

자동차용 엔진오일의 열화도 측정 센서연구

김원태#, 최만용*, 박해원*, 박정학*

A Study on Deterioration Measurement Sensor in the Automobile Engine Oil

Won Tae Kim[#], Man Yong Choi^{*}, Hae Won Park^{*} and Jung Hak Park^{*}

ABSTRACT

This work is aimed to measure the deterioration in oil sensor. For the study, the circuit of a coil-type oil sensor packaged was developed and applied to the automobile engine for monitoring the deterioration of engine oil in driving conditions. From the principle which the deterioration of automobile engine oil can be expressed to the dielectric constant, the capacitance bridge circuit and the integrator circuit were designed. As results, the range of operating temperature of engine oil was experimentally recommended within 55°C for the stability of a sensor designed. It was also concluded that the characteristics of output voltage converted from the dielectric constant were linearly distributed and predicted the optimized time for the exchange of engine oil.

Key Words : Automobile Engine Oil(자동차 엔진오일), Deterioration(열화도), Electric Capacity(전기용량), Oil Sensor(오일센서), Dielectric Constant(유전상수)

기호설명

C = Capacitance, pF

R = Resistance, Ω

V = Voltage, V

ε = Dielectric constant

δ = Dissipation factor, tan⁻¹

Subscript

ref = Reference

diff = Difference

1. 서론

엔진오일은 윤활 부분에서 발생하는 마찰이나 마모를 감소시키는 기능 이외에도 냉각, 압력의 분산, 세척 등의 작용도 동시에 한다. 그러나 엔진이 동작되는 동안 저온운전, 불완전 연소, 엔진마모, 부식 등의 이유로 물과 산이 만들어지고 피스톤의 왕복운동으로 금속 찌꺼기가 생겨 오일의 점도를 떨어뜨리고 결국 엔진의 수명을 단축시킨다. 엔진마모의 70% 이상이 아침 첫 시동 시 30초안에 피스톤과 실린더 사이의 직접마찰에서 이루어진다. 따라서 엔진오일은 주기적으로 새 오일로 교환해주어야 한다. 근래 엔진 오일의 성능을 개선하기 위한 비뉴턴계 점탄성 차세대 최고급 엔진

접수일: 2006년 3월 1일; 게재승인일: 2007년 1월 9일

공주대학교 생물산업기계공학전공

E-mail kwt@kongju.ac.kr Tel. (041) 330-1283

* 한국표준과학연구원 안전그룹

오일, 무교환 오일, 오일 첨가제 등의 이름으로 상품화하고 있으나 오일교환 적기에 대한 구체적 연구는 아직 부족한 실정이다. 각종 차량의 경우, 휘발유 등 연료의 보충시기는 운전석에서 지시하는 계기에 의해 정확하게 판단할 수 있도록 되어 있으나, 엔진오일 교환시기를 알려주는 것은 오로지 주행거리 표식 이외에는 없다. 더욱이 종전 오일 교체시의 주행거리를 암기하거나 차계부에 기록해 놓지 않고는 그 시기를 판단할 수 없다. 폐엔진 오일은 연료, 도로포장 또는 건축현장에서의 지지물의 부식방지용으로 사용되고 있기는 하지만 어떤 경우라 하더라도 중요한 환경공해 유발 물질이다.¹

국내에서 이와 관련된 연구로는 엔진오일 교환시기와 차량의 주행거리를 연계하여 일정 거리에 주행거리가 이르게 되면 경고램프나 소리로서 오일교환 시기를 알리는 방법, 엔진오일 팬에 설치된 팬의 회전속도를 가속도 센서와 결합하여 오일의 점도를 측정하여 적당한 시기에 운전자에게 알려주는 장치, 엔진오일 레벨 점검 계이지에 묻혀진 오일의 색깔과 점도를 손끝의 감각으로 판단하는 고전적인 방법이 있으나 직접적인 오일의 측정을 통해 오일 교체시기를 파악할 수 있는 연구는 아직 개발되지 않은 상태이다. 국외에서는 엔진의 오일 측정에 대한 연구가 국내에 비해 활발한 편으로, Mills(1985) 등이 자기저항센서(Magneto resistor sensor)를 이용하여 센서헤드(sensor head)에 부착되는 찌꺼기(debris)에 의한 자기력선 경로(flux path)의 변화를 측정하여 오일 변화를 측정하였다.² 또한, Masom (1985) 등은 엔진구조에 별도로 설치된 오일 파이프 주변에 한 쌍의 인덕티브 코일(inductive coil)을 장착하여 오일 내에 포함된 찌꺼기(debris) 양에 따른 출력의 변화를 측정하는 방법을, 그리고

