

오일필터 일체형 엔진오일 퇴화감지센서용 센싱시스템 개발

전상명⁺

Development of Sensing System for an Engine Oil Deterioration Detection Sensor Integrated with an Oil Filter

Sang Myung Chun⁺

Abstract

The purpose of this study is to develop a sensing system to measure the capacitance of a pre-developed engine oil deterioration detection sensor integrated with an oil filter. To measure the capacitance of engine oil in the sensor, it is used the way measuring the electric charging time in a capacitor by impressing DC volt. This method has merits on cost and signal stability. The measured capacitance is compensated by comparison with the one measured by an impedance analyzer. Also, using the dielectric constant gained by an impedance analyzer, the calculating equation of the dielectric constant of engine oil related with the currently developed sensor is decided. Finally, the degradation degree of engine oil is estimated according to the change rate of dielectric constant between green oil and used oil. The newly developed personal controller is to control a series of the processes.

Keywords : Engine Oil Deterioration, Capacitance, Dielectric Constant, Oil Filter

1. 서론

엔진 오일은 다양한 원료 및 첨가제를 포함할 수 있으며, 다양한 제조 공정을 이용해 제조될 수 있으므로, 물리, 화학적 다양성을 가지며, 오일의 열화 정도 또한 엔진의 상태, 사용연료, 운전조건, 환경적 조건에 따라 상태가 변화한다[1-4]. 따라서 엔진 오일 품질 측정 장치는 이러한 오일의 퇴화 상태를 측정 후, 현재의 오일의 퇴화 상태를 기반으로 오일 보충 시기 및 오일 교환 시점을 지시할 수 있어야 한다.

엔진오일은 고온의 연소실에 노출되므로 산화되기도 하고, 연소 화합물이 오일에 함유되기도 한다. 또한, 인젝터에서 누유되는 가솔린, 디젤 등 연료가 오일을 희석시키기도 하며, 디젤엔진의 경우는 연소과정에서 검댕(soot)이 오일과 섞여 오일의 물성을 변화시키기도 한다. 또한 섭동부 마모로 인한 금속 부스러기가 오일 내부에 침전 및 부유 되기도 한다. 그리고 엔진 이상시는 부동액, 수분 등이 가스켓 등의 접합부를 통해 유입되기도 한다. 일반적으로 엔진 이상이 없다면 사용시간이 증가할수록 엔진 오일의 점도는 증가한다. 증가된 오일 점도는 엔진 운전시 과도한 마찰 손실을 초래한다.

한편, 엔진오일의 주성분인 탄화수소는 원자간 결합력이 강하지 못하므로 열분해로 인해 공기중의 산소와 반응하여, 즉 열화되어 산화물을 생성하기가 용이하다. 따라서 오일의 물성변화로 점도가 변하고, 금속부식을 막는 기능이 저하된다. 그러므로 엔진오일의 1차 기능성 첨가제로서 산화경감 및 산화 지연용 산화 방지제를 사용하여 산화 및 부식을 방지한다. 이와 같이 오일이 반복되는 열화 및 산화로 퇴화됨에 따라 산화방지제가 고갈되어 오일이 산화되며, 나아가 오일의 점도가 변화하게 된다.

이러한 산화의 정도는 전산가(TAN) 값으로 판단할 수 있다. 전산가는 윤활유 중에 포함된 전기적으로 양성인 산성물질의 양을 말한다. 따라서 이 전산가의 변화는 오일의 산화 정도를 나타내며, 오일이 퇴화됨에 따라 증가한다. 이러한 오일의 산화 정도, 즉 전산가의 변화는 오일의 유전상수라는 물리적 성질의 변화와 밀접한 관계를 가진다. 유전상수가 의미하는 특성은 전기 에너지의 전달 정도를 나타내기 때문에 산화방지제가 고갈됨에 따라 오일이 전기적으로 양성화 되어 증가하게 된다. 다만, 오일 사용초기에는 산화방지제가 활성화되어 전기적으로 더 음성화 되어 일시적으로 감소하기도 한다. 한편 물, 냉각수 및 연료가 오일에 유입될 경우는 점도는 감소하게 되고, 검댕(soot)이 섞일 경우는 점도가 증가한다. 한편 이러한 액체 이물질 및 검댕의 혼합은 엔진오일을 전기적으로는 양성화하여 엔진오일 내 전기 에너지의 전달량을 증가시키므로 엔진오일의 유전상수를 증가시킨다.

