Journal of the KSTLE Vol. 24, No. 2, April 2008, pp. 82~89
The Korean Society of Tribologists & Lubrication Engineers

오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서 시작품 개발 I

전상명†

호서대학교 자동차공학과

The Prototype Development of an Engine Oil Deterioration Sensor Installed Inside an Oil Filter

Sang Myung Chun†

Dept. of Automotive Engineering, Hoseo University

Abstract – The purpose of this study is to develop the proto type sensor installed inside an oil filter in order to detect oil deterioration level. The sensor is made up with two concentric cylinders with constant gap in between and a filter element inside the central area. The size will be designed as similar as real oil filters. The sensor will be tested on a test rig, which is circulating engine oil, with the same size of an oil filter adapting housing as real engines'. It will be measured the capacitance of a sample engine oil, then be able to be gotten the dielectric constant. The changes in the dielectric constant could be correlated with the engine oil deterioration level if the sensor development would be completed. In this paper, it will be shown the test results carrying out under variable temperature conditions at atmosphere pressure.

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

1. 서 론

1-1. 개발 목적

지금까지 개발된 오일품질관리센서는 커패시턴스형 센서 및 크로스커패시턴스형 센서, 광반사형 센서 등이 있으며, 커패시턴스 및 크로스커패시턴스 원리를 이용한 엔진오일의 퇴화상태 측정센서는 주로 오일 팬에 별도의 구멍을 내어 부착하여 사용한다. 특히 크로스커패시턴스형 센서는 나사형상의 본체에 전극와이어를 감아서 제작되어 그 제작이 까다로워 일정한 규격을 갖는 센서 제작이 어렵다. 따라서 센서가 일관된 특성을 보유하기 어려워 양산할 수 없는 상태다. 또한 오일 팬에는 금속 마모입자나 슬러지가 많아 오일센서를 오래 사용하면 그 성능이 제대로 유지될 수 없는 경우가 발생한다. 광반사형 센서는 오일 유로에 별도의 부착위치를 마련해야 하는 번거로움이 있다. 이와 같이 기존 센서들은 비효율적인 장착 위치 및 장착이 어려운 점 때문에 사용하기가 불편하다.

이와 같이 엔진오일 퇴화 상태에 따라 오일 교환주기를 판단하고자 하면 설치장소 선택이 중요하다. 즉, 각종 이물질로부터 격리된 장소가 유리하며 정체된 곳보다는 흐르는 곳이 오일 슬러지의 축적을 피할 수 있어 좋다고 본다. 즉, 오일 팬 내에 엔진오일 퇴화 센서를 붙일 경우 슬러지나 마모입자가 센서표면에 붙어 센서의 상태를 정상으로 유지하기 어렵다. 따라서 금속 마모입자나 슬러지를 피할 수 있는 장소가 필요하며, 오일이 정체되지 않고 흐르는 곳으로 오일 필터 내부의 외벽 쪽에 동심원 형상의 전극을 형성하여 만들고자 한다.

본 연구에서는 오일필터 내에서 엔진오일이 여과된 후 엔진오일의 퇴화 상태를 감지하는 시작품 센서 본체를 개발하는 것이다. 즉 차량에 장착 가능한 오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서(필터-센서)의 시작품을 제작하여 엔진 오일이 순환되는 리그 시험기에 장

†주저자 · 책임저자 : smchun@hoseo.edu

착하여 샘플엔진오일의 정전용량을 측정하여 이로부터 엔진오일의 유전상수 값을 구할 수 있도록 하는 것이다. 본 필터-센서는 외벽과 내벽이 동심원으로 설계되어 있고 내벽 안쪽에는 필터 엘레멘트를 넣게 되어있다. 또한 본 필터-센서의 크기는 직경 및 높이가 기존의 필터 크기와 유사하며, 쉽게 장착 및 탈착이 가능하게 설계하고자 한다.

1-2. 국내외 개발이력

국외에서는 60년도 중반에 시작[1]하여 80년대 초반에 이르러 본격적으로 실시간으로 엔진오일의 상태를 모니터링 하고자 하는 노력[2-7]이 심도 있게 진행되기 시작하였고, 90년대 중반에 오일교환주기에 대한에 면밀한 분석[8]을 통하여 그 중요성을 각인하게 되었다. 초기의 엔진오일의 점도를 측정하여 그것을 전기적 신호로 변환하는 수준에서 더 나아가 전기적 특성을 측정하여 엔진오일의 상태를 감지하는 연구들이 진행되어 왔다. 특히 미국 일본 및 유럽에서는 오일의 전기전도도(electric conductivity), 유전상수(dielectric constant)[1-7,9,11-12], 초음파(ultrasonic)[13] 및 광반사(light reflecting)[10]를 이용하여 오일레벨 및 오일품질을 측정하는 방법들이 소개되고 있다. 이러한 전기적 상수의 변화는, 엔진오일의 한 가지 물리적 변화에 의한 것이 아니라 여러 가지 물리적, 화학적 변화에 기인하는 것으로, 쉽게 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 보상방법이 필요하다는 것을 연구[9,11]를 통해 알게 되었다. 특히 엔진오일의 경우 자동차가 운행 중일 때 그 온도가 70~150℃의 넓은 범위에 있기 때문에 온도의 영향을 고려해야 함을 알아냈다. 이러한 연구를 바탕으로 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일교환주기 판단 시스템들이 제작되어 심심치 않게 실차에 적용[9, 11-13]되고 있다. 그러나 그 설치 위치는 대부분 오일팬으로 오일 내 마모입자나 슬러지 혹은 바니쉬 등이 증가함에 따라 오일 센서의 기능의 저하를 막기 어렵다. 그 적용범위는 아직까지 고가 차량이면서 센서 장착부위인 오일 팬의 공간이 커서 센서장착이 용이한 고급 승용차나 트럭이나 버스 등에 적용되고 있고, 적용된 센서 및 시스템의 성능이 계속 관리 및 개선되고 있는 상황이다.

