

엔진오일 유전상수 변화량 측정에 의한 엔진오일 품질 모니터링 시스템 개발

전상명[†]

호서대학교 자동차공학과

Development of an Engine Oil Quality Monitoring System

Sang Myung Chun[†]

Dept. of Automotive Engineering, Hoseo University

(Received March 15, 2011; Revised April 20, 2011; Accepted April 25, 2011)

Abstract – The purpose of this study is to develop an engine oil quality monitoring system to warn the abnormal condition of engine oil. To do this, first of all, it is needed a personal controller development 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 comparing 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. Then, the deterioration degree of engine oil is estimated according to the change rate of dielectric constant between green oil and used oil. Finally, using this dielectric constant information together with engine oil temperature and pressure, the currently developed engine oil quality monitoring system is to tell the abnormal state of engine oil.

Keywords – engine oil deterioration detection sensor(엔진오일 열화감지센서), capacitance(정전용량), dielectric constant(유전상수), oil filter(오일필터)

1. 서 론

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].

한편, 엔진오일의 주성분인 탄화수소는 원자간 결합력이 강하지 못하므로 열분해로 인해 공기중의 산소와 반응하여, 즉 열화(劣化)되어 산화물을 생성하기가 용이하다. 따라서 오일의 물성변화로 점도가 변하고, 금속 부식을 막는 기능이 저해된다. 그러므로 엔진오일의 1

차 기능성 첨가제로서 산화경감 및 산화 지연용 산화방지제를 사용하여 산화 및 부식을 방지한다. 이와 같이 오일이 반복되는 열화 및 산화로 열화됨에 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 열화 됨에 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 고갈 됨에 따라 오일이 전기적으로 양성화 되어 증가

[†]주저자 · 책임저자 : smchun@hoseo.edu

하게 된다. 다만, 오일 사용초기에는 산화방지제가 활성화되어 전기적으로 더 음성화되어 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 전기에너지의 전달량을 증가시키므로 엔진오일의 유전상수를 증가시킨다.

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 연구의 목적은 이러한 엔진오일의 열화 메커니즘을 바탕으로 한 유전상수의 변화량과 엔진 오일의 압력 및 온도를 함께 모니터링하여 엔진 오일의 상태를 사용자에게 알릴 수 있는 엔진오일품질모니터링 장치를 개발하는 것이다. 나아가 이 장치는 엔진 오일의 점검 및 교환에 대한 시기를 사용자에게 알려주기 위한 것이다.

2. 센서 설계

기 개발된 오일필터 일체형 엔진오일열화감지센서, 일명 필터-센서[5,6,10]는 엔진오일유통시스템 내에서 슬러지나 바니쉬 및 이물질이 쌓이지 않는, 즉 오일이 정체하지 않고 흐르는 곳인 오일필터 내에 구성된 것으로 Fig. 1과 같다.

본 필터-센서는 기존의 엔진 필터가 부착되어 있는

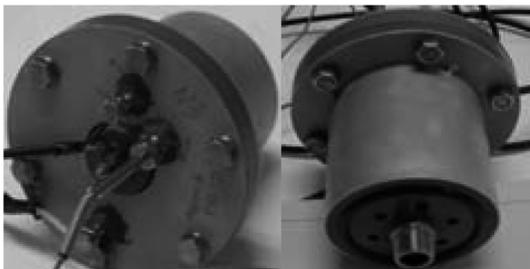


Fig. 1. Prototype of a filter-sensor.

곳에 그대로 장착할 수 있게 설계되어 있다. 즉, 엔진 쪽 부착부위는 기존의 오일 필터와 같은 형상으로 되어 있고 또한 고무 시일(seal)도 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.

