딥스틱게이지형 소형 엔진오일열화감지센서의 시험결과 분석

전상명^{*}

호서대학교 기계공학부 자동차공학전공

Analysis of Test Results for Small Dipstick-Gage-Type Engine-Oil-Deterioration-Detection Sensor

Sang Myung Chun^{*}

Dept. of Automotive Engineering, School of Mechanical Engineering, Hoseo University
(Received February 28, 2014 ; Revised April 10, 2014 ; Accepted April 15, 2014)

Abstract – This paper presents the test results of small dipstick-gage-type engine-oil-deterioration-detection sensor. The measured sensor signal characteristics for the capacitance and temperature are analyzed. The engine oil deterioration condition correlates with the electrical property of the dielectric constant that comprised with physical properties such as TAN (Total Acid Number), TBN (Total Base Number) and viscosity. Several problems encountered during the test of the sensor system are improved. The results of vehicle tests show that the capacitance signal is stable after the engine stops. Therefore, the sensor should start measuring the parameters for monitoring the engine oil condition after the engine stops. The engine is considered to be in a stopped state if the difference between the maximum and minimum values of the oil capacitance measured every 1 min is below 0.02 pF. The key test results in this paper will help in the development of an engine oil change warning algorithm.

Keywords – capacitance sensor (정전용량센서), dielectric constant (유전상수), engine oil deterioration (엔진 오일열화), oil change forecast error (오일교환 예측 오차), vehicle sensor durability test (차량 센서내구시험)

1. 서 론

본 연구에서는 Fig. 1과 같은 전용제어장치를 장착한 딥스틱게이지형 소형 오일열화감지센서[1-2]를 차량에 장착하여 실험한 데이터를 노트북 컴퓨터로 받아 그 결과를 정리 분석하였으며, 챔버 고온고습시험과 열충격 시험 및 전자파 내성시험의 결과를 기술하였다.

본 센서시스템을 Fig. 2와 같이 차량에 설치하여 센서로부터 운행시간, 오일 정전용량, 오일온도, 제어보드 온도의 신호 값을 노트북 컴퓨터로 수집하였고, 스마트폰을 통하여 받은 데이터와 비교하였다. 또한 사용유 샘플도 정기적으로 채취하여 오일물성을 분석하여 정전용량 및 유전상수 변화값과 비교[3-9]하였다.

따라서 본 논문에서는 저자가 개발한 딥스틱게이지

형 소형오일열화감지센서를 차량에 장착하여 실험한 결과를 정리 분석하여, 차량에서의 센서신호특성을 파악하고, 엔진오일의 열화 상태 분석을 통한 엔진오일물성 변화와 그 전기적 변화의 상관관계를 설정하였다. 또한 센서 시스템에 나타난 문제점들을 파악 후 개선한 내용을 정리하였다.

2. 시 험

본 차량 시험 시 사용한 차량은 가솔린엔진(2.0 DOHC)을 탑재한 중형 차량을 사용하였으며, 엔진오일은 Oil-05(SAE7.5W30)과 Oil-03(SAE5W20)를 사용하였다. 장착한 센서[1-2]는 Fig. 1과 같은 엔진오일 레벨 점검용 딥스틱게이지 끝단에 기관 제작기술로 개발된 정전용량센서가 설치되었고, 손잡이에는 무선(WL: wireless) 송신제어회로가 구성된 센서로써 S72WL,

^{*}Corresponding author : smchun@hoseo.edu
Tel: +82-41-540-5816, Fax: +82-41-540-5818

Fig. 1. Dipstick-gauge-type engine-oil-deterioration-detection sensor.

Fig. 2. Vehicle installation of engine-oil-deterioration-detection sensor and the measuring system.

S78WL, S82WL, S87WL 등을 사용하였다. 여기서 숫자는 센서 일련번호이다.

2-1. 여름철 차량시험

여름철 차량 주행(차량시험 A~G) 중 측정된 오일 온도 및 정전용량 값을 주행시간에 대해 도시한 그래프는 Fig. 3-Fig. 9와 같다.