국내에서는 엔진오일의 전기적 특성을 이용하는 방법보다는 종전의 유면 표시기, 주행거리, 점도 등의 엔진오일에 대한 하나의 물리적 특성을 감지하여 그것을 전기적 신호로 바꾸는 정도의 수준이었으나 최근 여러 가지 물리적, 화학적 변화와 유전상수변화를 연계하여 엔진오일의 퇴화 상태를 알아내는 연구노력[14-23]이 행하여진 바 있다. 특히 2002년도에 특허로 등록된 크로스커패시턴스형 센서[14-16]는 나사형상의 본체에 전극와이어를 감아서 제작되어 그 제작이 까다로워 일정한 규격을 갖는 센서 제작이 어렵다. 따라서 생산성이 좋지 않아 양산을 포기한 상태이고 실차 적용이 되지 못하고 있다. 아직 자동차제조회사 차원의 센서의 판단기준을 제시할 만한 체계적이고 신뢰할 만한 엔진오일의 물성변화와 유전율 변화 관계에 대한 기초연구가 미흡한 실정이다. 즉 충분한 데이터베이스를 확보하지 못하고 있으며, 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일 교환주기 판단 시스템을 실차에 적용하는 데 까지는 미치지 못하고 있다. 그러나 최근 오일퇴화 판단기준에 대한 기초연구[21-23]가 수행되었으며, 오일 유전율 변화를 기초로 한 오일퇴화 판단 기준을 설정하는 데이터를 구축한 바 있다. 현재 국내 자동차 제조업체에서는 2009년 경에 상용 및 승용 디젤자동차에 적용을 목적으로 국외 센서업체 제품을 오일 팬에 부착하는 형식의 오일레벨 혹은 오일품질을 전기적으로 감지하는 센서를 개발시험하고 있는 상황이다.

2. 이론적 개념과 센서구성

2-1. 엔진오일의 유전상수 값과 퇴화 관계의 이론적 개념

본 필터-센서로 얻은 유전상수 값으로 엔진오일의 퇴화한계를 판단하는 이론적 개념은 다음과 같은 엔진오일물성의 퇴화 특성에 기초한다. 즉 윤활유의 주성분은 탄화수소로서 원자 간의 결합력이 강하지 못하고 열분해로 인해 공기 중의 산소와 반응하여 산화물을 만들기 용이하다. 즉 열화가 용이하다. 따라서 윤활유의 물성 변화로 그 기능이 상실되어 점도 변화 및 금속부식을 유발할 수 있다. 이에 일차 기능성 첨가제인 산화 경감 및 산화 지연 용 산화방지제를 넣어 열화 및 부식을 방지한다.

한편 유전상수는 전기에너지를 전달하는 정도를 나타내며, 이는 오일의 물성 중 특히 전산가(TAN)와 관련이 깊다. 전산가는 윤활유 중에 포함된 산성물질의 양을 말하며, 산성물질은 전기적으로 양성을 나타낸다. 다

시 말해 전산가는 윤활유의 산화 정도를 나타낸다. 이러한 전산가는 윤활유가 열화 됨에 따라 증가한다. 즉, 산화방지제가 고갈됨에 따라 증가한다. 그러나 사용 초기에 산화방지제가 활성화 될 때는 잠시 동안 감소하는 현상이 나타난다.

따라서 일반적으로 오일 유전상수는 처음에 감소하여 초기값보다 작아지는데, 이는 산화방지제가 활성화 되기 때문이다. 그 후 산화방지제가 충분히 고갈되어 산화물을 축적하게 되어, 오일유전상수는 증가한다.

오일의 사용한계를 판단하는 항목은 점도, 연료 희석량, 오일 내 금속성분, 물과 연료와 soot 및 냉각수 등의 함유량, 불용분, 전산가(TAN) 및 전염가(혹은 전알카리가, TBN) 등과 같이 다양하다.

예를 들어, 전산가는 오일 중의 산성분의 전량으로 나프탄계 첨가제 중의 산성물질, 사용 중에 생성된 유기산 등 전부를 합한 양을 나타낸다. 즉 시료 1 g 중에 포함되어 있는 산성성분을 중화하는 데 필요한 수산화칼륨(KOH)의 양을 mg 수로 표시한다. 본 측정은 상온(room temperature)에서 실시한다. 이러한 전산가로 오일에 포함된 산성 첨가제 양을 조사하거나 사용중인 오일의 산화 정도를 측정에 이용한다. 따라서 윤활유의 정제도의 기준으로 적용하기도 하고, 제조공정의 관리지표, 사용 윤활유의 관리 또는 윤활유의 산화시험이나 실기시험 후의 열화상태를 알기 위한 기준으로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 윤활유가 열화 됨에 따라 전산가는 통상적으로 증가하는 경향을 보이며 가솔린엔진의 경우 신유 대비 3.0 이상 증가하면 교환해야 될 시점이며, 디젤엔진의 경우 신유 대비 2.0 이상 증가하면 교환해야 될 시점으로 본다.

전염가는 오일 중의 염기성 물질의 양을 나타낸다. 즉 시료 1 g중에 포함되어 있는 전 알카리성 성분을 중화하는 데 필요한 산과 같은 당량의 수산화 칼륨(KOH)의 양을 mg 수로 표시한다. 본 측정도 상온(room temperature)에서 실시한다. 천연의 석유 유분 중에는 염기성 물질은 거의 존재하지 않는다. 따라서 전염가는 윤활유에 첨가된 청정분산제의 양의 기준으로 엔진유의 평가나 사용 엔진유의 관리 측면에서 사용되고 있는데, 사용함에 따라 감소하는 경향을 보이며 가솔린엔진의 경우 신유 대비 60% 이하로 감소하면 교환 시점이고, 디젤엔진의 경우 신유 대비 50% 이하로 감소하면 교환 시점으로 본다. 즉 사용유에 있어서 전산가는 윤활유의 산화 상태를 의미하며 전염가는 잔존 청정분산 첨가제의 양을 의미한다.

점도는 엔진 오일 중에 결정체로 존재하는 왁스분의 응결현상을 막아 오일의 유동성을 좋게 해주는 유동성강하제 성분에 의해 결정된다. 윤활유를 사용함에 따라 이 유동성강하제가 고갈될 때 점도는 증가한다. 점도 변화에 따른 교환시점에 대한 추천 값은 가솔린 엔진오일 경우, 40℃에서는 점도의 50% 증가 시와 25% 감소 시가 교환시점이며, 100℃에서는 점도의 35% 증가시가 교환시기이고, 디젤 엔진오일 경우, 40℃에서는 점도의 35% 증가 시와 25% 감소 시를 교환시점으로 보며, 100℃에서는 점도의 25% 증가 시를 교환시기로 본다.

이와 같이 엔진 내 오일 첨가제의 퇴화 상태, 온도 변화상태 및 유입물의 혼합상태 등에 따라 엔진오일의 유전상수 값이 변화하게 되는데 이를 본 필터-센서의 전극을 통해 측정하게 되며 이를 전기적인 신호로 변환시켜 그 값의 변화 정도에 따라 엔진오일의 퇴화상태를 판단하는 것이다.

예를 들어, 본 연구자의 선행 연구결과[22,23], A사 가솔린엔진오일 C에 대해서는 차량의 오일교환주기 내에서, 오일의 유전상수 변화 범위는 정상운전상태 일 때 80℃에서 신유대비 4% 이내로 증가한 1.95~2.3 범위에 있다고 볼 수 있었다.

A사 디젤엔진오일A에 대해서는 차량의 오일교환주기 내에서, 오일의 유전상수 변화 범위는 정상운전상태 일 때 80℃에서 신유대비 10% 미만으로 증가한 약2.0~2.45 범위에 있다고 볼 수 있었다.