Jantzen(1983)는 오일 내에 포 함된 부스러기를 광학적으로 측정하는 방법을 연구하였다.³ 그리고 Kavlico(1996) 및 Park 은 오일의 노화에 따라 유전상수(dielectric constant)가 증가되는 것을 직류(DC) 출력 전압으로 변환시키는 센서를 개발하였다.⁴

본 연구에서는 자동차 엔진오일의 노화상태를 측정할 수 있는 오일센서를 개발하여 운전자로 하여금 운전석에서 오일교환 최적시기를 적절히 파악할 수 있도록 하는 것이다. 또한, 엔진오일의 열화도에 대해 실제 엔진오일을 대상으로 도로주행을 시행하여 유전상수를 측정하여 센서의 성능을 분석하였다.

2. 센서 및 오일 분석

2.1 센서 원리

엔진오일의 열화상태를 전기용량 측정에 의해 판단할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 cross capacitance 측정원리를 적용한 액체 유전상수 측정장치를 이용하였다.⁴ 측정방법은 톰슨 램파드(Thompson-Lampard)의 정전기 원리를 적용하였고, 측정 전극간의 절연 및 피측정 액체의 일정한 온도 유지를 위하여 오일 항온장치 내에 설치하였다.⁵

Fig.1 은 본 연구의 측정원리를 다이어그램으로 도시한 것으로 크게 커패시턴스와 적분회로로 분류된다. 오일의 특성이 변하면 유전상수가 변하는 것을 이용, 코일의 값(C)과 Cref 의 변화량을 측정하여 프로세서(u-processor)로부터 제어하도록 한다.

2.2 엔진오일 최적특성 분석

Fig. 2로부터 50 ℃까지는 어떠한 오일이라

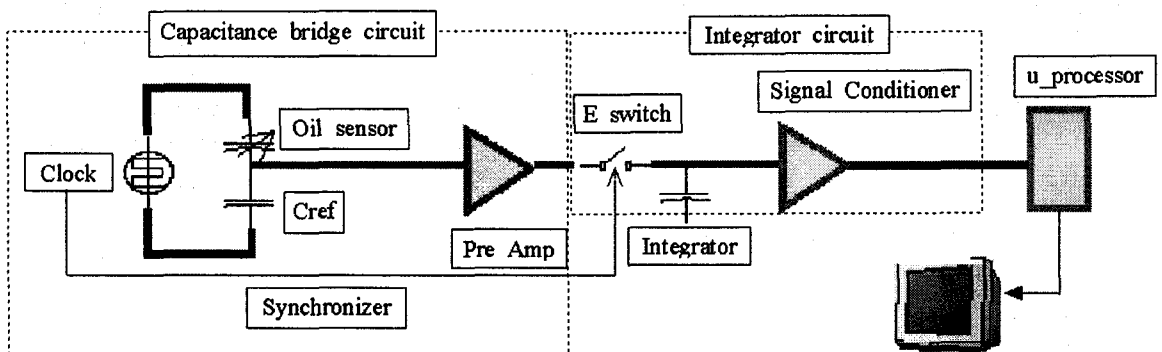


Fig. 1 Measurement principle of the deterioration of the engine oil using oil sensor for automotive

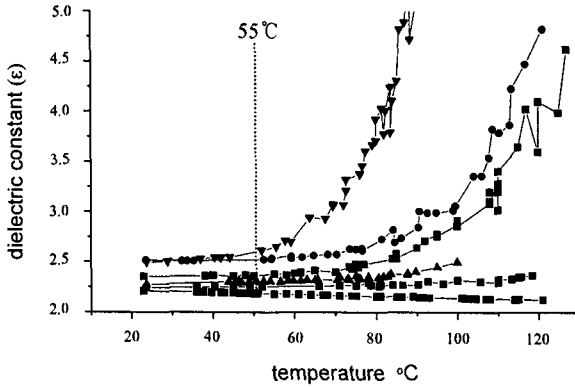


Fig. 2 Dielectric constant vs. temperature rising for various engine oils

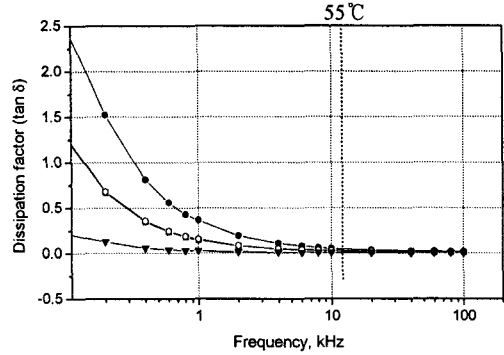


Fig. 3 Dissipation rate according to the frequency forcing to the engine oil of the automotive

