

열전달을 이용한 엔진오일 열화 감지 방법

김 형 표[†]

A Method for Detecting Engine Oil Deterioration using Heat Transfer

Hyungpyo Kim[†]

Abstract

This paper presents a method that the engine oil condition is detected using a natural convection heat transfer in a engine oil. A sensor circuit maintains a constant temperature difference between a heat plate and engine oil for detecting a natural convection heat transfer rate on the constant temperature. The natural convection heat transfer rate is measured by a current through the heat plate of the sensor circuit. The sensor is tested by a fresh oil, 6,000 km and 10,000 km driven oil in the oil temperature range from 20°C to 100°C. In the experimental result, when the current through the heat plate is altered by variation of a engine oil temperature and flows driven oil more than fresh oil, the sensor could inform a engine oil deterioration to a car driver.

Key Words : engine oil deterioration, heat transfer, engine oil temperature

1. 서 론

자동차에서 적절한 시기에 엔진오일을 교환해 주는 것은 엔진의 성능을 최대로 유지하여 고장의 예방과 수명의 증대뿐만 아니라 경제 및 환경 측면에서도 중요한 문제이다. 자동차의 엔진오일 열화 상태를 감지하는 연구는 1990년대 초반부터 시작되었다. 측정방법에는 광, 전산가(total acid number), 전기전도도, 정전용량 등을 이용하여 측정하는 방법이 보고되고 있으나 안정도나 재현성을 개선하는 연구가 진행되고 있다¹⁻⁴⁾.

자동차의 엔진오일은 엔진의 마찰 부분에서 발생하는 마찰이나 마모를 감소시켜 엔진의 마모에 의한 동력 손실방지 뿐만 아니라, 냉각작용, 세정작용, 충격방지, 진동방지, 밀폐작용 및 부식방지 등의 역할을 한다⁵⁾. 이 중 냉각작용은 엔진오일의 열전달률과 관련이 있으며, 열전달률은 오일의 점도, 열전도도, 비열, 밀도 등에 영향을 받는다⁶⁾. 또 S.S. Wang은 엔진오일과 기준 물질에 동일한 온도를 가하여 엔진오일로부터 발생하는 열유속차이를 측정하는 시차주사열량계(differential

scanning calorimetry)를 사용하여 엔진오일 운행거리에 따라 시차주사열량계의 출력이 변화되는 것을 보고하였다⁷⁾. 따라서 본 연구에서는 엔진오일 열화에 따른 엔진오일의 화학, 물리적 변화와 관련이 있는 열전달률 변화를 측정하여 엔진오일의 열화를 감지는 방법을 연구하였다.

2. 열전달과 센서동작원리

2.1. 열전달

본 논문에서는 열전달 중 자연대류를 이용하여 엔진 오일의 상태를 측정하였다. 자연대류 열전달은 어떤 물체가 그 자체의 온도보다 높거나 또는 낮은 온도상태에 있는 유체 내에 있을 때는 언제나 일어난다. 물체와 유체 사이에 온도차가 있으면 열이 흐르게 되고, 물체 표면 근처에 있는 유체는 밀도 차이를 초래하게 된다. 이 밀도차에 의하여 비중이 큰 유체는 하향으로 흐르는 반면에 비중이 낮은 유체는 상향으로 흐르게 된다⁸⁾. 본 논문에서는 자연대류를 발생시키기 위해서 가열된 수직관을 엔진오일 내에 그림 1과 같이 두었다. 가열관이 일정 온도로 가열되면 가열관 근처의 엔진오일이 가열되어 엔진오일의 밀도는 감소하게 된다. 여기서 가열된 엔진오일에서 단위체적에 작용하는 체적력은 가열되지

상주대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Eng., Sangju Nat'l Univ.)

[†]Corresponding author: hpkim@sangju.ac.kr

(Received : January 31, 2004, Accepted : March 4, 2004)

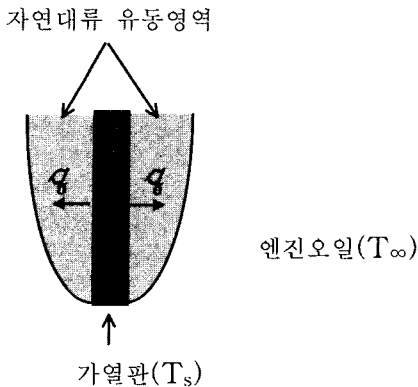


그림 1. 가열된 수직평판에서의 자연대류
Fig. 1. A natural convection on a heated vertical plate.