또한 B사 디젤엔진오일 B에 대해서는 차량의 오일교환주기 내에서, 오일의 유전상수 변화 범위는 정상운전상태 일 때 80℃에서 신유대비 10% 미만으로 증가한 2.0~2.4 범위에 있다고 볼 수 있었다.

2-2. 센서 구성

본 연구는 오일필터 내에서 필터링이 된 이후의 엔진오일의 퇴화 상태를 감지하는 센서 및 센서 제어용 회로를 설계 및 개발하는 것으로 Fig. 1의 개략도와 같은 오일필터 일체형 엔진오일퇴화감지센서(필터-센서)를 제작하는 것이다. 즉, Fig. 1에서 보는 바와 같이 본 필터-센서는 외벽과 내벽이 동심원으로 설계되어 있고 내벽 안쪽에는 필터 엘레멘트를 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 있으

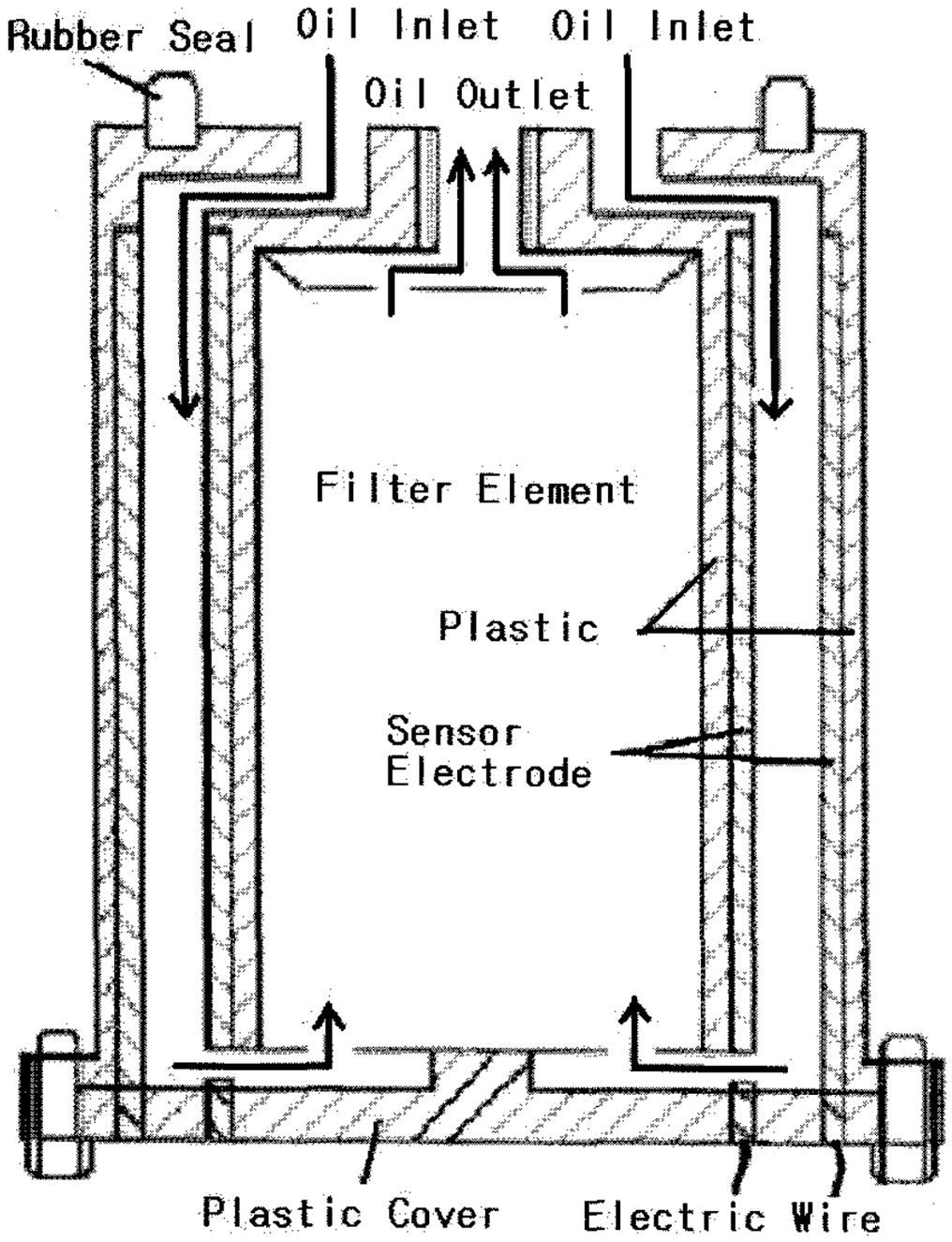

Fig. 1. Schematic diagram of a filter-sensor.

며 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-센서 본체의 재질은 전기절연체이며 내 고온성이 좋은 플라스틱 재질을 선택하여 사용하며, 전극 또한 저 열팽창률 금속 재질을 사용하한다. 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-캔을 교환할 수 있다. 본 필터-센서의 크기는 직경 및 높이가 기존의 필터 크기와 유사하며, 쉽게 장착 및 탈착이 가능하게 되어있다.

한편 본 필터-센서의 외관 규격은 다음과 같다. 엔진 쪽에 부착되는 부위의 크기와 모형은 현재 공급되고 있는 자동차용 오일필터의 규격 및 형상이 같게 하고자 한다. 두 센서 전극 사이에 담을 수 있는 오일의 양은 20~30 cc정도가 되게 두 전극 사이의 간극을 설