차량시험 A(vehicle test A)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 중순에 국도주행이 약90%, 시내

Fig. 3. Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test A.

주행이 약10%인 182 km 주행에 대한 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 3). 국도주행은 평지에서 이루어 졌으며, 국도 주행 중 아이들 정지 상태 및 차량 정체와 시내 서행 주행 등이 포함된 주행이었다. 차량 정지 후 11분 동안 엔진 공 회전을 한 후 시동을 정지하여 약 44분 동안 엔진오일의 온도가 91~76°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 본 실험에서는 차량 주행 중 엔진오일의 최고 온도는 99°C까지 올라갔으며, 주행 상태에서는 정전용량 측정값의 신호 변동폭이 크게 나타났으며, 차량 정체 및 공 회전 상태에서는 변동폭이 줄어들긴 하였으나 여전히 불안정한 신호변동폭이 나타났다. 그러나 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다.

차량 시험 B(vehicle test B)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 중순에 국도주행이 약90%, 시내주행이 약10%인 443 km 주행에 대한 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 4). 국도주행은 평지와 산악지대에서 함께 이루어 졌으며, 국도 주행 중간에 약 1시간 30분 동안 엔진 정지 및 시동 후 출발(stop & go)을 3번 정도 반복했다. 엔진 시동 정지 후 약 2시간 48분 동안 엔진오일의 온도가 93~55°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 본 실험에서는 차량 주행 중 엔진오일의 최고 온도는 산악지대를 올라가서 차량 정지 시 103°C까지 올라갔으며, 차량시험 A에서와 같이 주행 상태에서는 정전용량 측정값의 신호 변

Fig. 4. Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test B.

Fig. 5. Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test C.

동폭이 크게 나타났으며, 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다.

차량 시험 C(vehicle test C)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 중순에 차량정지 상태에서 가속 페달을 밟은 상태에서 약 8분간의 공 회전 상태와 그 후 엔진 정지 상태에서 약 2시간 25분 동안 엔진오일 온도가 64~46°C인 상태에서 시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 5). 차량시험 A에서와 같이 가속 페달을 밟은 상태의 공 회전 상태에서는 정전용량 측정값의 신호 변동폭이 불 안정하게 나타났으며, 엔진

Fig. 6. Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test D.

Fig. 7. Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test E.

정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다.

차량 시험 D(vehicle test D)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 중순에 고속도로 주행이 약 50%, 시내주행이 약 50%인 단거리 55 km(주행시간 약 1시간 16분) 주행 중 중간에 한번 정차(약 1시간 39분)한 상태에 대하여 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 6). 주차 후 엔진 정지 상태에서 약 1시간 01분 동안 엔진오일 온도가 95~75°C로 변화하는 동안 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다. 차량시험 A에서와 같이 고속도로 및 시내 주행 상태에서는

Fig. 8. (a) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test F, (b) Capacitance of engine oil after engine stop during vehicle test F, (c) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test F.

정전용량 측정값의 신호 변동폭이 크게 나타났으며, 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다.

차량 시험 E(vehicle test E)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 중순에 고속도로 주행이 약50%, 국도주행 약40%, 시내주행이 약10%인 216 km(약 4시간 55분 주행) 주행에 대하여 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 7). 이 때 고속도로 주행 시 정체가 있었다. 주차 후 엔진 정지 상태에서 약 48분 동안 엔진오일 온도가 95~76°C로 변화하는 동안 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다. 차량시험 A에서와 같이 국도주행, 고속도로 및 시내 주행 상태에서는 정전용량 측정값의 신호 변동폭이 크게 나타났으며, 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다.