2.1. 유전상수 측정이론

동심원 사이의 유체에 대한 유전상수(dielectric constant, ϵ_r)는 Fig. 2의 번과 같은 임피던스 분석기로 측정된 정전용량 C_x 을 사용하여 다음과 같은 식으로 계산하였다. 즉

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

여기서 ϵ_0 는 공기의 유전율(permittivity)이고, 그 값은 $8.85418782 \times 10^{-12} (\text{V}^{-1} \text{m}^{-1})$ 이다. ϵ_r 은 유체의 유전상수이다. L 은 센서부의 높이 이고, r_o 와 r_i 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 유전상수는 대기압, 20°C에서 1.00054이다. 따라서 센서가 설계대로 편심없이 치수대로 만들어졌을 경우, 공기가 채워진 상태로 측정된 정전용량은 $1.00054 \times 81.53688055 \times 10^{-12} = 81.58091047 \times 10^{-12} \text{ F}$ 즉, 81.581pF로 표시할 수 있다.

2.2. 공기 유전상수 측정

공기 유전상수는 필터-센서를 Fig. 2의 ①과 같이



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.

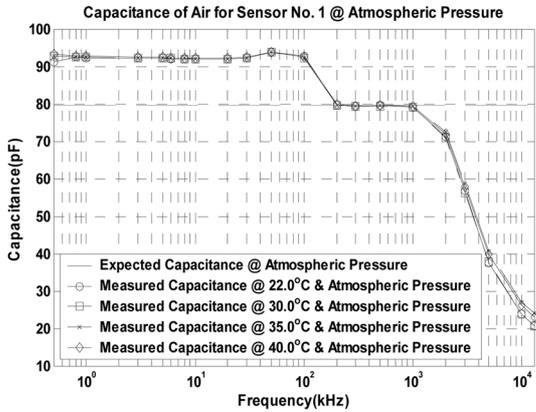


Fig. 3. Capacitance of air measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

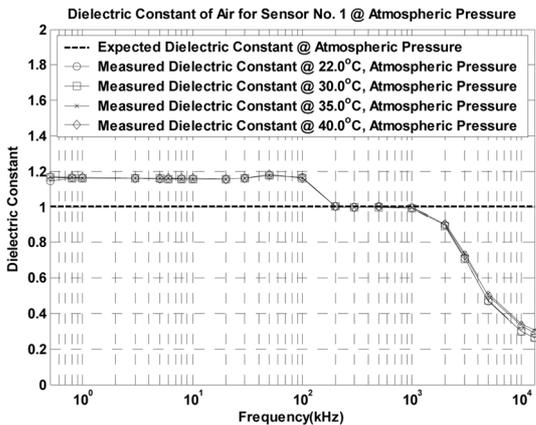


Fig. 4. Dielectric constant of air measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

세워 놓고 ③의 임피던스 분석기를 연결하여 측정하였고, 공기에 대한 정전용량과 유전상수 값은 Fig. 3과 Fig. 4에 도시되었다. 주파수 200~300 kHz 범위에서 일반적인 공기의 유전상수 값(1.00054 @ 20°C, 대기압)과 유사한 유전상수 값을 나타냈다[5].

2.3. 샘플 엔진 오일 유전상수 측정

오일필터-센서를 Fig. 2의 ①과 같이 세워 놓고 엔진오일을 채워 유전상수를 측정된 결과, Fig. 5과 Fig. 6에 도시한 엔진오일의 유전상수 측정값을 얻었으며, 엔진오일(Oil B)의 신규 유전상수 값은 200~300 kHz 일 때 20~45°C에서 1.861~1.880 범위의 값을 나타내고 있다[5].

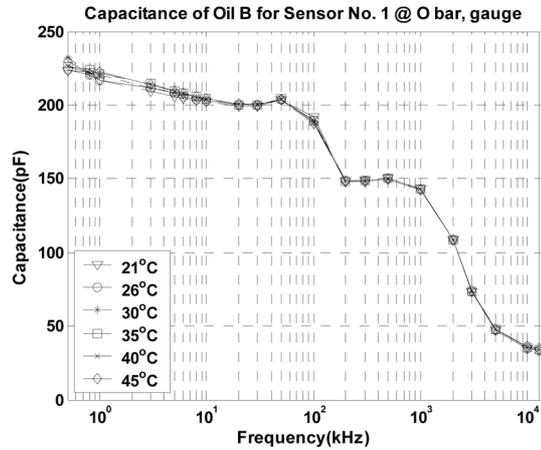


Fig. 5. Capacitance of engine oil measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