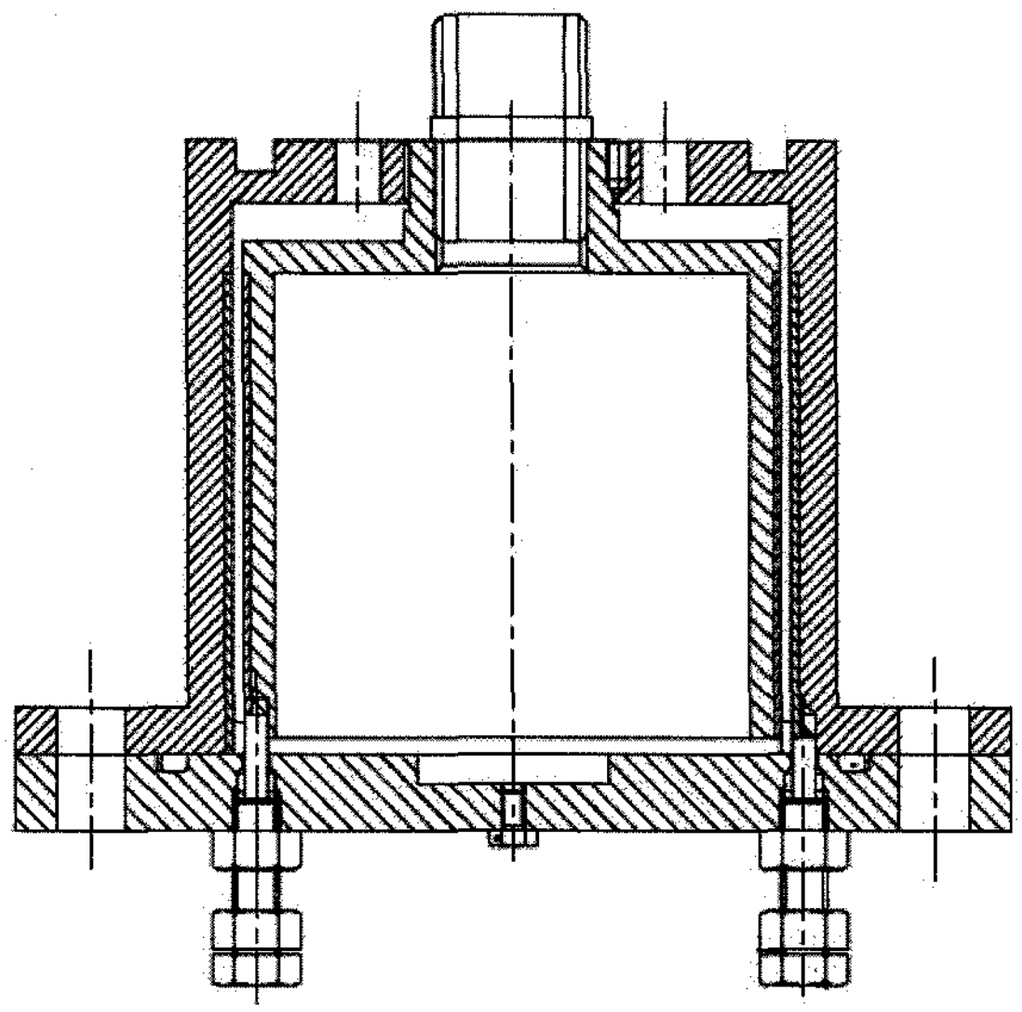

Fig. 2. The Cross section of a designed sensor tube.

계하고자 하며, 이로부터 필터-센서의 높이가 결정된다.

현재까지 Fig. 2와 같은 단면을 갖는 오일필터-센서를 프라스틱 가공방법으로 제작한 초기 시작품(Pre-Proto)과 2차 시작품(2nd Proto)을 제작하였다. 2차 시작품에서는 초기 시작품 제작을 통하여 고려치 못한 신호교란을 안정시킬 전자파 차폐판을 센서 외벽 및 내부에 설치하여 접지선으로 연결하여 측정값을 안정시켰으며, 내부의 전극판에 절연체인 테프론 코팅을 하여 금속 이물질로 인한 두 전극간의 단락현상을 미리 차단했으며, 전극판에 연결된 전극을 뚜껑 밖으로 뽑아내는 방법을 개선하여 단선 되거나 잘 못 접속되어 단락되는 현상을 개선하였다.

2-3. 유전상수 측정이론

동심원 사이의 유체에 대한 유전상수(dieletric constant)는 측정한 정전용량 C_x을 이용하여 다음과 같은 식으로 계산하였다. 즉, $\varepsilon_r = C_x(\text{oil, air, etc.}) / (\varepsilon_0 \times l) / (\ln(r_o/r_i))$

여기서 ε_0는 공기의 유전율(permittivity)이고, 그 값은 $8.85418782 \times 10^{-12}$ $(V^{-1}m^{-1})$이다. ε_r은 유체의 유전상수이다. l은 센서부의 높이 이고, r_i과 r_o는 각각 동심원 센서 전극의 내측 경과 외측 경이다. 한편 유체 유전상수 ε_r은 다음과 같이 정의된다. 즉 $\varepsilon_r = \varepsilon / \varepsilon_0$이다. 여기서 ε는 유체의 유전율이다. 공간 내 공기만 있는 경우의 일반적인 유전상수는 대기압 20°C에서 1.00054이다.

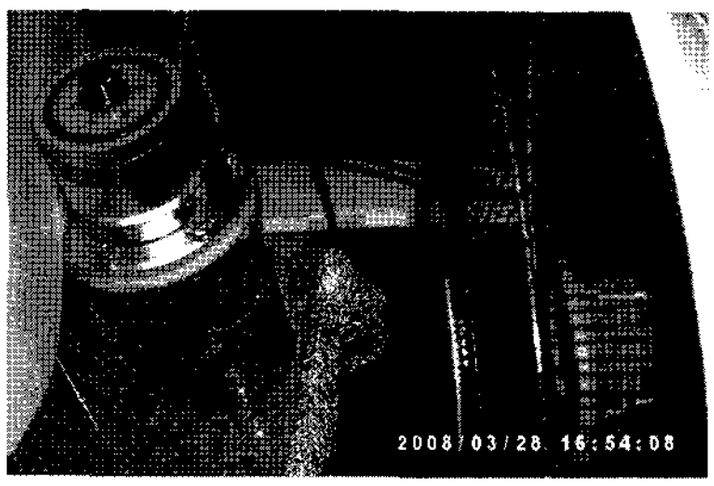

Photo 1. The measurement of oil capacitance with an sensor on a table.

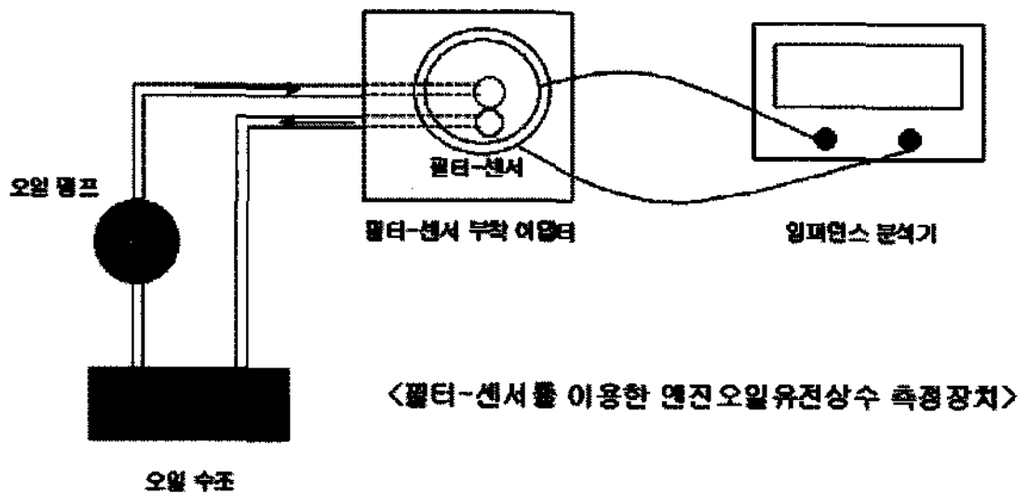

Fig. 3. Schematic diagram of an engine oil circulating test rig.

