딥스틱게이지형 소형 엔진오일열화감지센서 개발

전상명[†]

호서대학교 기계공학부 자동차공학전공

Development of a Dipstick Gage Type Small Engine oil Deterioration Detection Sensor

Sang Myung Chun[†]

Department of Automotive Engineering, Hoseo University

(Received January 20, 2013 ; Revised February 25, 2013 ; Accepted February 26, 2013)

Abstracts – A small engine-oil-deterioration detection sensor was developed and installed at the tip of a dipstick gage. The sensor part was manufactured using printed circuit board (PCB) manufacturing technology. A set of sensor covers was installed in order to protect the sensor and realize good signal stability. The small engine-oil-deterioration detection sensor system comprised a dual sensor having etched copper electrodes coated with gold and ceramic, a flexible PCB (FPCB) acting as electric wire, and a dummy PCB with only a lock connector. The sensor can easily be installed by insertion through the guide tube of a dipstick gage. Thus, a driver can easily handle it without further installation equipment. The sensor can determine the level of deterioration in the engine oil by estimating the corresponding dielectric constant of the engine oil.

Keywords – capacitance sensor(정전용량센서), engine oil deterioration(엔진오일열화), dipstick gage(딥스틱 게이지), PCB etched electrode(PCB 에칭 전극), FPCB wire(FPCB 전선), ASIC digital converter(ASIC 디지털 변환기)

1. 서 론

현재 해외 자동차 제조업체들은 오일 팬 내에 부착하는 오일열화감지센서를 개발 완료한 상태이며 차량에 탑재되어 필드 모니터링을 하고 있으며, 국내에서도 실차에 적용하기 위해 국내 자체 개발된 센서 및 해외업체 센서 제품들이 경쟁하고 있는 상황이며, 실차에서 실험하고 있는 단계이나 상품화되어 양산 차에는 장착되어 시판되지는 않고 있다. 특히 다양한 성분의 엔진오일에 대해 포괄적으로 적용할 수 있는 판단 알고리즘이 아직 미비하며, 주변 환경과 운전 환경에 따라 센서의 신호가 일관성이 없는 문제로 인한 센서 신호 신뢰성 문제를 극복하지 못한 상태이다.

한편 엔진오일열화감지센서의 실차 장착이 되면 갖은 엔진 오일 교환에 따른 시간과 경비손실을 방지할 수 있으며, 운전자에게 오일 교환 시기를 놓치는 불안감을 없앨 수 있다. 또한 엔진오일 자원의 낭비를 방지할 수 있다. 나아가 엔진오일의 품질을 모니터링 함으로 엔진의 내구성을 향상시키고, 오일 성능을 관리하여 연비가 저하되는 것을 막을 수 있다.

향후 진보된 OBD(On-Board Diagnostics) 시스템의 등장과 관련하여 오일로부터 야기되는 연비 및 환경관련 문제가 본 센서의 신뢰작동과 맞물려 국내 자동차 제조업체의 판매 전략상 필요할 것으로 예상된다. 또한 엔진오일열화감지센서를 개발완료한 해외자동차업체가 국내 수입차 및 국내 생산차량에 적용 시에는 국내 자동차업체에서도 시장선점을 위해 전략상 필요할 것이다. 따라서 국내 기술로 개발한 엔진오일열화감지센서 시스

[†]주저자 · 책임저자 : smchun@hoseo.edu

템의 개발이 요구된다. 또한 엔진오일의 열화정도를 실시간 예측하여 제조업체의 차량-오일개발시험 후 설정한 오일교환주기를 충분히 견뎌를 보임으로, 엔진오일 자원의 낭비를 줄일 수 있다.