호서대학교 자동차공학과(Department of Automotive Engineering, Hoseo University)

⁺Corresponding author: sangmchun@hanmail.net

(Received : Apr. 25, 2011, Revised : May. 20, 2011, Accepted : May. 26, 2011)

한편 선행연구결과[2, 3]로부터 자동차 제조업체에서 추천하는 오일교환주기 내에서 제일 먼저 사용한계 범위에 도달하는 오일물성은 오일의 점도 변화보다는 오일의 산화 정도를 나타내는 전산가의 변화임을 확인했다. 따라서 오일의 사용한계를 판단하기 위해서는 전산가 변화와 밀접한 관계가 있는 유전상수의 변화량을 오일교환주기를 판단하는 인자로 선택함이 타당하다고 본다. 이러한 오일의 유전상수는 오일의 정전용량을 측정[5-9]하여 얻을 수 있다.

본 연구에서는 위에서 언급한 엔진오일의 퇴화 메커니즘을 바탕으로, 엔진 오일의 퇴화상태를 측정하는 오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서의 센싱 시스템을 개발하고자 한다.

2. 센서 설계

기 개발된 오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서, 일명 필터-센서[5, 6]는 엔진오일순환시스템 내에서 슬러지나 바니쉬 및 이물질이 쌓이지 않는, 즉 오일이 정체되지 않고 흐르는 곳인 오일필터 내에 구성된 것으로 Fig. 1과 같다.

즉, 필터-센서는 외벽과 내벽이 동심원으로 설계되어 있고 내벽 안쪽에는 필터 엘리먼트를 넣게 되어있다. 외벽은 바깥쪽이 플라스틱, 안쪽이 금속으로 형성된 2중 벽으로 되어있으며, 내벽도 바깥쪽은 금속, 안쪽은 플라스틱으로 형성된 2중 벽으로 되어있다. 외벽과 내벽에서 금속이 일정간격으로 마주보게 되어 있으며 이것들이 전극으로 사용된다. 이 전극을 통해 외벽과 내벽 사이에 채워진 엔진오일의 정전용량을 측정하여 사용 중인 엔진오일의 유전상수 변화를 알아내어 오일 물성의 퇴화 상태를 감지하여 엔진오일의 사용한계를 판단한다.

본 필터-센서는 기존의 엔진 필터가 부착되어 있는 곳에 그대로 장착할 수 있게 설계되어 있다. 즉, 엔진 쪽 부착부위는 기존의 오일 필터와 같은 형상으로 되어 있고 또한 고무 씰도 같은 규격의 것을 쓴다, 반대쪽은 볼트로 본체와 고정된 플라스틱 뚜껑으로 되어 있어 이 곳을 통해 엔진오일 교환 시 필터 엘리먼트를 교환할 수 있다. 본 필터-센서의 크기는 직경 및 높이가 기존의 필터 크기와 유사하며, 쉽게 장착 및 탈착이 가능하게 되어있다.



Fig. 1. The prototype of a filter-sensor.

2.1 유전상수 측정이론

동심원 사이의 유체에 대한 유전상수(dielectric constant, ϵ_r)는 범용 측정장비인 Fig. 2의 ③번의 임피던스 분석기로 측정한다.

정전용량 C_x 을 사용하여 다음과 같은 식으로 계산하였다. 즉

$$\epsilon_r = C_x / (2\pi\epsilon_0 L) \times \ln(r_o / r_i) \tag{1}$$

여기서 ϵ_0 는 공기의 유전율(permittivity)이고, 그 값은 $8.85418782 \times 10^{-12} (V^{-1}m^{-1})$ 이다. ϵ_r 은 유체의 유전상수이다. L 은 센서부의 높이이고, r_i 과 r_o 는 각각 동심원 센서의 내측전극의 외경과 외측전극의 내경이다. 한편 유체 유전상수 ϵ_r 은 다음과 같이 정의된다. 즉 $\epsilon_r = \epsilon / \epsilon_0$ 이다. 여기서 ϵ 는 유체의 유전율이다. 위의 센서 치수들을 대입하면 액체의 유전상수 $\epsilon_r = C_x / [81.53688055 \times 10^{-12}]$ 이다. 예를 들어 공간 내 공기만 있는 경우의 일반적인 유전상수값은 대기압, 20°C에서 1.00054[10]이다. 따라서 센서가 설계대로 편심없이 치수대로 만들어졌을 경우, 공기가 채워진 상태로 측정된 정전용량은 $1.00054 \times 81.53688055 \times 10^{-12} = 81.58091047 \times 10^{-12} F$ 즉, 81.58091047 pF 이다.