2-4. 시험방법

우선 오일이 채워지지 않은 2차 시작품을 Photo 1와 같이 비이커 위에 올려놓고 공기에 대한 유전상수를 측정하여 센서 정확도를 확인 한다.

다음으로 센서에 엔진오일을 채워 비이커 위에 올려놓고 엔진오일의 유전상수를 측정하였다. 이 엔진오일의 유전상수 측정값은 향후 리그에서 실시하는 측정시험에 대한 기준값으로 사용될 것이다.

더 나아가 센서를 Fig. 3와 Photo 2과 같은 엔진윤활시스템 리그시험기에 부착하여 오일을 순환시킨 뒤 정지 후, 출구 및 입구의 밸브를 잠가 가능한 오일필터 내 전극 틈새를 엔진오일로 완전히 채운 상태에서

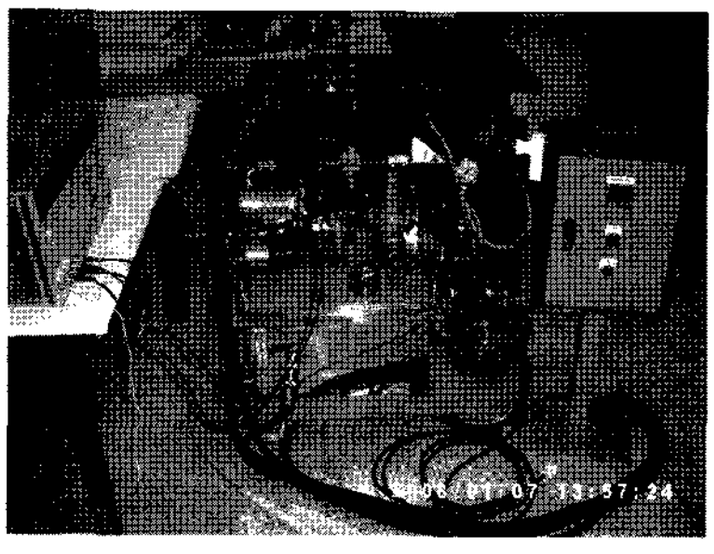

Photo 2. Engine oil circulating test rig.

Photo 3. Dielectric constant measuring system for engine oils in a laboratory.

엔진오일의 유전상수를 측정한다. 즉 엔진과 유사한 리그시험기에 부착한 상태에서의 유전상수 값이 안정적으로 신호가 나오는 지를 확인한다.

측정온도는 Photo 1과 같이 히터를 사용하여 약 50°C 근처까지 만 가열할 수 있었다. 그러나 향후 리그에서는 오일탱크 내 히터가 장착되어 있어 100°C 근처까지도 측정이 가능하다.

3. 측정결과

위의 시험 방법에 따라 측정한 정전용량으로 유전상수 값을 구한 결과는 다음과 같다.

3-1. 공기 유전상수 측정

우선, 본 시작품 오일필터-센서를 이용해 측정한 공기에 대한 유전상수 값은 주파수가 200~500 kHz 범위에서 일반적인 공기의 유전상수 값(1.00054 @ 20°C, 대기압)과 일치하는 유전상수 값을 나타냈다.

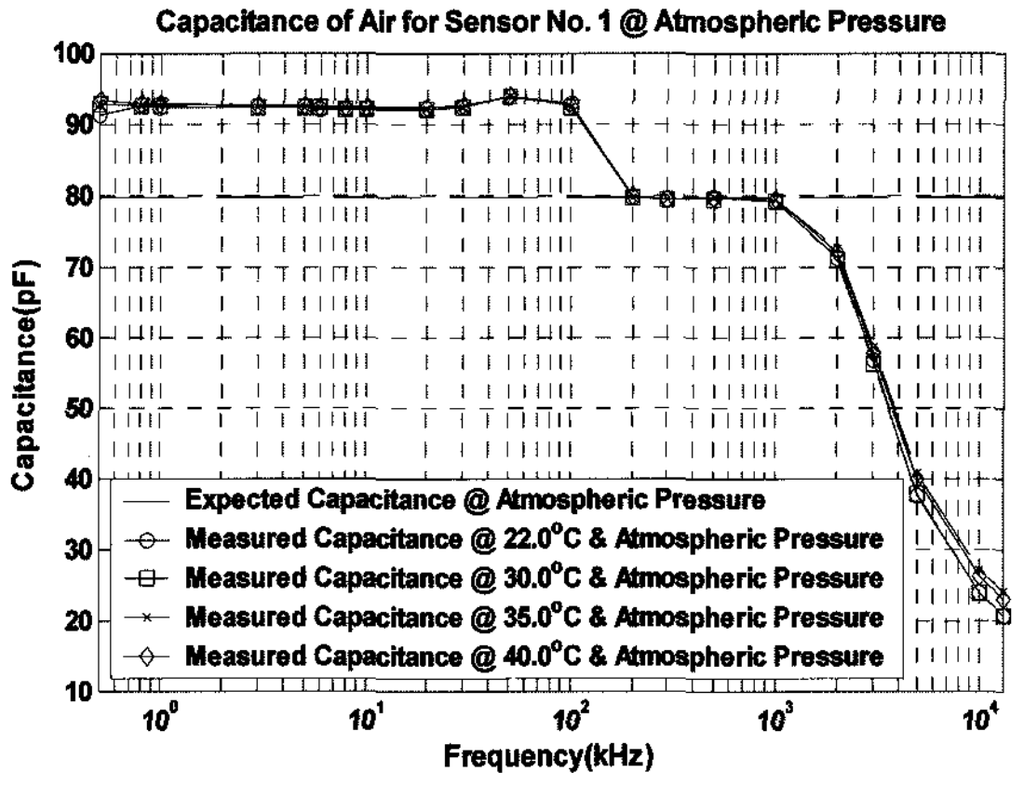

Fig. 4. Capacitance of air measured with a oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