본 엔진오일열화감지센서에 관한 국내외 연구는 다음과 같다. 먼저 국외에서는 60년대 중반[1]에 시작하여 80년대 초반에 이르러 본격적으로 실시간으로 엔진오일의 상태를 모니터링 하고자 하는 노력[2-7]이 심도 있게 진행되기 시작하였고, 90년대 중반에 오일교환주기에 대한 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 전기저항(resistance) 및 임피던스(impedance)[9], 정전용량(capacitance) 및 손실계수(Tan Delta 값)[10-12], 유전상수(dielectric constant)[1-7,13,15-16], 초음파(ultrasonic)[17] 및 광반사(light reflecting)[14]를 이용하여 오일레벨 및 오일품질을 측정하는 방법들이 소개되고 있다. 이러한 전기적 상수의 변화는 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 필요하다는 것을 연구[13,15]를 통해 알아내었다. 이러한 연구를 바탕으로 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일교환주기 판단 시스템들이 제작되어 심심치 않게 실차에 적용되어 모니터링 되고 있다.

한편 국내에서는 엔진오일의 전기적 특성을 이용하는 방법보다는 종전의 유면표시기, 주행거리, 점도 등의 엔진오일에 대한 하나의 물리적 특성을 감지하여 그것을 전기적 신호로 바꾸는 정도의 수준이었으나, 근래에 전기적 특성을 측정하여 엔진오일의 상태를 감지하는 연구들이 진행되어 왔다. 즉, 전기전도계수(conductance)[18-20], 정전용량(capacitance)[21,22,25], 유전상수[23-39] 등으로 엔진오일의 품질을 판단하고자 했다. 문헌[19]에서는 탄소나노튜브를 스크린 프린팅 하여 소결시킨 판형태의 컨덕턴스 감지막을 이용하여 오일의 전기전도계수(conductance)를 측정 후 전산가(TAN)와 연계하여 오일의 열화 상태를 판단하였고, 소형의 센서로 제작이 가능하다는 장점이 있으나, 오일이 잠기는 나노스케일의 틈들이 이물질로 막혀, 센서의 수명이 한정되어 교체해야 한다는 단점이 있다. 이 센서의 특징은 원통형 중공형상인 스틱 본체를 SUS 재질의 스프링으로 감

고, 딥스틱 끝에 판형태의 전기전도계수 감지막을 붙여 적용[20]한 것이다. 또한 여러 가지 물리적, 화학적 변화와 유전상수변화를 연계하여 엔진오일의 퇴화정도를 알아내는 연구노력 [23-39]이 진행되어진 바 있다. 특히 특허로 등록된 오일 팬 드레인 밸브 일체형 크로스커패시턴스형 센서[23,24]가 있으나, 이는 나사형상의 본체에 전극와이어를 이중으로 감아서 제작되어 그 제작이 까다로워 일정한 규격을 갖는 센서 제작이 어렵다. 따라서 생산성이 좋지 않아 양산을 포기한 상태이고 실차 적용이 되지 못하고 있다. 또한 최근 오일팬 드레인밸브 일체형 오일열화감지센서가 개발[25]되었는데 내열성 종이 에폭시 적층판으로 제작된 전자회로기판에 도금 전극으로 센서를 만들었고, 엔진오일교환 기준은 정전용량 값 변화가 두 번째 변곡점(peak 점)에 도달할 때로 제시하였다. 현대기아 자동차에서는 감광성 폴리머를 이용한 빗살형 마이크로 센서[22]를 자체 제작하여 엔진오일의 열화정도를 판단하고자 했으나 아직 다양한 엔진오일에 대한 신뢰할 수 있는 센서의 판단기준을 제시할 만한 체계적이고 신뢰할 만한 알고리즘 개발 연구가 미흡한 실정이다. 따라서 엔진오일 퇴화 감지센서 및 엔진오일교환주기 판단 시스템을 실차에 적용하는 데 까지는 미치지 못하고 있다.

