

자동차 엔진오일 열화상태 *in situ* 측정용 전기용량 센서

이래덕*, 김한준*, 세메노프**

Capacitive Sensor for *in situ* Measurement of Deterioration of Car Engine Oil

R. D. Lee*, H. J. Kim*, Yu. P. Semenov**

요 약

자동차 엔진오일의 열화상태를 직접 *in situ*로 측정할 수 있는 코일형 전기용량 센서를 개발하였다. 엔진 오일팬의 드레인 홀의 제한된 공간 속에서 10 pF 이상을 얻기 위하여 코일형으로 설계 제작되었다. 코일의 직경 및 권선 조건, 포머의 재질 및 구조, 차폐조건 등 안정된 전기용량 측정을 위한 설계 요구 조건을 컴퓨터 시뮬레이션과 실험적인 방법에 의해서 찾아내었다. 제작된 여러 개의 센서를 이용하여 동일한 조건의 사용오일 특성을 분석한 결과 0.25 % 이내에서 일치하였다. 차량에 직접 장착하여 장기간 측정한 결과, 심한 진동과 온도 및 습도변화와 전자기적 잡음 등 열악한 차량의 조건에서도 매우 우수한 측정결과를 나타내었다.

ABSTRACT

A coil-type capacitive sensor on which the deterioration of the car engine oil can be *in situ* measured, has been developed. The sensor was designed to get over 10 pF at the limited space on the drain hole of the oil pan. The design factors for stable capacitance measurement such as coil diameter and winding condition, materials and configuration of the coil former, and shielding method, etc., were known by both computer simulation and experimental investigations. The dielectric properties measured by several sensors for an used sample oil were consisted within 0.25 %. The sensor installed on the car having severe vibration, temperature and humidity fluctuation, even electromagnetic noise, has shown very distinguishable results.

1. 서 론

자동차 엔진의 엔진오일은 엔진의 윤활 부분에서 발생하는 마찰이나 마모를 감소시키는 역할 이외에도 엔진의 마모 감소에 의한 동력 손실방지, 냉각작용, 세정작용, 충격방지, 진동방지, 밀폐작용 및 부식방지 등의 역할을 한다. 그러나

엔진이 동작되는 동안 저온운전, 연료의 불완전 연소, 엔진의 마모 및 부식 등의 이유로 오일 내에 물과 산이 만들어지고 피스톤의 왕복운동으로 금속 찌꺼기가 발생하여 오일의 점도가 떨어진다. 오일의 점도 감소는 엔진의 수명을 단축시키는 결과를 초래한다. 즉, 엔진내부의 찌꺼기, 타르, 부식물 및 침전물 등이 엔진내부에 그대로 남게되고 오일펌프, 오일팬, 오일순환통로 등에 침전되어 엔진마모는 물론 출력저하와 함께 엔진내부온도를 상승시켜 윤활작용을 감소시킨다. 특히 냉각수, 휘발유, 물 등이 윤활유 오일에 섞이게 되면 엔진 가스켓에 손상을 주거나 피스톤 링이 파손되는 문제가 발생할 수 있다. 따라서, 엔진오

* 한국표준과학연구원 전자기표준부(Division of Electromagnetic Metrology, KRISS)

** 러시아 멘델레프 표준 연구소(VNIIM)
<접수일자 : 2001년 3월 9일>

일은 주기적으로 새 오일로 교환해 주어야 한다. 각종 차량의 경우, 종전 오일 교체시의 주행거리를 암기하거나 차계부에 기록해 놓지 않고는 그 교환시기를 정확히 판단할 수 없다. 따라서, 자동차 엔진오일의 노화상태를 측정할 수 있는 센서를 개발하여 운전자가 오일 교환 최적시기를 파악할 수 있도록 자동적으로 예고해 주는 장치가 있으면 엔진 오일 교환 계획을 설정하여 효과적으로 오일을 교환해줄 수 있게 될 것이다.