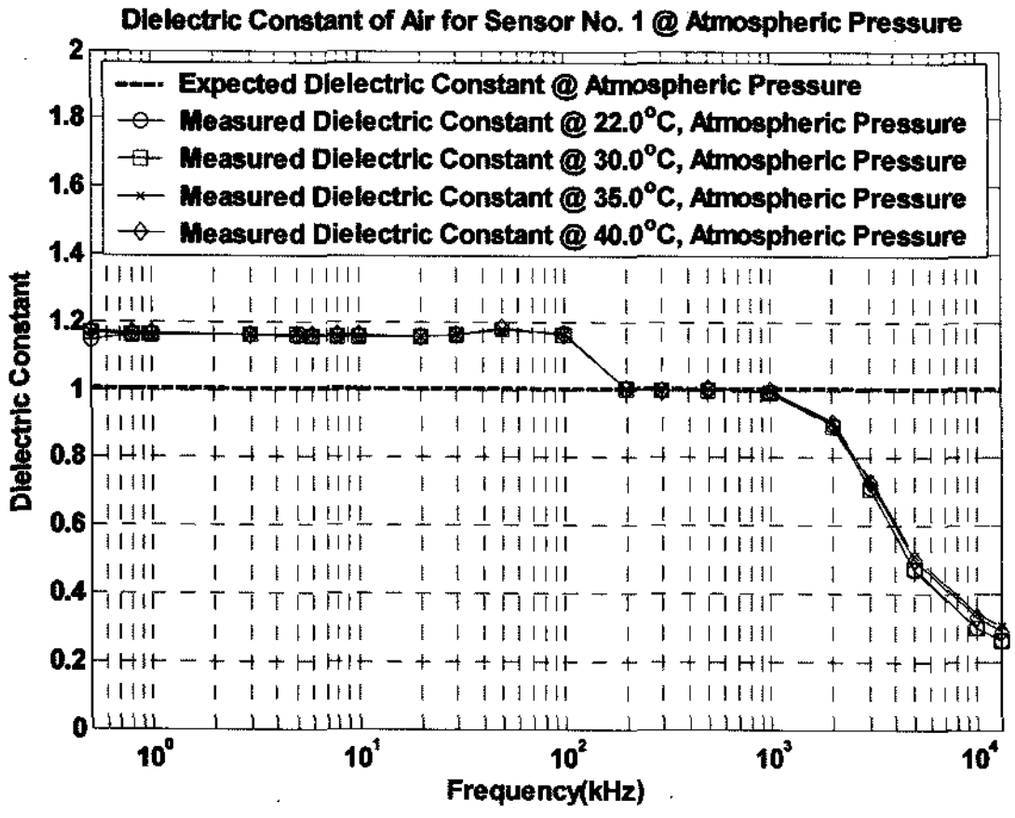

Fig. 5. Dielectric constant of air measured with a oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

3-2. 엔진오일 유전상수 측정

오일필터-센서에 엔진오일을 채워 비이커 위에 올려 놓고 엔진오일의 유전상수를 측정한 결과, Fig. 6과 Fig. 7에 도시한 엔진오일의 유전상수 측정값을 얻었으며, 향후 리그에서 실시하는 측정시험에 대한 기준값으로 사용될 것이다. 여기서 선행연구결과인 실험실용인 센서튜브로 측정한 엔진오일(Oil B)의 신유 유전상수 값은 20 kHz, 40°C에서 2.2인 것으로 나타났으며, 현재 개발 중인 오일필터-센서로 측정한 유전상수의 값은, 오일온도가 20~40°C에서 주파수가 20~30 kHz일 때는 유전상수 값이 약 2.5정도의 안정된 값을 나타내고 있고, 주파수가 200~300 kHz일 때는 약 1.8 정도

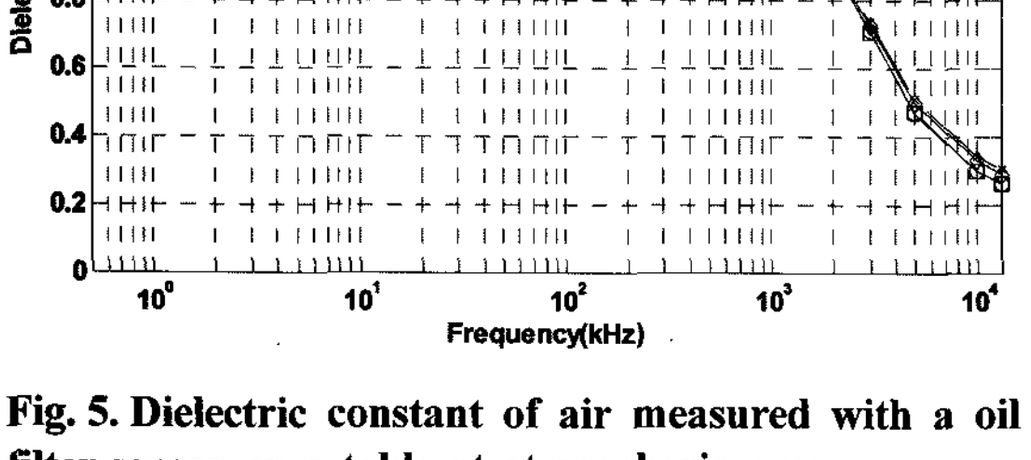

Fig. 6. Capacitance of engine oil measured with a oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

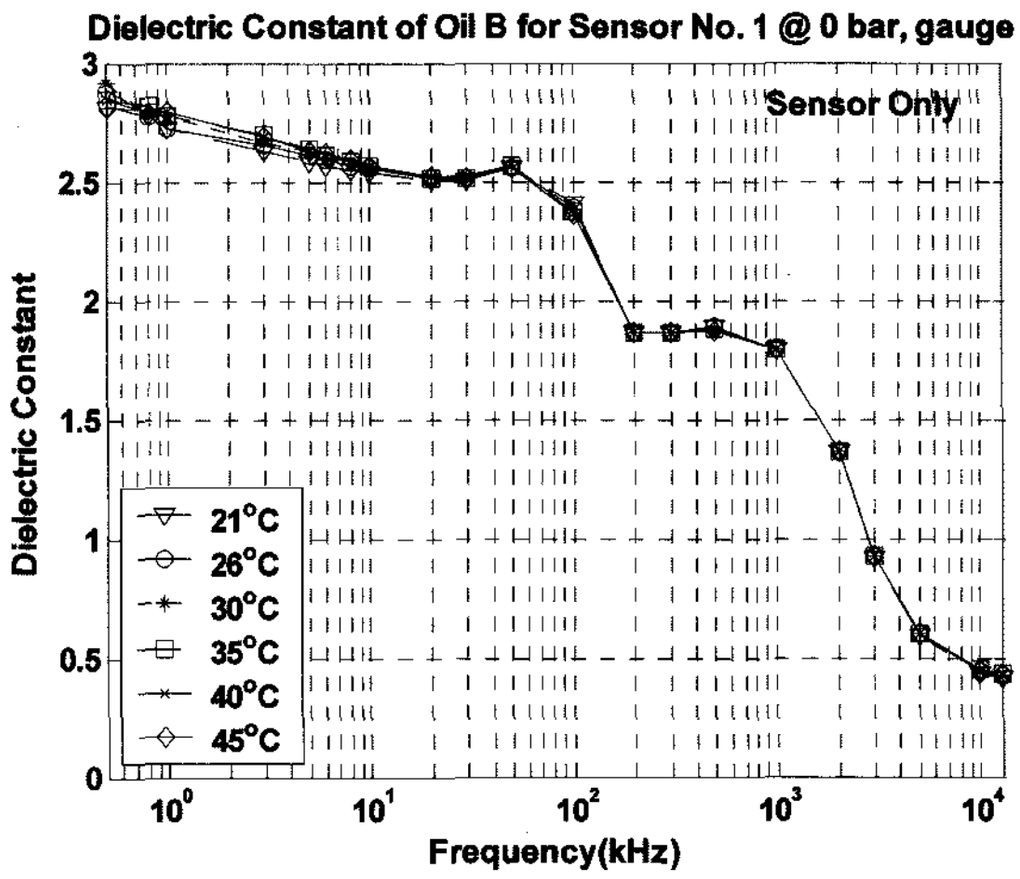

Fig. 7. Dielectric constant of engine oil measured with a oil filter-sensor on a table at atmospheric pressure.