2.2 공기 유전상수 측정

우선, 본 시작품 오일필터-센서에 Fig. 2의 ①과 같이 세워 놓고 범용 측정장비인 ③의 임피던스 분석기를 연결하여 측정한다. 공기에 대한 정전용량과 유전상수 값은 Fig. 3와 Fig. 4과 같이 주파수가 약 200 kHz~300 kHz 범위에서 일반적인 공기의 유전상수 값(1.00054 @ 20 °C, 대기압)과 거의 같은 유전상수 값을 나타냈다[5].



Fig. 2. Capacitance measuring devices: ①-Filter-sensor, ②-Sensor controller & monitoring system, ③-Impedance analyzer, ④-Data logger, and ⑤-Engine lubrication system rig tester.

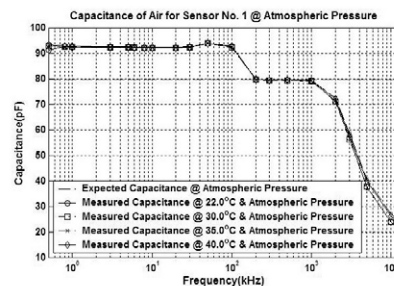


Fig. 3. Capacitance of air measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

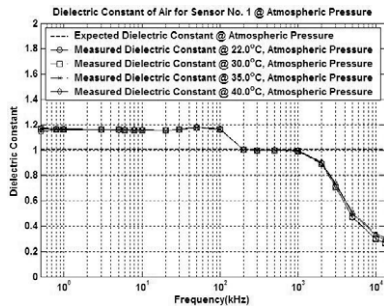


Fig. 4. Dielectric constant of air measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

2.3 샘플 엔진 오일 유전상수 측정

오일필터-센서를 Fig. 4의 ①과 같이 세워 놓고 엔진오일을 채워 범용 측정장비인 ③의 임피던스 분석기를 연결하여 유전상수를 측정한 결과, Fig. 5과 Fig. 6에 도시한 엔진오일의 유전상수 측정값을 얻었으며, 엔진오일(Oil B)의 신유 유전상수 값은 200 kHz~300 kHz, 20 °C~45 °C에서 1.861~1.880 범위의 값을 나타내고 있다[5].

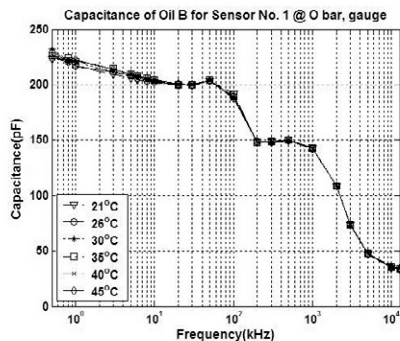


Fig. 5. Capacitance of engine oil measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

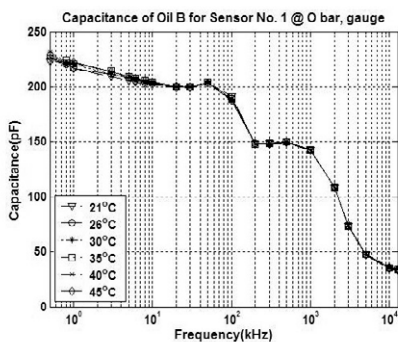


Fig. 6. Dielectric constant of engine oil measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

3. 센서 전용 제어기의 정전용량 측정이론

본 오일 필터 센서의 정전용량 측정에 사용될 측정방식은 다음과 같은 일반적인 정전용량 측정방식을 사용하였다. 즉, DC 전압을 피측정 대상물에 인가하여 충, 방전 시간을 측정하여 피측정물이 가지고 있는 정전용량을 계산하는 방법으로 안정되고, 구현에 비교적 저렴한 장점이 있어 향후의 양산성을 생각하여 본 방식을 선택하였다. 다만, 다양한 시료에 대한 반복 시험을 통해 그 결과를 분석하고, 측정 정밀도를 개선하는 부분이 추가적으로 남아있는 과제이다.

