



# 임피던스 해석에 기반한 엔진 오일 열화 진단 시스템에 관한 연구

박가람\*, 이준탁\*\*

## A Study on the Degradation Diagnosis System for Engine Oil Based on Impedance Analysis

Ka-Ram Park\*, John-Tark Lee\*\*

### 요 약

본 연구에서는 자동차용 엔진 오일의 열화 추이를 예측하고 열화 정도를 진단하기 위해 임피던스 해석에 기반한 엔진 오일 열화 진단 시스템을 설계하였다. 임피던스 분석기를 이용하여 컨덕턴스  $G$ 와 서셉턴스  $B$ 를 실측하여 열화에 의한 엔진 오일의 전기적 특성 변화를 해석하였다. 그리고 실측한 데이터를 토대로 엔진 오일 열화 증가회로를 모델링하고, 모델링을 통해 추정되어지는 컨덕턴스  $G_e$ 와 서셉턴스  $B_e$ 의 크기 변화를 통해 엔진 오일의 열화 추이를 확인할 수 있었다. 진단하고자 하는 엔진 오일의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 을 추출하기 위해 평행 평판 전극형 센서를 제작하였고, Lock-in amplifier를 설계하였다. 추정 데이터와 추출 데이터를 비교하여 설계한 열화 진단 시스템의 유효성을 확인하였다.

### Abstract

In this study, the diagnosis system for degradation of engine oil based on the impedance analysis was designed to predict the degradation trend of engine oil and to estimate the degree of degradation. The electrical characteristics of the engine oil were interpreted through measured  $G$  and  $B$  using an impedance analyzer. The degradation equivalent circuit of engine oil was modeled based on the measured data, and the degradation trend of engine oil was estimated by the variation of the  $G_e$  and  $B_e$  which were estimated through modeling. To extract the  $G_m$  and  $B_m$  of the engine oil, the parallel plate electrode type sensor was fabricated and the Lock-in Amplifier was designed. The effectiveness of the degradation diagnosis system was verified by comparing the extracted data and the estimated data.

### Keywords

engine oil, degradation, impedance analysis, lock-in Amplifier, diagnosis system

\* 동아대학교 전기공학과

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2922-9621>

\*\* 동아대학교 전기공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3198-6947>

• Received: Oct. 30, 2017, Revised: Jan. 06, 2018, Accepted: Jan. 09, 2018

• Corresponding Author: John-Tark Lee

Department of Electrical Engineering, Dong-A University, Saha-gu

Busan, 49315, Korea,

Tel.: +82-51-200-7740, Email: [jtlee@dau.ac.kr](mailto:jtlee@dau.ac.kr)

## 1. 서 론

엔진 오일은 일반적으로 내연기관에서 윤활 작용, 냉각 작용, 기밀 작용, 청정 작용, 압력 분산 작용, 방청 및 방식 작용 등의 여러 가지 기능을 한다 [1]. 하지만 엔진 오일의 산화 및 이물질의 유입 등에 의해 열화가 발생하고, 엔진 오일의 기능들은 감소하게 된다[2]. 열화된 엔진 오일을 적절한 시기에 교체하지 않으면 엔진에 마모를 발생시키고, 심각한 손상을 유발한다[3]. 그러므로 엔진 오일의 열화를 조기에 예측하고, 진단하는 것은 중요하다. 하지만 실생활에서 자동차용 엔진 오일의 열화를 진단하는 방법은 단순히 주행 거리를 이용하여 판단하거나 엔진 오일 레벨 점검 게이지에 묻은 오일의 색상 또는 점도를 시각이나 손끝의 감각만으로 판단하는 고전적인 방법에 의존하고 있다.

