

엔진오일의 화학적 및 물리적 변화에 의한 퇴화정도와 유전상수 변화에 관한 상호관계 연구 - 디젤엔진오일

전 상 명[†]

호서대학교 자동차공학과

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

Sang Myung Chun[†]

Dept. of Automotive Engineering, Hoseo University

Abstract – The dielectric constants of used diesel engine oils were obtained at a few temperatures and a frequency. Through analyzing the characteristics of dielectric constant, the related correlation between the changes in dielectric constants of oil and the degree of oil deterioration is going to be found. The dielectric constant was calculated using cross capacitances measured by a sensor tube. As results of the measurement of the fresh engine oil's dielectric constant, it was found that the value of dielectric constant was set down below 60°C regardless changing frequency. Further, above 6 kHz, the dielectric constant was set down even if temperature was above 100°C. Therefore, for the measurement of used oils, it was selected the frequency of 6 kHz, and the temperature of 80°C preventing a certain ionic-conduction effects on the measured dielectric constant and the evaporation of a certain fluid mixed with engine oil. Specially, the effects of the mixing fluid like coolant, water and fuel on the fresh engine oil's dielectric constant were studied. It was found that the oil mixed with coolant showed the highest value, next water, and the lowest fuel. As results of the measurement of the used engine oil's dielectric constant, it was found that the possible changed rate of the used engine oil's dielectric constant based on the warning limit for engine oil in service was below 10% for diesel engine oil.

Key words – engine oil, oil deterioration, dielectric constant, TAN, oil viscosity, engine oil warning limit.

1. 서 론

엔진오일 교환주기는 설계된 엔진의 특성과 개인의 운전 성향에 따라 다르다. 그렇기 때문에 주행거리와 주행시간에 기초한 고정된 엔진오일 교환 주기는 엔진 오일의 퇴화정도를 정확히 판단된 상태에서의 오일 교환을 위한 이정표가 되지 못한다. 그 대안은 각 엔진 운전상황(엔진 형식에 따른 가혹도 차이, 엔진오일의 성능 차이, 운전자의 운전 방식)에 따라 유연한 오일 교

환주기를 알아내는 것이다[1].

따라서 자동차 운전 중에 엔진 오일의 퇴화정도를 측정하는 실시간 센서 시스템의 개념이 소개되고 있다[2-5]. 이러한 센서에 의해서 오일 교환 시점은 실시간 측정된 자료에 따라 판단된다. 더 나아가 이러한 센서에 의해, 고 품질 및 고성능의 엔진오일 신제품이 나올 때마다 오일 제조업체와 자동차 제조업체에서 고정된 오일 교환주기를 정하고 명시하는 번거로움을 없앨 수 있으며, 소비자들도 실시간 판단 시스템을 통해 실질적인 엔진오일 교환주기를 알 수 있는 이점을 누릴 수 있다고 본다.

[†]주저자 · 책임저자 : sangmchun@hanmail.net

윤활유의 주성분은 탄화수소로서 원자간의 결합력이 강하지 못하고 열 분해로 인해 공기중의 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[6].

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. 다시 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 잠시동안 감소하는 현상이 나타난다.

따라서 일반적으로 오일 유전상수는 처음에 감소하여 초기값보다 작아 지는데, 이는 산화방지제가 활성화되기 때문이다. 그 후 산화방지제가 충분히 고갈되어 산화물을 축적하게 되어, 오일유전상수는 증가한다.

한편 오일의 이온유도작용(ionic-conduction)으로 인한 오일유전상수 측정에 미치는 영향은 일반적으로 50 kHz이하의 주파수와 100°C보다 적은 온도에서 무시 된다고 본다[2].

본 연구에서 유전상수 측정의 기준 주파수와 온도는 앞 장의 신유실험[7]을 통해 선택한 주파수 값인 6 kHz와 오일 내 물 및 냉각수 성분의 증발을 방지하기 위해 80°C로 정하였다.

오일의 사용한계[8,9]를 판단하는 항목은 점도, 연료 희석량, 오일 내 금속성분, 물 및 냉각수 함유량, 불용분, 전산가(TAN) 및 전염가(혹은 전알카리가, TBN) 등과 같이 다양하나, 본 연구에서 오일의 유전상수변화와 연계하여 측정할 순수 오일물성을 점도와 전산가와 전염가 등으로 제한하였다.

전산가는 오일 중의 산성분의 전량으로 나프탄계 첨가제 중의 산성물질, 사용 중에 생성된 유기산 등 전부를 합한 양을 나타낸다. 즉 시료 1g 중에 포함되어 있는 산성성분을 중화하는 데 필요한 수산화 칼륨(KOH)의 양을 mg 수로 표시한다. 본 측정은 상온(room temperature)에서 실시한다. 이러한 전산가로 오일에 포함된 산성 첨가제 양을 조사하거나 사용중인 오일의 산화정도를 측정에 이용한다. 따라서 윤활유의 정제도의 기준으로 적용하기도 하고, 제조공정의 관리

지표, 사용 윤활유의 관리 또는 윤활유의 산화시험이나 실기시험 후의 열화상태를 알기 위한 기준으로 널리 사용되고 있다. 일반적으로 윤활유가 열화 됨에 따라 전산가는 통산적으로 증가하는 경향을 보이며 디젤엔진의 경우 신유 대비 2.0 이상 증가하면 교환해야 될 시점으로 본다.

전염가는 오일 중의 염기성 물질의 양을 나타낸다. 즉 시료 1g중에 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 디젤엔진의 경우 신유 대비 50% 이하로 감소하면 교환 시점으로 본다. 즉 사용유에 있어서 전산가는 윤활유의 산화정도를 의미하며 전염가는 잔존 청정분산 첨가제의 양을 의미한다.

점도는 엔진 오일 중에 결정체로 존재하는 왁스분의 응결현상을 막아 오일의 유동성을 좋게 해주는 유동성 강화제 성분에 의해 결정된다. 윤활유를 사용함에 따라 이 유동성강화제가 고갈될 때 점도는 증가한다. 점도 변화에 따른 교환시점에 대한 추천값[8]은 디젤 엔진오일 경우, 40°C에서는 점도의 35% 증가시와 25% 감소시를 교환시점으로 보며, 100°C에서는 점도의 25% 증가시를 교환시기로 본다.

