

## 차량용 Dynamo-Meter를 이용한 도전성가스 분석연구

### Analysis of Conductivity Gas by using Automotive Dynamo-Meter

전 영 갑\*, 서 길 수\*, 노 형 우\*\*  
Young Kap Chon, Kil Soo Seo, Hyoung Woo Roh

#### ABSTRACT

In this study the leakage current measurement method based on a porous ceramic is applied to check the conductive substance caused by the ionized particles. By using engine and chassis dynamometer and an experiment vehicle, in which the hydrocarbon sensor (HC sensor) was exposed to the exhaust gas to create the electrical signal, the HC sensor in the exhaust line checked the conductive ions in emission gas. Generally the output electrical signal of HC sensor is followed with amount of hydrocarbon in the experiments in cold start and operation. By combining the electrical signal, a measure of conductivity of exhaust gas with hydrocarbon can be provided by OBD (On Board Diagnosis) II and EMS (Engine Management System).

주요기술용어 : HC sensor(Hydrocarbon센서), Engine dynamometer(엔진구동장치), Chassis dynamometer(차량구동장치), Electrical signal(전기적신호)

#### 1. 서 론

최근 자동차 배기가스로 인한 대기오염 및 지구온난화 현상이 심각한 상태에서 지금까지 그 오염도 측정에서 화학적 분석에 의한 1-3년간 주기적인 측정에 의존하여 왔으나, 본 논문에서는 다공성 세라믹을 이용한 전기적 분석법을 개발하여 적용시킴으로써 차량 운전시 운전자가 실시간(real time)으로 자가 진단할 수 있는 방법을 제시하였다.

또한 지금까지 사용하고 있는 화학적 분석법은 그 설치 장비가 고가(高價)이고 화학적 분석에 의한 오염도 측정시 온도 및 습도의 영향 등

이 측정 결과에 상당한 영향을 미칠 뿐만 아니라, 엔진 연료의 불완전 연소나 촉매(catalyst) 열화로 인해 발생하는 도전성 가스를 실시간으로 측정하지 못하는 단점이 있으며, 그 측정방법이 매우 복잡하여 다기능 다량의 개소에 적용하지 못하고 있다.

본 논문의 특기 사항은 기공사이즈가 일정한 open pore cell 내에서 가스상 물질이 기공 사이에 침투되었을 때 외부에서 전계를 가하면 이온화되어지고 이들 이온화된 물질이 체인처럼 배열되어 전기적 회로가 구성됨으로서 미세한 전류가 흐르게 되는 원리를 이용한 유해가스 검출 센서 및 측정 시스템 개발에 관한 것이다.<sup>1)</sup> 이때 구성된 전기적 회로는 직·병렬 저항회로으로써 전압을 일정하게 인가하였을 때 저항의 변화에

\* 회원, 한국전기연구소

\*\* 회원, 자동차부품연구원

따라 전류 값이 변화되는데 이 전류의 크기에 따라 탄화수소를 비롯한 기타 도전성 물질량을 측정하는 것으로, 자동차 배기변에 설치된 다공성 세라믹센서(porous ceramic sensor)를 이용하여 배출가스 발생추이를 전기적 분석법으로 측정하는 것이다.

## 2. 분체층을 이용한 도전을 계산식

본 논문에서 적용된 배기가스 검출센서는 도전성 성분 흡착 부분이 절연성능을 가지는 porous 고체로 제작되어 있어, 어떤 전계 하에서 그 방향으로 이동하는 전하밀도를 초기 조건에서 매우 작다는 것으로 가정하였다. 즉 센서 재료로서 전하밀도가 적고 이동도가 적은 상태에서, 그림 1과 그림 2와 같이 분체층 model을 이용하면 도전 전기량의 변화를 일으키는 이론 식을 유도해 낼 수 있다.