차량 시험 F(vehicle test F)에서는 센서 S82WL을 차량에 장착하여 8월 말경에 국도 주행 90%, 시내주행이 약10%인 240 km(주행시간 약 5시간 30분) 주행 중 중간에 한번 정차(약 4시간 39분)한 주행상태에서 엔진 정지 후 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 8a-8c). 즉, 엔진 정지 상태에서 약 53분 동안 엔진오일 온도가 95~76°C로 변화하는 동안 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였고(Fig. 8a), 엔진 정지 후 측정된 정전용량 측정값은 안정되었으며, 그래프를 확대하여 도식해 보면, 엔진정지 직 후 정전용량 값은 어느 정도 상승하다 약 10분 전후로는 떨어지는 현상이 나타났다(Fig. 8b). 또한 엔진 정지 후 센

Fig. 9. Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test G.

서신호가 안정 된 후로는 온도에 따른 정전용량의 변화는 선형적으로 변화한다는 것을 알 수 있었다(Fig. 8c).

차량 시험 G(vehicle test G)에서는 센서 S72WL을

Fig. 10. (a) Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test H, (b) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test H, (c) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test H.

차량에 장착하여 7월 말경에 고속도로 주행 60%, 시내주행이 약40%인 55 km(주행시간 약 1시간 30분) 주행 후 엔진 정지 후 3시간 20분 후 엔진오일 온도가 50°C로 식은 후 50~40°C로 변화하는 동안 3시간 3분간 정전용량을 측정하였다(Fig. 9). 이때 46°C~40°C로 떨어지는 시간은 약 2시간10 걸렸다.

2.2. 겨울철 차량시험

겨울철 차량 주행(차량시험 H~M) 중 측정한 오일 온도 및 정전용량을 주행시간에 따라 도시한 그래프는 Fig. 10~Fig. 15와 같다. 센서는 S78WL 및 S87WL을 장착하였으며, 엔진오일은 Oil-03(SAE5W20)를 사용하였다.

차량시험 H(vehicle test H)에서는 센서 S78WL을

Fig. 11. (a) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test I, (b) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test I.

차량에 장착하여 1월 초순에 국도주행이 약30%, 고속도로 약40%, 시내주행이 약30%인 108 km 주행(주행시간 약 2시간 37분)하여 오일 노화 주행거리가 579 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 10). 국도주행은 평지에서 이루어 졌다. 차량 정지 후 엔진 시동을 정지하여 약 11분 동안 엔진오일의 온도가 82~76°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 -1°C였다. 본 실험에서는 차량 주행 중 엔진오일의 최고 온도는 95°C까지 올라갔으며, 주행 상태에서는 정전용량 측정값의 신호 변동폭이 크게 나타났으며(Fig. 10a), 그러나 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다(Fig. 10b). 엔진오일이 엔진 정지 후 센서신호가 안정된 상태에서, 온도변화에 따라 정전용량 값이 선형적으로 변했으며, 오일

의 노화가 별로 진행이 안 된 상태에서 온도가 내려감에 따라 정전용량 값은 증가하였다(Fig. 10c).

차량시험 I(vehicle test I)에서는 센서 S78WL을 차량에 장착하여 1월 말경에 국도주행이 약90%, 시내주행이 약10%인 217 km 주행(주행시간 약 4시간 17분)을 하여 오일 노화 주행거리가 2806 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 11). 국도주행은 평지에서 이루어 졌다. 엔진 시동 정지 후 1분 후부터 약 26분 동안 엔진오일의 온도가 94~77°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 4°C였다. 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다(Fig. 11a). 오일의 노화가 어느 정도 진행된 상태인 오일 노화 주행거리 2806 km에서는 온도가 내려감에 따라 정전용량 값이 떨어지기 시작했다(Fig. 11b).

차량시험 J(vehicle test J)에서는 센서 S78WL을 차량에 장착하여 3월 초순에 국도주행이 약55%, 시내주행이 약40%, 고속도로 주행이 약5%로 217 km 주행(주행시간 약 5시간 26분) 하여 오일 노화 주행거리가 9,848 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 12). 국도주행은 평지에서 이루어 졌다. 엔진 시동 정지 후 7분 후부터 약 20분 동안 엔진오일의 온도가 91.5~76.9°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 4°C였다. 엔진 정지 후 PCB 온도는 84°C까지 올라갔다. 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었고, 오일온도 구현은 소수점 첫째 자리까지 하였다(Fig. 12a). 오일의 노화가 많이 진행된 상태인 오일 노화 주행거리 9,848 km에서는 온도가 내려감에 따라 정전용량 값이 빠르게 떨어졌다(Fig. 12b).