국내 각 자동차 생산업체에서는 엔진오일 교환 일로부터 차량의 주행거리를 계수하여 미리 지정해 놓은 주행거리가 되면 램프 또는 소리로서 오일교환시기를 알리는 방법과 엔진오일 팬에 설치된 팬의 회전속도를 가속도 센서와 결합하여 오일의 점도를 측정하여 적당한 시기에 운전자에게 알려주는 장치에 대한 특허를 보유하고 있다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 방법으로서 엔진오일 레벨 점검 게이지에 묻혀진 오일의 색깔과 점도를 손끝의 감각으로 판단하는 고전적인 방법을 사용하고 있으나 오일의 실질적인 성능을 측정할 수 있는 센서 개발 연구는 없었다. 국외에서는 magneto resistor sensor를 이용하여 sensor head에 부착되는 부스러기에 의한 flux 경로의 변화를 측정하거나^[1], 엔진의 점도, total base number(TBN), total acid number(TAN) 등을 분석하여 판단하고 있다. 그러나 이러한 방법은 측정코자 하는 오일을 반드시 엔진이 정지된 상태에서 채집하여 분석하는 방법이므로 엔진의 가동 상태에서의 직접측정이 불가능하다. 한편 엔진구조에 별도로 설치된 오일 파이프 주변에 한 쌍의 권선된 코일을 장착하여 오일내에 포함된 금속 부스러기 양에 따른 유도전압출력의 변화를 측정하는 방법이 발표되었으나^[2] 실제적인 적용을 위해서는 엔진의 구조를 변경시켜야 하는 문제점이 있다. 또한 최근 오일의 노화에 따라 오일의 유전상수가 증가되는 것을 DC 출력전압으로 변환시키는 센서^[3]를 제작하였으나 오일의 종류에 따라 출력에 큰 차이가 발생되며, 온도변화 및 주파수 변화에 따라 손실계수가 크게 변화되는 현상을 검출할 수 없는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 자동차 엔진오일의 실제적인 열화상태를 전기용량 특성의 변화로서 *in situ*로 측정할 수 있는 엔진오일의 열화상태 측정 센서를 개발하였다. 이미 본 저자에 의해 엔진오

일의 열화정도가 오일의 유전특성에 비례함을 센서 시험관을 이용한 실험결과에 의해 증명하였고, 사파이어 원판 위에 형성된 전기용량 센서에 의해 측정된 결과와 일치하고 있음이 확인되어 그 결과를 논문으로 발표하였다^{[4][5]}. 본 논문은 자동차에서 직접 엔진오일의 열화상태를 *in situ* 측정할 수 있는 코일형 전기용량 센서에 대한 개발 연구결과를 정리한 것이며, 그 상세한 내용은 국내 특허로 출원하였다^[6,7].

II. 센서의 설계제작

1. 센서소자의 설계 제작

승용차 엔진의 오일팬에는 운전여부에 관계없이 항상 엔진오일이 채워져 있다. 따라서 센서가 부착될 수 있는 위치로서 가장 적합한 곳은 오일팬의 드레인 홀(drain hole)이다. 이 홀의 직경이 차종에 관계없이 모두 14mm(M14)이므로 센서 외형 구조물이 이곳에 장착될 수 있도록 설계하였다. 코일형 전기용량 센서의 기본 원리는 서로 분리된 두 가닥의 긴 코일이 일정한 간격으로 놓여져 있을 때 코일의 길이에 비례한 전기용량이 측정된다는 것이다. 제한된 공간에서 충분한 감도의 전기용량을 측정해 내기 위한 최적의 코일 직경을 선정하기 위하여, 길이 20mm, 직경 7.2mm의 금속 원통봉 포머(former)에 몇 가지 직경을 지닌 코일을 감고 전기용량을 측정하고 결과 그림 1과 같았다.

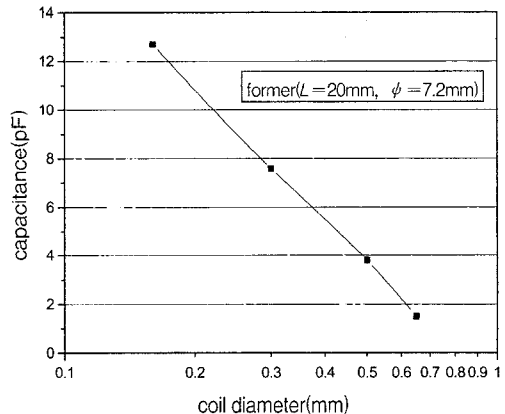


그림 1. 코일의 직경에 따른 측정 전기용량.