여기서 센서의 단위거리당 두 전극사이에 떨어진 거리를 평행한 두 전극간의 단위면적으로 계산하여 conductance를 계산할 수 있다. 그림 2에서 인근한 두 층의 평행단면 LM간에 걸리는 도전을  $\sigma_1$ 은 conductance G를 요소로 하는 직, 병렬 접속을 구성하고 있음이 명확하다>(\*직렬  $1/2r$ 은 분체층 단위 길이 1m에 대한 계산이며 병렬  $1/(2r)^2$ 은 분체층 면적  $1m^2$ 에 대한 계산)<sup>2)</sup>

즉 직렬에서  $\frac{1}{2r}$  개, 병렬로  $\frac{1}{(2r)^2}$  개가 접속

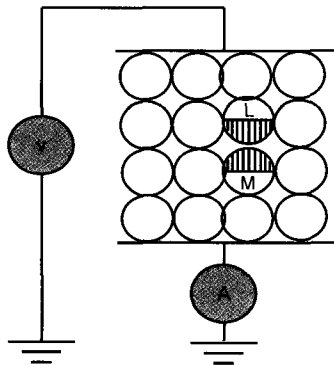


Fig. 1 다공성 세라믹의 전기적 회로

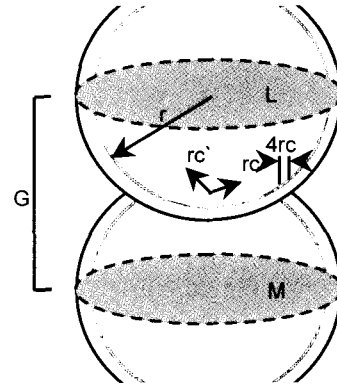


Fig. 2 다공성 세라믹의 이상적 모델

되므로  $\sigma_1$ 은 다음 식과 같다.

$$\sigma_1 = G \frac{1/(2r)^2}{1/2r} = \frac{G}{2r} (\Omega^{-1}/cm) \quad (1)$$

여기서 conductance G는 입자(粒子) 누설 저항  $R_L$ 와 LM간의 입자 실체저항  $R_C$ 의 병렬 접속으로 구성된다. 먼저  $R_C$ 를 생각해 보면 접촉점에서 발생하는 접촉저항과 접촉면에 존재하는 산화물 피막저항의 합으로 나타낼 수 있다. 그림 2에서 접촉저항  $R_S$ 는

$$R_S = \frac{1}{2r_c'} \cdot \frac{1}{\delta_s} (\Omega) \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다.

여기서  $\delta_s$ 는 입자 실체의 도전율( $\Omega^{-1}/cm$ ),  $r_c'$ 는 접촉면의 유효반경인  $r_c + \Delta r_c$ 로 된다. 그리고 접촉면에 존재하는 산화물 피막, 즉 흡착 분자층의 저항은

$$R_b = \frac{\rho_b}{\pi c'^2} (\Omega) \quad (3)$$

( $\rho_b$ : 境界層 단위 면적당  $\Omega-cm^2$ )

가 된다. 따라서  $R_C = R_S + R_b$ 는 다음과 같이 나타낸다.

$$R_C = \frac{1}{2r_c' \delta_s} + \frac{\rho_b}{\pi c'^2} (\Omega) \quad (4)$$

단 여기서  $r_c'$ 는 온도가 낮은 접촉부에서 水

분자흡착(Capillary Condensation)을 무시한 경우는  $r_c$ 가 되며, 온도가 높은 수분자 흡착인 경우 증가분  $\Delta r_c$ 가 가하여 진다. 다음 표면누설저항  $R_f$ 는 입자 표면의 film 도전을  $\delta_f$ 로 보아 다음 식과 같이 계산된다.