차량시험 K(vehicle test K)에서는 초기 신유주입 후 센서 S87WL을 차량에 장착하여 1월 초순에 국도주행이 약45%, 시내주행이 약10%, 고속도로 주행이 약45%로 232 km 주행(주행시간 약 3시간 23분) 하여, 오일 노화 주행거리가 232 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 13a~Fig. 13c). 엔진 시동 정지 직후부터 약 26분 동안 엔진오일의 온도가 96~76°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 -5°C였다. 엔진 시동 후 주행 중에는 센서신호의 변동이 심하였으나(Fig. 13a), 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다(Fig. 13b). 오일의 노화가 진행 안 된 상태인 232 km 주행에서는 온도가 내려감에 따라 정전용량 값이 올라갔다(Fig. 13c).

Fig. 12. (a) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test J, (b) Engine Oil Temperature vs. Capacitance during vehicle test J.

Fig. 13. (a) Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test K, (b) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test K, (c) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test K.

Fig. 14. (a) Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test L, (b) Capacitance and temperature of engine oil after engine stop during vehicle test L, (c) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test L.

Fig. 15. (a) Capacitance and temperature of engine oil during vehicle test M, (b) Engine oil temperature vs. capacitance during vehicle test M.

차량시험 L(vehicle test L)에서는 초기 신유주입 후 센서 S87WL을 차량에 장착하여 1월 초순에 고속도로 주행이 약80%, 국도주행이 약10%, 시내주행이 약10%인 239 km 주행(주행시간 약 3시간 12분)하여, 오일 노화 주행거리가 471 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다 (Fig. 14a~Fig. 14c). 엔진 시동 정지 직후부터 약 27분 동안 엔진오일의 온도가 94~76°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 -5°C였다. 엔진 시동 후 주행 중에는 센서 신호의 변동이 심하였으나(Fig. 14a), 엔진 정지 후에는 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다(Fig. 14b). 오일의 노화가 진행 안 된 상태인 471 km 주행에서도 온도가 내려감에 따라 정전용량 값이 올라갔다(Fig. 14c).

차량시험 M(vehicle test M)에서는 초기 신유주입 후 센서 S87WL을 차량에 장착하여 3월 중순에 국도

주행이 약50%, 시내주행이 약10%, 고속도로 주행이 약40%로 217 km 주행(주행시간 약 4시간 50분) 하여, 오일 노화 주행거리가 10445 km일 때 주행시간에 따른 센서 신호 값을 측정하였다(Fig. 15a~Fig. 15b). 엔진 시동 정지 후 20분 후 공 회전 예열운전을 하여 오일 온도가 82.4°C에 도달한 직후부터 엔진 시동을 끄고 약 19분 동안 엔진오일의 온도가 82.4~84.3~77.0°C인 상태에서 센서신호를 측정하였다. 측정 시 외기온도는 8°C였다. 엔진 정지 후에는 약 2분 후부터 안정된 측정값을 얻었을 수 있었다(Fig. 15a). 오일의 노화가 많이 진행된 상태인 10445 km 주행에서는 온도가 내려감에 따라 정전용량 값이 떨어졌다(Fig. 15b).