이에 엔진 오일의 열화를 진단하기 위해 마이크로 음향 센서(Micro Acoustic Sensor)를 통해 엔진 오일의 점도 변화를 측정하여 엔진 오일의 열화를 진단하는 법[4], 광 반사 센서(Light Reflect Sensor)를 통해 반사되는 빛의 양을 측정해서 엔진 오일의 열화에 의해 생기는 불용성 염의 농도를 측정하는 방법[5], EC 측정법을 통해 엔진 오일의 열화에 의해 증가하는 전산가(TAN)를 측정하는 방법[6], 엔진 오일의 열화에 의해 유전상수가 증가하는 것을 이용하여 센서의 출력 전압 변화를 측정하는 방법 [7][8] 등이 연구되고 있다. 하지만 기존의 연구들 중 점도나 불용성 염의 농도를 측정하는 방법을 통해서 엔진 오일의 열화 추이를 예측할 수 없었고, 전산가와 유전율의 변화를 측정하는 방법은 열화에 의한 물성 변화를 종합적으로 설명하지 못하기 때문에 엔진 오일의 열화를 정확하게 진단하기는 어려웠다.

엔진 오일의 열화에 의한 물리적, 화학적 변화는 엔진 오일의 전기적 특성인 전기전도율과 유전율의 변화를 통해 여러 가지 원인에 의한 엔진 오일 변화 정보를 종합적으로 확인 할 수 있다[9]-[11].

따라서 본 연구에서는 열화에 의한 엔진 오일의 전기적 특성 변화를 측정하여 엔진 오일의 열화를 진단할 수 있는 임피던스 해석에 기반한 엔진 오일

열화 진단 시스템을 설계하고자 한다. 주행 거리에 따른 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스  $G$ 와 서셉턴스  $B$ 의 크기를 실측하여 열화에 의한 전기적 특성 변화를 확인하고, 실측한 데이터를 토대로 엔진 오일 열화 등가회로를 모델링을 하고자 한다. 모델링을 통해 추정된 등가회로의 컨덕턴스  $G_e$ 와 서셉턴스  $B_e$ 의 변화를 통해 엔진 오일의 열화 추이를 예측하고자 한다. 그리고 진단하고자 하는 엔진 오일의 전기적 특성 변화를 측정하기 위해 평행 평판 전극 센서를 제작하고자 한다. 엔진 오일에 여자 신호를 인가하였을 때 센서를 통해 측정된 출력 전압과 출력 전류를 매트랩(MATLAB) 시뮬레이션을 통해 주파수 1MHz에서의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 을 추출하고, 추출한 데이터를 모델링을 통해 추정한 데이터와 비교함으로써 엔진 오일의 열화를 진단하고 설계한 시스템의 유효성을 확인하고자 한다.

## II. 엔진 오일 열화 진단 시스템 및 모델링

### 2.1 엔진 오일 열화 진단 시스템 개요

엔진 오일의 열화를 진단하기 위한 시스템의 개요는 그림 1의 블록도와 같다.

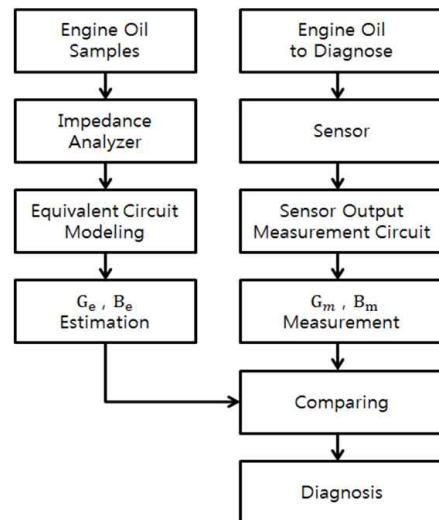


그림 1. 엔진 오일 열화 진단 시스템의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of degradation diagnosis system for engine oil

우선 임피던스 분석기를 이용하여 주행 거리에 따른 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스 G와 서셉턴스 B를 실측하고, 이를 토대로 엔진 오일 열화 등가회로를 모델링한다. 모델링한 열화 등가회로의 컨덕턴스  $G_e$ 와 서셉턴스  $B_e$ 의 크기 변화를 통해 엔진 오일의 열화 추이를 추정한다.

그리고 진단하고자 하는 엔진 오일에 자체 제작한 평행 평판 전극형 센서(Parallel Plate Electrode type Sensor)를 투입하고, 여자신호를 인가해준다. 센서에 측정된 출력 전압과 출력 전류를 설계한 로크인 증폭기(Lock-in Amplifier)를 이용하여 주파수 1MHz에서의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 의 크기로 추출한다.