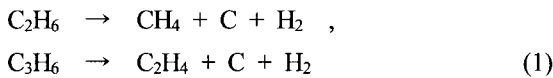
$$R_f = \frac{\ln(2r/r_c')}{\pi \delta_f} \quad (5)$$

따라서 (4)식과 (5)식을 (1)식에 대입하면 그림 2에서 표시된 이상분체층(理想粉體層)의 도전을  $\sigma_1$ 은 다음 식과 같이 표시된다.

$$\sigma_1 = \frac{r_c' r}{1 + (2\delta_s \rho_b / \pi c')} \delta_s + \frac{\pi/2r}{\ln(2r/r_c')} \delta_f (\Omega^{-1}/cm) \quad (6)$$

즉, 구성되는 parameter는  $r, r_c', \delta_s, \delta_f, \rho_b$ 임을 알 수 있다. 위의 경우는 완전 구형(球型)인 흡착 재료를 사용한 식이나 내부구조가 불규칙한 다공성 세라믹인 경우에도 배출가스중 도전성 분인 HC가 통과하면 전기적 회로가 구성된다.

다공성 세라믹 센서에서 측정되는 주 대상은 탄화수소(Hydrocarbon)로 탄화수소(C)의 발생 메커니즘은 다음과 같다.



위의 식에서 유리탄소 C의 전기적 특성을 살펴보면 하전입자 반경  $0.16(\text{\AA})$ , 저항률  $0.0019(\Omega\text{-cm})$ , 전류밀도  $9.5(A/cm^2)$ 로 도전성 물질이다. 위와 같은 도전물질인 탄화수소(Hydro-carbon)가 기공 세라믹을 통과할 때 다음과 같은 전기적 회로가 구성된다. 이 전기적 회로는 병렬저항회로로써  $I = V/R$ ( $R$ =병렬저항)이 성립되는데 전압( $V$ )을 일정하게 인가하였을 때 저항( $R$ )이 변화될 때 다공성 세라믹 사이에 발생하는 누설전류( $I$ )가 변화된다. 이 누설전류의 크기에 따라 탄화수소(C)를 비롯한 기타 도전성 물질량을 측정할 수 있다. 즉 탄화수소(Hydro-carbon)의 전기적 특성은 통로가 만들어질 때 이와 같은 이론을 적용할 수 있다.

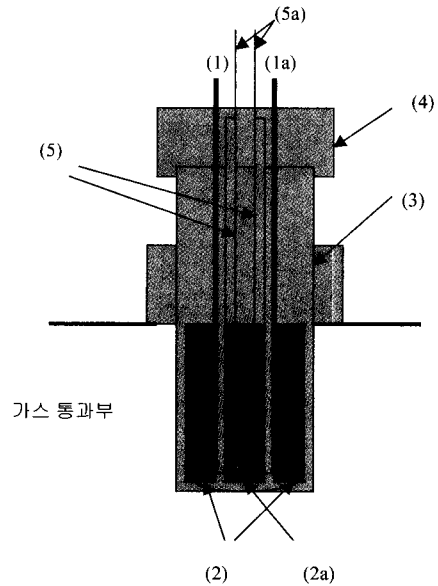


Fig. 3 HC Sensor 구조도

그림 3은 센서의 구조도를 나타낸 것으로 porous ceramic(2,2a)을 삽입한 후, 그 양단에 스테인리스 전극(1,1a)을 설치하여 전압을 인가할 수 있는 터미널(4)에 DC 500(V)를 인가할 수 있도록 하였다. 리드선은 상호 절연시킬 수 있는 이격거리를 가져야 하며, 전압인가에 따른 절연이 충분한 터미널(4)로 이루어진다. 배기관과 센서의 부착은 볼트와 부착나사(3)에 의하여 고정되어 배기가스의 외부 누설을 방지시켜 주어야 한다. 초기치 보정을 위하여 세라믹 히타(5a)를 센서에

Table 1 다공성 세라믹 물성

재질	Porous ceramic
기공 크기	300 $\mu$ m 이상
센서 외경	5 ~ 20M/M
센서 두께	50M/M
성분	98% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
열팽창계수	6.5 - 8.5 $\times 10^{-6}/^{\circ}C$
비중	0.75 - 0.85
기공률	75 - 85%

내장시킨다.