또한 본 저자는 문헌[30-32]에서는 오일유전율변화를 기초로 한 오일열화 판단 기준을 설정하는 데이터를 구축한 바 있다. 나아가 문헌[33,34]에서는 오일필터 일체형 엔진오일열화감지센서를 개발하여 범용임피던스 분석기를 사용하여 센서본체의 안정된 정전용량 측정 가능성을 보였으며, “엔진오일의 품질검사가 가능한 오일필터 조립체와 그 방법”란 국내특허(10-2007-0043118)[35]를 출원 및 등록되었다. 나아가 필터-센서 전용제어회로 및 엔진오일 품질 모니터링장치를 PCB와 BNC소자를 이용하여 일체형으로 제작하여 상용화 센서개발을 위한 Tool로서 개발[37-39]하였다. 또한 딥스틱게이지의 끝단에 동심원 및 박판형 형상의 센서를 붙인 엔진오일열화감지센서도 국내특허 출원[40]되었다.

특히 본 연구로 개발한 딥스틱게이지형 소형오일열화감지센서는 기존 딥스틱게이지 유입구로 집어넣어 엔진오일의 열화정도를 파악하므로 고객들이 별도의 센서 설치 작업이 없이 쉽게 사용할 수 있다. 따라서 장착성이 좋기 때문에 자동차 OEM(Original Equipment Manufacturing) 제조사뿐만 아니라 AM(After Market)에서도 설치가 용이하여 내수 및 수출 시장 파급효과가 클 것이라 예상된다.

2. 센서 개발

2-1. 센서 소재 및 형상

본 오일열화상태 감지용 딥스틱게이지형 소형센서의 개략도는 Fig. 1과 같으며, 엔진오일의 열화정도를 감지하는 센서부, 센서신호 제어부 및 무선송신부 그리고 도선 연결부로 구성된다. 센서부는 박판형 전극으로 두 개의 센서(dual sensor)로 구성되며, 전극의 기저소재(base material)는 고온에서 견디는 절연체인 High Tg FR4 혹은 ceramic으로 한다. 센서전극 및 접지전극은 기저소재인 FR4류 혹은 ceramic 판에 동판을 에칭 후 금도금을 하여 사용하며, 이물질에 의한 마주보는 전극의 단락을 방지하기 위해 금도금된 에칭 동판에 세라믹 혹은 테프론 코팅을 한다. 특히 본 코팅에 의해 FR4류 기판의 오일과의 접촉으로 인한 화학적 변형도 막을 수 있다. 온도센서는 그 전극단자를 센서부 전극단에 구성된 온도 신호선에 납땜(soldering)하여 전극 센서부 커버 케이스(Fig. 1) 내부에 안착한다. 전극과 손잡이 박스 내 제어부를 연결하기 위한 전선으로는 FPCB를 사용하며, 전선 단자는 온도센서 전극, 정전용량 센서 전극 및 접지전극 단자들로 구성된다. FPCB는 납땜 혹은 편 연결방법으로 센서부의 단자에 부착하고, 손잡이 박스 내의 제어부 전극 단자와 FPCB는 Lock 커넥터를 사용하여 연결한다. 게이지 철심을 따라 유도되는 FPCB 보호를 위해서 게이지 철심과 함께 열 수축 비닐 튜브를 입힌다. 또한 센서부 커버 케이스를 부착하여 센서부를 보호하고 신호를 안정되게 한다. 커버 재질은 고온에서 견디는 플라스틱 계통을 사용한다.

2-2. 센서 제조 방법

센서 신호가 안정적이고 상품성 있는 소형센서를 제조하기 위하여 PCB 제작기술을 응용한 소형 정전용량 센서의 제조절차는 Fig. 2와 같다.