추출한 데이터와 모델링한 등가회로로부터 추정된 데이터의 크기를 비교함으로써 엔진 오일의 열화 정도를 진단한다.

표 1. 주행 거리에 따른 엔진 오일 샘플들  
Table 1. Engine oil samples according to driving distance

Total Driven Distance [km]	Driven Distance [km]	Date of Collection
46,020	0 (신유)	2017.01.02
48,025	2005	2017.02.14
50,027	4007	2017.03.24
52,021	6001	2017.05.04
54,024	8004	2017.06.14
56,023	10003	2017.07.24



그림 2. 평행 평판 전극형 센서  
Fig. 2. Parallel plate electrode type sensor

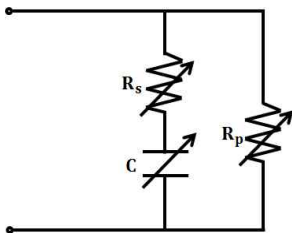


그림 3. 엔진 오일 열화 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit of degradation for engine oil

## 2.2 엔진 오일의 어드미턴스 실측

본 연구에서는 엔진 오일의 열화에 따른 임피던스 해석을 위해 표 1과 같이 주행 거리에 따른 6종의 엔진 오일 샘플을 사용하였다. 엔진 오일 샘플은 GS Caltex사의 Kixx Ga(SAE 7.5W-30) 제품으로 신유, 2000km, 4000km, 6000km, 8000km, 10000km 주행 후 20ml 가량의 샘플을 각각 채취하였다.

엔진 오일의 열화에 따라 상대적으로 크기가 큰 용량성 서셉턴스의 변화를 정밀하게 측정하기 위해, 그림 2와 같이 평행 평판 전극형 센서(Parallel Plate Electrode type Sensor)를 자체 제작하였다. 센서의 전극은 정사각형 모양으로, 넓이  $4cm^2$ 의 동판 2개를 2mm 이격시켜 제작하였다.

제작한 평행 평판 전극형 센서를 엔진 오일에 투입하여 임피던스 분석기(Impedance Analyzer, Zive Sp2)를 통해 컨덕턴스 G와 서셉턴스 B의 크기를 실측하였다. 측정에 이용된 여자신호는 10mV 진폭, 500kHz ~ 1MHz의 주파수 범위의 정현파를 사용하였고, 측정은 실내온도 25°C, 습도 42%에서 진행하였다.

## 2.3 엔진 오일 열화 등가회로 모델링

본 연구에서는 열화에 의해 변화하는 엔진 오일의 전기전도도와 정전 용량을 중심으로 해석하기 위해 컨덕턴스 G와 서셉턴스 B를 실측하였다.

500kHz ~ 1MHz의 주파수 범위에서 실측되어진 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기를 토대로 엔진 오일 열화 등가회로를 모델링하면, 엔진 오일의 등가 직렬 저항  $R_s$ , 등가 커패시터 C, 등가 병렬 저항  $R_p$ 로 구성되고 이는 그림 3과 같이 된다.

모델링한 엔진 오일 열화 등가회로의 어드미턴스는 식 (1)과 같다.

$$Y_e = \frac{(wC)^2 R_s}{1 + (wCR_s)^2} + \frac{1}{R_p} + j \frac{wC}{1 + [wCR_s]^2} \quad (1)$$

컨덕턴스는 엔진 오일의 전기전도도와 같고, 전

기전도도는 전기전도율에 비례한다. 열화에 의해 변화하는 엔진 오일의 전기전도율은 엔진 오일의 컨덕턴스 크기 변화를 통해 확인 할 수 있다.

식 (1)에서  $[wCR_s]^2$ 의 크기는 매우 작기 때문에, 서셉턴스는 엔진 오일의 등가 커패시터에 비례한다고 할 수 있다. 엔진 오일의 등가 커패시터는 유전율에 비례하기 때문에, 열화에 의해 변화하는 유전율은 엔진 오일의 서셉턴스 크기 변화를 통해 확인 할 수 있다.

본 연구에서는 모델링한 등가회로의 주파수 1MHz에서  $G_e$ 와  $B_e$ 의 크기 변화를 추정하여 엔진 오일의 열화 추이를 추정하였다.