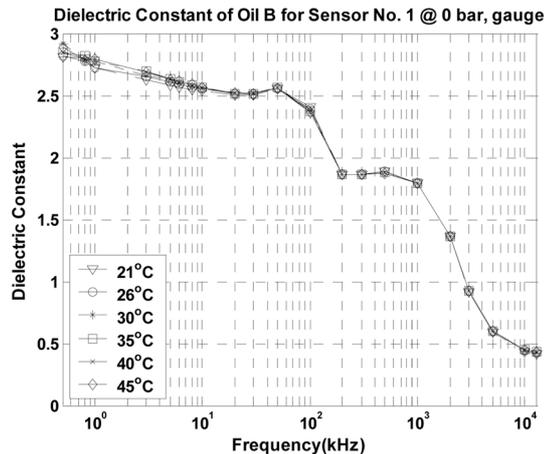


Fig. 6. Dielectric constant of engine oil measured with an oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

3. 센서 전용 제어기의 정전용량 측정이론

본 오일 필터 센서의 정전용량 측정에 사용된 측정 방식은 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 분석하여, 측정 신뢰도를 개선하는 부분이 추가적으로 남아있는 과제이다.

본 정전용량 측정방법에 대한 기본 개념은 다음과

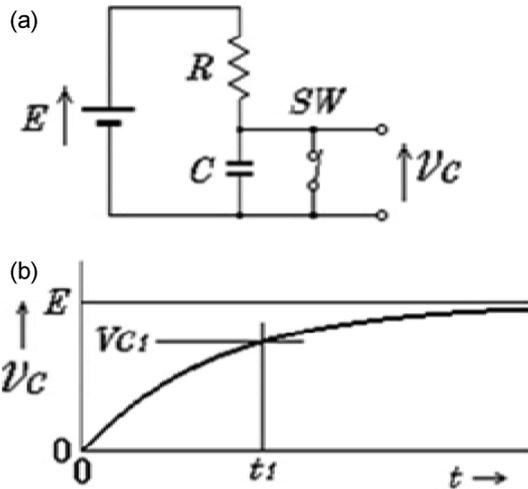


Fig. 7. Basic electric charging circuit.

같다. 즉, DC 전압을 피측정 대상물에 인가하여 충전 및 방전 시간을 측정하여 피측정물이 가지고 있는 정전용량을 계산하는 방식으로 충전 상태(state)가 변화하여 정상상태(steady-state)에 도달될 때까지의 천이(transient) 구간의 특성을 이용한다.

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 변하게 된다. 시간 t 에 대한 V_C 의 관계는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

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

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 정전용량 C는 t_1 에 비례한다는 것을 알 수 있고, 저항값 R과 일정한 전압 E 및 V_{C1} 을 고정된 매개변수로 사용한다면 t_1 에서 C를 다음 식과 같이 얻을 수 있다.

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

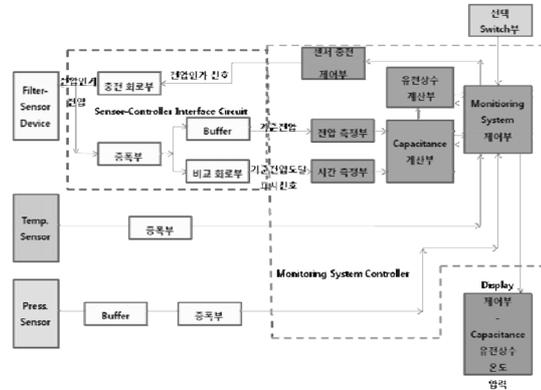


Fig. 8. Block diagram of monitoring system.