즉, 본 센서는 FR4류(혹은 세라믹) 기판 설계 및 제단 기술 이용, 동판 에칭 전극 형성 기술 적용, 세라믹(혹은 테프론) 코팅 기술 적용, 고온에 견디는 소형 센서부 정밀 커버 케이스 제작 및 조립 기술 적용, 열 수축 튜브 조립 및 수축 기술 적용, 쉴드 전선인 FPCB 제작 및 그 접합 기술을 적용하였고, 센서 완성품은 납땜 지그 혹은 편 연결용 지그, 센서부 조립지그 및 검사지그 등을 이용하여 제작한다.

또한 센서부에 커버를 붙임으로 센서 장착 및 탈거

Fig. 1. Sensor layout.

시 접촉 충격으로부터 보호하고, 커버하단에 돌기를 만들어 센서 틈새에 끼워 센서 전극 간극이 일정하게 되어서 안정적인 신호가 가능한 소형정전용량센서를 제작하였다. 또한 조립된 커버 좌우측에는 오일의 흐름이 좋도록 오일 유입구 및 유출구가 구성되도록 하였다.

본 제조과정의 주요 공정은 다음과 같다.

- 1) High Tg FR4(170°C 견딤) 혹은 세라믹 기판을 이용한 센서전극 제작 공정. 즉 기판(FR4류 혹은 세라믹) 배치 설계 및 setting, 동판 에칭 후 금도금 작업, 세라믹(혹은 테프론) 코팅, 기판 홀 가공 그리고 기판 절단하여 개별 전극 완성하는 공정이다.
- 2) 온도 센서의 전극선 길이를 적절하게 절단 후 전극 신호선을 납땜 부착하는 공정.
- 3) FPCB 센서 신호선 제작공정. 즉, FPCB 원단에 동판 에칭 후 금도금 그리고 접지선 및 신호선 홀 가공하는 공정이다.
- 4) Soldering 혹은 편 연결방법으로 전극 신호선과 FPCB를 연결하는 공정.
- 5) PA66 계열 재료로 센서부 케이스를 제작하는 공정.
- 6) SUS류 재질로 게이지 철심을 제작하는 공정 즉, 철심 제작-절단 및 가동부 고정홀을 가공하는 공정이다.

Fig. 2. Manufacturing procedure of the sensor system.

7) 고정핀으로 전극과 FPCB와 철심 그리고 케이스를 조립하는 공정.

8) 조립된 FPCB와 철심에 열수축 튜브 삽입 및 열풍기로 가열 고정하는 공정.

9) PA66 계열 재료로 제어부 박스 제작 공정. 즉, 조립된 FPCB와 철심을 제어부 하단 박스에 인서트 사출로 조립 제작하는 공정이다.

10) 제어부 회로 보드(PCB) 제작 공정. 즉, High Tg FR4 혹은 세라믹 기판 원단 선정, 동판 에칭 후 금도금, 기판 신호선 및 홀 가공, SMT 조립 및 SW Porting 그리고 제어부 커넥터에 FPCB를 Lock으로 연결하는 공정이다.

11) 국내외 인증(KC/EC/FCC 등) 및 완제품 시험 테스트(QC) 후 완제품 포장 및 반출 과정 등이다.

3. 결 과

3-1. 실험장치

공기 및 엔진오일에 대한 정전용량 측정실험은 목업으로 제작한 세라믹으로 코팅된 듀얼센서를 이용하였

Photo 1. Capacitance measuring test rig.

으며, 전용제어회로 없이 보조(dummy) PCB 내에 설치된 연결 lock을 이용하여 FPCB 전선을 연결하였고, 정전용량 측정 장비는 HP 임피던스 분석기(Impedance

Fig. 3. Capacitance of air and a engine oil to each composed part.

Analyzer)를 이용하였다. 실험 장치는 Photo 1에 도시된 바와 같다. 상온에서의 공기 정전용량 측정 시는 가열용 오일배스 내로 삽입한 수정유리튜브에 센서를 넣고 상온에서 측정하였으며, 오일의 정전용량을 측정 시는 수정유리튜브 내에 오일을 넣어 측정 하였다. 각 경우의 온도 변화에 따른 정전용량 측정 시는 가열용 오일배스 내 증탕오일을 5°C씩 가열해 가며 정전용량을 측정하였다. 이때 온도는 별도의 온도센서를 정전용량센서와 함께 넣어 측정하였다.