않은 엔진오일에서의 체적력보다 작다. 이와 같은 불균형으로 인하여 가열된 엔진오일은 상승하게 되어 가열판 근처에서 자연대류 흐름이 발생하게된다.

가열판의 온도는 T_s 로 가열하고 가열판의 열유속에 영향을 받지 않는 엔진오일의 온도가 T_∞ 일 때 가열판에서 엔진오일로 전달되는 열전달률 q 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다⁶⁾.

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

식(1)에서 h 는 대류 열전달계수이며 A 는 가열평판의 면적이다.

그림 1과 같은 수직평판에서 자연대류에 의한 대류 열전달계수를 결정하는 실험적 상관식은 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{k}{L} \left\{ 0.68 + \frac{0.67(Gr Pr)^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \right\} \quad (2)$$

- k : 열전도도
- L : 가열판 수직길이
- β : 체적 열팽창계수
- g : 중력가속도
- μ : 점도
- ρ : 밀도
- c : 비열

$$v = \frac{\mu}{\rho} : \text{동점도}$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c} : \text{열확산율}$$

$$Pr = \frac{v}{\alpha} : \text{Prantl 수}$$

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} : \text{Grashof 수}$$

식(2)와 같이 자연대류의 대류 열전달계수는 열전도도, 체적 열팽창계수, 점도, 밀도, 비열 등을 포함하는 복잡한 식으로 나타난다. 이러한 물리적 계수들은 엔진오일의 상태에 따라 다른 값을 갖게 되므로 이 계수를 모두 포함하고 있는 자연대류에 의한 열전달률을 측정하면, 엔진오일의 상태를 감지할 수 있다.

2.2. 센서동작원리

열전달률은 식(1)에서 가열판의 면적이 일정할 때 열전달계수 및 가열판과 엔진오일의 온도차에 따라 바뀐다. 열전달계수는 강제대류 열전달계수와 자연대류 열전달계수가 있고 가열판의 온도가 낮아 복사에 의한 열전달은 무시하였다. 강제대류는 엔진오일에 유동이 있을 때 발생하는데 엔진오일의 유동은 엔진 운전 중에 일어나며, 오일팬 내부에 복잡한 난류 유동을 생성한다. 엔진 운전 중의 난류 유동은 엔진 회전수, 도로 상태 등에 따라 영향을 받으므로 강제대류 열전달계수를 포함한 열전달률을 측정하여 엔진오일의 열화 상태를 찾아내는 것은 센서의 선택도가 낮아서 어려움이 있다. 엔진이 정지하면 강제대류에 의한 난류 유동이 사라지고 엔진오일은 정지된 상태가 된다. 엔진이 정지되어 엔진오일 내부에 유동이 없는 상태에서 가열판을 가열하면 가열판과 엔진오일 사이에는 자연대류만 생긴다. 따라서 엔진이 정지할 때 자연대류 열전달률을 측정하면 엔진 회전수 등 주위환경의 영향을 최소화할 수 있으므로 엔진오일의 열화 상태를 알아낼 수 있다. 엔진이 정지할 때 열전달률 변화를 측정하여 메모리에 저장하였다가 엔진이 구동되면 메모리에 있는 엔진오일 열화 상태 정보를 운전자에게 제공할 수 있다. 가열판과 엔진오일은 일정한 온도차를 유지하여 온도차에 따른 열전달률 변화는 최소화하였다.

3. 실험 및 고찰

자연대류 열전달률을 측정하기 위한 실험을 하기 위해서 그림 2와 같이 실험 장치를 구성하였다. 일정 온도로 가열된 오븐 내에서 충분한 시간동안 엔진오일을 넣어 두고 측온저항체로 일정한 온도가 유지되는 것을 확인하면서 실험을 하였다.