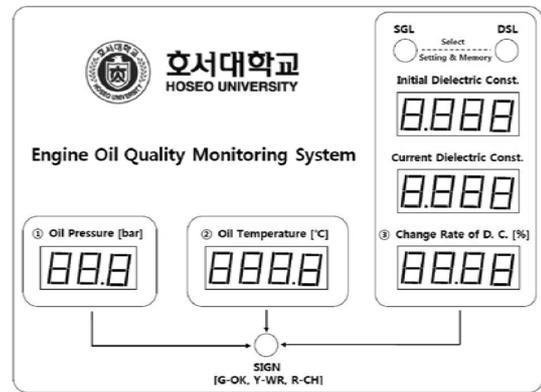


Fig. 9. Front design of an engine oil quality monitoring system.

4. 모니터링 시스템

기 제작한 Fig. 1과 같은 오일 필터 내 내장된 정전용량형 필터-센서[5,6,10]에 Fig. 8와 같은 개념으로 Fig. 9(Fig. 2-②)와 같은 전면 디자인을 갖는 모니터링 시스템[11]을 구성하였다. 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, 상기 계산된 유전 상수의 변화에 따라 엔진 오일의 품질을 결정하기 위한 제어부, 그리고 제어부의 신호와 엔진오일 및 압력 신호를 받아 엔진오일의 상태를 판단하여 엔진오일의 점검 및 교환을 알리는 모니터링시

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										
		0.965	1.039	4.996	5.153	9.972	10.19	50.0	50.27	99.84	100.4	500.3
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										
	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										
	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										
	0.984	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	1.116	-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										
	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

스텝으로 구성된다.

기본적으로 정전용량형 필터-센서로부터 측정되는 판별 가능한 정전용량의 크기를 얻을 수 있는 회로를 구성하여 제작하는 기술이 있어야 하는데, 본 연구에서는 센서 제어회로 구성 시 정전용량 측정범위를 수백 nF단위로 측정이 가능토록 하여 신유 대비 사용유의 물성 열화정도를 판별 가능한 범위 대의 신호를 생성하였다.

본 필터-센서 전용측정장비의 정전용량값의 증가와 측정 정확도를 높인 방법은 다음과 같다. 초기 적용 회로로부터 얻은 정전용량 값인 수nF 수준으로부터 안정적이고 정확도가 높은 값을 얻기 위해 H/W의 저항을 크게 하여 전류를 적게 흐르게 하여 시정수(time constant, 본 연구에서는 capacitor 전하량의 63.2% 증

전 시점까지 걸린 시간임)에 도달하는 충전시간을 늘려 정전용량값을 최종적으로 수백nF까지 크게 하는 한편, S/W를 이용하여 작업처리시간 동안 데이터 수집 주파수, 즉 클럭 수를 높여 정확도를 높였다. 즉, 초당 데이터 수를 늘려 변별력을 증가시킬 수 있었다. 그 측정 오차는 $\pm 5\%$ 이내에 있었다.

본 필터-센서 전용제어기 5대에 대한 정전용량 측정값의 오차범위를 측정범위를 구분해서 보면 다음 Table 1과 같이 $\pm 5\%$ 이내에 있음을 알 수 있다.

엔진오일의 유전상수는 정전용량 측정값으로부터 다음과 같이 계산된다. 즉, 현재 유전상수값은 $\epsilon_r = \epsilon_0 + \Delta C_x K$ 이다. 여기서 K는 유전상수 변화 보정계수로 기준 샘플오일로부터 센서전용제어회로에 의해 측정된 정전용량 변화량에 대한 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.

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

또한 온도에 따른 정전용량변화는 2차 다항식으로 표현됨을 알 수 있었다. 즉, $C_x = aT^2 + bT + c$, 여기서 a, b, c 는 실험으로 얻은 상수이다. 따라서 초기 측정된 정전용량 값을 온도에 따른 정전용량 변화 다항식에 따라 기준온도(20°C)로 보정한 값을 저장하고, 또한 현재 온도에서의 측정된 정전용량 값도 같은 방법으로 기준온도(20°C)에서의 정전용량 값으로 보정한다. 나아가 이 두 가지 유전상수화 한 값을 비교한다.