3-2. 실험결과 및 분석

본 시험용 목업 센서의 신호를 측정하기 위한 구성품은 세라믹 코팅한 동판 에칭 전극, 전극과 전선의 납땜 연결, FPCB(Flexible PCB) 전선, 연결 Lock을 장착한 모조 PCB, BNC 케이블 등이고, HP 임피던스 분석기로 측정하였다. 따라서 이들 여러 연결부위들로 인하여 센서 내의 공기 및 오일을 측정한 정전용량 값은 실제 값보다 크게 측정되었고, 센서시스템으로부터 받은 신호에 의해 측정된 전체 정전용량 값과 각 부위별 정전용량 값은 Fig. 3과 같다. 전체 측정값에서 각 부위별 측정값을 빼면 순수 센서에서의 공기 및 엔진오일의 정전용량 값이 된다.

Fig. 3에서는 각 부위를 다음과 같이 그룹으로 구분하였다.

Fig. 4. Capacitance of air and a engine oil in a dual sensor.

- (1) Dummy PCB with Lock Connector
- (2) PCB+Ceramic Coating+Soldering Flux in Air Atmosphere
- (3) PCB+Ceramic Coating+Soldering Flux in Oil Atmosphere
- (4) Air in Sensor+All Parts
- (5) Oil in Sensor+All Parts

측정 회수는 공기에 대해서는 7회 측정하였으며, 엔진오일 Oil-01에 대해서는 2회 측정하였고, 부위 측정 (1)에 대해서는 4회 측정된 것을 함께 도시하였다. 상온 온도가 약간씩의 차이는 있었으나 측정값의 차이는 오차범위 이내로 미미하였다. 정전용량 (2)와 (3)에 대해서는 이론 치와 부위 (1)에 대한 값을 전체측정값 (4)와 (5)에서 뺀 값으로 보았다.

3-2-1. 상온에서 공기 및 엔진오일 정전용량 및 유전상수

상온에서의 공기 및 엔진오일의 정전용량 값은 Fig. 4에 도시되어 있으며, Fig. 3의 전체센서시스템의 공기 측정값 (4)에서 (2) 및 (1)의 정전용량 값을 제하면 센서에서의 순수 정전용량 값이 된다. 또한 전체 센서시스템의 엔진오일 측정값 (5)에서 (3) 및 (1)을 빼면 센서에서의 순수 정전용량 값이 된다. Fig. 5에는 Fig. 4의 정전용량 값에 상당하는 유전상수 값이 도시되어 있다. Fig. 4에 도시된 정전용량 값들로부터 알 수 있듯이, 공기 측정 시에는 주파수 5 kHz에서 측정된 정전용량 값이 이론 치와 잘 부합하였으며, 엔진오일에 대해서는 700 kHz에서 측정된 값이 이론 치와 잘 일

Fig. 5. Dielectric constant of air and a engine oil in a dual sensor at several room temperature.

치되었다. 한편 Fig. 5의 유전상수에 대해서도 공기는 5 kHz일 때, 엔진오일은 700 kHz일 때 각각의 고유값과 잘 일치 되었다. 공기의 고유값은 20°C에서의 일 반적인 값이고, 엔진오일 Oil-01(SAE5W30, 합성유)의 고유값은 본 실험실에서 보유하고 있는 튜브센서로 25°C에서 측정한 값이다.