Fig. 1. Capacitance change with coil diameter.

정해진 포머의 크기에서 10pF 이상의 전기용량을 얻기 위하여 코일의 직경을 약 0.1mm로 선택하였다. 직경 0.1mm인 두 가닥의 코일을 직경 7mm, 길이 약 14mm인 금속 포머 주변에 그림 2(a)와 같이 균일하게 권선하면, 공기중 전기용량은 약 294pF, 신유(fresh oil) 속에서 320pF, 약 8,000km 주행된 오일 속에서 331 pF로 측정되었다. 즉 신유와 장시간 사용된 오일 사이의 전기용량의 차이가 약 11pF가 된다. 즉 감지하고자 하는 열화상태에 대한 전기용량 측정범위에 비해 코일 사이의 자체 전기용량이 약 30배 크다는데 문제가 있다. 왜냐하면 측정되는 전기용량의 대부분이 오일의 열화상태에 의존되지 않고 코일 및 금속 포머의 열변화 또는 기계적 변화 등에 의한 코일자체의 변형과 권선상태의 변형 등에 의한 영향이 훨씬 더 크다는 것이 문제가 된다.

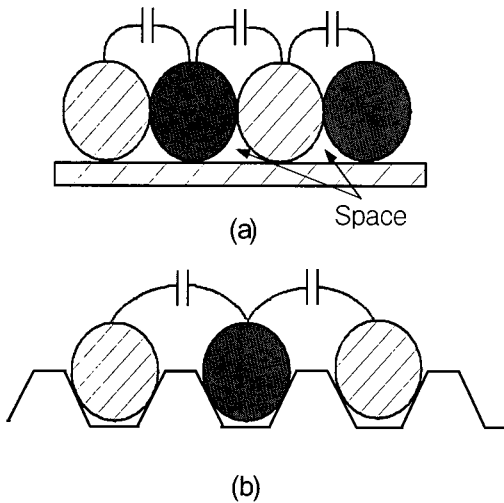


그림 2. 코일형 전기용량센서의 원리.
Fig. 2. Principle of the coil type capacitive sensor.

특히 그림 2(a)에서 두 코일과 원통봉 표면으로 이루어지는 공간(space)은 오일의 유통이 원활하지 못해 갇혀 있는 상태가 되므로 이 공간내의 오일과 측정코자 하는 코일 외측의 오일의 열화상태가 서로 다르게 되어 측정결과에 중요한 오차요인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 그림 2(b)와 같이 금속 포머 표면에 2중 나사산을 가공하고 두 가닥의 코일이 동시에 권선되도록 하였다. 이때 두 코일 사이의 모든 나사산은 접지전원을 지닌 가드(guard) 전극으로서의

역할을 하게 되어 위에서와 같은 오차요인을 제거할 수 있게 된다. 한편 권선된 코일의 상단 표면과 나사산의 상단부와의 거리에 따라 센서의 고유 전기용량 값이 달라지게 된다.

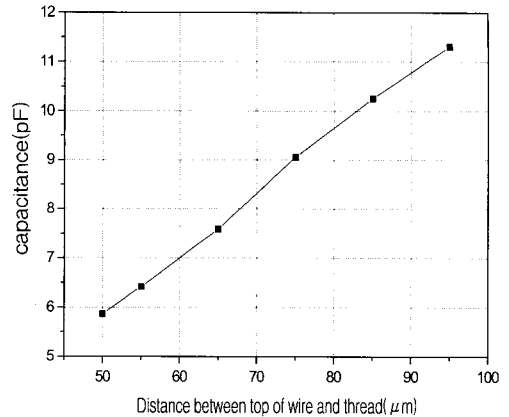


그림 3. 금속 포머에서의 코일의 위치에 따른 전기용량 변화.

Fig. 3. Capacitance change with coil position on the metal former.