### 2.4 엔진 오일의 열화 측정 개요

진단하고자 하는 엔진 오일의 열화 정도를 측정하기 위해 여자 신호를 인가하였을 때 센서의 출력 전압과 출력 전류를 측정하고, 측정된 데이터로부터 엔진 오일의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 을 추출하기 위한 개요는 그림 4와 같다.

진단하고자 하는 엔진 오일에 여자신호를 인가하였을 때 센서에 측정되는 출력 전압  $v_{sig}(t)$ 를 페이저로 표시하면 식 (2)와 같다. 이때  $V_a$ 는 신호의 크기이며,  $\theta_a$ 는 위상,  $\omega$ 는 각속도( $\omega = 2\pi f$ )이다.

$$\dot{V}(\omega) = V_a \angle \theta_a \tag{2}$$

그리고 센서에 측정되는 출력 전류  $i_{sig}(t)$ 를 페이저로 표시하면 식 (3)과 같다. 이때  $I_b$ 는 신호의 크기이며,  $\theta_b$ 는 위상,  $\omega$ 는 각속도이다.

$$\dot{I}(\omega) = I_b \angle \theta_b \tag{3}$$

식 (2)과 식 (3)에 의해 어드미턴스는 식 (4)로 정리된다.

$$\dot{Y}(\omega) = \frac{I_b}{V_a} \cos(\theta_b - \theta_a) + j \frac{I_b}{V_a} \sin(\theta_b - \theta_a) \tag{4}$$

측정된 센서의 출력 전압과 출력 전류에서 필터를 통해 각각 크기와 위상을 추출할 수 있으면, 식 (4)에 의해 진단하고자 하는 엔진 오일의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 의 크기를 추출할 수 있다.

본 연구에서는 측정된 출력 전압과 출력 전류의 크기와 위상을 추출하기 로크인 증폭기를 설계하였고, MATLAB 시뮬레이션을 통해 진단하고자 하는 엔진 오일의 주파수 1MHz에서 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 의 크기를 추출하였다.

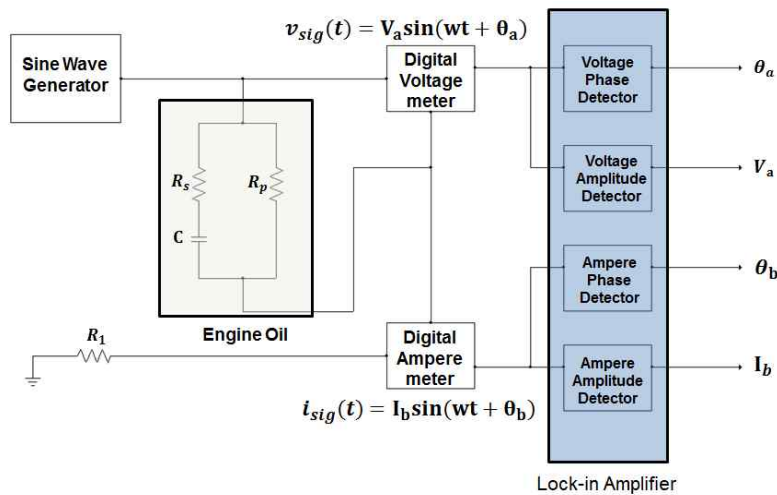


그림 4. 엔진 오일의 컨덕턴스와 서셉턴스 추출 개요  
 Fig. 4. Overview of conductance and susceptance extraction of the engine oil

### 2.5 로크인 증폭기 설계

로크인 증폭기는 여러 가지 주파수 영역대의 잡음이 섞여 있는 입력 신호에 대해 특정 주파수 성분의 크기만 선택하여 증폭시킬 수 있는 증폭기이다[12]. 본 연구에서는 이 증폭기를 센서를 통해 측정된 출력 전압과 출력 전류에서 특정 주파수에서의 크기와 위상만을 추출해 낼 수 있는 일종의 필터로 활용하여 주파수 1MHz에서의 크기와 위상을 각각 디지털 필터링하였다[13]. 설계한 로크인 증폭기를 통해 잡음이 섞여 있는 입력 신호에서 특정 주파수 성분의 크기와 위상만을 추출하는 방법은 다음과 같다.