2. 오일 채취방법 및 차량시험 모드

차량주입시험오일은 공인 제조된 전형적인 순정품으로 공장에서 주입되는 오일(factory-fill)을 사용하였다. 기본적으로 엔진에 이상이 없고 시험 상황이 정상적일 경우에는 엔진오일 채취 및 보충은 다음을 기준으로 수행하였다. 즉, 기본적으로 초기 10분 워업 후와 매 5,000 km마다 350 ml를 채취한 후 같은 양을 보충하고자 했으며, 그 중간에 매 1,000 km마다 50 ml를 채취 후 같은 양을 보충하고자 계획했다. 샘플 채취 시에는 10분간 엔진 워업 후 오일 샘플을 취하였다. 이러한 시험차량으로부터 수시로 오일을 채취하기 때문에 초기 주입은 오일 검사게이지의 최대치보다 500 ml 초과하여 주입하였다.

한편 시험차량은 A사에서는 디젤승용차 2대 및 디

젤 SUV 차량 1대를 지원받아 수행하였고, B사에서는 디젤 SUV 차량을 3대 지원받아 수행하였다.

2-1. A사의 차량시험

A사의 차량 시험은 3가지로 차량시험 A1~A3으로 구분한다.

차량시험 A1~A3에서 사용한 차량은 2.0 L 디젤 엔진을 장착한 승용디젤차량(A1, A2)과 SUV차량(A3)이며 사용오일은 SAE 5W40 디젤엔진용 공장주입(factory fill) 순정품 오일로서 오일 A로 표시한다. 오일 주입량은 6.5 L이다. 시험 A1관련 차량은 M/T 미션을 장착하였고, 소비자가 10년을 탈수 있는 가혹도를 갖는 소비자의 모든 모드가 혼합된 42000 km 일반 내구(General Durability)모드를 뛰었다. 시험은 2005년 5월 15일부터 2005년 9월 30일까지, 늦 봄부터 가을까지 중국 북경에서 진행하였다. 시험 A2관련 차량도 M/T 미션을 장착하였고, 시내와 시외와 고속국도를 혼합하여 주행하여 파워트레인과 운전제어를 평가하는 소비자 주행모드인 100000 km 프리트 시험(Fleet Test) 모드로 뛰었다. 시험은 2005년 6월 1일부터 2005년 11월 30일까지, 초 여름부터 늦 가을까지 국내에서 진행하였다. 시험A3관련 차량은 A/T 미션을 장착하였고, 프리트시험과 같은 소비자 주행모드로 차량전체 내구를 보는 80000 km 차량 내구 시험(Reliability Test) 모드를 뛰었다. 시험은 2005년 11월 15일부터 2006년 6월 29일까지, 늦 가을부터 다음 해 초 여름까지 국내에서 뛰었다.

2-2. B사의 차량시험

B사의 차량 시험은 3가지로 차량시험 B1~B3으로 구분한다. 각 차량의 엔진오일은 오일 B를 사용하였으며 공장주입(factory fill)용 SAE5W40 디젤 엔진 오일이다.

차량시험 B1에 사용된 차량은 디젤 SUV차량으로 엔진은 A/T를 장착한 2.7 L DOHC Turbo디젤엔진으로 오일 주입량은 8.5 L이다. 차량 시험모드는 고속도로 40%, 지방도로(국도) 40%, 시내 도로 10%, 비포장(off-road) 10%의 주행을 실시한 차량 시험이다. 시험 기간은 2005년 5월 18일부터 2005년 7월 5일까지, 늦 봄부터 여름철에 국내에서 진행하였다.

차량시험 B2에 사용된 차량은 SUV차량으로 엔진은 M/T를 장착한 2.7 L DOHC Turbo 디젤엔진으로 오일 주입량은 8.5 L이다. 차량 시험모드는 특정 모드 없

이 고속도로와 지방도로(국도)를 혼합하여 주행한 차량 시험이다. 시험 기간은 2005년 7월 1일부터 2005년 9월 12일까지 여름철에 국내에서 진행하였다.

차량시험 B3에 사용된 차량은 SUV 차량으로 엔진은 A/T를 장착한 2.0 L DOHC Turbo디젤엔진으로 오일 주입량은 7.5 L이다. 차량 시험모드는 특정 모드 없이 고속도로와 지방도로(국도)를 혼합하여 주행한 차량 시험이다. 시험 기간은 2005년 9월 9일에서 2006년 1월 5일까지 가을부터 겨울철에 국내에서 진행하였다.

3. 측정 결과

3-1. 차량시험 엔진오일의 물성변화

3-1-1. A사 디젤 엔진 오일

1) A사의 차량시험 A1에 대한 오일물성 변화

본 차량시험 A1의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 초기 샘플 채취 후 30000 km까지 50 ml 씩 채취한 후 대체로 같은 량(간혹 50 ml보다 많게 넣기도 함)을 보충하면서 진행하였고 30000 km에서 500 ml를 채취 후 같은 량을 보충하였다. 그 후 42000 km까지도 50 ml씩 채취후 같은 양을 보충하며 진행하였다. 따라서 30000 km 이전에서는 오일 물성을 측정할 정도의 샘플 양이 확보되지 못한 관계로 물성을 측정하지 못했으며, 30000 km의 물성만 측정 가능하였다. 이는 30000 km 오일 교환 주기를 목표로 시험을 진행했기 때문이다. 따라서 오일에 부하가 많이 걸렸기 때문에 30000 km에서 산화 방지제가 고갈이 되어 TAN 값이 상한치를 약간 넘어서는 값을 나타냈다(Fig. 6). 청정 분산제도 고갈이 되어 TBN 값도 많이 내려갔으나 허용 추천한계 하한치보다는 큰 값을 나타내고 있다(Fig. 6).

일반적으로 유전상수는 처음에는 감소하여 초기값보다 작아지며, 이는 산화억제제가 활성화되기 때문이다. 그 후 어느 정도 주행거리가 쌓이게 되면 산화억제제가 충분히 고갈되어 산화물을 축적하게 되며, 오일유전상수는 증가한다. Fig. 1에서는 차량시험 A1에서 오일 A의 주행거리별 유전상수의 %변화 경향을 나타내고 있는데 측정값은 증가와 감소를 반복하고 있으나 커브 피팅(curve-fitting)한 곡선을 보면 전체 분포된 측정값은 5000 km 전까지는 유전상수 값이 감소를 하다가 그 후 증가를 했으며, 계속하여 이러한 현상을 반복하여 나타내고 있다. 그러나 전체적으로는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 현상은 오일을 중간에 채

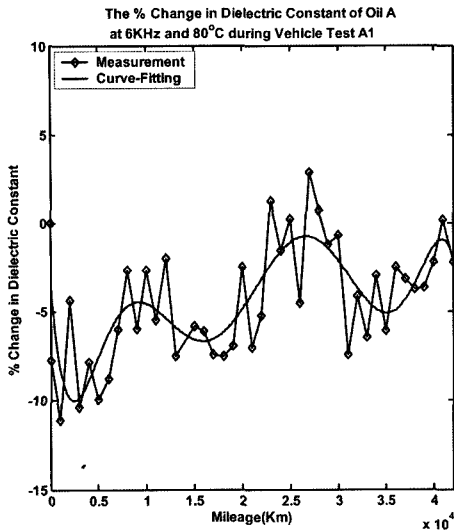


Fig. 1. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil A at vehicle test A1.