그림 3은 이러한 상호 관계를 전기장 시뮬레이션에 의해 분석된 결과를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 포머의 나사를 피치 0.225mm인 2중 나사로 가공하여 직경 0.1mm인 코일의 약 50%가 외부로 도출되도록 나사산을 가공하였다. 이 나사 홈 내부에 코일을 일정한 장력으로 권선하고 그 표면에 폴리아미드를 도포한 후 열처리함으로써 모든 권선이 금속포머와 일체형으로 고정시켰다. 따라서 코일자체 및 권선상태의 변형에 의한 영향과 그림 2(a)와 같은 영향이 완전히 제거되었다. 이렇게 제작된 센서를 이용하던 공기중에서 약 11pF, 신유에서 22pF, 16,000km 사용된 오일에서 23.6pF가 되어 ΔC 약 1.6pF를 측정범위로 사용하였다. 전기용량 측정은 약 22 pF의 고정형 기준 전기용량기와 이 센서에서 변화되는 전기용량 사이의 차이를 1:1 비교형 브릿지(ratio arm bridge)에 의해서 수 fF의 분해능으로 측정함으로써 오일의 열화상태를 충분히 측정할 수 있었다. 그림 4는 시뮬레이션에 의해 분석된 코일형 전기용량 센서의 등전위면 분포를 보여주고, 그림 5는 오일센서 소자의 단면과 그 형상을 나타낸 것이다. 즉 이 면들과 수직으로 형성되는 전기력선이 센서 주변에 있는 엔진

오일을 관통하여 형성되기 때문에 엔진오일이 유전체로서 구성된 전기용량을 정밀하게 측정할 수 있게 되었다.

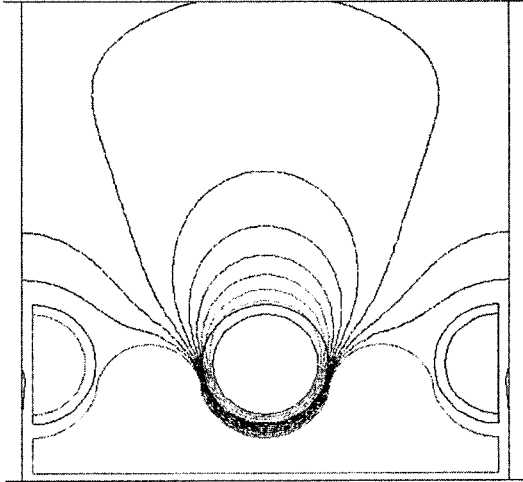


그림 4. 코일형 전기용량 센서의 등전위면 분포.
Fig. 4. Distribution of equi-potential surface on the sensor.

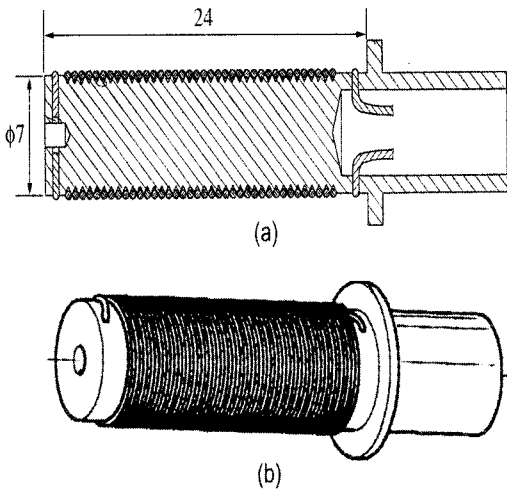


그림 5. 오일 센서소자의 구조.
Fig. 5. Structure of the oil sensor element.