본 정전용량 측정방법에 대한 기본 개념은 다음과 같다. 즉, DC 전압을 피측정 대상물에 인가하여 충전 및 방전 시간을 측정하여 피측정물이 가지고 있는 정전용량을 계산하는 방식으로 충전 상태(state)가 변화 후에 정상상태(steady-state)로 천이 될 때까지의 현상인 천이(transient) 구간의 특성을 이용한다.

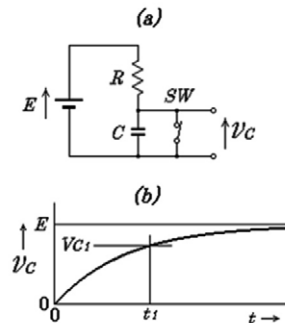


Fig. 7. Basic electric charging circuit.

Fig. 7의 (a)와 같은 기본 충전회로에서 스위치 SW가 열리면 전압원 E가 저항 R을 통해 정전용량기(capacitor) C를 충전하게 되고 그 충전전압 V_C 는 Fig. 7의 (b)와 같은 모양으로 변화하게 된다. 시간 t 에 대한 V_C 의 관계는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_C = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (2)$$

여기서 R은 저항으로 단위는 ohm이고, t 는 시간으로 단위는 초(sec)이다. V_C 가 어떤 값 V_{C1} 에 도달했을 때의 시간 t_1 은 위 식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$t_1 = -RC \ln\left(1 - \frac{V_{C1}}{E}\right) \quad (3)$$

이 식에서 보면 Capacitance C는 t_1 에 비례한다는 것을 알 수 있고 저항값 R과 일정한 전압 E 및 V_{C1} 를 고정된 매개변수로 사용한다면 t_1 에서 C를 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

$$C = t_1 / (-R \ln(1 - \frac{V_{C1}}{E})) \quad (4)$$

4. 센싱 시스템

기 제작한 Fig. 1과 같은 오일 필터 내 내장된 정전용량형 필터-센서[5, 6]에 Fig. 8a와 같은 개념으로 센서제어회로를 구성하였고, 센서 컨트롤러의 인터페이스회로는 Fig. 8b와 같다. 즉, 엔진 내의 오일 필터 내에 설치되어 엔진 오일의 상태에 따라 전기 신호를 출력하는 필터-센서부, 필터-센서부로부터 검출된 전압이 기준 전압과 동일해질 때까지 소요된 시간을 측정하기 위한 시간 측정부, 상기 측정된 시간에 따라 상기 엔진 오일의 정전 용량 값을 계산하고, 이를 이용하여 상기 엔진 오일의 유전 상수를 계산하기 위한 연산부 및 상기 계산된 유전 상수의 변화에 따라 엔진 오일의 품질을 결정하기 위한 제어부를 포함할 수 있다.

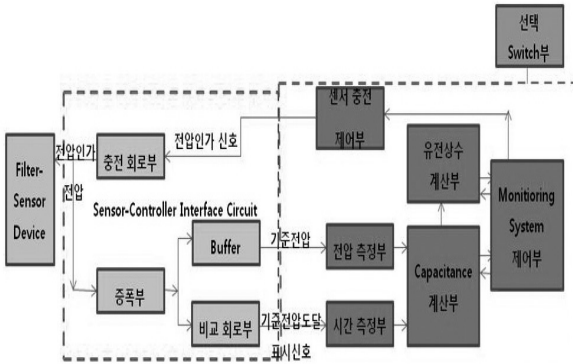


Fig. 8a. Sensor controller block diagram.

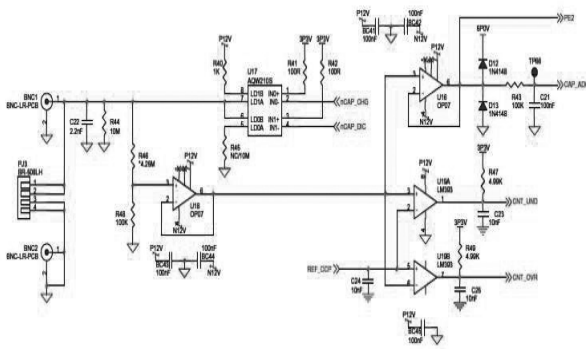


Fig. 8b. Sensor controller interface circuit.

