러 본격적으로 엔진오일의 상태를 실시간 모니터링하고자 하는 노력[1,2]이 심도 있게 진행되기 시작하였고, 90년대 중반에 오일교환주기에 대한 면밀한 분석 [3]을 통하여 그 중요성을 각인하게 되었다. 초기의 엔진오일의 점도를 측정하여 그것을 전기적 신호로 변환하는 수준에서 더 나아가 전기적 특성을 측정하여 엔

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : sangmchun@hanmail.net

진오일의 상태를 감지하는 연구들이 진행되어 왔다. 특히 미국 및 유럽에서는 오일의 전기전도도(electric conductivity)와 유전상수(dielectric constant)를 이용하는 방법들이 소개되었다. 이러한 전기적 상수의 변화는, 엔진오일의 하나의 물리적 변화에 의한 것이 아니라 여러 가지 물리적, 화학적 변화에 기인하는 것으로, 여러 가지 원인에 의한 엔진오일의 변화에 대한 정보를 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 한편, 이러한 전기적 상수들은 온도에 대한 의존성을 가지고 있어 온도의 영향에 대한 보상 방법이 필요하다[4,5]. 특히 엔진오일의 경우 자동차가 운행 중일 때 그 온도가 70-150°C의 넓은 범위에 있기 때문에 온도의 영향을 필히 고려해야 한다. 이러한 연구를 바탕으로 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일교환주기 판단 시스템들이 제작되어 심심치 않게 실차에 적용[4-6]되고 있다. 그 적용범위는 비싸고 장치가 용이한 고급 승용차나 트럭 및 버스 등에 적용되고 있고, 적용된 센서 및 시스템의 성능이 계속 관리 및 개선되고 있는 상황이다.

국내에서는 엔진오일의 전기적 특성을 이용하는 방법보다는 종전의 유면표시기, 주행거리, 점도 등의 엔진오일의 물리적 특성 중 한가지를 감지하여 그것을 전기적 신호로 바꾸는 정도의 수준이었으나, 최근 여러 가지 물리적, 화학적 변화와 유전상수변화를 연계하여 엔진오일의 퇴화정도 알아내는 연구노력[7-10]이 행하여진 바 있다. 그러나 아직 센서의 판단기준을 제시할 만한 체계적이고 신뢰할 만한 엔진오일의 물성변화와 유전율변화 관계에 대한 기초연구가 미흡한 실정이다. 이와 같이 오일퇴화 판단기준에 대한 충분한 데이터베이스를 확보하지 못하고 있는 관계로 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일교환주기 판단 시스템을 실차에 적용하는 데까지는 미치지 못하고 있다.

본 논문에서는 엔진오일 퇴화상태의 판단조건을 알아내기 위한 선행연구로 엔진 오일 종류별로 신유에 대한 주파수와 온도에 따른 유전율을 측정하여 향후 실차에서의 엔진오일의 유전특성을 측정하는 최적조건을 찾고자 한다.

## 2. 측정이론 및 시험 방법

### 2-1. 측정이론

액체의 유전상수 측정 시 여러가지 오차요인과 측정 시 불편함을 줄인 방법인 크로스 커패시턴스 측정원리[8-9]를 이용하여 엔진오일의 유전상수를 측정하였다.

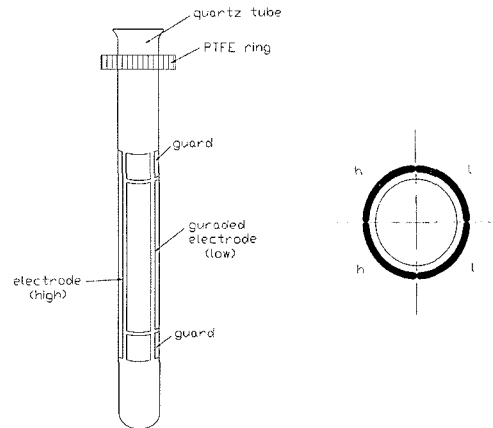


Fig. 1. Schematic diagram of a sensor tube.