3. 결과 및 고찰

3-1. 차량시험 결과 요약

여름철 차량 시험결과는 다음과 같이 요약될 수 있다. 엔진 시동이 걸리면 공 회전 시와 운전 중에는 오일의 정전용량 값의 신호 변동폭이 심하게 나타났으며, 엔진 정지 후에 안정된 신호를 얻을 수 있었다(Fig. 3~Fig. 9). 한편 엔진이 정지하는 순간 냉각수 순환이 멈추면서 잠시 동안은 온도가 조금 올라 갈 수 있어서 정전용량 값의 잠시 동안 상승하다 약 10분 전후에서 선형적으로 내려가기 시작했다(Fig. 8b 참조). 또한 여름철 엔진 시동을 끈 후 엔진오일의 온도가 93°C에서 55°C까지 내려가는 데 약 2시간 48분 걸렸으며(Fig. 4), 95°C에서 76°C까지 내려가는데 약 53분 걸렸다(Fig. 6). 한편 64°C에서 46°C까지 내려가는데도 약 2시간 25분 정도 소요되었다(Fig. 5). 따라서 95°C에서 46°C까지 내려가는 데는 최대 약 4시간 30분이 걸린다고 유추할 수 있다. 한편 추가로 46°C에서 40°C로 떨어지는 시간은 약 2시간10 걸렸다(Fig. 9). 따라서 여름철에 주차장에서 엔진정지 후 최대 오일온도를 98°C로 볼 때, 98°C에서 40°C까지는 약 6시간 40분 이상 걸린다고 유추해 볼 수 있다.

겨울철 차량 시험결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 엔진 시동이 걸리면 공회전 시와 운전 중에는 오일의 정전용량 값의 신호 변동폭이 심하게 나타났으며, 엔진 정지 후에 안정된 신호를 얻을 수 있었다(Fig. 10~Fig. 15). 한편 엔진이 정지 후 약 10분 이내에서 신호가 안정이 되어 선형적으로 변하였다(Fig. 15a 참조). 겨울철에는 95°C에서 76°C까지 내려가는데 걸린 시간은 26분 정도였고(Fig. 14b), 94°C에서 77°C까지

내려가는데 걸린 시간은 27분 정도였다(Fig. 15b).

본 차량 주행시험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 차량 운행 중 엔진오일의 최고온도는 섭씨 103도 까지도 올라갔다. 엔진 시동 후에는 신호 변동 폭이 심해 신호가 안정이 안 되었으며, 엔진 시동을 끈 후부터는 신호가 안정 되었다. 엔진 시동을 끈 후 신호가 안정되는데 10분 정도의 시간이 필요하며, 80°C에 도달하는 시간은 여름철 1시간 이내, 겨울철 30분 이내 정도 걸렸다. 그러나 오일물성성적서 상의 점도 측정 온도인 40°C까지 도달하려면 여름철에는 6시간 40분 이상도 시간이 걸릴 수 있고, 다른 점도 측정 온도인 100°C는 엔진운전 중에 가능하며, 이때는 신호가 불안정한 상태이다. 따라서 정전용량 값 측정은 엔진 정지 후 95°C 전후의 오일온도가 80°C에 도달할 때 측정하고자 한다. 즉, 80.4°C에서 79.5°C까지의 측정한 정전용량 값의 평균 값을 80°C에서의 값으로 한다. 또한 엔진 시동을 끈 후의 신호 데이터 값을 분석한 결과 매 1분 동안 측정값의 편차(최대값과 최소값의 차이)가 평균 약 0.01 pF 근처였고, 판별 안정성을 고려하여 0.02 pF이하 이면 엔진이 정지한 것으로 판단할 수 있었다.

한편 차량 시험 중 엔진오일 열화 상태에 대해 나타난 주목할 사항은 다음과 같다. 하루 주행 중 시내주행이나 단거리 주행이 많은 경우, 여러 번 정차할 경우와 하루 쉬고 주행할 경우 정전용량 값이 전번 측정값보다 작게 나오는 경우가 많았다. 이는 전체 주행거리가 오일 노화에 영향을 주는 주요인자 지만, 당일 주행거리도 오일 노화 변화에 영향을 준다는 것이다. 즉, 측정 직전 오일이 받는 가혹 상태가 오일 노화 정도를 알 수 있는 정전용량측정 값에 영향을 준다. 나아가 측정 데이터로부터 엔진 정지 상태 동안 오일의 노화 정도는 어느 정도 회복된다고 볼 수 있었다. 사용유의 물성분석을 위해 오일 샘플 채취 후 채취한 만큼 보충(약 200 cc)한 경우, 보충 당일 주행 시에는 정전용량 값이 일시적으로 작게 나오며 다음 날부터 노화가 진행되면서 정전용량 값이 조금씩 증가하였다. 일반적으로 엔진 정지 후 온도가 떨어지면서 정전용량 값도 작아지는 경향이 있으나, 엔진 정지 직후는 냉각수 순환이 멈추면서 잠시 동안은 온도가 미세하게 올라갈 수 있어 정전용량 값도 미세하게 올라갈 경우도 있었다.