할지라도 오일의 유전상수가 일정하게 유지되지만 그 이상의 온도에서는 유전특성이 달라지기 때문에 본 연구에서 개발된 엔진오일 열화도 측정용 센서를 이용하여 오일의 전기용량을 측정할 때, 유전상수 측정가능 온도는 55 °C 이내에서 측정할 필요가 있음을 알 수 있다. 사용된 엔진 오일은 무작위적으로 선정되었다. Fig. 3 은 주파수에 따른 유전상수 변화를 엔진오일 종류에 따라 도시한 것이다. 그림으로부터 각종 엔진 오일에 가해지는 주파수와 유전상수간의 관계를 나타낸 것으로 소스의 주파수는 그림에서 보이는 것처럼 10 kHz 가 적절하다.

3. 오일센서 설계

3.1 오일센서 설계

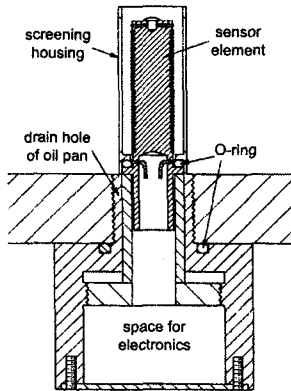


Fig. 4 Schematic Diagram of oil sensor

2.2 절에서 분석된 엔진오일의 유전상수 특성 분석으로부터 자동차용 엔진오일의 열화상태를 측정하는 오일센서(oil sensor)를 Fig. 4 에 proto-type 의 오일센서를 도시하였다. 이 센서는 엔진의 오일팬 하단에 있는 드레인홀에 센서를 설치하였다. 그림에서 정전차폐 및 오일의 원활한 유통을 위하여 금속 하우징(housing) 내에 센서 구성품(sensing element)을 조합해 고정 설치된다.

3.2 컴퓨터 시뮬레이션

본 연구에서 개발된 오일센서는 코일형으로서 구리 포머(Copper former) 위에 코일을 권선하는 조건에 따라 전기용량이 변한다. 권선 상태의 최적조건을 찾기 위하여 Fig. 5 a)와 같은 조건에서 컴퓨터 모사를 수행하였다. 유전상수가 4.2 인 폴리아미드가 도포된 코일권선이 포머동선(thread-

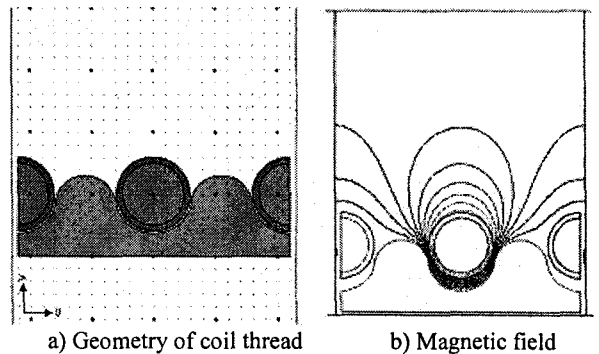


Fig. 5 Simulations for proto-type of the oil sensor

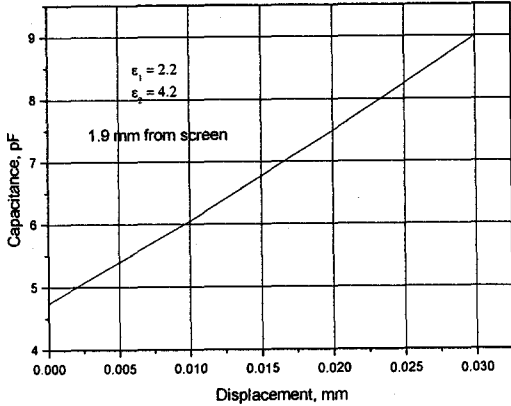


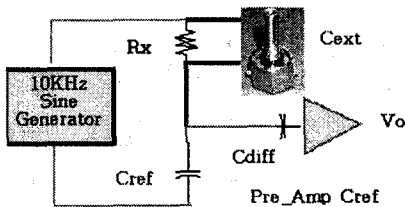
Fig. 6 Relationship of coil displacement vs. capacitance

former)에 감겨 있고 이 센서가 유전상수가 2.2 와 4.2 인 오일에 대해 놓여진 상태에서 코일이 포머 (former)로부터 변위를 가질 때의 등전위면에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 Fig. 5 의 b) 같다, 그림 5 b)를 정량적으로 분석하면 Fig. 6 과 같다. 이로부터 피치간격은 0.225 mm 인 포머에 0.1 mm 코일로 2 중 등선(double thread)으로 권취한 커패시턴스가 되도록 하였다.