기본적으로 정전용량형 필터-센서로부터 측정되는 판별 가능한 정전용량의 크기를 얻을 수 있는 회로를 구성하여 제작하는 기술이 있어야 하는데, 본 연구에서는 범용 임피던스 측정장비로 측정 시 수백 pF범위이던 것이 금번 전용 센서 제어회로 구성 시 정전용량 측정범위를 수백 nF단위로 측정이 가능토록 하여 신유 대비 사용유의 물성 퇴화정도를 판별 가능한 범위대의 신호를 생성하였다.

본 필터-센서 전용측정장비의 정전용량값의 증가와 측정 정확도를 높인 방법은 다음과 같다. 초기에 얻은 정전용량 값인 수 nF를 인터페이스(interface) 회로부에서 저항 값의 조정으로 시정수(capacitor 전하량의 63.2 % 충전 시점까지 걸린 시간)에서 수십 nF로 약 3배 정도 증가시켰다. 또한 정확도가 높고 안정한 값을 얻기 위해 H/W의 저항을 크게하여 전류를 적게 흐르게 하여 시정수에 도달하는 충전시간을 늘려 정전용량값을 최종적으로 수백 nF까지 크게 하는 한편, S/W를 이용하여 작업처리 시간 동안 데이터 수집 주파수, 즉 클럭 수를 높여 정확도를 높였다. 즉, 초당 데이터 수를 늘려 변별력을 증가시킬 수 있었다. 그 정확도는 $\pm 5\%$ 이내에 있었다.

본 필터-센서 전용측정장비 5대에 대한 정전용량 측정값의 오차범위를 측정범위를 구분해서 보면 다음 Table 1과 같이 $\pm 5\%$ 이내의 측정오차를 얻었다.

Table 1. Capacitance measuring error table of controllers for filter-sensors

Engine Oil Quality Monitoring System SN-01												
기준 용량(nF)	1		5		10		50		100		500	
최소/최대	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
	0.965	1.039	4.996	5.153	9.972	10.19	50.08	50.27	99.84	100.4	500.3	501.4
오차(%)	-3.5	3.9	-0.08	3.06	-0.28	1.9	0.16	0.54	-0.16	0.4	0.06	0.28

Engine Oil Quality Monitoring System SN-02												
기준 용량(nF)	1		5		10		50		100		500	
최소/최대	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
	0.959	1.024	4.984	5.069	9.951	10.08	50.06	50.2	99.61	100.4	499.3	500.9
오차(%)	-4.1	2.4	-0.32	1.38	-0.49	0.8	0.12	0.4	-0.39	0.4	-0.14	0.18

Engine Oil Quality Monitoring System SN-03												
기준 용량(nF)	1		5		10		50		100		500	
최소/최대	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
	0.972	1.036	4.978	5.072	9.941	10.11	49.88	50.34	99.81	100.3	499.3	500.5
오차(%)	-2.8	3.6	-0.44	1.44	-0.59	1.1	-0.24	0.68	-0.19	0.3	-0.14	0.1

Engine Oil Quality Monitoring System SN-04												
기준 용량(nF)	1		5		10		50		100		500	
최소/최대	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
	0.964	1.042	4.995	5.058	9.942	10.06	49.9	50.03	99.62	100	497.9	499.1
오차(%)	-1.6	4.2	-0.1	1.16	-0.58	0.6	-0.2	0.06	-0.38	0	-0.42	-0.18

Engine Oil Quality Monitoring System SN-05												
기준 용량(nF)	1		5		10		50		100		500	
최소/최대	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값	최소값	최대값
	0.97	1.042	4.985	5.074	9.955	10.12	49.99	50.16	99.78	100.2	498.7	500.6
오차(%)	-3	4.2	-0.3	1.48	-0.45	1.2	-0.02	0.32	-0.22	0.2	-0.26	0.12

엔진오일의 유전상수는 정전용량 측정값으로부터 다음과 같이 계산된다. 사용유의 유전상수 값은 $\epsilon_r = \epsilon_0 + \Delta C_x K$, 여기서 K는 유전상수 변화 보정계수로 기준 샘플오일로부터 센서전용제어회로에 의해 측정된 정전용량 변화량에 대한 범용 임피던스 분석기에 의해 얻은 유전상수 변화량의 비이다. ϵ_0 는 기준 신유 유전상수 측정값, $\Delta C_x = C_x - C_{x0}$ 이며, C_{x0} 는 초기 정전용량 측정값, C_x 는 현재 정전용량 측정값이다.