한편 엔진 정지 후 신호가 안정되면 엔진오일의 온도에 따른 정전용량 값의 변화는 선형적으로 변하며,

노화가 진행되기 전에는 온도가 내려감에 따라 증가하는 현상을 보이다가, 오일의 노화가 어느 정도 진행되면 온도가 내려감에 따라 정전용량 값도 떨어지는 현상을 나타내었다.

3-2. 센서 문제점 개선

센서 S72WL은 오일 Oil-05(SAE7.5W30)을 사용하는 중형차 엔진에 장착하여 차량 주행시험을 시작했으나 3507 km(2119 km~5626 km)에서 오일 레벨 확인 및 오일 샘플 채취 과정에서 게이지센서를 탈착 및 장착할 때 비틀림으로 센서부 납땜 부위 접촉 불량으로 인한 고장으로 신호가 적게 나오는 현상이 일어나 파손된 것으로 처리되었으며, 그 후, S82WL로 교체하여 센서내구시험 20004 km(5626 km~25630 km)를 주행 완료하였다.

Fig. 16. Heat shrink tube at 20004 km of sensor S82WL durability mileage.

Fig. 17. Heat shrink tube at 15,327 km (0 km~471 km & 10,455 km~20,297 km & 5014 km with oil-04 (SAE5W30)) of sensor S78WL durability mileage.

Fig. 18. Transparent heat shrink tube.

한편 센서 S78WL은 오일 Oil-03(SAE5W20)을 사용하는 중형차 엔진에 장착하여 차량 주행시험을 시작했으나 주행거리 9984 km(471 km-10455 km)에서 엔진정지 후에도 신호 변동폭이 크게 발생하여 파손된 것으로 간주하고, S87WL로 교체하여 10,313 km(0 km~471 km & 10,455 km~20,297 km) 주행하여 총 20,297km 주행하였다. 본 두 번의 차량주행시험 시 발견한 문제점은 다음과 같다.

첫째로 열수축튜브가 엔진오일과 접촉되는 부분이 고온에서 화학반응으로 변색 및 늘어나고 터지고 찢어지는 현상이 일어났다(Fig. 16). 센서 S78WL 부터는 Fig. 17와 같이 화학적 내약품성이 강한 투명 열수축튜브(Fig. 18)를 입혀 이러한 문제를 개선하였다.

두 번째로는 게이지 센서 끝단에 위치한 센서부가 가이드 튜브를 통과할 때 가이드 튜브 끝단의 병목부에서 걸리는 현상이 일어났으며, 이는 가이드튜브 끝단의 병목부위 치수에 대한 허용공차가 크기 때문에 부품 별로 차이가 크기 때문이다. 따라서 작은 치수에 맞춰서 센서부 커버 지름 치수의 개선이 필요했다. 본 연구를 위해 구입한 가이드튜브의 병목부위 치수는 지

름이 7.4 mm(개발업체 소유) 및 7.1 mm(주관기관 소유)였다. 개발업체에서 제작한 센서 부위 커버 외경은 7.1 mm였다. 따라서 0.3 mm를 줄여 외경을 6.8 mm로 수정 개발하여 적용(Fig. 19)하였고 그 후 본 문제점을 개선되었다. 또한 오일 샘플 채취, 오일 레벨 측정 및 오일 보충 등을 위해 게이지센서를 탈착 및 장착 시에 무리한 비틀림 힘 및 수직 힘을 가하면 센서의 센서부 용접부위의 접촉이상이 생겨 이상 신호 및 신호가 단락 되는 경우가 발생했으나 센서 커버 지름 수정 후에는 해결되었다.