3-2-2. 온도변화에 따른 공기 및 엔진오일 정전용량 및 유전상수 변화 추이

온도 변화에 따른 공기 및 엔진오일의 정전용량의 변화에 대해서는 Fig. 6에 도시되었으며, 그에 대응되는 유전상수의 변화는 Fig. 7에 도시되어 있다. 공기의 정전용량 측정은 온도 상승 시와 하강 시에 각각 3번 측정하여 도시하였고, 엔진오일 Oil-01의 정전용량은 같은 방법으로 각각 2번씩 측정하였다. 공기 정전용량 값은 20°C에서 이론치와 일치하며, 엔진오일 Oil-01의 정전용량 값은 25°C에서 이론치와 일치한다. 이를 기준으로 온도 증가함에 따라 약간씩 감소하였으며, 공기는 그 값이 작았으나, 엔진오일은 감소폭이 비교적 크게 나타났다. 공기는 2차 다항식으로, 엔진오일은 4차 다항식으로 감소되는 것을 표현 할 수 있었다. 이와 같이 온도 증가에 따라 정전용량이 감소하는 것은, 센서가 완전 개방되어 있어 유체의 흐름을 방해하지 않기 때문에, 공기 및 오일의 밀도가 센서 내에서 증가하지 않고 오히려 약간씩 감소했기 때문이다. 이에 상응하는 유전상수의 고유값은 공기는 20°C에서, 엔진오일은 25°C에서 일치되며, 온도가 증가함에 따라 감소함을 보였다.

Fig. 6. Capacitance of air(@ 5 kHz) and a engine oil(@ 700 kHz) in a dual sensor as changing temperature.

Fig. 7. Dielectric constant of air and a engine oil in a dual sensor as changing temperature.

4. 결 론

본 연구에서는 센서시스템의 각 부위 측정값으로부터 센서 자신으로부터 생성되는 순수 정전용량 값을 얻을 수 있었으며, 이에 대응되는 유전상수 값을 얻을 수 있었다. 향후 모니터링 장치에서 엔진오일의 열화 정도를 판단하기 위해 유전상수 값을 생성할 때 위의 방법을 사용하고자 한다. 나아가 센서전유제어회로에 의한 측정 실험은 양산 초도품 센서가 완성되면 진행 될 예정이다.

감사의 글

본 연구논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동기술개발사업(No. C0000909)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