임의의 입력 신호에서 주파수 1MHz에서의 신호  $v_{sig}(t)$ 를 식 (5)라고 정의하자. 임의의 입력 신호에서 주파수 1MHz 성분의 신호의 크기  $V_a$ 와 위상  $\theta_a$ 를 추출하기 위해서는 2개의 기준신호가 필요하다. 기준신호 1을  $v_{ref1}(t)$ 라고 하고, 식 (6)이라고 정의한다. 그리고 기준신호 2는  $v_{ref2}(t)$ 라고 하고, 식 (7)이라고 정의한다.

$$v_{sig}(t) = V_a \sin(2\pi \times 10^6 \times t + \theta_a) \quad (5)$$

$$v_{ref1}(t) = 2\sin(2\pi \times 10^6 \times t) \quad (6)$$

$$v_{ref2}(t) = 2\cos(2\pi \times 10^6 \times t) \quad (7)$$

식 (5)에 식 (6)을 곱해주면 식 (8)이 되고, 식 (5)에 식 (7)을 곱해주면 식 (9)가 된다.

$$v_{sig}(t) \times v_{ref1}(t) = V_a \cos(\theta_a) - V_a \cos(2\pi \times 2 \times 10^6 \times t + \theta_a) \quad (8)$$

$$v_{sig}(t) \times v_{ref2}(t) = V_a \sin(\theta_a) + V_a \sin(2\pi \times 2 \times 10^6 \times t + \theta_a) \quad (9)$$

식 (8)과 식 (9)에 저역통과필터(Low Pass Filter)를 이용하여 고주파 성분을 없애고 직류성분만을 남게 하면 각각 식 (10) 및 식 (11)가 얻어진다.

$$V_1 = V_a \cos(\theta_a) \quad (10)$$

$$V_2 = V_a \sin(\theta_a) \quad (11)$$

식 (10)과 식 (11)을 조합하면 식 (12)와 식 (13)과 같이 임의의 입력 신호  $v_{sig}(t)$ 에서 주파수 1MHz에서의 크기( $V_a$ )와 위상( $\theta_a$ )을 추출 할 수 있다.

$$V_a = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} \quad (12)$$

$$\theta_a = \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (13)$$

본 연구에서는 진단하고자 하는 엔진 오일에 여자 신호를 인가하였을 때, 센서를 통해 측정된 출력 전압과 출력 전류로부터 각각의 크기와 위상을 추출하기 위해 그림 5와 같이 로크인 증폭기를 설계하였다.

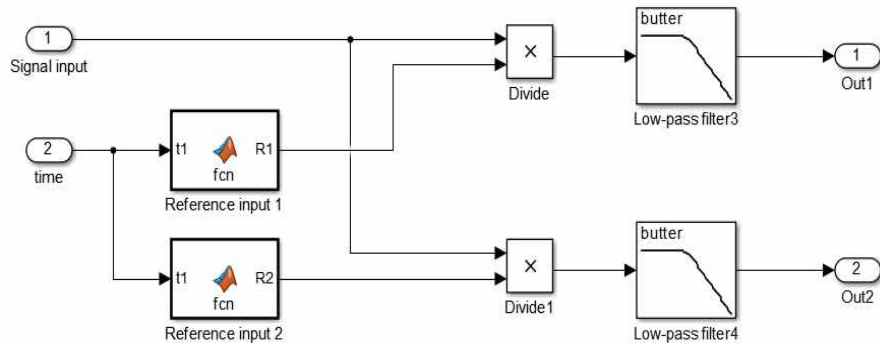


그림 5. 로크인 증폭기  
Fig. 5. Lock-in amplifier

측정한 데이터는 매트랩 시뮬레이션을 통해 각각의 크기와 위상을 추출하였고, 식 (4)를 이용하여 진단하고자 하는 엔진 오일의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 의 크기로 변환하였다.