정전용량 측정값의 오차 $\pm 5\%$ 에 대한 유전상수의 측정오차는 가솔린엔진오일 $\pm 0.1\%$, 디젤엔진오일 $\pm 1.0\%$ 정도로 나타났다.

5. 결과 및 고찰

디젤엔진오일과 가솔린엔진오일에 대한 신유와 사용유의 정전용량 측정값과 유전상수 값을 비교하면 다음과 같다.

5.1 디젤엔진오일

디젤엔진오일(SAE10W40)에 대한 10000 km에서 15000 km 사이의 1000 km 간격으로 수집한 오일 샘플을 혼합한 사용유와 신유의 정전용량 측정값과 유전상수 값은 Fig. 9와 Fig. 10에 도시되었다. 신유의 정전용량 측정값은 17.72 nF 이었고, 사용유의 정전용량 측정값은 19.09 nF 이었다. 오일의 퇴화로 인해 정전용량 값은 약 7.7 % 증가하였다. 한편 신유와 사용유의 유전상수 값은 각각 1.869 및 1.899로 약 1.61 % 증가하였다. 디젤엔진오일의 유전상수의 측정오차가 ± 1.0 % 이내이고, 선행연구결과[3] 신유 및 사용유에 대한 유전상수 변화의 한계치가 10 % 이내 임을 감안하면, 엔진오일의 물성 변화로 오일을 교환하는 시점을 충분히 예측할 수 있으며, 또한 오일의 교환 주기는 20000 km 정도도 가능하다고 예측된다.

5.2 가솔린엔진오일

가솔린엔진오일(SAE5W30)에 대한 10000 km에서 15000 km 사이의 1000 km 간격으로 수집한 오일 샘플을 혼합한 사용유와 신유의 정전용량 측정값과 유전상수 값은 Fig. 11와 Fig. 12에 도시되었다. 신유의 정전용량 측정값은 20.11 nF 이었고, 사용유의 정전용량 측정값은 26.26 nF 이었다. 오일의 퇴화로 인해 정전용량 값은 약 30.6 % 증가하였다. 그러나 신유와 사용유의 유전상수 값은 각각 1.877 및 1.886로 약 0.48 % 증가하였다. 가솔린 엔진오일의 유전상수의 오차가 ± 0.1 % 이내이고, 선행연구결과[2] 신유 및 사용유에 대한 유전상수 변화의 한계치가 5 % 이내 임을 감안하면, 엔진오일의 물성 변화로 오일을 교환하는 시점을 충분히 예측할 수 있으며, 또한 오일의 교환 주기는 20000 km 이상도 가능하다고 예측된다.

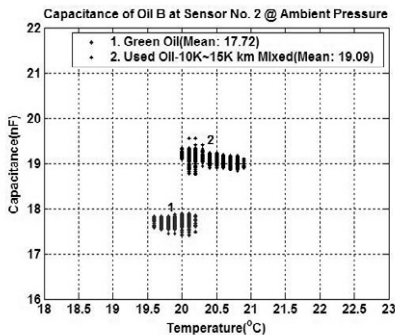


Fig. 9. Capacitance comparison between green oil and used oil of diesel engine oil.

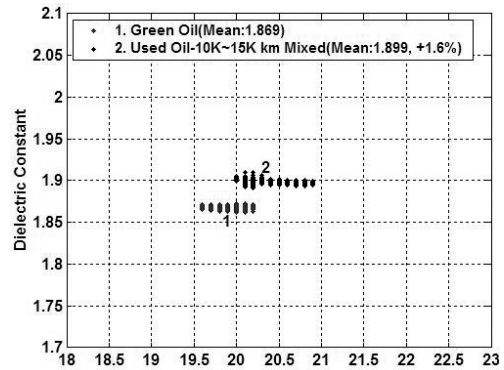


Fig. 10. Dielectric constant comparison between green oil and used oil of diesel engine oil.