위의 Fig. 8의 선택스위치부에서 엔진오일의 종류를 구분하며, 이에 따라 엔진오일의 물성변화 한계치 기준에 상당하는 유전상수 변화 한계치가 기 입력된 값으로 설정된다. 따라서 엔진오일 종류별 물성 값이 다르기 때문에 엔진오일교환경보 판단기준이 달라진다. 또한 각 엔진오일의 물리화학적 특성에 따라 온도에 따른 정전용량의 변화 값이 달라 온도에 따른 정전용량 보정식이 달라진다. 나아가 유전상수를 계산하는 유전상수 변화 보정계수 값도 달라진다.

엔진오일품질모니터링 시스템의 알고리즘은 Fig. 10과 같다. 우선 엔진 오일의 압력이 정상 상태라고 판단된 경우에만 그 다음 단계로 진행할 수 있다. 즉, 측정된 엔진 오일의 압력이 Y 내지 X bar 사이인 경우, 엔진 오일의 압력 상태를 경고 상태로 분류하고, 경고 등이 들어온다. 한편 측정된 엔진 오일의 압력이 Y bar 미만인 경우, 엔진 오일의 압력 상태를 엔진오일 교환 상태로 분류하고, 교환 등이 들어온다.

그 후 엔진 오일의 온도를 측정하고, 측정된 엔진 오일의 온도가 정상 상태라고 판단된 경우에만 그 다음 단계로 진행할 수 있다. 즉, 측정된 엔진 오일의 온도가 $Z^\circ\text{C}$ 이하인 경우 엔진 오일의 온도를 정상 상태로 판단한다. 한편 측정된 엔진 오일의 온도가 $Z^\circ\text{C}$ 내지 $W^\circ\text{C}$ 인 경우 엔진 오일의 온도를 경고 상태로 분류하고, 경고 등이 들어온다. 한편 측정된 엔진 오일의 온도가 $W^\circ\text{C}$ 를 초과하는 경우 엔진 오일의 온도를 교환 상태로 판단하여, 교환 등이 들어 온다.

그 후 엔진 오일의 정전 용량 값이 계산되고, 이를 통해 유전 상수 변화율을 계산한다. 이 계산된 유전 상수 변화율에 따라 엔진 오일의 품질을 결정할 수 있

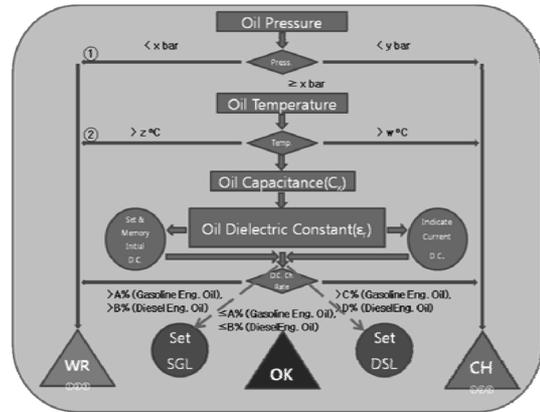


Fig. 10. Control algorithm of an engine oil quality monitoring system.

다. 유전 상수 변화율이 $A\%$ 이내라면, 엔진 오일의 품질을 정상으로 판단할 수 있다. 유전 상수 변화율이 $A\%$ 내지 $B\%$ 에 속하면 엔진 오일의 품질을 경고 상태로 판단할 수 있고, 경고 등이 들어오게 된다. 유전 상수 변화율이 $B\%$ 를 초과하는 경우, 엔진 오일의 품질을 교환 상태로 판단할 수 있고, 교환 등이 들어온다. 이와 같이하여 엔진오일의 상태를 정상, 경고 및 교환상태로 분류하여 표시한다.