### 2.6 엔진 오일 열화 진단 시스템

엔진 오일의 열화를 진단하기 위해 설계한 열화 진단 시스템은 그림 6과 같다. 진단하고자 하는 엔진 오일에 여자 신호를 인가할 때, 센서를 통해 엔진 오일의 출력 전압과 출력 전류를 측정하였다. 로크인 증폭기를 통해 측정된 데이터로부터 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 의 크기를 추출하였다. 그리고 앞서 상술한 2.3절의 엔진 오일 열화 등가회로부터 추정된 데이터  $G_e$ 와  $B_e$ 의 크기를 각각 비교함으로써 엔진 오일의 열화를 진단하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

자동차의 주행 거리에 따른 6개의 엔진 오일 샘플에 센서를 투입하여 주파수 500kHz~ 1MHz 범위에서 실측되어진 컨덕턴스  $G$ 와, 서셉턴스  $B$ 의 크기 변화는 그림 7(a), 그림 7(b)와 같다.

엔진 오일의 주행 거리가 증가할수록 주파수 500kHz ~ 1MHz 범위에서 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기가 모두 증가하였다. 해석의 용이함을 위해 주파수 1MHz일 때 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기를 비교하여 해석하였다. 엔진 오일이 열화 되면 윤활 기능의 감소로 인해 엔진에 마모가 급속히 진행된다. 엔진 마모의 증가로 엔진 오일 내에 금속 입자 유입이 증가하게 되고, 엔진 오일의 전기전도율이 증가한다. 이는 그림 7(a)에서 보인 바와 같이 주행 거리가 증가할수록 컨덕턴스의 크기가 증가하는 것을 통해 확인할 수 있었다.

특히 주파수 1MHz에서 컨덕턴스 크기 변화를 보면, 0km 샘플은  $2.378\mu S$ 에서 10000km 샘플은  $4.645\mu S$ 로 95.321% 증가함이 확인되었다.

엔진 오일 내에 무극성 분자이던 탄화수소물은 열화에 의해 산화 생성물들을 발생시켜 극성분자의 양이 증가하고, 산성화된다. 증가한 산성물질과 엔

진 마모에 의해 유입된 금속입자들에 의해 엔진 오일의 열화될수록 증가하게 된다.

이는 그림 7(b)를 통해 주행 거리가 증가할수록 서셉턴스의 크기가 증가하는 것을 통해 확인할 수 있었다.

특히 주파수 1MHz에서 서셉턴스 크기 변화를 보면, 0km 샘플은  $98.122\mu S$ 에서 10000km 샘플은  $131.774\mu S$ 로 34.295% 증가하였다.

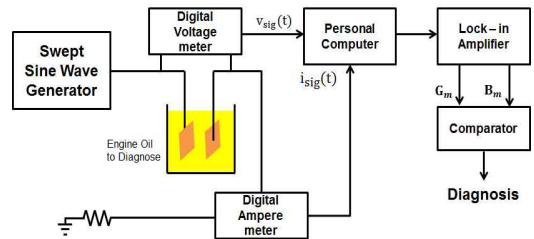
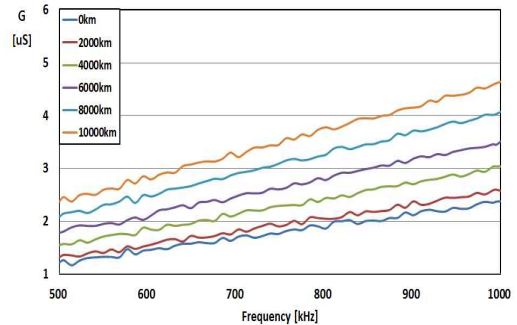