의 안정된 값을 나타내고 있다. 향후 이 두 주파수 대역에서 측정한 값들 중 한 대역에서 측정한 값을 센서튜브로 측정한 값을 기준으로 보정하여 엔진오일들의 유전상수 값을 얻을 것이다.

한편, 센서를 Photo 2와 같은 엔진윤활시스템 리그 시험기에 부착하여 오일을 순환시킨 뒤 정지 후, 출구 및 입구의 밸브를 잠가 가능한 오일필터 내 전극 틈새를 엔진오일로 완전히 채운 상태에서 엔진오일의 유전상수를 측정한 결과는 Fig. 8과 Fig. 9에 도시되어 있으며, 센서 단품에서 측정한 값과 잘 일치하고 있다.

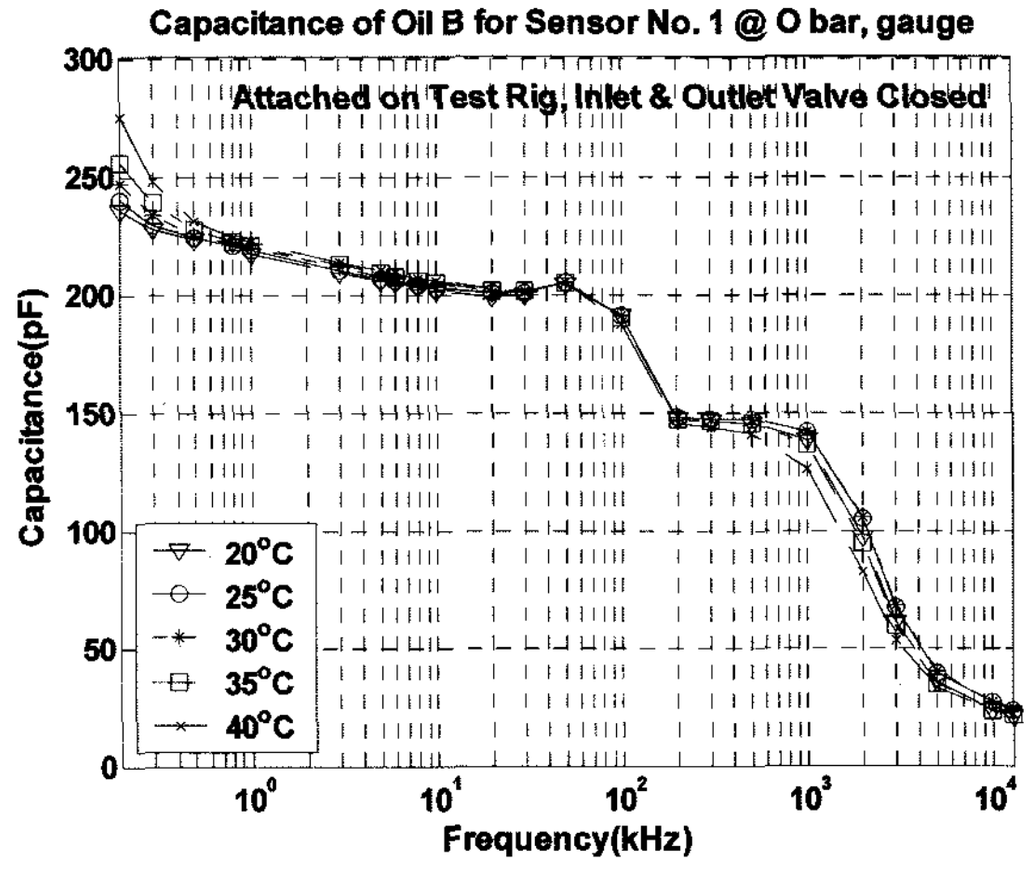

Fig. 8. Capacitance of engine oil measured with a oil filter-sensor attached on a test rig at atmospheric pressure.