5. 시험 결과 및 고찰

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

5-1. 디젤엔진오일

한 종류의 디젤엔진오일(SAE10W40)에 대한 오일 샘플은 3대의 차량시험에서 채취한 3종류의 오일을 측정하였다. Test B1은 주행거리 10000 km에서 15000 km 사이에서 1000 km 간격으로 수집한 오일을 혼합한 샘플이고, Test B2는 5000 km에서 10000 km 사이에서 1000 km 간격으로 수집한 오일을 혼합한 샘플이며, Test B3는 8000 km에서 20000 km 사이에서 1000 km 간격으로 수집한 오일을 혼합한 샘플이다. 신유와 3가지 사용유 샘플에 대한 정전용량 측정값과 유전상수 값은 Fig. 11에서 Fig. 14에 도시되었다. 단, 22°C 이하에서는 온도보정이 필요 없게 나타났다. 신유의 정전용량 측정값은 17.72 nF 이었고, Test B1의 사용유

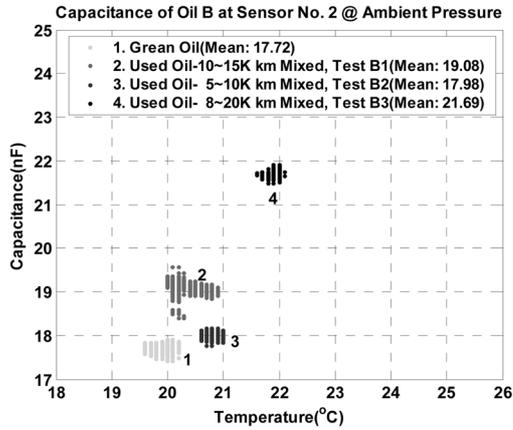


Fig. 11. Capacitance comparison between green oil and used oil of diesel engine oil at real temperature.

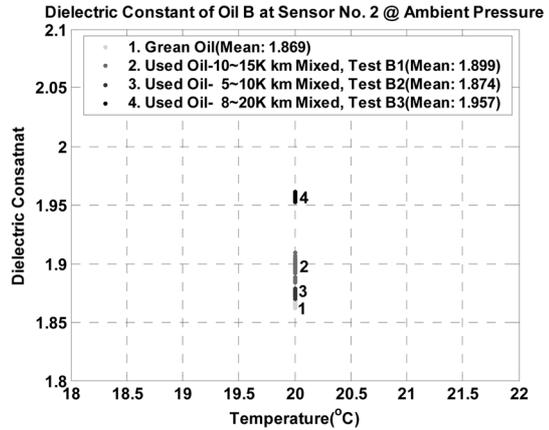


Fig. 13. Dielectric constant comparison between green oil and used oil of diesel engine oil @ 20°C.

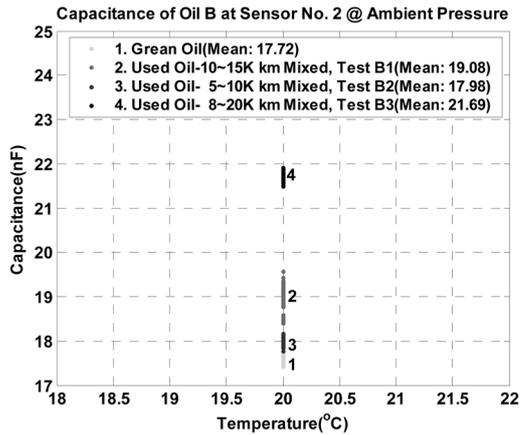


Fig. 12. Capacitance comparison between green oil and used oil of diesel engine oil @ 20°C.