Fig. 1과 같은 두 쌍의 전극을 지닌 크로스 커패시터 전극을 형성시킨 센서 시험관을 사용하였다. 여기서 긴 전극에 대항하고 있는 짧은 전극은 상단 및 하단에 축방향에 수직인 가드 전극을 지니고 있기 때문에 보다 안정되고 정확한 측정이 가능하다. 특히 각 센서 시험관의 전극형태가 개별적으로 고정되기 때문에 각각의 시험관에 대한 특성을 한번 교정해 놓으면 상수로서 취급이 가능하고, 매번 측정할 때마다 전극을 교정해야하는 종래의 문제점을 제거하게 된다[8-9]. 이 시험관의 상단부에 테프론 링을 끼워 넣어 센서 시험관 전극과 연결단자의 방향을 일치시키기 위한 가이드로도 사용되며, 시험관을 측정장치에 설치할 때 차폐용 금속원통과 동일한 간격으로 동축이 이루어질 수 있도록 되어 있다.

본 액체 유전상수 측정방법의 특징은 센서 시험관을 채울 수 있는 소량(약 25 cc)의 액체만으로 유전상수를 간단히 측정할 수 있으며 액체 내부에 포함된 기포를 쉽게 제거할 수 있으므로 오차를 최소화하는 효과가 있었다. 또한 전극의 재질과 피 측정 액체와의 화학적 반응에 대한 문제점을 완전히 해결한 효과가 있으며 여러 개의 센서 시험관을 한 개의 항온장치(Fig. 2)에서 동시에 유지하기 때문에 여러 가지 액체를 신속하게 측정함과 동시에 온도에 따른 오차문제를 최소화할 수 있다. 나아가 센서 시험관 각각에 대한 특성을 한번만 사전에 교정해 주면 항상 상수로서 취급되기 때문에 현재 주류를 이루고 있는 동축전극 구조형 측정장치의 전극부위를 반복적으로 세척 후 재조립함으로써 발생하는 오차를 최소화 하여 측정 불확도를 0.02~0.05% 이하의 수준으로 측정 가능케 한다.

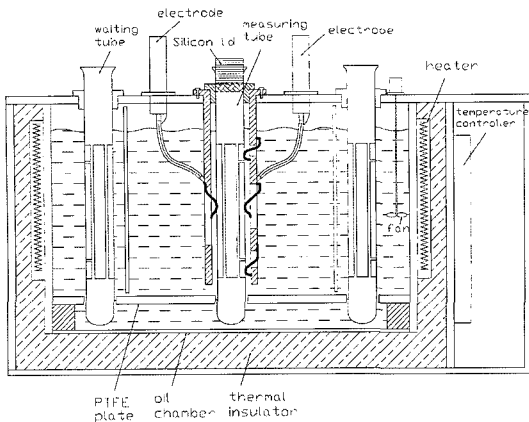


Fig. 2. The configuration of a device measuring dielectric constant of oil.

센서 시험관 재질의 영향을 제거한 순수 오일 정전용량은 다음과 같이 계산되어 진다.

$$C_{io} = \frac{C_{im}}{1 + \alpha C_{im} \left( \frac{\beta - C_{im}}{\gamma + C_{im}} \right)} \quad (1)$$

여기서  $C_{im} = \frac{C_{i1} + C_{i2}}{2}$  로 이는 센서 시험관에서 직접 측정되는 두 개의 크로스 커패시턴스의 평균 정전용량 값이다.  $C_{i1}$ 와  $C_{i2}$ 는 두 쌍의 대향 전극간의 크로스 커패시턴스이다.  $\alpha$ 와  $\beta$ 와  $\gamma$ 는 센서 시험관 재질의 영향을 제거하기 위한 보정상수 값이다.

오일 유전상수는 다음의 식으로 계산된다.

$$\epsilon_r = \frac{C_{io}}{C_v} \quad (2)$$

여기서  $C_v$ 는 센서 시험관의 진공정전용량이다.