1. John J. Henry, Robert W. Johnson and James B. Mankin, 1966, "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.
2. S. Yasuhara, H. Kobayashi, T. Kita and H. Saito, 1983, "Oil Deterioration Sensor," European Patent Application No. 82110482.5, Publication No. 0080632.
3. W. H. King, 1984, "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.
4. T. Kato, 1984, "Method and Apparatus for Evaluating the performance of Dielectric Substances," European Patent Application No. 84102243.7, Publication No. 0121739, Nov. 17.
5. A. H. Meitzler and G. S. Saloka, 1988, "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.
6. Shirley E. Schwartz and Donald J. Smolenski, 1987, "Development of an Oil-Change Indicator System," SAE Technical Paper Series No. 870403.
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, 1995, "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life," SAE Technical Paper Series No. 951035.
9. NTN Corporation, "Oil Condition Sensor," 등록번호: US-7112973 (2006-09-26), 출원번호: US-0260289 (2005-10-28).
10. Nissan Motor Co., Ltd., "오일열화검지장치(Detector for Deterioration in Oil)," JP58144734A, 일본 특허 昭58-144734 (등록일: 1983.08.29, 출원번호: 昭57-27381)
11. NGK Spark Plug Co. Ltd., "Oil Deterioration Sensor," 등록번호 US07129715A1 (2006.10.31), 공개번호 20040263187 (2004. 12. 30)
12. Delphi Technologies, Inc., "Oil Level and Sensor," US 공개번호: EP-1255107 (2004-07-07), 출원번호: EP-2076333 (2002-04-05).
13. G. S. Saloka, and A. H. Meitzler, 1991, "A Capacitive Oil Deterioration Sensor," SAE Technical Paper Series No. 910497.
14. 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.
15. E. Irion, K. Land, T. Gurtler, and M. Klein, 1997, "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.
16. S. S. Wang, 2001, "A Physical Model for the Engine Oil Condition Sensor," STLE 56th Annual Meeting, Preprint No. 01-AM-19, Presented Only.
17. Oil Sensor, 2005, Hella Electronics' Internal Presentation Materials
18. 김세용, "내연기관 내에 사용되는 엔진오일의 교환 시기 체크 및 알림," 등록번호 20-0325381 (2003. 08. 25)
19. (주)에스엔에스레볼루션, 고려대산학협력단, "오일의 전산가 측정장치 및 수명산출 장치," 공개번호 10-2008-004476 (2008. 05. 21)
20. (주)에스엔에스레볼루션, "센서를 장착한 차량용 딥스틱 장치," 공개실용신안 20-2010-0002026 (2010. 02. 26).
21. 문수환, 강정호, 박세광, "자동차 엔진오일 열화 감지용 빗살형 마이크로 센서 개발," 센서기술 학술대회 논문집, 제11권, 1호(11월), pp. 115-119, 2000.
22. 현대자동차주식회사, "감광성 폴리머를 이용한 빗살형 엔진오일 열화 감지센서 및 그 제조방법," 대한민국 특허 공개번호 제10-2009-0025007호 (출원번호: 10-2007-0090027).
23. 이래덕 외 5명, 2001, "자동차용 엔진오일의 열화 상태 측정 센서," 한국특허 등록번호 10-0302643 (20010704), 문서번호 KPTN200107302643.
24. 이래덕 외 5명, 2002, "자동차용 엔진오일의 열화 상태 측정용 코일형 센서," 한국특허 등록번호 10-0331720 (20020326), 문서번호 KPTN20020331720.
25. J. H. Kim and S. K. Park, "A Study on the Sensor Integrated of Drain Valve for Degradation Detecting of Engine Oil," *J. of Sensor and Technplogy*, Vol. 21, No. 6, pp. 434-439, 2012.
26. 이래덕 외 5명, 2001, "자동차용 엔진오일의 열화 상태 측정 센서," 한국특허 등록번호 10-0345436 (20020709), 문서번호 KPTN200207345436.
27. 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.
28. 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., "크로스 커패시

- 터 원리를 이용한 액체의 유전상수 정밀측정,” *새물리(한국물리학회지)*, 제40권, 제2호, pp. 97-101, 2000.
29. 이래덕, 김한준, Semenov, Yu. P., “전기용량 측정에 의한 자동차 엔진오일 열화상태 분석연구,” *새물리(한국물리학회지)*, 제42권, 제4호, pp.216-220, 2001.
 30. Chun, S. M. “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.
 31. Chun, S. M. “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.
 32. Chun, S. M. “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.
 33. Chun, S. M. “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.
 34. Chun, S. M. “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.
 35. Chun, S. M., “Oil Filter Device for Measuring Quality of Engine Oil and Method Therefor,” Patent Number 10-0863689, The Korean Intellectual Property Office, 08 Oct., 2008.
 36. Chun, S. M. “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.
 37. Chun, S. M., “Development of an Engine Oil Quality Monitoring System,” *Journal of the KSTLE*, Vol. 27, No. 3, pp. 125-133, 2011.
 38. Chun, S. M., “Development of Sensing System for an Engine Oil Deterioration Detection Sensor Integrated with an Oil Filter,” *Journal of Sensor Science and Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 243-248, 2011.
 39. Chun, S. M. and Nam, K. H. “An Apparatus for Monitoring the Quality of Engine Oil,” Patent Number 10-1187107, The Korean Intellectual Property Office, 24 Sept., 2012.
 40. Chun, S. M., “Engine Oil Degradation Sensor of Dipstick Gage Type and Engine Oil Degradation Monitoring System Using the Same,” Patent Application Number 10-2011-0110947, The Korean Intellectual Property Office, 28 Oct., 2011.