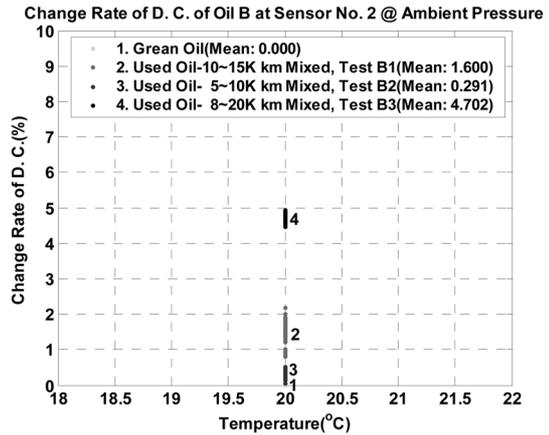


Fig. 14. Change rate of dielectric constant comparison between green oil and used oil of diesel engine oil @ 20°C.

의 정전용량 측정값은 19.08 nF 이었다. 또한 Test B2의 사용유의 정전용량 측정값은 17.98 nF 이었다. Test B3의 사용유의 정전용량 측정값은 21.69 nF 이었다. 오일의 열화로 인해 정전용량 값은 Test B3에서 신유 대비 약 22.4%까지 증가하였다. 본 측정은 22°C 이하의 온도에서 측정하였으므로 기준온도인 20°C에서 환산한 값은 환산 전의 값과 같다. 한편 신유의 유전상수 값은 기준온도인 20°C에서 각각 1.869이며, Test B1, Test B2 및 Test B3에 대한 사용유의 유전상수 값은 각각 1.899, 1.874 및 1.957로 Test B3의 사용유에서 약 4.70%까지 증가하였다. 따라서 디젤엔진오일의 유전상수의 측정오차가 $\pm 1.0\%$ 이내이고, 선행연구결과[3] 신유 및 사용유에 대한 유전상수 변화의 한

계치가 5~10% 사이임을 감안하면, 엔진오일의 물성 변화로 오일을 교환 하는 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 사의 1000 km 간격으로 수집한 오일 샘플을 혼합한 사용유와 신유의 정전용량 측정값과 유전상수 값은 Fig. 15와 Fig. 18에 도시되었다. 단, 20°C 이하에서는 온도보정이 필요 없다고 보았다. 신유의 정전용량 측정값은 20.11 nF이었고, Test A4에 대한 사

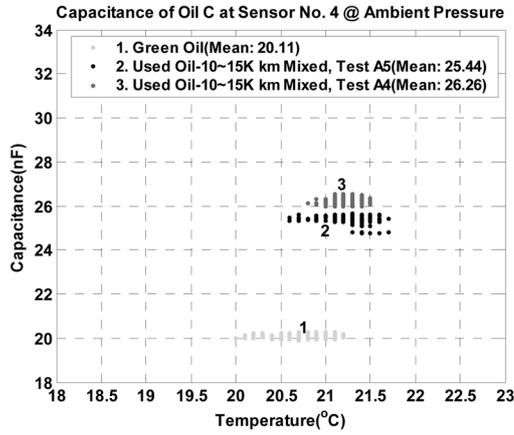


Fig. 15. Capacitance comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil at real temperature.

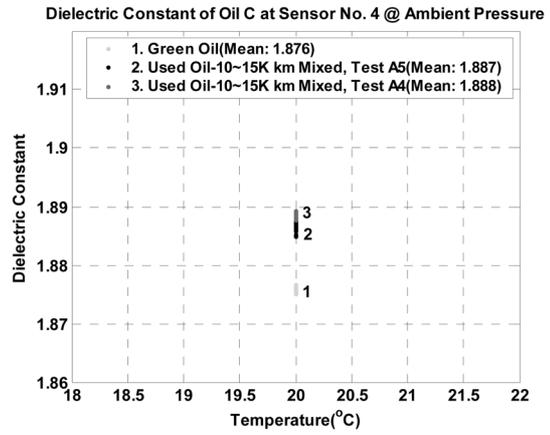


Fig. 17. Dielectric constant comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil @ 20°C.