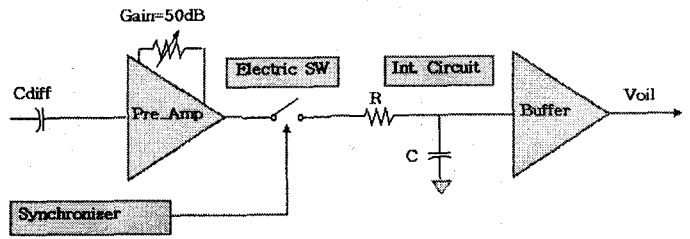
4. 제어회로 설계

4.1 커패시턴스 브릿지 설계

Fig. 1 에서 보여지는 바와 같은 커패시턴스 브릿지 회로는 오일 절연저항(R_x)이 300 M Ω 인 경우에는 오일저항 R_x 가 변동할 때 출력전압의 변동이 매우 크다. 따라서 다음과 Fig. 7 (a)와 같이 커패시턴스 브릿지 회로를 재설계해 안정적인 출력전압을 얻도록 하였고 C_{ext} 값이 22.0 pF 일 때 오일저항



a) Block diagram of capacitance of bridge circuit



b) Block diagram of the integrator circuit

Fig. 7 Block diagram of control circuit

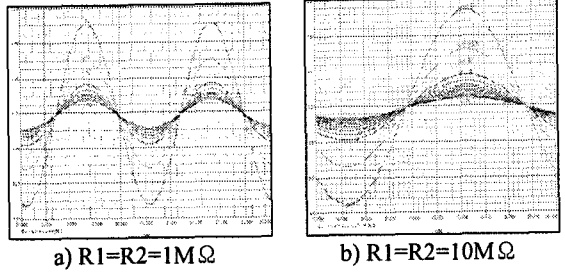


Fig. 8 Output of R_x using the bridge circuit

(R_x)에 대한 특성에 대한 결과가 Fig. 8 과 같다. Fig. 8 의 특성은 R_{ext} 가 30 M에서 110 M에 걸쳐서 R_1 과 R_2 가 낮은 저항값에서 안정적인 값을 갖는 것을 알 수 있다.

4.2 적분회로 설계

Fig. 1 의 오일센서 회로도에서 적분회로 (integrator circuit)의 설계는 Fig. 7 (b)와 같다. 이 때 커패시턴스 브릿지 회로의 신호를 검출하도록 하였다. 이 때 오일값은 브릿지 출력(C_{diff})을 약 50 dB 증폭 후 동적(dynamic)신호를 적분하여 얻은 값이 V_{oil} 이다.

5. 결과 및 고찰

Fig. 9 는 앞서 설계된 오일센서의 전자회로인 커패시턴스 및 적분(integrator)회로의 결합으로부터 시행한 출력 특성 시험을 나타낸다. C_{ext} 를 표준 C 로 입력하여 측정하여 출력이 선형적으로 보여 짐을 그림으로부터 알 수 있고 이로부터 전자회로가 양호하게 설계되었다고 판단할 수 있다.

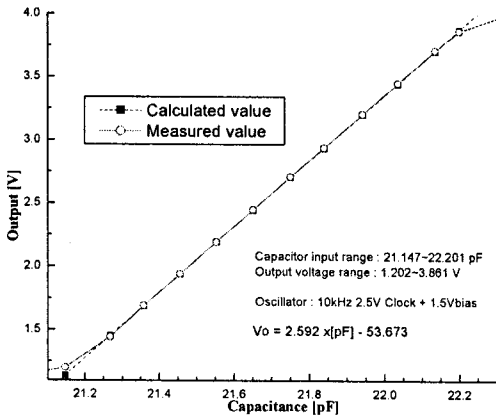


Fig. 9 Characteristics of output voltage vs. electric capacitance

Fig. 10 은 주행거리에 따른 유전상수변화 측정을 각각의 엔진오일 온도에 따라 도시한 것이다. 결과의 측정치는 엔진오일의 온도가 20~40 °C일 때의 data 만을 운전자가 기록하여 그 결과를 분석한 것이다. 실험 일정은 여름, 가을, 겨울 및 다음해 봄 기간 동안의 실장실험을 실시하였기 때문에 차량 내부에 설치된 센서가 겪을 수 있는 모든 조건에 대해 실험이 되었다. 이 경우 평균 주행거리는 8,000~9,000 km 정도가 되었다. 이로부터 코일형 전기용량 센서를 이용하여 오일의 열화상태를 측정할 수 있음을 재확인하게 되었다.