가열판과 측온저항체로 사용된 소자는 박막형 백금 측온저항체를 사용하였다. 박막형 백금측온저항체는 고온에서도 안정된 특성을 보이며 소형이다. 가열판인 박막형 백금측온저항체를 엔진오일과 일정 온도차를

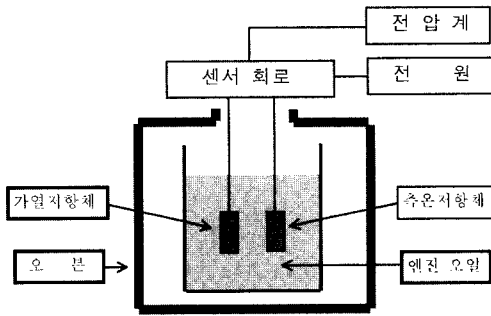


그림 2. 실험 장치 개략도
Fig. 2. Schematic of test set-up.

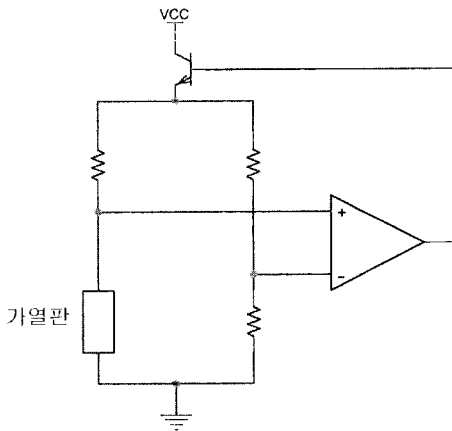


그림 3. 센서 회로도
Fig. 3. Sensor circuit.

유지하도록 가열하기 위한 센서회로는 그림 3과 같다. 휘스톤 브릿지 회로를 가열판과 세 개의 고정저항을 사용하여 구성하고, 연산증폭기와 대전류용 트랜지스터를 사용하여 케환 회로를 구성하였다.

가열판은 엔진오일에 잠겨있어서 전류가 흘러 가열되면 가열판 근처의 엔진 오일의 자연대류에 의해서 열을 빼앗기게 된다. 가열판의 빼앗긴 열로 인해 가열판 소자인 백금측온저항체의 저항값은 낮아지게 된다. 저항값이 낮아지면 휘스톤 브릿지의 출력이 크게 되어, 연산증폭기와 트랜지스터로 구성된 케환회로를 사용하여 전류량을 증가시켜 가열판을 가열시키면 가열판은 일정 온도를 유지하게 된다⁹⁾. 가열판에 흐르는 전류를 I , 가열판 소자인 백금측온저항체의 저항을 R 이라 하면 발생하는 전력 P 는 식(3)과 같다.

$$P = I^2 R \quad (3)$$

이 때 가열판에서 발생하는 전력은 열에너지로 변환되므로 식(1)의 열전달률과 같다. 따라서 가열판을 일

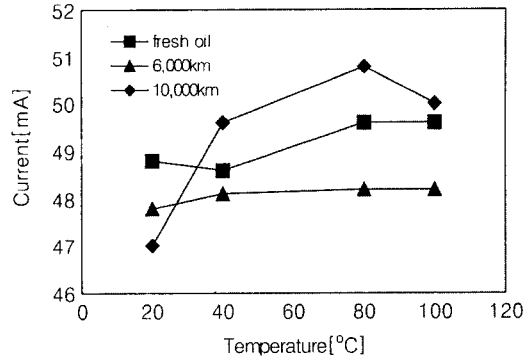


그림 4. 엔진오일 온도에 따른 전류
Fig. 4. Engine oil temperature versus the current.

정 온도로 유지하여 가열판 소자인 백금측온저항체의 저항값을 일정하게 하고 가열판에 흐르는 전류를 측정하면, 가열판에서 엔진오일로 자연대류에 의한 열전달률의 변화를 측정하여 엔진오일의 열화 상태를 알게 된다.