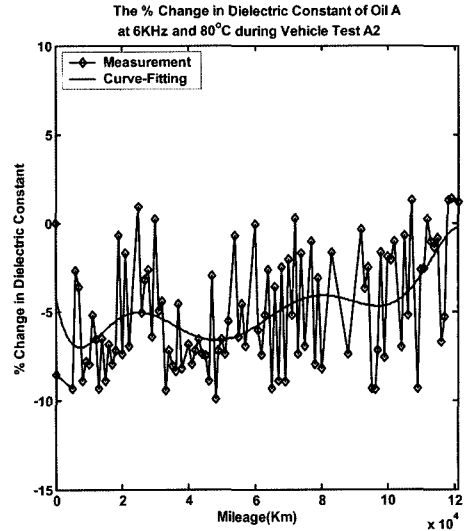


Fig. 2. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil A at vehicle test A2.

취하고 보충했기 때문에 나타나는 현상으로 판단되며, 자세한 원인분석은 오일 보충의 정확한 량, 온도 변화 상태, 샘플보관 상태 및 차량 정지시간과 같은 상황을 정확히 알아야 가능하다. 유전상수 변화는 80°C뿐만 아니라 전체적으로 신유 대비 3%미만의 변화를 나타냈다. 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.3사이 에 있었다.

2) A사의 차량시험 A2에 대한 오일물성 변화

본 차량시험 A2의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 처음 5000 km에서 오일 샘플을 채취하지 못했으며 12000 km까지 오일을 50 ml씩 채취후 보충하였으며 12000 km에서 엔진오일을 전량교환하고 차량주행을 다시 시작하였다. 30000 km까지 오일을 50 ml씩 채취 후 보충해 가며 운행했으며, 30000 km에서 전량교환하였다. 그 후는 45000 km까지는 5000 km마다 오일을 350 ml를 채취후 보충했으며, 45000 km에서 60000 km까지와 60000 km에서 75000 km까지는 오일을 50 ml씩만 채취후 보충하면서 진행하였다. 그 후 121000 km까지는 간혹 채취를 못한 적도 있지만 50 ml씩을 채취 후 보충하며 진행하였다. 전반적으로 오일물성변화에 대한 사용기준치를 만족하고 있다(Fig. 4, 5 & 6). 유전상수는 오일에 부하가 많이 걸린 30000 km에서와 60000 km에서 많이 증가하였고, 같은 수준의 부하를 받았다고 판단되는 75000 km에서는 유전상수가 상대적으로 덜 증가하였다(Fig. 7).

Fig. 2에서는 차량시험 A2에서 오일 A의 주행거리

별 유전상수의 %변화 경향을 나타내고 있는데 측정값은 증가와 감소를 반복하고 있으나 커브 피팅(curve-fitting)한 곡선을 보면 전체 분포된 측정값은 7000 km 전까지는 유전상수 값이 감소를 하다가 그 후 증가를 했으며, 계속하여 이러한 현상을 반복하여 나타내고 있다. 그러나 전체적으로는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 75000 km이후는 오일 샘플을 50 ml씩만 채취 및 보충을 했기 때문에 오일에 부하가 많이 걸렸던 관계로 100000 km 이후에는 유전상수가 급하게 증가하는 현상을 나타냈다. 80°C뿐만 아니라 전체적으로 유전상수는 신유대비 2% 미만의 변화를 보였다. 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.28사이 에 있었다.

3) A사의 차량시험 A3에 대한 오일물성 변화

본 차량시험 A3의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 초기부터 9000 km 이전까지는 오일을 전혀 채취하지 않고 운행했으며 그 이후 14000 km까지는 50 ml씩 채취후 보충하였다. 14000 km 이후부터 55000 km까지는 약 5000 km마다 350 ml씩을 채취 후 보충하며 진행하였으며, 매 1000 m 마다는 50 ml씩을 채취후 보충하였다. 56000 km부터 59000 km까지는 50 ml씩 채취 후 보충하였고 60000 km에서 채취한 샘플이 수거되지 못했으며 이후 67000 km, 72000 km 및 80000 km에서 350 ml씩 채취 후 보충하였다. 74000 km에서 80000 km까지는 단 두번만 50 ml를 채취하였다. 따라서 80000 km에서 채취할 샘플은 부하를 많이

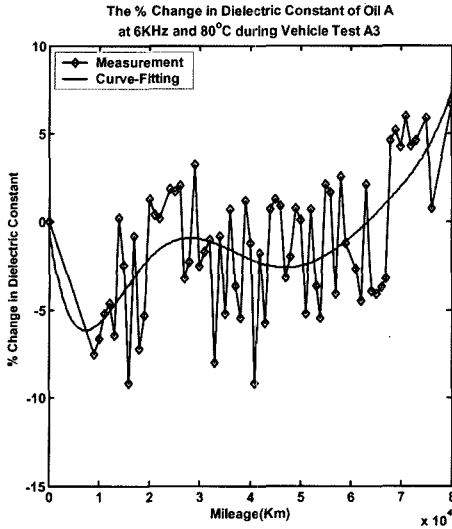


Fig. 3. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil A at vehicle test A3.

받았다고 볼 수 있다. 오일의 물성변화는 사용기준치를 만족하고 있다(Fig. 4, 5 & 6). 유전상수는 오일에 부하가 많이 걸린 14000 km에서 많이 증가하였고, 그 후 25000 km와 45000 km와 55000 km과 72000 km 및 80000 km에서 유전상수 값이 크게 나타났다(Fig. 7).