셋째로 센서부 커버 표면이 매끈하여 커버에 오일이 묻어있지 않아 오일 레벨을 판단할 수 없었으며, 커버 표면의 표면 거칠기 개선이 필요하였다. 따라서 센서 커버 금형 표면 부위에 아크 방전으로 거칠게 하여 이를 개선할 수 있었다(Fig. 20 좌측). 또한 낮은 레벨(Low Level) 표시('L')만 있던 것을 높은 레벨(High Level) 표시('H')도 센서커버 길이를 조금 크게 하여(Fig. 19) 윗부분에 추가 하였으며, 커버 색깔도 노란 색에서 회색계통으로 변경하여 시각적으로 오일레벨 판단을 하기 쉽게 하였다(Fig. 20 우측).

Fig.19. Redesigned sensor cover.

Fig. 20. Surface improved sensor cover (LHS) with level marks (RHS).

3-3. 주행거리별 오일열화 및 물성변화

센서 S82WL과 S72WL을 2.0DOHC 엔진을 탑재한 승용차량에 장착하여 Oil-05(SAE7.5W30) 엔진오일에 대한 정전용량 측정값을 주행거리 별로 도시한 그래프는 Fig. 21과 같다. 신유는 별도로 시험실에서 측정하였고, 사용유의 정전용량 측정은 2,119 km부터 25,630 km까지 주로 하루 차량주행 후 엔진정지 상태

Fig. 21. Oil capacitance vs. oil aging mileage of sensor S82WL.

에서 진행하였다. 엔진오일은 초기 주입 신유를 계속 사용하면서, 하루 주행 후 정전용량 값을 센서로 측정하였으며, 오일 물성을 측정하기 위하여 매 2,000 km ~3,000 km 사이에서 오일을 채취(약 200 cc)하였고 채취한 오일 량만큼을 보충하면서 차량주행을 계속 진행하였다.

정전용량 측정 결과 그 변화 경향은 다음과 같다. 우선 측정한 정전용량 값은 점으로 표시하였으며, 1점 섹션으로 표시한 측정값 변화형태가 보전된 그래프와 실선으로 표시한 7차 다항식 등으로 표시해 보았다. 각 주행조건에 따라 정전용량 값의 증감 변동은 있었으나 종합적으로 볼 때 증가하는 경향을 나타냈다. 5000~7000 km 사이에서 급격히 증가하였다. 첫 번째 사용유 정전용량 값 측정인 2119 km에서의 측정 값을 신유와 비교 시 9.03% 낮은 정전용량 값을 보였으

며, 5196 km에서는 1.05% 낮은 값을 나타내고 있다. 5626 km 에서는 3.52%로 증가하기 시작했다, 그 이후부터 신유보다 큰 값이 지속되었다. 14,976 km에서 측정한 정전용량 값의 변화는 10.55% 증가하였고, 24,326 km에서는 13.37%로 증가로 최고 값이 나왔으며, 25,630 km에서는 12.41% 증가한 값이 나왔다.

샘플링 한 엔진오일에 대한 오일 물성 변화의 진행 상태는 Fig. 22와 Fig. 23에 도시하였다. Fig. 22는 주요 오일 물성 측정값인 40°C와 100°C 점도, TAN(전산가) 및 TBN(전염기가 혹은 전알카리가)와 정전용량 값과 이로부터 계산된 유전상수 값을 함께 도시하였다. 한편 Fig. 23에는 이들 물성 값의 신유에 대한 변화율 혹은 변화량을 도시하였다. 각 물성에 대한 사용관계치는 참고문헌[10-11]으로부터 참조하였다.