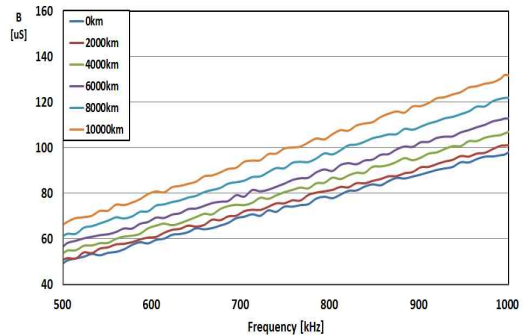
그림 6. 엔진 오일 열화 진단 시스템

Fig. 6. Degradation diagnosis system for engine oil



(a) 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스 크기

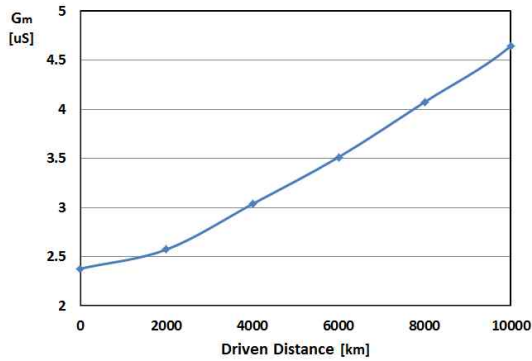
(a) Conductances of engine oil samples



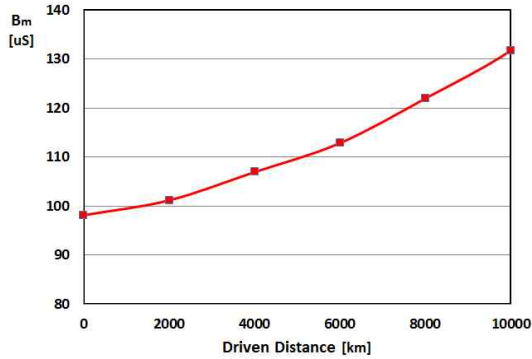
(b) 엔진 오일 샘플의 서셉턴스 크기

(b) Susceptances of engine oil samples

그림 7. 실측된 엔진 오일 샘플의 어드미턴스  
Fig. 7. Measured admittance of engine oil samples



(a) 열화 등가회로부터 추정된 컨덕턴스 크기  
(a) Estimated conductance from equivalent circuit



(b) 열화 등가회로부터 추정된 서셉턴스 크기  
(b) Estimated susceptance from equivalent circuit  
그림 8. 모델링에 의해 추정된 어드미턴스 변화  
Fig. 8. Estimated admittance by modeling

엔진 오일 열화 등가회로 모델링을 통해 주파수 1MHz에서 추정된 컨덕턴스  $G_e$ 와 서셉턴스  $B_e$ 의 변화는 그림 8과 같다.

추정된 데이터의 변화를 통해 열화에 의해 증가하는 컨덕턴스와 서셉턴스 크기를 추정할 수 있었고, 엔진 오일의 열화 추이를 예측할 수 있었다.

설계한 시스템을 통해 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스  $G_m$ 과 서셉턴스  $B_m$ 을 추출하고, 모델링을 통해 추정된 데이터와 비교하여 열화 진단한 결과는 표 2와 같다.

표 2를 통해 모델링을 통해 추정된  $G_e$ 와  $B_e$ 의 크기와 엔진 오일 샘플에서 추출한  $G_m$ 과  $B_m$ 의 크기를 비교해보면, 엔진 오일 열화 등가회로부터 추정된  $G_e$ 는 0.154%  $B_e$ 는 0.101% 이내의 오차로 추정된 것을 확인 할 수 있다.

표 2. 엔진 오일 샘플의 열화 진단

Table 2. Degradation diagnosis for engine oil samples

Driven Distance [km]	$G_m$ [ $\mu S$ ]	$G_e$ [ $\mu S$ ]	$B_m$ [ $\mu S$ ]	$B_e$ [ $\mu S$ ]
2000	2.574	2.573	101.14	101.17
4000	3.036	3.036	106.89	106.94
6000	3.512	3.514	112.78	112.86
8000	4.071	4.075	121.88	121.97
10000	4.639	4.645	131.66	131.77

#### IV. 결 론

본 연구에서는 엔진 오일의 열화 추이를 예측하고 진단하기 위해 임피던스 해석에 기반한 엔진 오일 열화 진단 시스템을 설계하였다. 엔진 오일 샘플의 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기를 실측하여 열화에 의한 전기적 특성 변화를 해석하였고, 실측 데이터를 토대로 모델링한 엔진 오일 열화 등가회로의 컨덕턴스와 서셉턴스의 변화를 추정함으로써 엔진 오일의 열화 추이를 예측할 수 있었다. 그리고 시스템을 통해 진단하고자 하는 엔진 오일의 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기를 추출하여 추정한 데이터와 비교함으로써 열화 정도를 진단할 수 있었고 모델링을 통해 컨덕턴스와 서셉턴스의 크기 변화를 거의 유사하게 추정하고 있음을 확인하였다.