### 2.2. 시험방법

측정시간 동안의 액체의 온도변화를 최소화하기 위하여 피측정 액체가 들어 있는 센서 시험관의 입구를 실리콘 고무마개로 막는다. Fig. 2에 나타난 바와 같이 시험관의 전극방향을 고려하여 차폐용 금속원통 주변에 슬롯트를 만들고 그 사이에 소형 스프링을 설치함으로써 센서 시험관의 전극과 측정 브릿지와의 연결을 위해 동축단자와 직접 결선 되도록 하였다. 이때 스프링과 금속 원통이 절연되도록 하기 위하여 나일론 나사를 이용하여 절연판과 스프링을 고정하였고, 스프링과 슬롯트 측면과의 접촉을 방지하기 위하여 절연 슬

리브를 끼워 넣었다. 4개의 동축단자를 상판 표면에 설치하였기 때문에 크로스 커패시턴스 측정단자와 접지단자를 쉽게 선택 결정할 수 있다. 또한 시험관의 하단부는 센서 시험관의 직경과 비슷한 직경의 구멍이 가공된 테프론 관을 설치함으로써 센서 시험관이 금속 원통내에 설치될 때 센서 시험관과 금속원통이 자체적으로 동축 상태가 되도록 하였다.

센서시험관 내에 들어 있는 피측정 액체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여, 모든 전극 구조물을 항온조건 내에 설치하여 항상 일정한 온도가 유지되도록 하였다. 항온조 내에는 측정 중인 중앙의 센서 시험관 이외에도 측정순서를 기다리고 있는 7개의 센서 시험관이 동시에 온도조절 되고 있으므로, 여러가지 액체의 유전상수를 측정하기 위하여 매번 용기의 세척, 건조, 액체투입, 온도조절 등을 위한 과정이 단축되었다. 즉 측정하고자 하는 센서 시험관을 중앙의 금속 원통에 삽입하기만 하면 된다.

전기 용량 측정은 주파수 0.2 kHz에서 200 kHz 영역에서 측정되었으며, 본 연구에서는 정전용량브리지로서 Fig. 3의 왼쪽에 보인 바와 같이 정전용량 측정 범위가 0.1 fF에서 100 mF인 임피던스 분석기를 사용하여 유전상수를 구하였다.

## 3. 측정 결과

### 3-1. 엔진오일 유전특성

신유 엔진오일의 종류는 국내에서 구입 가능한 13가지를 선택하였다. 이들 신유를 센서튜브를 이용하여 측정한 크로스 커패시턴스 값을 방정식 (1)과 (2)에 대입하여 유전상수 값을 구하였으며 다음과 같은 특성을

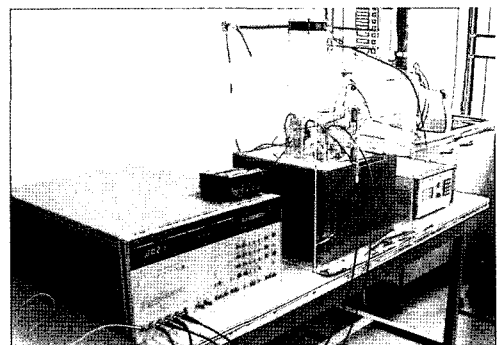
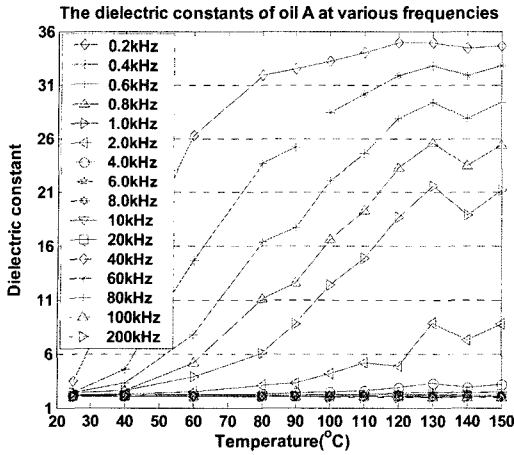
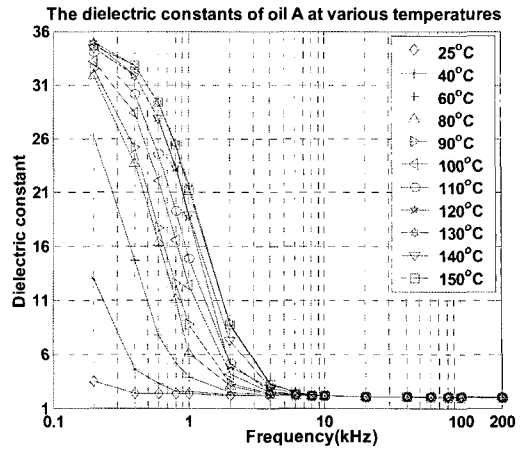