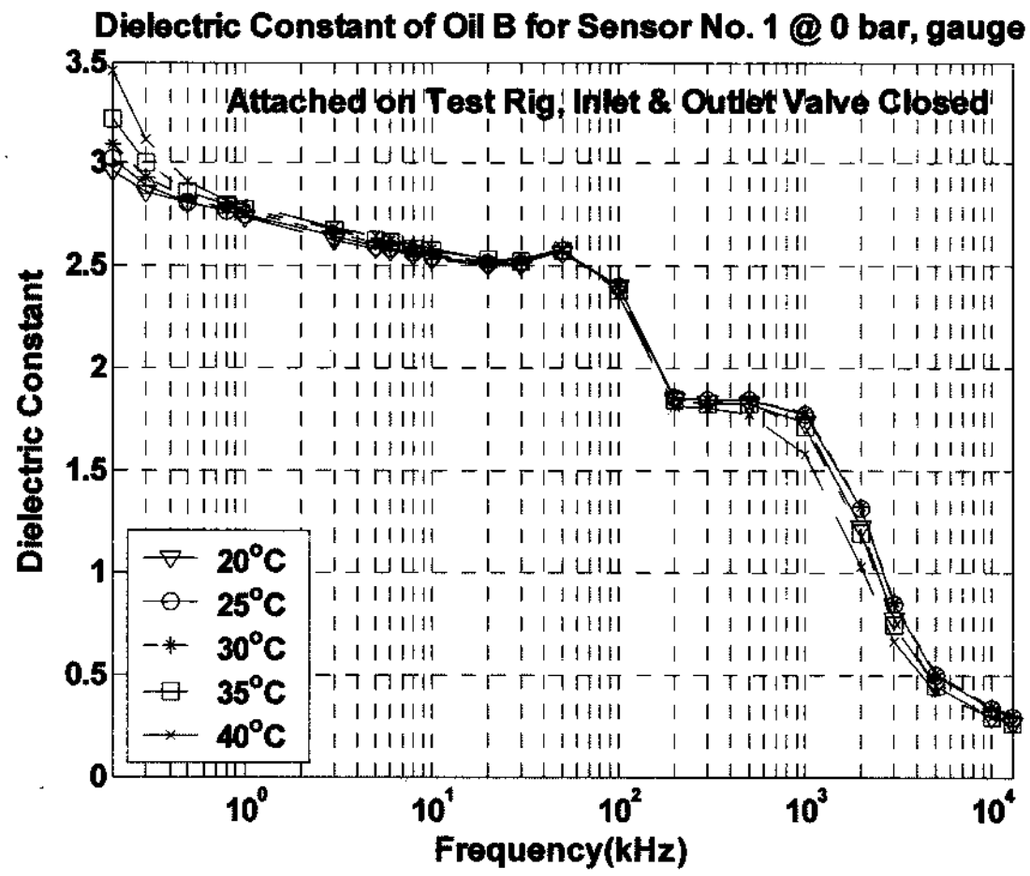

Fig. 9. Dielectric constant of engine oil measured with a oil filter-sensor attached on a test rig at atmospheric pressure.

한편 2차 시작품에도 개선할 점이 발견되었다. 즉 오일필터-센서의 커버 중심부가 필터 엘레멘트의 위치를 고정하기 위해 파낸 관계로 얇아져서 고압(약 5 bar) 상황에서 밖으로 튀어나오는 현상이 있어 내부 차폐판에 연결하는 접지선 전극이 단선되는 현상이 일어나 이 상전기신호가 측정되었다. 또한 센서 전극판과 연결된 전극이 압력에 의해 단선되는 현상도 발생했다. 또한 센서 갭 간극을 균일하게 유지하기 위한 고정 돌기를 커버에 붙여 센서의 신뢰성과 정도를 높이고자 하며, 이러한 개선사항을 플라스틱 진공주조로 제작하는 작업을 진행 중이다. 이 3차 시작품의 제작이 완료되는 대로 윤활시스템 리그 시험기에 부착하여 대기압 이상의 압력하에서 유전상수 측정시험을 계속 진행할 예정이다.

4. 결 론

대기압 하에서 현재까지 공기 및 엔진오일에 대한 유전상수를 측정한 결과, 본 오일필터-센서 시작품으로 대기압 하에서 측정한 공기 및 엔진오일의 유전상수 값은 신뢰할 만한 값을 보이고 있으며, 향후 개선된 오일필터-센서로 대기압 이상에서 엔진오일의 유전상수 값을 측정할 예정이다.

후 기

이 논문은 2007년 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-521-D00042).

참고 문헌

1. John J. Henry, Robert W. Johnson and James B. Mankin, "Apparatus for Measuring the Dielectric Constant of Oil Utilizing an Active Filter coupled to a Tuned Oscillator", U.S. Patent No. 3,238,453, Issued March 1, 1966.
2. S. Yasuhara, H. Kobayashi, T. Kita and H. Saito, "Oil Deterioration Sensor", European Patent Application No. 82110482.5, Pubrication No. 0080632, 1983.
3. W. H. King, "Method for Determining Minimum Lubricating Oil-film Thickness under Operating Engine Conditions Using Electrical Capacitance", U.S. Patent No. 4,443,754, Issued Apr. 17, 1984.
4. T. Kato, "Method and Apparatus for Evaluating the performance of Dielectric Substances", European Patent Application No. 84102243.7, Publication No. 0121739, Nov. 17, 1984.
5. A. H. Meitzler and G. S. Saloka, "Method and Apparatus for Sensing the Condition of Lubricating Oil in an Internal Combustion Engine", U.S. Patent no. 4,733,556, Issued Apr. 29, 1988.
6. Shirley E. Schwartz and Donald J. Smolenski, "Development of an Oil-Change Indicator System", SAE Technical Paper Series No. 870403, 1987.
7. T. Kato and M. Kawamura, "Oil Maintenance Tester: A New Device to Detect the Deterioration Level of Oils", Lubrication Engineering, Vol. 42, No. 11, pp 684-698, 1986.
8. R. Thom, K. Kollmann, W. Wameke and M. Frend, "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life", SAE Technical Paper Series No. 951035, 1995.
9. G. S. Saloka, and A. H. Meitzler, "A Capacitive Oil Deterioration Sensor", SAE Technical Paper Series No. 910497, 1991.
10. M. Tomita, H. Kamo, Y. Nomura, M. Nozawa, S. Yamaguti and Y. Toda, "Study on Deterioration of Engine Oil and Its Sensing", JSAE Review, Technical Notes, Vol. 16, pp. 283-301, 1995.
11. 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. 970847, SP-1220, 1997.
12. S. S. Wang, "A Physical Model for the Engine Oil Condition Sensor", STLE 56th Annual Meeting, Preprint No. 01-AM-19, Presented Only, 2001.
13. Oil Sensor, Hella Electronics' Internal Presentation

Materials, 2005.
14. 문수환, 강정호, 박세광, "자동차 엔진오일 열화 감지용 빗살형 마이크로 센서 개발", 센서기술 학술대회 논문집, 제11권, 제1호(11월), pp. 115-119, 2000.
15. 이래덕 외 5명, "자동차용 엔진오일의 열화 상태 측정 센서", 한국특허 등록번호 10-0302643 (20010704), 문서번호 KPTN200107302643, 2001.
16. 이래덕 외 5명, "자동차용 엔진오일의 열화상태 측정용 코일형 센서", 한국특허 등록번호 10-0331720 (20020326), 문서번호 KPTN200203331720, 2002.
17. 이래덕 외 5명, "자동차용 엔진오일의 열화 상태 측정 센서", 한국특허 등록번호 10-0345436 (20020709), 문서번호 KPTN200207345436, 2001.
18. 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.
19. 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., "크로스 커패시터 원리를 이용한 액체의 유전상수 정밀측정", 새물리(한국물리학회지), 제40권, 제2호, pp. 97-101, 2000.
20. 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., "전기용량 측정에 의한 자동차 엔진오일 열화상태 분석연구", 새물리(한국물리학회지), 제42권, 제4호, pp. 216-220, 2001.
21. 전상명, "엔진오일의 유전상수 변화에 관한 연구", 한국윤활학회지, Vol. 22, No. 2, pp. 99-104, 2006.
22. 전상명, "오일의 화학적 및 물리적 변화에 의한 퇴화 정도와 유전상수 변화에 관한 상호관계 연구-가솔린엔진오일", 한국윤활학회지, Vol. 22, No. 5, pp. 260-268, 2006.
23. 전상명, "엔진오일의 화학적 및 물리적 변화에 의한 퇴화 정도와 유전상수 변화에 관한 상호관계 연구-디젤엔진오일", 한국윤활학회지, Vol. 22, No. 5, pp. 290-300, 2006.