추후 연구에서는 다양한 표본 차량을 통해 추가적인 엔진 오일 샘플을 통해 설계한 엔진 오일 열화 진단 시스템을 보완하고, 추정 데이터와 측정 데이터의 크기를 퍼지 추론을 통해 열화 정도를 정밀하게 진단할 수 있게 하는 지능형 엔진 오일 열화 진단 시스템을 개발하고자 한다.

#### References

[1] I. K. Lee and Y. S. Jeon, "Case Study on Functions of Engine Oils and Oil Related Failures", AUTO Journal, Vol. 20, No. 4, pp. 51-59, Aug. 1998.

[2] Y. K. Lim. et al, "A Study on the Change of Physical Properties of Engine Oil after Vehicle Driving", KSTLE, Vol. 28, No. 2, pp. 93-98, Feb.

2012.

[3] S. C. K. et al, "The Changes of Mechanical Properties of Used Oil in Gasoline Engine", KSLE, Vol. 9, No. 2, pp. 34-48, Oct. 1993.

[4] A. Agoston, C. Otsch, and B. Jakoby, "Viscosity sensors for engine oil condition monitoring - Application and interpretation of results", Sensors and Actuators A, Vol. 121, No. 2, pp. 327-332, Jun. 2005.

[5] Tomita M. et al, "Study on degradation of engine oil and its sensing", JSAE Review, Vol. 16, No. 3, pp. 283-301, Jul. 1995.

[6] Simon S. Wang, "Engine oil condition sensor: method for establishing correlation with total acid number", Sensors and Actuators B : Chemical, Vol. 86, No. 2-3, pp. 122-126, Sep. 2002.

[7] R. D. Lee, H. J. Kim, and Yu. P. SemeNov, "Capacitive Sensor for in situ Measurement of degradation of Car Engine Oil", Journal of Sensor Science and Technology, Vol. 10, No. 4, pp. 266-272, Jul. 2001.

[8] Sang Myung Chun, "Development of an Engine Oil Quality Monitoring System", KSTLE, Vol. 27, No. 3, pp. 125-133, Jun. 2011.

[9] S. Kim. et al, "A Study on Lubrication Characteristics of Automotive Engine Oil Merchandised in Domestic", KSTLE, Vol 25, No. 6, pp. 432-437, Dec. 2009.

[10] S. Raadnui and S. Kleeswan, "Low-cost condition monitoring sensor for used oil analysis", Wear, Vol. 259, No. 7-12, pp. 1502-1506, Jul. - Aug. 2005.

[11] Latif. U, Dickert. F.L, "Conductometric sensors for monitoring degradation of automotive engine oil", Sensors, Vol. 11, No. 9, pp. 8611-8625, Nov. 2011

[12] Javier Gaspar. et al. "Digital lock in amplifier: study, design and development with a digital signal processor", Microprocessors and Microsystems, Vol. 28, No. 4, pp. 157-162, May

2004.

[13] K. Y. Kim and J. T. Lee, "Implementation of Capacitive Passive Telemetry RF Sensor System Using RLS Algorithm", Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 9, No 2, pp. 19-28, Apr. 2008.

### 저자소개

#### 박 가 램 (Ka-Ram Park)



2016년 2월 : 동아대학교  
전기공학과(공학사)  
2016년 3월 ~ 현재 : 동아대학교  
전기공학과 석사과정  
관심분야 : Fuzzy Theory,  
Intelligent Control, 신호처리,  
제어계측

#### 이 준 탁 (John-Tark Lee)



1979년 2월 : 동아대학교  
전기공학과(공학사)  
1981년 2월 : 동아대학교  
전기공학과(공학석사)  
1988년 2월 : 중앙대학교  
전기공학과(공학박사)  
1997년 3월 ~ 1998년 2월 :  
Tsukuba University 객원교수  
2018년 1월 현재 : 동아대학교 전기공학과 교수  
관심분야 : Fuzzy Theory, Neuro-Science, GA and  
Intelligent Controller Design including Stability  
Analysis