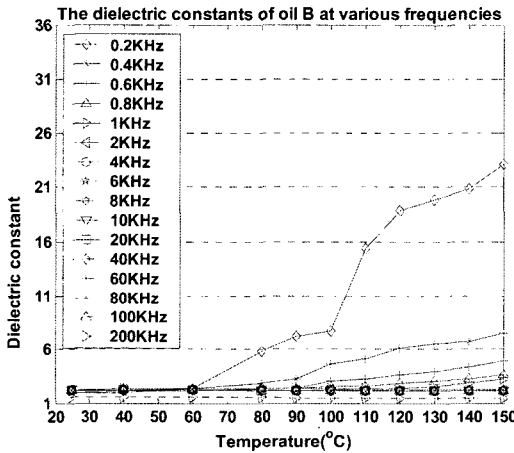
Fig. 3. The test rig measuring the dielectric constant of oil.



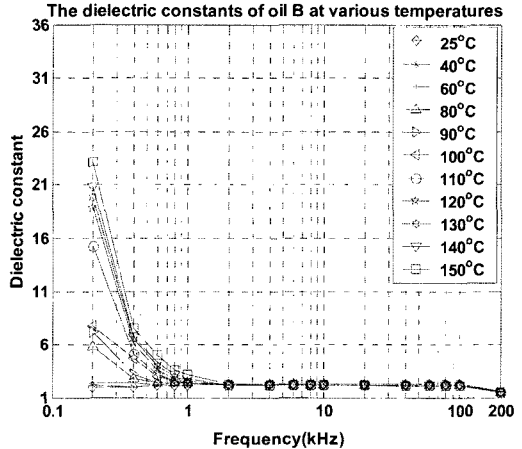
(a) Oil A at various frequencies



(b) Oil A at various temperatures



(c) Oil B at various frequencies



(d) Oil B at various temperatures

Fig. 4. The dielectric constant of oil A & B at various temperatures and frequencies.

나타내었다.

오일A는 디젤엔진오일로서 유전상수 값은 Fig. 1(a)와 (b)에서와 같이 전체적으로 크게 나타났으며 온도에 따라 변화가 크게 나타났다. 6 kHz부터는 안정되게 나타났으나 온도는 상온(25°C)에만 안정된 값을 나타냈다. 오일B는 가솔린엔진오일로서 Fig. 1(c)와 (d)에서와 같이 오일A와 비교 시 전반적으로 유전상수 값이 조금 작게 나타나고 있으며 온도는 60°C 이하에서, 주파수는 2 kHz에서 유전상수 값이 안정되었다.

온도변화에 따른 엔진오일의 종류별 유전상수 값은 Fig. 2에 나타난 바와 같이 주파수 1 kHz에서는 온도가 40°C 이하에서 유전상수 값이 안정이 되었고 100°C가 넘어가면 일부 오일에서 유전상수 값의 변화가 불규칙

하게 나타났다. 주파수가 2 kHz일 때는 60°C 이하에서 유전상수 값이 안정되었으며 역시 100°C 이상에서 일부 오일에서 유전상수 값의 변화가 불규칙하게 나타났다. 주파수가 6 kHz에서는 100°C까지도 유전상수 값이 안정 되었으며 그 이후에도 변화폭이 작게 나타났다. 주파수가 더 증가면 온도에 관계없이 유전상수 값이 안정적으로 나타난다.