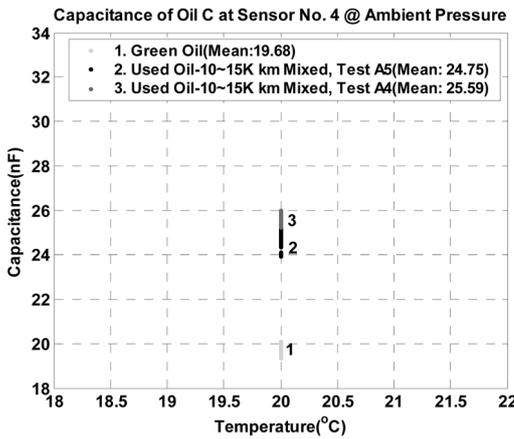


Fig. 16. Capacitance comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil @ 20°C.

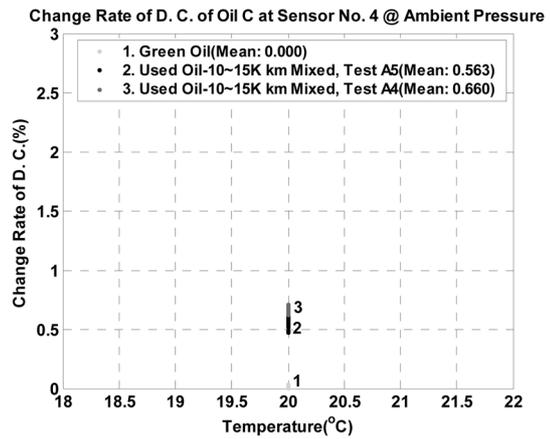


Fig. 18. Change rate of dielectric constant comparison between green oil and used oil of gasoline engine oil @ 20°C.

용유의 정전용량 측정값은 26.26 nF이었고, Test A5에 대한 사용유의 정전용량 측정값은 25.44 nF 이었다. 오일의 열화로 인해 정전용량 값은 Test A4에서 약 30.6% 증가하였다. 한편 기준온도인 20°C에서 환산한 정전용량 값은 신유는 19.68 nF이었고, Test A4에 대한 사용유는 25.59 nF이었고, Test A5에 대한 사용유의 정전용량 측정값은 24.75 nF이었다. 그리고 20°C에서 신유의 유전상수 값은 1.876이고, Test A4와 Test A5에 대한 사용유의 유전상수는 각각 1.888과 1.887이었으며, Test A4에 대한 사용유에서 약 0.66%까지 증가하였다. 따라서 가솔린 엔진오일의 유전상수의 오차가 $\pm 0.1\%$ 이내이고, 선행연구결과[2] 신유 및 사용유

에 대한 유전상수 변화의 한계치가 5% 이내임을 감안하면, 엔진오일의 물성 변화로 오일을 교환 하는 시점을 충분히 예측할 수 있으며, 또한 오일의 교환 주기는 20000 km 이상도 가능하다고 예측된다.

6. 결 론

본 연구에서는 엔진오일의 열화 메커니즘을 바탕으로, 엔진 오일의 열화상태를 측정하는 기 제작된 오일 필터 일체형 엔진오일열화감지센서(필터-센서)를 사용한 엔진오일품질모니터링 장치를 개발하였다.

본 필터-센서 전용제어기의 정전용량 측정값의 오차

는 $\pm 5\%$ 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 열화 정도를 측정할 수 있는 변별력을 나타내었다.

향후 다양한 주행거리를 갖는 시료에 대한 반복 시험을 통해 그 결과를 분석하여, 측정 신뢰도를 개선하는 부분이 추가적으로 남아있는 개발과제이다.

감사의 글

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

참고문헌

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 Oil - Gasoline 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 Dection 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. S. M. Chun, "Oil Filter Device for Measuring Quality of Engine Oil and Method Therefor," Patent Number 10-0863689, The Korean Intellectual Property Office, 08 Oct., 2008.
11. S. M. Chun and K. H. Nam, "An Apparatus for Monitoring the Quality of Engine Oil," Patent Application Number 10-2011-0033130, The Korean Intellectual Property Office, 11 April, 2011.