엔진오일 센서는 차량의 엔진 내에 설치되어 동작되기 때문에, 미국 KAVLICO 센서의 사양에 의하면 $-25\sim 125^{\circ}\text{C}$ 에서 견딜 수 있어야 한다고 정해져 있다. 실제적으로 온도센서를 이용하여 하계절 고속 주행상태에서의 온도를 측정할 결과 차량에 따라 최고 온도가 약 $90\sim 115^{\circ}\text{C}$ 이었던

다. 위와 같이 권선된 센서를 오일 내에서 125°C 까지 상승시킨 후 코일의 표면을 분석한 결과 일반 에나멜 코일의 표면은 손상이 되어 장기간 사용할 수 없었다. 따라서 150°C 까지 사용 가능한 폴리아미드 코일을 사용하였다. 그러나 직경 0.1mm 의 폴리아미드 코일의 심선은 구리합금으로 제작되어 있기 때문에 열팽창 전후에 코일의 권선된 조건이 변화되면 전기용량기의 전극이 변형된 결과가 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 원통형 포머 재질에 대한 영향을 실험적으로 확인한 결과 그림 6과 같이 코일과 동일한 구리로 포머를 제작하는 것이 가장 안정된 측정 조건이 됨을 알았다. 또한 폴리아미드 용액으로 권선된 코일의 표면에 도포하고 110°C 에서 1시간 열처리함으로써 코일을 포머의 나사 골 내에 고정시킨 경우가 센서 소자 제작조건으로서 최적임을 알았다.

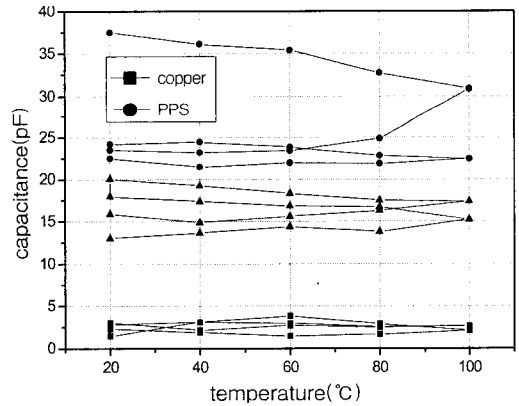


그림 6. 포머재질의 종류별 전기용량 측정값의 온도영향.

Fig. 6. Temperature effects on measured capacitance with materials of the coil former.

2. 엔진오일 센서의 설계 제작

엔진오일 센서를 오일팬의 드레인 홀(drain hole)에 삽입 설치하기 위해서는 (1) 이 센서구조를 통하여 엔진오일이 새어나오지 않도록 해야 하고, (2) 0.1mm 직경의 코일이 감겨져 있는 센서소자의 표면에 손상을 주지 않도록 하기 위한 보호장치가 필요하고, (3) 센서 소자의 표면에 엔진오일이 항상 자유롭게 접촉될 수 있어야 하며, (4) 심한 진동과 온도 및 습도변화, 전자기적 잡음 등 열악한 차량의 조건에서 안정된 전기용량

측정을 위하여 완벽한 차폐를 고려해야 하고, (5) 전기용량 측정회로 자체와 이 회로에서 필수적으로 사용되는 고정용 전기용량 표준기 등이 센서 자체의 온도조건과 같도록 하는 것이 측정오차를 최소화할 수 있는 최선의 방법이 된다. 먼저 센서 소자의 코일표면과 차폐용 금속 실린더의 내측 표면과의 간격에 따라 센서의 고유 전기용량이 어떻게 달라지게 되는가를 시뮬레이션에 의해 분석한 결과 그림 7과 같았다. 즉 차폐와의 간격이 약 2mm 이상이 되면 차폐용 금속 스크린의 위치가 고유 전기용량의 크기에는 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 엔진오일의 새어나움을 방지하기 위하여 실리콘 O-ring을 사용하였고, 센서의 차폐와 센서소자의 지지를 동시에 만족시키고 센서소자의 표면의 보호와 엔진오일의 원활한 유통을 위하여 그림 8과 같이 제작하였다. 또한 측

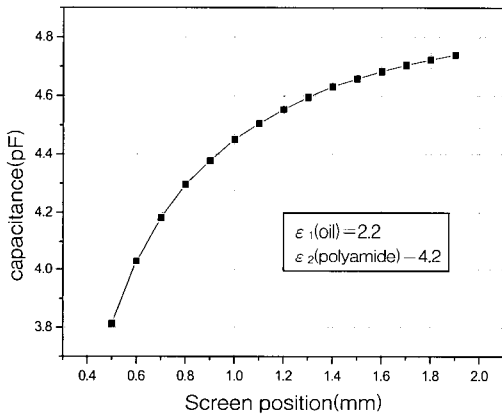


그림 7. 센서표면과 차폐와의 간격에 따른 전기용량의 변화.