Fig. 3에서는 차량시험 A3에서 오일 A의 주행거리별 유전상수의 %변화 경향을 나타내고 있는데 측정값은 증가와 감소를 반복하고 있으나 커브 피팅(curve-fitting)한 곡선을 보면 전체 분포된 측정값은 7000 km 전까지는 유전상수 값이 감소를 하다가 그 후 증가를 했으며, 이러한 현상이 한번 더 반복하여 나타나고 있다. 주행거리가 증가할 수록 유전상수 값이 증가한다고 볼 수 있다. 80°C뿐만 아니라 전체적으로 유전상수는 신규 대비 7%미만의 변화를 보이고 있다. 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.4사이에 있었다.

4) A사 디젤 엔진 오일의 차량시험별 물성 변화

엔진오일 A를 사용한 차량시험 A1~A3동안의 엔진 오일에 대한 물성변화를 그래프로 도시하였다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 40°C와 100°C에서의 점성변화는 추천사용한계 범위 내에 있음을 알 수 있었다.

Fig. 6에는 TAN 및 TBN 값이 도시되었으며 차량 시험 A1의 30000 km에서 채취한 오일의 TAN 값이 추천사용한계를 약간 넘었을 뿐 TAN 및 TBN 값은 대체로 사용한계 이내의 값을 나타내고 있다. Fig. 7에

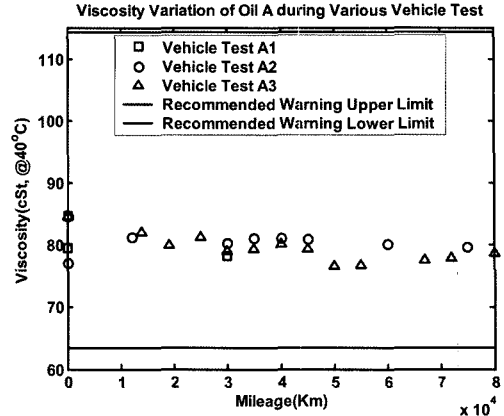


Fig. 4. Viscosity variation of oil A during various vehicle tests at 40°C.

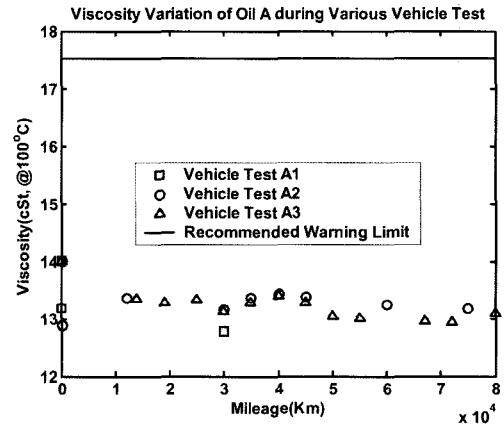


Fig. 5. Viscosity variation of oil A during various vehicle tests at 100°C.

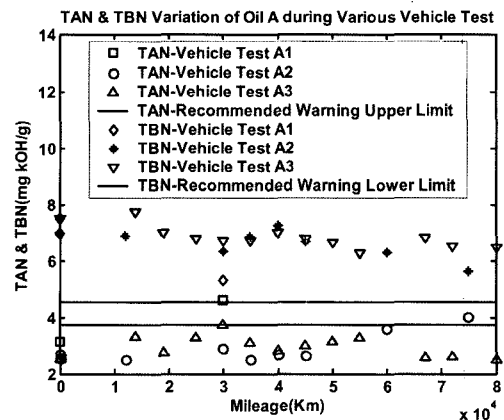


Fig. 6. TAN & TBN variations of oil A during various vehicle tests.

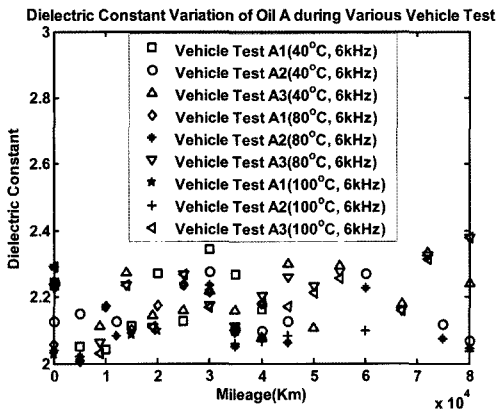


Fig. 7. Dielectric constant variation of oil A during various vehicle tests.

서는 시험차량별 및 주행거리별 유전상수 변화를 도시 하였으며, 그 값은 2.0~2.4 사이에 있었다. 신유대비 유전상수 변화가 7% 미만인 유전상수 범위 2.0~2.4는 오일교환주기 내에서 실운전 시 나타날 수 있는 오일 A의 유전상수 값 수준으로 볼 수 있다고 판단된다. 따라서 참고문헌[2]와 현 측정값을 기준으로 할 때 실운전 시 나타날 수 있는 가혹도를 추가하여 80°C의 오일 A에 대해서는 신유대비 10%이하의 변화에 대한 유전상수 값을 사용하게 기준치로 추천할 수 있다고 본다.

3-1-2. B사 디젤 엔진 오일

1) B사의 차량시험 B1에 대한 오일물성 변화

본 차량 시험 B1의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 초기 주입량은 오일검사게이지의 최대 눈금 보다 500 ml 많게 주입하였으며 10분 워밍 후 300 ml를 채취 후 같은 양을 보충하였다. 15000 km까지 매 1000 km마다 50 ml를 채취 후 같은 양을 보충하였으며 350 ml를 채취했을 경우도 50 ml만을 보충하였다. 15000 km에서는 오일 점검게이지의 최소 주입점까지 보충하여서 20000 km까지 같은 방법으로 주행하였고, 20000 km에서 전량 교환하였다. 오일에 대한 부하가 많이 걸린 주행모드로 운행하였고 특히 오일소모가 191 ml/1000 km로 많았기 때문에 산화 방지제가 많이 고갈되어서 TAN 값이 8000 km부터 사용한계 기준보다 증가하였다 (Fig. 13). 자세히 보면 8000~10000 km사이에서는 사용한계를 약간 상회 했으며 15000 km 이후는 많은 증가를 보였다. 한편 점도 변화(Fig. 11 & 12)와 TBN 변화(Fig. 13)는 추천 사용한계 기준값을 만족한다.