실험에 사용된 엔진오일은 동일회사 제품으로 점도 지수가 10W40인 것을 신유(fresh oil)과 가솔린 엔진 자동차에 6,000 km, 10,000 km 주행한 것을 수집하였다. 그림 4는 각 엔진오일 온도를 20°C~100°C까지 변화시키면서 센서회로에서 가열판에 공급한 전류 변화를 측정된 결과이다. 엔진오일 온도가 20°C에서 40°C로 증가할 때 10,000 km 주행한 엔진오일의 전류가 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 엔진오일을 오래 사용하면 엔진오일 첨가물인 점도지수 향상제, 유동점강하제 등이 분해되어 고갈되기 때문에 40°C 근처에서 열전달 특성이 신유나 6,000 km 사용유 보다 급격히 상승한 것으로 사료된다. 엔진오일 온도가 20°C 근처에서는 주행 거리에 따라 전류가 적어지나 40°C 이상 되면 가열판에 흐르는 전류는 신유가 6,000 km보다 많고 10,000 km 보다는 적어지는 현상을 보이는데 유효 열의 특성을 측정된 타 연구결과와 일치한다^{7,10-12)}. 6,000 km 주행한 오일은 첨가제와 기유가 충분히 혼합되어 엔진오일이 안정화되는 시기이므로 신유보다 전류가 적게 흐르는 것으로 사료된다. 10,000 km 이상 주행한 오일은 엔진오일 첨가제가 고갈되어 기유만 남게 되어 점도, 전산가 등이 상승하므로 전류가 많이 흐르는 것으로 사료된다. 또한 6,000 km 주행한 오일은 전체 온도 범위에서 일정한 전류가 흐르므로 엔진오일이 안정화되어 있는 것을 알 수 있고, 10,000 km 주행한 오일은 온도에 따라 전류 변화가 심하고, 고온과 저온에서는 변화가 크게 일어나서 엔진오일 성능 개선용 첨가제가 고갈된 것을 나타낸다.

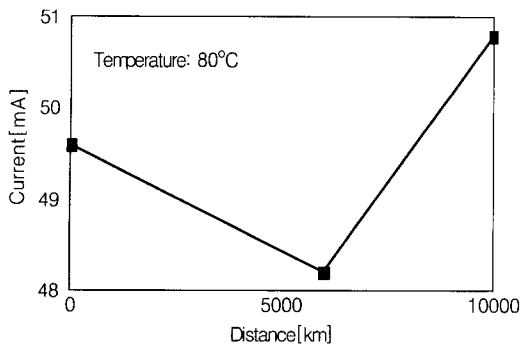


그림 5. 주행 거리에 따른 전류(엔진오일 온도 : 80°C)
Fig. 5. Travel distance versus the current (engine oil temperature: 80°C).

엔진오일의 온도는 주행 중에는 100°C 이상 올라갔다가 엔진 정지 때는 주위 온도에 따라 서서히 냉각된다. 엔진 오일의 유동이 정지하여 자연대류 열전달률만을 측정가능하고 주행 거리에 따라 전류차가 많이 나타나는 80°C일 때 측정된 전류를 그림 5에 주행 거리에 따라 나타내었다. 주행거리가 적을 때는 신유보다 전류가 적어지다가 주행거리가 많아지면 전류가 많아지는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과로 볼 때 열전달 특성을 이용한 엔진오일 열화 센서는 가열판에 흐르는 전류가 온도에 따라 변화가 심하게 나타나고, 신유일 때 흐르는 전류보다 주행거리가 늘어나면서 전류가 더 많이 흐르면, 엔진오일의 열화가 일어나는 것으로 판단할 수 있어 운전자에게 엔진오일 교체 정보를 제공할 수 있다. 가열판에 흐르는 전류가 온도에 따른 변화와 신유일 때 보다 많이 흐르는 전류를 측정하여 엔진오일 교체 정보를 판단하는 시스템은 지속적인 실험이 요구된다. 또한, 자동차 엔진오일의 상태는 동일한 오일제품을 동일한 주행거리를 사용하였다고 하더라도 차량의 종류, 차량 이용지역, 운전습관, 엔진상태 등에 따라 크게 차이가 나므로 여러 가지 조건의 엔진오일로 충분한 실험을 통하여 엔진오일 열화상태를 예측하는 시스템의 보완이 요구된다.