위에서 고려한 물성치 중에 제일 먼저 한계치에 도달한 것은 TBN이었다. 이로부터 정전용량과 비교하면 10%변화시점에서 한계치에 도달 함을 알 수 있다. 이를 유전상수 변화율로 표시하면 약 20%변화 시점이다. 또한 TBN 한계 시점과 비교 시 정전용량(유전상수) 한계 시점에 대한 오차를 계산해 보면 -5% 정도 인 것을 알 수 있었다. 즉 TBN 한계치를 나타내는 주행 거리(주행시간)와 비교 시 정전용량(유전상수)한계에 도달하는 주행거리(주행시간)는 약 5% 일찍 도달하는 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문의 결론은 다음과 같다.

1. 엔진오일의 정전용량 측정 값은 엔진이 정지한 후에 안정된 값을 얻을 수 있었다.
2. 엔진오일의 열화상태는 엔진 정지 상태에서 오일 온도가 80°C(80.4~79.5°C)에 도달하면 정전용량 값을 측정하여 평균한 값을 유전상수로 환산 후 그 변화율로 판단하도록 하였다.
3. 엔진 정지 상태의 판단기준은 1분간 측정한 정전용량 값의 최고 및 최저 값의 차이가 0.02 pF 이하인 경우로 했다.
4. 엔진 정지 후 신호가 안정되면 엔진오일의 온도에 따른 정전용량 값의 변화는 선형적으로 변하며, 노화가 진행되기 전에는 온도가 내려감에 따라 증가하는 현상을 보이다가, 오일의 노화가 어느 정도 진행되면 온도가 내려감에 따라 정전용량 값도 떨어지는 현상을 나타내었다.

Fig. 22. Oil properties of oil-05 measured by S82WL.

Fig. 23. Change of oil properties in oil-05 measured by S82WL.

5. 오일교환 시점의 유전상수 변화율은 엔진오일의 물성변화가 사용한계 값에 도달하는 시점과 연계되는 유전상수변화율 값으로 하였다. 이로부터 교환 주기 예측 오차는 -5% 이내인 것으로 확인할 수 있었다.

본 차량시험 결과 중 주요사항은 향후 엔진오일교환 정보 알고리즘을 개발하는 데 적용하고자 한다.

Acknowledgement

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2013년도 산학연공동기술개발사업 (No. C0000909)의 연구수행으로 인한 결과물입니다.

References

- [1] Chun, S. M., "Development of a Dipstick-Gage-Type Small Sensor Equipped with Individual Control Circuit for Detecting Engine Oil Deterioration", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 29, No. 3, pp. 143-148, 2013.
- [2] Chun, S. M., "Development of a Dipstick Gage Type Small Engine Oil Deterioration Detection Sensor", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 29, No. 2, pp. 77-84, 2013.
- [3] 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", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 22, No. 5, pp. 260-268, 2006.
- [4] 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", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 22, No. 5, pp. 290-300, 2006.
- [5] Chun, S. M., "The Prototype Development of an Engine Oil Deterioration Sensor Installed Inside an Oil Filter", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 24, No. 2, pp. 82-89, 2008.
- [6] Chun, S. M., "The Prototype Development II of an Engine Oil Deterioration Sensor Installed Inside an Oil Filter", *J. Korean Soc. Tribol. Lubr. Eng.*, Vol. 24, No. 4, pp. 170-178, 2008.
- [7] Saloka, G. S. and Meitzler, A. H., "A Capacitive Oil Deterioration Sensor", *SAE Technical Paper Series*, No. 910497, 1991.
- [8] Irion, E., Land, K., Gurtler, T. and Klein M., "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] Lee, R. D., Kim, H. J. and Semenov, Y. P., "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] Oronite Additives, Chevron Research Company, "Testing Used Engine Oils – Recommended Warning Limit for Engine Oil in Service", 1983.
- [11] KS M 2121- Internal Combustion Engine Oil 2nd Class for Ground Vehicle, "Lubricant Quality Standard for Internal Combustion Engine", Korean Industrial Standards, Korean Agency for Technology and Standards (KATS), Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2008.