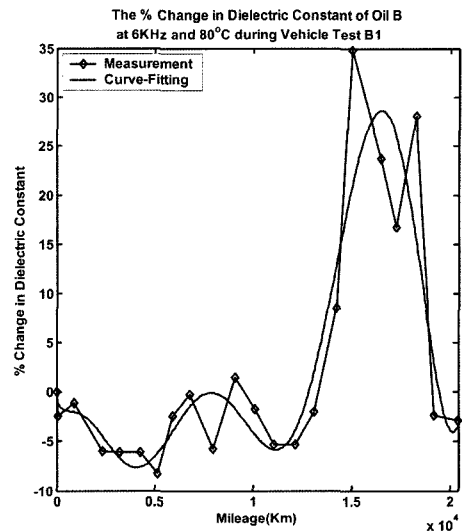


Fig. 8. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil B at vehicle test B1.

주행거리별 유전상수 값은 Fig. 8에서와 같이 때번의 채취 및 보충 양에 따라 증감을 반복하고 있으나, 커브 피팅한 곡선을 기준으로 보면 초기 약 4000 km까지는 감소하였으며 그 후로 증가를 하다, 감소 및 증가를 반복하고 있다. 전반적으로는 주행거리가 증가할 수록 증가하는 경향을 나타낸다. 15000 km주행한 샘플에서 유전상수 값이 신유 대비 35%정도 증가한 이유는 물이나 냉각수가 섞여서 일어날 가능성이 많다고 본다. 본 시험차량이 5월 하순 부터 7월초 중에 국내에서 행하여 졌으므로 결노현상에 의한 물이 생길 확률은 낮다고 볼 때 개스캡을 통한 냉각수 누수가 발생하여 생긴 결과로 볼 수 있으며, 실제로 오일 B에 0.4%의 냉각수만 섞여도 38%정도의 유전상수가 증가함을 3.2절의 오일과 냉각수 혼합물의 유전상수 측정 결과를 통해서 알 수 있었다. 한편 오일과 물 0.4%가 섞였을 경우는 유전상수가 10%이내로 변했다.

또한 Soot로 인한 유전상수에 미치는 영향을 참고 자료[4]를 통해 알아보면 냉각수와 비교시 반 이하의 영향이 미치는 것을 본 논문의 후미에서 도시한 Fig. 18을 통해 알 수 있다. 따라서 같은 체적 %가 혼합되었을 경우 냉각수 혼합에 의한 유전상수의 변화가 제일 크다는 것을 알 수 있었다.

오일에 냉각수와 같은 이물질이 혼합되기 전의 80°C에서 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.25사이에 있었으며 신유 대비 2% 이하의 변화를 나타냈다.

2) B사의 차량시험 B2에 대한 오일물성 변화

본 차량시험 B2의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 초기 주입량은 오일검사게이지의 최대 눈금 보다 500 ml 많게 주입하였으며 10분 워업 후 300 ml를 채취 후 같은 양을 보충하였다. 10000 km까지는 1000 km 마다 50 ml씩 채취 후 대부분 채취한 양 보다 많은 양을 보충했으며, 10000 km에서는 오일 양 보다 많은 양을 보충하였고 오일검사게이지의 최대눈금까지 을 전량 교환하였고 오일검사게이지의 최대눈금까지 채웠다. 그 후 15000 km까지도 1000 km 마다 50 ml 씩 오일을 채취하고 같거나 다소 많은 양을 채웠으며 15000 km에서 300 ml를 채취 후 500 ml를 보충하였다. 그 후 20000 km까지도 50 ml씩 채취 후 같거나 다소 많은 양을 보충하였고, 20000 km에서 전량 교환하였다. 이와 같이 차량시험 B1보다는 오일 보충을 많이 하여 오일이 받는 부하를 줄였기 때문에 대체로 오일 물성변화가 크지 않았으며 사용한계 기준값 이내에 변화하였다(Fig. 11, 12 & 13). 따라서 유럽에서와 같이 오일교환주기 내에서 오일을 보충하여 운행하는 것도 오일을 전량 교환하는 오일교환주기를 늘리는 방안이라고 볼 수 있다.

유전상수 값은 Fig. 9에서와 같이 매번의 채취 및 보충 양에 따라 증감을 반복하고 있으나, 커브 피팅한 곡선을 기준으로 보면 초기 약 2000 km까지는 감소하였으며 그 후로 증가를 하다, 감소 및 증가를 반복하고 있다. 전반적으로는 주행거리가 증가할 수록 증가

하는 경향을 나타내는 것이 일반적이거나 이 경우는 감소하는 경향을 보였다. 이는 오일 보충을 많이 하여 오일이 받는 부하를 줄였기 때문으로 판단되며, 특히 10000 km에서 전량교환 후에 15000 km에서 500 ml를 보충한 것이 윤활유 내 산화방지제의 활성화로 인해 그 이후부터 유전상수를 낮게 유지한 이유로 보인다. 80°C 뿐만 아니라 전체적으로 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.22사이에 있었으며 신유 대비 약 1% 이하의 변화를 나타냈다.

3) B사의 차량시험 B3에 대한 오일물성 변화
본 차량시험 B3의 실지 샘플 채취 및 보충은 다음과 같다. 즉, 초기 주입량은 오일검사게이지의 최대 눈금 보다 500 ml 많게 주입하였으며 10분 워업 후 400 ml를 채취 후 300 ml를 보충하였다. 10000 km까지는 1000 km마다 50 ml씩 채취 후 대부분 훨씬 많은 양을 보충했으며, 10000 km에서는 오일을 300 ml 채취 후 1400 ml를 보충하여 오일검사게이지의 최대와 최소의 중간 눈금까지 채웠다. 그 후 15000 km까지도 1000 km마다 50 ml씩 오일을 채취하고 훨씬 많은 양을 채웠으며 15000 km에서 300 ml를 채취 후 1050 ml를 보충하였다. 그 후 20000 km까지도 50 ml씩 채취 후 같거나 훨씬 많은 양을 보충하였다. 20000 km에서 300 ml를 채취 후 1050 ml를 보충하여 오일검사게이지의 최대와 최소의 중간 눈금까지 채웠다. 그 후 25000 km까지도 매 1000 km마다 50 ml를 채취하였

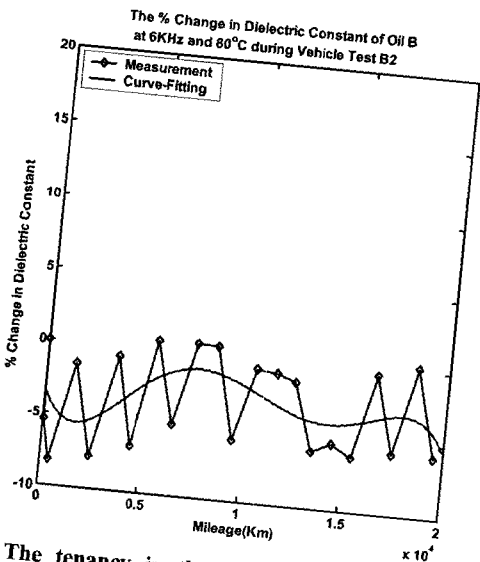


Fig. 9. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil B at vehicle test B2.