4. 결 론

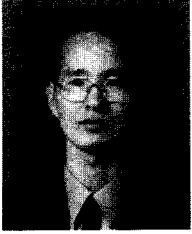
열전달에 의한 엔진오일 열화 상태를 측정하기 위해서 엔진이 정지하고 있을 때를 가정하여 실험실 조건에서 세 종류 오일에 대한 자연대류 열전달률을 측정하였다. 가열판과 엔진오일이 일정한 온도차를 유지하는 센서회로를 제작하여 온도차에 따른 열전달률 변화를 최소화하였다. 실험은 신유 6,000 km와 10,000 km

주행한 엔진오일을 사용하였고, 가열판에 흐르는 전류를 측정하여 자연대류 열전달률 변화를 측정하였다. 실험 결과 가열판에 흐르는 전류가 엔진오일 온도 변화에 따라 변화가 심하게 나타나고, 신유일 때 흐르는 전류보다 주행거리가 늘어나면서 전류가 많이 흐르면 엔진오일의 열화가 일어나는 것으로 판단할 수 있었다. 이 두 신호를 이용한 엔진오일 교체 정보를 판단하는 시스템은 지속적인 실험이 요구된다. 앞으로 엔진오일의 교체시기를 정확히 판단하기 위해서 엔진오일 열화 상태 예측 시스템의 교체 판단 결과와 엔진오일 전문가관에서 측정 분석한 결과를 연계하여 실험적으로 확인하는 연구와 실제 자동차에서는 주변 온도의 변화가 크므로 온도변화에 따른 재현성을 개선하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Simon S. Wang, "Engine Oil Condition Sensor: Method for Establishing Correlation with Total Acid Number", *Sensor and Actuators B*, vol. 4305, pp. 1-5, 2002.
- [2] Amiyo Basu, Axel Berndorfer, Carlos Buelna, James Campbell, Keith Ismail, Yingjie Lin, Lorenzo Rodriguez, and Simon S. Wang, "Smart Sensing of Oil Degradation and Oil Level Measurements in Gasoline Engines", *SAE 2000 World Congress*, SAE technical paper 2000-01-1366.
- [3] 문수환, 강정호, 박세광, "자동차 엔진오일 열화 감지용 빛살형 마이크로센서 개발", 2000년 센서기술 학술대회 논문집, pp. 120-123, 2000.
- [4] Masahiro Tomita, Hideo Kamo, Yurio Nomura, Masaei Nozawa, Shuju Yamaguti, and Yasuyosi Toda, "Study on Deterioration of Engine Oil and its Sensing", *JSAE Review*, vol. 16, pp. 283-301, 1995.
- [5] 정선모, 윤활공학, 동명사, pp. 106-168, 1996.
- [6] 이정오, 박희용, 열전달, 범한서적, pp. 327-362, 1992.
- [7] Simon S. Wang, "Road Tests of Oil Condition Sensor and Sensing Technique", *Sensor and Actuators: B. Chemical*, vol. 73, pp. 106-111, 2001.
- [8] 이상조, 최창균, 김형표, 박세광, "밀면으로부터 등은 가열되는 수평 점탄성 유체층에서의 대류 안정성 해석", 화학공학, 제31권, 제4호, pp. 439-447, 1993.
- [9] 박광순, 강정호, 김형표, 박세광, "초기불평형 전압을 이용한 열박막형 유량센서의 온도보상", 대한전기학회 MEMS 학술대회 논문집, pp. 249-254, 1999.
- [10] 이정민, "에너지 절약형 디젤엔진 오일 제조 기반 기술개발", 한국화학연구소 연구보고서, 1996.

- [11] 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, “가솔린 엔진오일의 사용에 따른 기계적 성질의 변화에 관한 연구”, 한국윤활학회지, 제9권, 제2호, pp. 36-48, 1993. 진오일의 사용에 따른 물리적, 화학적 성질의 변화에 관한 연구”, 한국윤활학회지, 제10권, 제4호, pp. 59-68, 1994.
- [12] 강석춘, 신성철, 김동길, 노장섭, “가솔린과 LPG 엔



김 형 표 (金 亨 杓)

- 1967년 2월 5일생
- 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업 (공학사)
- 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학석사)
- 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)
- 1996년 보국전기공업(주) 기술연구소
- 1998 ~ 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수