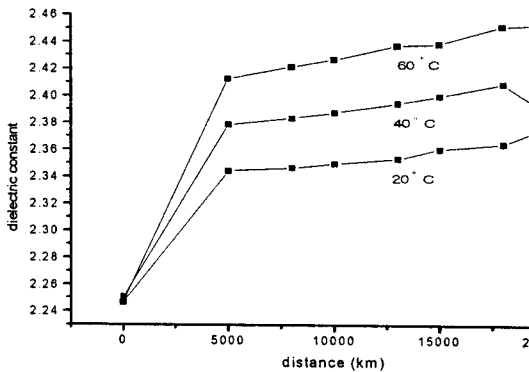


Fig. 10 Dielectric constant for driving distance in each oil Temperature

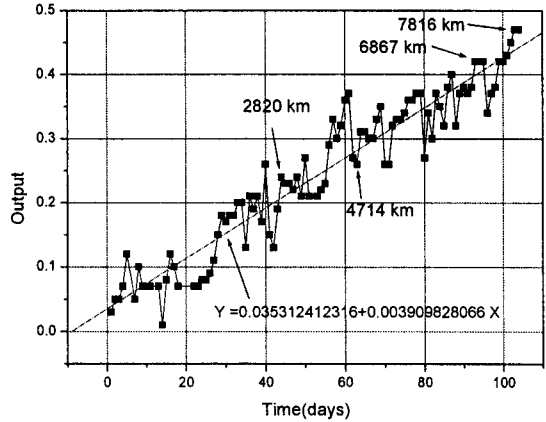


Fig. 11 Output voltage vs. driving days

Fig. 11 은 제작된 오일센서를 실제 차량에 장착하여 얻은 오일의 열화도이다. 실험적으로 유전상수 값을 주행거리에 대한 출력전압으로 얻은 결과이다. 차량의 차령(car age), 오일의 종류, 운전습관 등이 서로 다른 조건임에도 불구하고 측정기의 출력전압은 주행거리에 따라 증가되었다.

6. 결론

본 연구로부터 주행중인 차의 엔진오일에 대한 열화상태를 직접적으로 측정할 수 있는 코일형 오일센서 및 회로를 개발하였고 결론은 다음과 같다.

- (1) 엔진오일이 열화되면 오일 유전상수가 변하는 원리를 이용한 열화감지 엔진오일센서를 개발하였고 유전상수 측정가능 온도는 55 °C 이내로 한다.
- (2) 유전상수의 변화에 따라 출력전압이 비례하는 센서의 브릿지 회로와 적분회로를 개발하였다.
- (3) 엔진오일의 온도가 20~40 °C일 때 도로 주행시험으로부터 측정기의 출력전압은 주행거리에 따라 증가되었다. 따라서 특정 출력값에 교체시기를 설정하면 자동화된 교체시기를 알 수 있다.

참고문헌

1. Kim, W. T., Choi, M. Y., Park, H. W. and Park, J. H., "Measurement and analysis of deterioration in the automotive engine oil," KSPE Autumn Conference Proceeding, pp. 200, 2003.
2. Mills, G. N., "Measuring the debris," Industrial Lubrication and Tribology, Vol. 37, No. 5, pp.176-183, 1985.
3. Masom, R. A., "The development, providing and application of an in-line metal particle detector (MPD)," British Journal of Non-destructive testing, pp. 159-166, 1985.
4. Park, K. M., "Oil deterioration sensor," US Patent No. 55400086, 1996.
5. Lee, R. D., Kim, H. J. and Semenov, Y. P., "Capacitive sensor for in site measurement of deterioration of car engine oil," Journal of The Korean Sensors Society, Vol. 10, pp. 266-272, 2001.
6. Lee, R. D., Kim, H. J. and Semenov, Y. P., "Precise measurement for dielectric constants of liquids using cross capacitance," Saemulli, Vol. 40, No. 2, pp. 97-102, 2000.