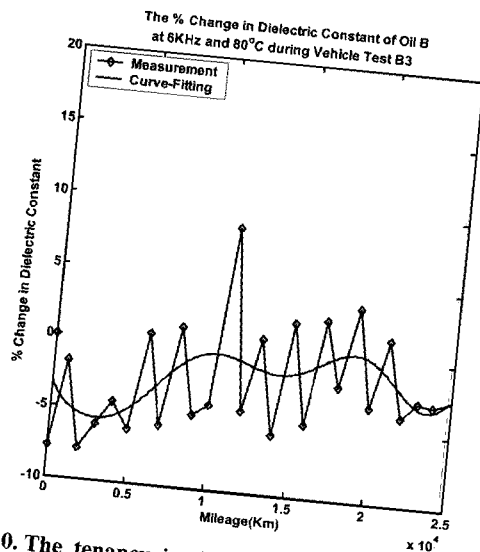


Fig. 10. The tenancy in the change of dielectric constant as changing mileage, oil B at vehicle test B3.

으며 많은 양이 보충되었다. 25000 km에서 오일을 전량 교환하였다. 이와 같이 본 차량시험은 오일소모가 많은 관계로 차량시험 B2보다도 많은 양의 오일이 보충되었다.

TAN 값은 20000 km 이상에서 경고기준 한계값에 도달하였으나 많은 오일 보충으로 인해 크게 증가하지는 않았다(Fig. 13). 한편 TBN 변화(Fig. 13) 및 점도 변화(Fig. 11 & 12)는 사용한계 기준값을 만족한다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 유전상수 변화는 매번의 채취 및 보충 양에 따라 증감을 반복하고 있으나, 커브 피팅한 곡선을 기준으로 보면 초기 약 3000 km까지는 감소하였으며 그 후로 증가를 하다, 감소 및 증가를 반복하고 있다. 전반적으로는 주행거리가 증가할 수록 증가하는 경향을 나타내는 것이 일반적이나,

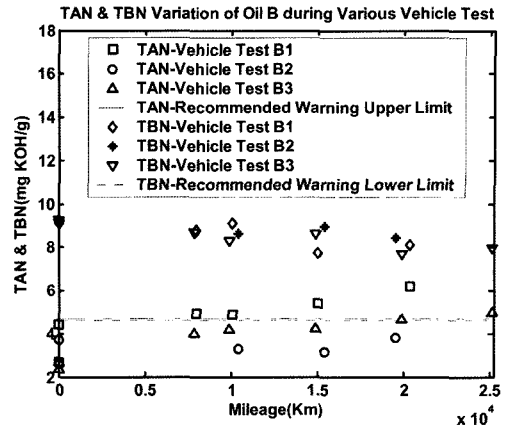


Fig. 13. TAN & TBN variations of oil B during various vehicle tests.

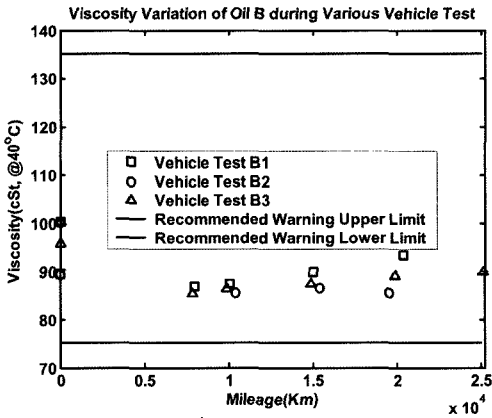


Fig. 11. Viscosity variation of oil B during various vehicle tests at 40°C.

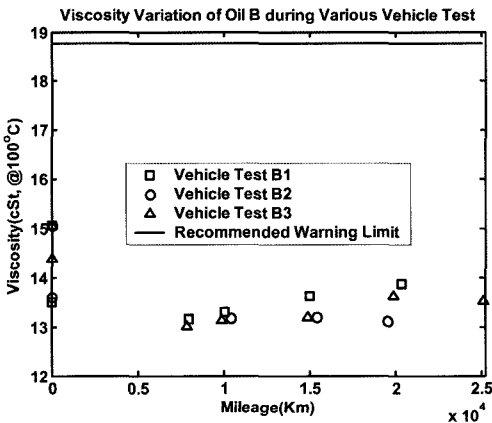


Fig. 12. Viscosity variation of oil B during various vehicle tests at 100°C.

이 경우는 20000 km 이 후에 감소하는 경향을 보였다. 이는 오일 보충을 많이 하여 오일이 받는 부하를 줄였기 때문에 판단된다. 한편 11000 km에서 유전상수가 신유대비 8.5% 급 증가한 이유는 늦가을(11월 초) 낮은 기온으로 인한 결노현상으로 불이 생겼기 때문으로 본다. 이는 10000 km에서 많은 오일 소모로 오일이 오일 검사게이지의 최소준급 아래로 내려가서 오일 채취후 1400 ml의 많은 오일이 보충되었기 때문에 오일 부하로 인한 산화방지제 고갈로 생긴 현상으로는 볼 수 없기 때문이다.

오일에 물과 같은 이물질이 혼합되기 전의 80°C에서 측정된 유전상수의 범위는 2.0-2.3사이에 있었으며 신유 대비 3.7% 이하의 변화를 나타냈다.

4) B사 디젤 엔진 오일에 대한 차량별 물성변화 비교 엔진오일 B를 사용한 차량시험 B1~B3동간의 엔진오일에 대한 물성변화를 그래프로 도시하였다. Fig. 17과 Fig. 18에서 보는 바와 같이 40°C와 100°C에서의 점성변화는 추천사용한계범위 내에 있음을 알 수 있었다.