주파수 변화에 따른 엔진오일의 종류별 유전상수 값은 Fig. 3에 나타난 바와 같이 60°C에서는 2 kHz 이후, 100°C에서는 4 kHz 이후부터 안정되었다.

위의 측정결과로부터 유전상수 값은 엔진오일의 온도가 주파수에 관계없이 일반적으로 60°C 이하에서 안정이 되므로 엔진오일의 유전특성은 60°C 이하에서 측

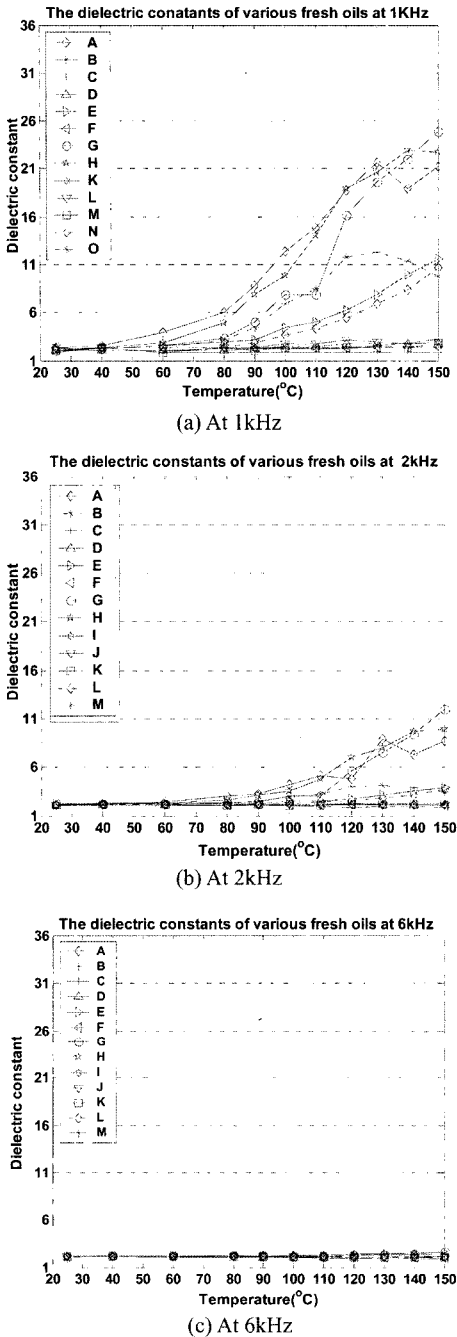


Fig. 5. Dielectric constants of various fresh engine oils according to various oil temperatures at 1, 2 & 6 kHz.

정할 때 온도에 의한 오차를 최소화 할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나 주파수가 4 kHz 혹은 6 kHz 이

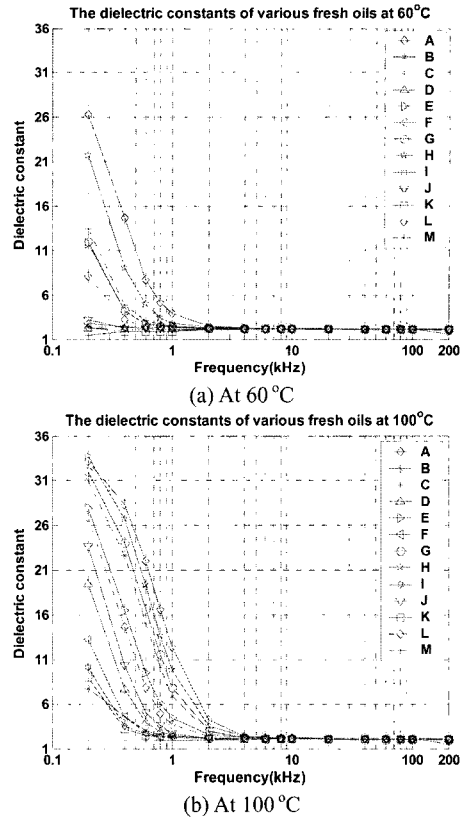


Fig. 6. Dielectric constants of various fresh engine oils according to various frequencies at 60 & 100°C.