Fig. 7. Capacitance change with gap between coil surface and screen.

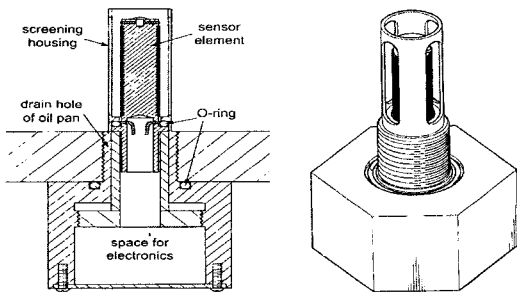


그림 8. 엔진오일 센서의 구조.

Fig. 8. Configuration of the engine oil sensor.

정회로 및 고정용 전기용량 기준기를 센서의 하단에 일체형으로 조립될 수 있게 하였다. 그림 9는 이 회로의 개념도를 나타낸 것이다.

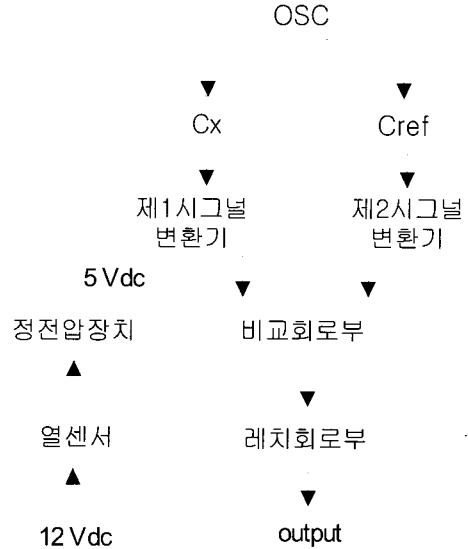


그림 9. 측정 브릿지의 개념도

Fig. 9. Block diagram for the measuring bridge.

III. 실험결과 및 분석

앞에서의 방법에 따라 9개의 엔진오일 센서를 제작하여 동일한 사용오일의 상태에 대해 각 센서로부터의 측정 결과를 비교 분석하였다. 즉 사용된 오일의 유전상수 (ϵ_{old})는

$$\epsilon_{old} = \frac{C_{oil} - C_o}{C_v} \quad (1)$$

에 의해 산출된다. 여기서 진공중의 전기용량 $C_v = (C_{fr} - C_{air}) / (\epsilon_{fr} - 1)$, 센서의 고유 전기용량 $C_o = C_{air} - C_v$ 이고, 센서 시험관^[5]에 의해 측정된 실험대상 신유의 유전상수는 $\epsilon_{fr} = 2.277$ 이다. 비록 각각의 C_o 및 C_v 가 서로 다를지라도 모든 ϵ_{old} 의 값은 표 1과 같이 약 0.25% 이내에서 일치하였다. 제작된 오일센서를 직접 서로 다른 각종 차량의 오일팬에 장착하여 장기간(2000년 7월-2001년 4월) 측정한 결과중에서 하나의 예를 들면 그림 10과 같다.

표 1. 서로 다른 센서에 의해 산출된 사용된 오일의 유전상수.

Table 1. Dielectric constants derived by several sensors.

sensor no	C_o (pF)	C_v (pF)	ϵ_{old}
1	2.231	8.669	2.466
2	2.202	8.598	2.467
3	2.238	8.982	2.467
4	1.956	8.254	2.465
5	2.287	8.653	2.466
6	2.267	8.653	2.473
7	2.242	8.418	2.466
8	2.800	8.700	2.472
9	2.648	8.402	2.460

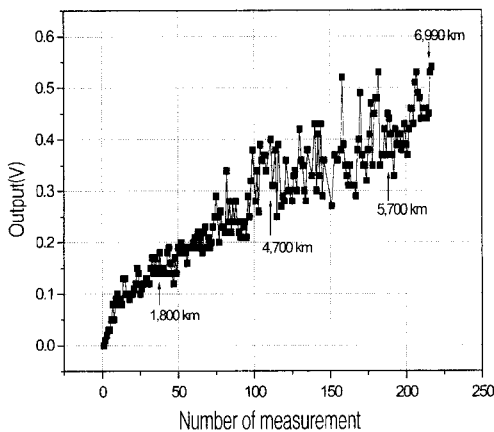


그림 10. 오일센서에 의해 *in situ* 측정된 열화상태 변화.