Fig. 19에는 TAN 및 TBN 값이 도시되었으며 오일에 부하를 많이 받은 차량시험 B1의 8000 km 이상에서 채취한 오일의 TAN 값이 추천사용한계를 넘었다. TAN 및 TBN 값은 대체로 사용한계 이내의 값을 나타내고 있다. Fig. 20에서는 시험차량별 및 주행거리별 유전상수 변화를 도시하였으며, 그 값은 비정상 유전상수 값을 포함하여 2.0~3.0사이에 있었다. 신유대비 10% 미만의 2.0~2.4 정도가 80°C에서 정상적인 실운전 시 나타날 수 있는 오일 A의 엔진오일교환주기 내

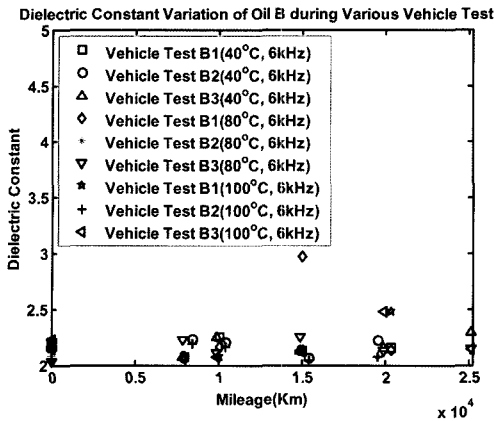


Fig. 14. Dielectric constant variation of oil B during various vehicle tests.

에서 유전상수 값의 범위로 볼 수 있다고 판단된다. 참고로 유럽의 경우 일반적으로 오일교환주기 내에서 오일을 보충하여 오일교환주기를 30000 km까지로 연장하고 있다. 따라서 오일 보충이 있을 시에는 오일교환주기를 연장하는 것이 가능하다고 본다.

3-2. 혼합물(오일과 물, 냉각수 및 연료 혼합)의 유전상수 변화

본 장에서는 엔진오일과 물, 냉각수 및 연료가 섞일 때 유전상수의 변화에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

3-2-1. 디젤 엔진오일의 물과 혼합물

우선 디젤엔진오일과 물과 혼합되었을 경우의 유전상수 변화에 대해 시험하였다. 참고로 디젤엔진오일에 물이 섞일 경우 추천 사용한계값은 체적백분율로 0.2% 이하 이다.

본 연구의 차량시험에 사용한 공장주입용 순정품 디젤엔진오일 A와 B에 대한 물과 혼합시의 유전상수 변화율이 Fig. 15에 도시되어 있다. 측정값을 커브 피팅한 결과를 기준으로 할 때 엔진오일 A는 물이 0.2% 섞일 경우 유전상수 값에 0.5% 미만의 변화가 있었으나, 물이 0.5% 섞일 경우는 약 5% 정도 유전상수 값이 증가하였다. 한편 엔진오일 B에 대해서는 물 0.2%로 섞일 경우에 유전상수가 약 2% 증가하였고 0.5% 섞였을 경우에 약 10%까지 증가하였다. 물 0.5%와 섞였을 때 엔진오일 B가 엔진오일 A보다 유전상수 변화율이 2배 정도 크게 나타났다. 디젤엔진오일과 물이 혼합시 추천 사용한계값인 체적백분율로 물 0.2% 일때

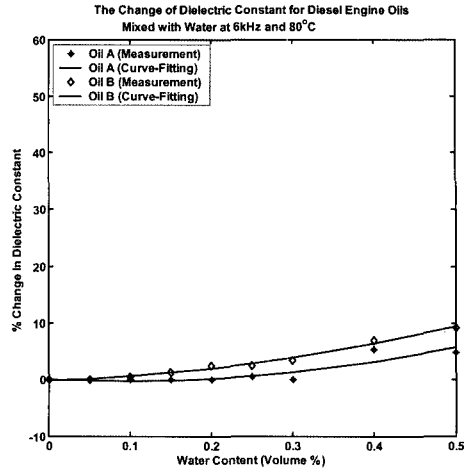


Fig. 15. The tenancy in the change of dielectric constant for diesel engine oils mixed with water at 6 kHz and 80°C.

는 유전상수 증가가 0.5-2%로 오일이 부하를 받아 열화되어 나타나는 범위를 벗어나지 못했다. 물이 0.4% 이상 섞일 경우 디젤엔진오일의 유전상수 값이 뚜렷하게 증가되는 것을 볼 수 있을 것으로 예상된다.

3-2-2. 디젤 엔진오일의 냉각수와 혼합물

여기서는 디젤엔진오일과 냉각수와 혼합시의 유전상수 변화율에 대한 시험결과를 고찰하고자 한다. 참고로 디젤엔진오일에 냉각수가 섞일 경우는 추천 사용한계값이 체적백분율로 0.3% 이하이다.

본 연구의 차량시험에 사용한 공장주입용 순정품 가솔린엔진오일 A와 B에 대한 냉각수와 혼합시의 유전상수 변화율이 Fig. 16에 도시되어 있다. 측정값을 커브 피팅한 결과를 기준으로 할 때 엔진오일 A에 대해서 냉각수가 0.2% 섞일 경우 유전상수가 약 22% 정도의 증가가 있었으나 냉각수가 0.5% 섞일 경우는 약 52% 정도 유전상수 값이 증가하였다. 한편 엔진오일 B에 대해서는 냉각수 0.2%로 섞일 경우에 유전상수가 약 19% 증가하였고 0.5% 섞였을 경우에 약 48%까지 증가하였다. 냉각수 0.5%와 섞였을 때 엔진오일 A가 엔진오일 B보다 유전상수 변화율이 약 4% 정도 크게 나타났다. 디젤엔진오일과 냉각수가 혼합시 추천 사용한계값인 체적백분율로 냉각수 0.3% 일때는 유전상수 값이 19-22% 정도로 증가하기 때문에 냉각수 유입으로 인한 오일의 이상현상을 쉽게 감지할 수 있다.

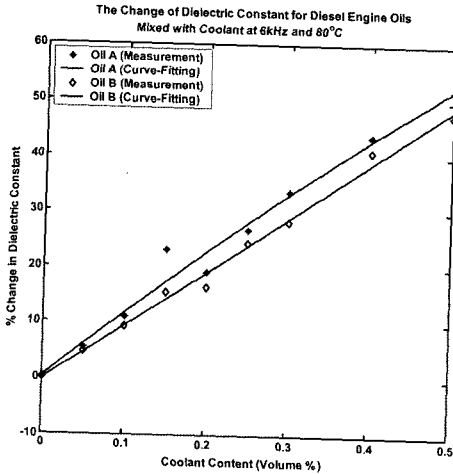


Fig. 16. The tenancy in the change of dielectric constant for diesel engine oils mixed with coolant at 6 kHz and 80°C.