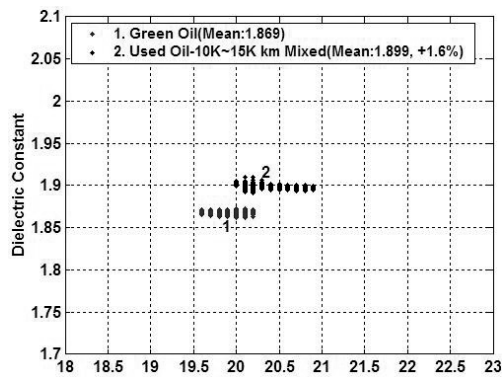


Fig. 11. Capacitance comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil.

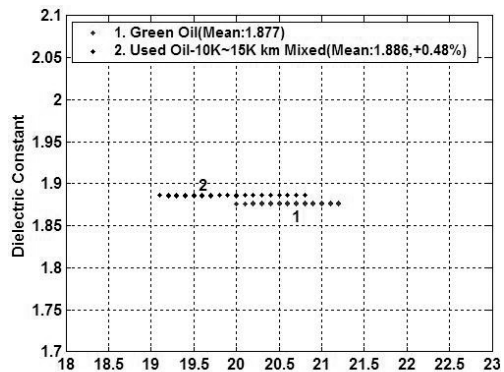


Fig. 12. Dielectric constant comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil.

6. 결론

본 연구에서는 엔진오일의 퇴화 메커니즘을 바탕으로, 엔진 오일의 퇴화상태를 측정하는 기 제작된 오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서(필터-센서)의 전용제어기 개발하였다.

본 필터-센서 전용제어기의 정전용량 측정값의 오차는 ± 5 %

이내에 있었고, 이로부터 얻은 유전상수의 측정오차는 가솔린엔진오일에 대해서는 $\pm 0.1\%$, 디젤엔진오일에 대해서는 $\pm 1.0\%$ 정도로 나타났다. 이러한 측정오차 범위는 신유와 사용유의 유전상수를 측정하여 엔진오일의 퇴화 정도를 측정할 수 있는 변별력을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No. 00040610)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

REFERENCES

- [1] S. M. Chun, "A Study on the changes in dielectric constant of engine oil," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 22, no. 2, pp. 99-104, 2006.
- [2] S. M. Chun, "Study on mutual relation between the level of deterioration influenced by the changes of chemical and physical properties and the change of dielectric constant for engine oilgasoline engine oil," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 22, no. 5, pp. 260-268, 2006.
- [3] S. M. Chun, "Study on mutual relation between the level of deterioration influenced by the changes of chemical and physical properties and the change of dielectric constant for engine oil diesel engine oil," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 22, no. 5, pp. 290-300, 2006.
- [4] S. M. Chun, "A study on the effect of soot on changes in diesel engine oil's dielectric constant," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 26, no. 2, pp. 111-121, 2010.
- [5] S. M. Chun, "The prototype development of an engine oil deterioration sensor installed inside an oil filter," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 24, no. 2, pp. 82-89, 2008.
- [6] S. M. Chun, "The prototype development II of an engine oil deterioration sensor installed inside an oil Filter," *The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers*, vol. 24, no. 4, pp. 170-178, 2008.
- [7] G. S. Saloka and A. H. Meitzler, "A capacitive oil deterioration sensor," *SAE Technical Paper Series*, no. 910497, 1991.
- [8] E. Irion, K. Land, T. Gurtler, and M. Klein, "Oil-quality prediction and oil-level detection with the TEMIC QTL-sensor leads to variable maintenance intervals," *SAE Technical Paper Series*, no. 980847, SP-1220, 1997.
- [9] R. D. Lee, H. J. Kim, and Y. P. Semenov, "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.
- [10] Clipper Controls Inc., Database of Dielectric Constant Values, Clipper Controls' homepage, <http://www.clippercontrols.com/pages/dielectric-constant-values>.



전 상 명(Sang Myung Chun)

- 1989년 Wayne State University(공학 박사)
- 1989년-1999년 대우자동차(주) 수석연구원
- 1999년-2002년 국민대학교 자동차공학 전문대학원 연구교수
- 2002년-2005년 한중대학교 자동차공학과 교수
- 2005년-현재 호서대학교 자동차공학과 교수
- 주관심분야 : 트라이볼로지, 오일품질센서, 내연기관설계, 풍력터빈유회