주 재질인 다공성세라믹(porous ceramic)의 전기 물리적 특성은 표 1과 같다.

$$\text{기공률} = \frac{V_3}{V_1 + V_2 + V_3} \times 100(\%) \quad (7)$$

$V_1$  : Volume of ceramic materials

$V_2$  : Volume of pore part

$V_3$  : Open pore

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 센서 측정 시스템

다공성 세라믹에 직류전압을 인가하여 누설 전류를 측정할 수 있는 DC 고압발생부에서 출력신호를 증폭기(amplifier)로 증폭시킨 뒤, 이 증폭신호를 마이크로프로세서부에 입력되면, 마이크로프로세서부에서 환경 기준치에 맞는 전류치와 비교하여 연산한 뒤 메모리(memory)에 저장 및 디스플레이(display)하거나 계기판에 경고신호를 나타내도록 한다. DC 전압발생부는 PWM(pulse width modulation)을 이용, Tr(transformer)을 거쳐 DC 500(V) 전압이 발생되도록 하였다. 측정된 누설전류치는 CPU의 A/D컨버터(converter)에 입력되고 이 신호를 받은 CPU의 기준 데이터를 인지하도록 하였다. 본 누설전류치는 증폭기(amplifier)를 통하여 A/D변환되어 입력되고, 마이크로 프로세서(micro processor)에서는 두개의 값을 비교하여 현재의 유해 가스량을 측정 한 후 유해여부를 판정한다. 유해가스 측정 정도는 유해가스 측정시 누설전류를 입력 받아, HC 센서에 의하여 표시하거나 LED Signal로 "ON" "OFF" 신호를 발생시킨다.

#### 3.2 Dynamometer 장치

자동차 부품연구원에 설치된 엔진다이노메타와 샤시다이노메타의 개략도를 그림 4와 그림 5에 나타내고 있다. 엔진다이노메타인 경우 촉매 후단에 HC 센서를 부착한 상태에서

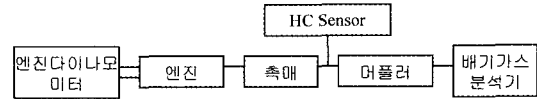


Fig. 4 엔진다이노모 설비 Block diagram

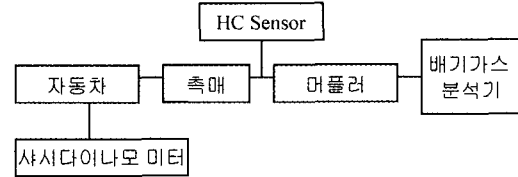


Fig. 5 샤시다이노모설비 Block diagram

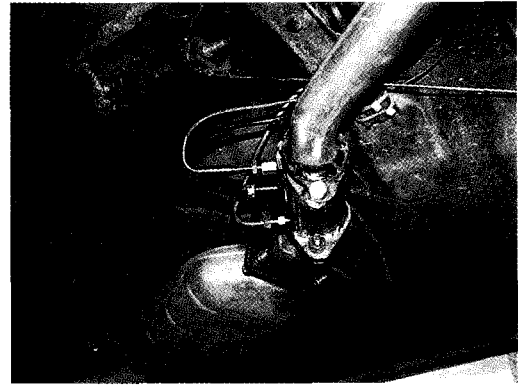


Fig. 6 HC 센서가 장착된 실험용 차량

엔진의 온도 특성실험과 부하 특성실험을 실시 하였으며 이때 나타난 배기가스량과 HC 센서의 전류량을 상호 비교하여 보았다. 그리고 샤시 다이노메타인 경우 실차의 촉매 후단에 그림 6 과 같이 센서를 부착한 상태에서 도로주행실험을 실시하였다.

HC 센서가 취부된 실차의 사양은 다음과 같다.