Fig. 10. Deterioration change measured *in situ* by the oil sensor.

엔진오일의 특성은 엔진오일의 종류, 차량의 종류 및 차령, 운행된 지역조건, 일기조건 등에 따라 약간의 서로 다른 양상을 보이기는 하지만, 여러 대의 실험차량에서 사용된 오일에 대해 전문기관에서 화학적으로 분석한 결과 엔진오일 교체시기를 본 센서에 의해 결정할 수 있음을 확인하였다.

IV. 결론

자동차 엔진오일의 열화상태를 차량에서 직접 *in situ*로 측정할 수 있는 코일형 전기용량 센서

를 개발하였다. 엔진 오일팬의 드레인 홀 크기의 제한된 공간 속에서 10 pF 이상을 얻기 위하여 코일형으로 설계 제작되었다. 코일의 직경 및 권선조건, 포머의 재질 및 구조, 차폐조건 등 안정된 전기용량 측정을 위한 설계 요구 조건을 시뮬레이션과 실험적인 방법에 의해서 찾아내었다. 제작된 여러 개의 센서를 이용하여 동일한 조건 의 사용된 오일특성을 분석한 결과 0.25 % 이내에서 일치하였다. 차량에 직접 장착하여 장기간 측정된 결과 심한 진동과 온도 및 습도변화, 전자기적 잡음 등 열악한 차량의 조건에서 안정된 측정결과를 얻을 수 있었으며, 엔진오일 특성상 실제적인 교체시기에 해당되는 센서출력 값을 미리 지정해 놓으면 사용상 대단히 편리한 센서가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 주식회사 유니크의 위탁연구에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] G. N. Mills, "Measuring the debris", *Industrial lubrication and tribology*, 37(5), pp.176-183, 1985.
- [2] R. A. Masom, "The development, proving and application of an in-line metal particle detector(MPD)", *British Journal of NDT*, pp.159-166, 1985.
- [3] K. M. Park, "Oil deterioration sensor", US Patent 5540086, 1996.
- [4] 이래덕, 김한준, 서희원, Yu. P. Semenov, "전기용량 측정에 의한 자동차 엔진오일 열화상태 분석연구", *새물리* 42(4), 2001.
- [5] 이래덕, 김한준, Yu.P.Semenov, "크로스 커패시턴스 원리를 이용한 액체의 유전상수 정밀측정", *새물리* 40(2), pp.97-102, 2000.
- [6] 이래덕 외, "자동차용 엔진오일의 열화상태 측정용 코일형 센서", 특허출원 10-1999-0041335, 1999.
- [7] 이래덕 외, "자동차용 엔진오일의 열화상태 측정용 코일형 센서," 특허출원 10-2000-0036463, 2000.

 著 者 紹 介

이 래 덕

1945년 9월 29일생,
 1991년 한남대학교 대학원, 이학박사 취득.
 현재 한국표준과학연구원 전자기표준부, 책임연구
 구원
 주관심 분야 : 저주파 임피던스 표준 및 정밀측
 정, 관련 센서 등

김 한 준

1959년 1월 10일생
 1984년 중앙대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 현재 충남대학교 대학원 전기공학과 박사과정
 현재 한국표준과학연구원 전자기표준부, 선임연구
 구원
 주관심 분야 : 저주파 임피던스 표준 및 정밀측
 정, 관련 센서 등

Yu. P. Semenov

1940년 6월 13일생
 1963년 Institute of Electrocal
 Engineering, Leningrad (PhD)
 현재 VNIIM(D.I. Mendeleyev Institute
 for Metrology)
 임피던스실장
 주관심 분야 : Impedance standards &
 related sensors