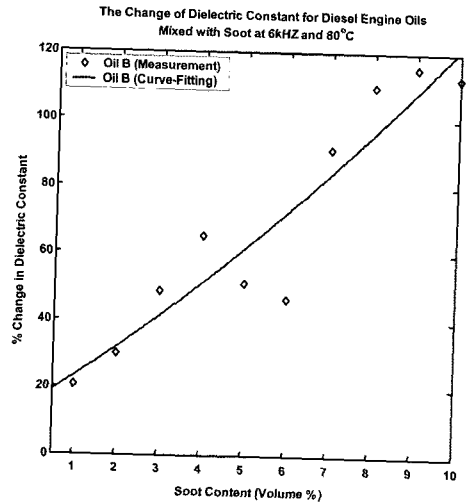


Fig. 18. The tenancy in the change of dielectric constant for diesel engine oils mixed with soot at 6 kHz and 80°C.

3-2-3. 디젤 엔진오일의 연료와 혼합물

여기서는 디젤엔진오일과 디젤연료와 혼합시의 유전상수 변화율에 대한 시험결과를 고찰하고자 한다. 참고로 디젤엔진오일에 디젤연료가 섞일 경우는 추천 사용한계값이 체적백분율로 5% 이하이다.

본 연구의 차량시험에 사용한 공장주입용 순정품 가솔린엔진오일 A와 B에 대한 디젤연료와 혼합시의 유전상수 변화율이 Fig. 17에 도시되어 있다. 측정값을 커

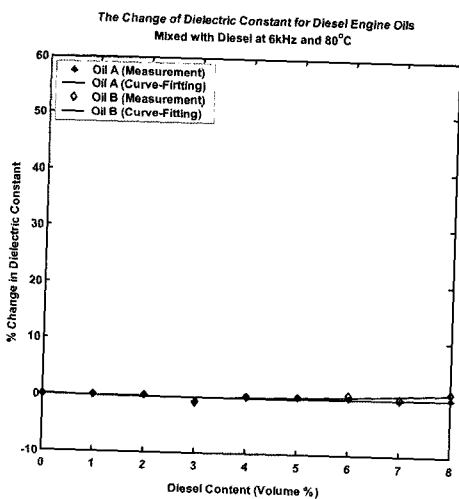


Fig. 17. The tenancy in the change of dielectric constant for diesel engine oils mixed with diesel at 6 kHz and 80°C.

브 피팅한 결과를 기준으로 할 때 엔진오일 A에 대해서 디젤연료가 5% 섞일 경우 유전상수에 거의 변화가 없었으며 디젤연료가 8% 섞일 경우에도 유전상수 값에 변화가 거의 없었다. 한편 엔진오일 B에 대해서는 디젤 연료 5%로 섞일 경우에는 유전상수 값이 거의 변화가 없었으나 8% 섞였을 경우에 약 1%까지 증가하였다. 디젤연료 8%와 섞였을 때 엔진오일 A가 엔진오일 B보다 유전상수 변화율이 약 1% 정도 크게 나타났다.

3-2-4. Soot와 혼합물

본 연구에서는 Soot가 유전상수에 대해 미치는 영향에 대해서는 시험하지 못하였으나 참고자료[4]를 통해 그 영향에 대해 언급하고자 한다. 아래의 Fig. 18은 참고자료로 80°C에서 디젤엔진오일(Castrol CLX 0W30)과 Soot가 혼합시 Soot의 체적 %분량에 따른 유전상수 변화에 대한 경향이다[4]. 그림에 나타난 바와 같이 Soot가 유전상수 변화에 미치는 영향은 Soot 0.5% 체적에 대해서 유전상수 증가가 약 20% 정도이므로, Fig. 16에서 냉각수 0.5% 체적일때 유전상수가 신유 대비 약 50% 증가한다고 볼 때, Soot로 인한 영향이 냉각수로 인한 영향보다 반 이하로 적게 나타난다고 볼 수 있다. 참고한 자료의 오일은 본 논문에서 사용한 오일과는 다른 것이나 신유 유전상수는 2.1825로 오일 A의 2.230과 오일 B의 2.202와 비교시 큰 차이가 없었다.

4. 결 론

본 연구 결과 물성 변화에 대응하는 유전상수 변화가 예상과는 다르게 나타나기도 했으나, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 디젤엔진오일 A에 대해서는 A사 차량의 오일 교환주기 내에서, 오일의 유전상수 변화 범위는 정상 운전상태 일 때 80°C에서 신유대비 10% 미만으로 증가한 약 2.0~2.45 범위에 있다고 볼 수 있다.

둘째, 디젤엔진오일 B에 대해서 B사 차량의 오일교환주기 내에서, 오일의 유전상수 변화 범위는 정상운전상태 일 때 80°C에서 신유대비 10% 미만으로 증가한 2.0~2.4 범위에 있다고 볼 수 있다.

셋째, 신유혼합물에 대해서는 연료와 혼합시 유전상수에 미치는 영향은 매우 적게 나타났으며, 물에 의한 영향은 상당히 컸으나 냉각수와 혼합시 그 영향이 가장 크게 나타났다.

후 기

이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구이며 (KRF-2005-003-D00056) 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Thom, R., Kollmann, K., Wameke, W. and Frend, M., "Extended Oil Drain Intervals: Conservation of Resources or Reduction of Engine Life," SAE Technical Paper Series No. 951035, 1995.
2. Saloka, G. S. and Meitzler, A. H., "A Capacitive Oil Deterioration Sensor," SAE Technical Paper Series No. 910497, 1991.
3. 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. 970847, SP-1220, 1997.
4. Hella Inc., Presentation Materials of Hella Oil Sensors.
5. 이래덕, 김한준, Semenov, Yu, P., "전기용량 측정에 의한 자동차 엔진오일 열화상태 분석연구," 새물리(한국물리학회지), 제42권, 제4호, pp.216-220, 2001.
6. Shell Oil Co. LTD., Shell Automotive Lubricants & Lubrication.
7. Chun, S. M., "A Study on the Changes in Dielectric Constant of Engine Oil," *Journal of the KSTLE*, Vol. 22, No. 2, April 2006, pp. 99-104.
8. Oronite Additives, Chevron Research Company, Testing Used Engine Oils-Recommended Warning Limit for Engine Oil in Service, 1983.
9. 한국석유품질관리원, 내연기관용 윤활유 품질기준 (KS M 2121).