상에서는 100°C 이상에서도 안정된 유전상수 값을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결 론

엔진오일의 유전특성을 측정하는 조건으로는 60°C 이하가 적합하나 운전 중에는 엔진오일의 온도가 100°C 이상의 고온이 되므로 주파수를 6 kHz 이상으로 하여 안정된 유전상수 값을 얻을 수 있다고 본다.

향후 추가로 수행될 부분은 수분 및 부동액 함유량과 연료희석량에 따른 유전상수 변화에 대한 연구이며, 또한 현재 계속 모니터링 중인 주행거리별 오일 샘플 수집 및 유전상수 측정을 추가로 시행하여 엔진오일의 사용한계를 판단하는 기준을 설정하고자 한다.

더 나아가 실차에서 엔진오일의 퇴화 정도를 판단하는 센서를 개발하고자하며, 엔진 오일 교환 주기에 중요한 인자인 주행거리, 오일온도, 압력 및 오일레벨 등

과 함께 유전상수 값을 추가한 엔진오일교환 관리시스템을 개발하여 엔진오일 퇴화 상태와 오일 교환주기를 실시간 예측하는데 사용하고자 한다.

### 기호 설명

- $C_{11}, C_{11}$  : 두 쌍의 대향전극간의 크로스 커패시턴스 (대향 정전용량)  
 $C_m$  : 센서 시험관에서 직접 측정되는 두개의 크로스 커패시턴스의 평균 정전용량  
 $C_o$  : 시험관 재질의 영향을 제거한 순수오일 정전용량  
 $C_v$  : 센서 시험관의 진공 정전용량  
 $\alpha, \beta, \gamma$  : 센서 시험관 재질의 영향을 제거하기 위한 보정상수 값  
 $\epsilon$  : 오일 유전상수(dielectric constant)

### 후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구이며 (KRF-2005-003-D00056), 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- Schwartz, Shirley E. and Smolenski, Donald J., "Development of an Oil-Change Indicator System," *SAE Technical Paper Series*, No. 870403, 1987.
- Kato, T. and Kawamura, M., "Oil Maintenance Tester: A New Device to Detect the Deterioration Level of Oils," *Lubrication Engineering*, Vol. 42, No. 11, pp. 684-698, 1986.
- Thom, R., Kollmann, K., Wameke, W. and Frend, M., "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life," *SAE Technical Paper Series*, No. 951035, 1995.
- Saloka, G. S. and Meitzler, A. H., "A Capacitive Oil Deterioration Sensor," *SAE Technical Paper Series*, No. 910497, 1991.
- Irion, E., Land, K., Gurtler, T. and Klein, M. "Oil-Quality Prediction and Oil-Level Detection with the TEMIC QTL-Sensor Leads to Variable Maintenance Intervals," *SAE Technical Paper Series*, No. 970847, SP-1220, 1997.
- Wang, S. S., "A Physical Model for the Engine Oil Condition Sensor," *STLE 56th Annual Meeting*, Preprint, No. 01-AM-19, Presented Only, 2001.
- 문수환, 강정호, 박세광, "자동차 엔진오일 열화 감지용 빗살형 마이크로 센서 개발," 센서기술 학술대회 논문집, 제11권, 제1호, pp. 115-119, 2000.
- 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., "크로스 커패시터 원리를 이용한 액체의 유전상수 정밀측정," 새물리(한국물리학회지), 제40권, 제2호, pp.97-101, 2000.
- Lee, R. D, Kim, H. J. and Semenov, Y. P., "Precise Measurement of the Dielectric Constants of Liquids Using the Principle of Cross Capacitance," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 50, No. 2, pp. 298-301, 2001.
- 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., "전기용량 측정에 의한 자동차 엔진오일 열화상태 분석연구," 새물리(한국물리학회지), 제42권, 제4호, pp.216-220, 2001.