- \* 차량명 : 대우 Brougham 2.0 HCAT
- \* 형식: NR19Z
- \* 제작년도: 1996년
- \* Motor 형식: C20SEL

### 4. 실험결과 및 분석

#### 4.1 Engine Dynamometer

그림 7은 온도특성 실험시 X축은 측정회수로

1회 샘플링당 5초로 측정된 데이터이다. 5만 km 사용된 촉매 후단의 센서 box에 온도, 화학적 분석에 의한 배기가스 측정센서(일본 HORIB製) 및 HC 센서를 부착하여 동시에 측정하였다. 화학분석 장비의 샘플링 시간은 1회당 5초, HC 센서는 매 1초를 셋팅하여 측정되었으며 HC 센서에 DC 500(V)를 인가하여 실험하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 초기 기동시 THC(total hydrocarbon)가 근 3000(ppm) 가까이 발생되었을 때 HC 센서 전류치가 1200( $\mu$ A)에서 과포화된 전류값이 흐르다가 배기가스 온도가 근 3670C(촉매의 활성화 온도)에서 THC가 감소함에 따라 센서의 누설전류치도 동시에 감소됨을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 상기 2 항에서 언급된 이론적인 해석과 거의 유사한 결과를 나타냄을 알 수 있었다. 그림 8은 그림 7에서 촉매가 활성화된 이후의 THC량(ppm)과 HC 센서에서 발생하는 전류치와의 상관 관계를 확대하여 표시하여 놓은 것으로 THC량과 HC 센서의 전류치와

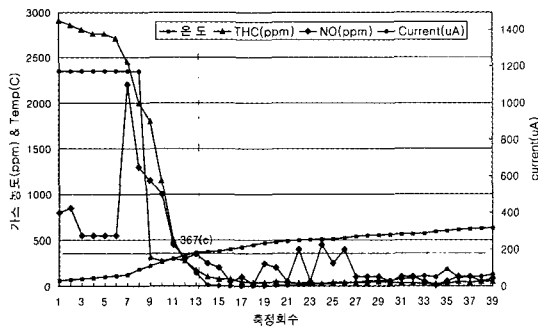


Fig. 7 Engine Dynamometer 시험치

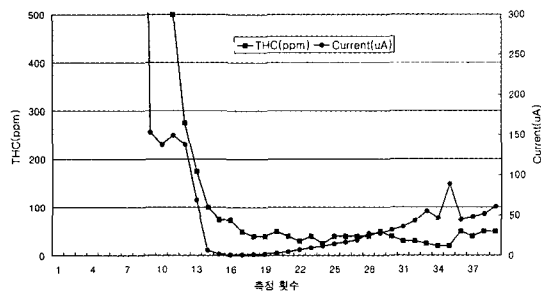


Fig. 8 Engine Dynamometer THC-HC 센서 전류특성치

는 정확한 추이를 나타내지는 않고 있으나, THC가 저농도(200ppm 이하)에서는 가스의 도전성과 더 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 그림에서 ■는 배기가스 온도를 나타내고 ▲는 THC 함유량(ppm), ◆는 NO(산화질소)를, ●는 HC 센서의 전류치를 나타내고 있다. 촉매의 배기가스 분석과 HC Sensor의 전류값을 비교한 결과 NO 등과는 관련성을 갖지 않고 배기가스 중 HC가스와 관련성이 있음을 알 수 있었다.

#### 4.2 Chassis Dynamometer

그림 9와 10은 Chassis Dynamometer 시험 결과를 나타낸 것으로 상기 Engine Dynamometer와 같은 샘플링 회수와 전류치 셋팅 시간으로 측정되었다.

위의 실험 결과 배기가스에서 배출되는 THC량과 센서의 누설전류치는 냉시동시 THC량에

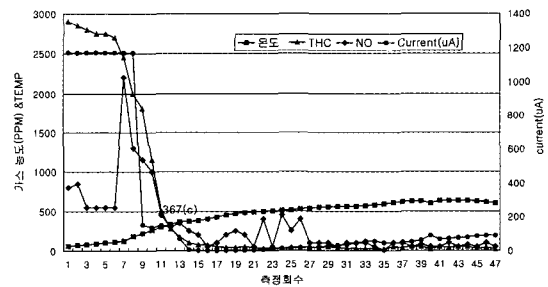


Fig. 9 Chassis Dynamometer 시험치

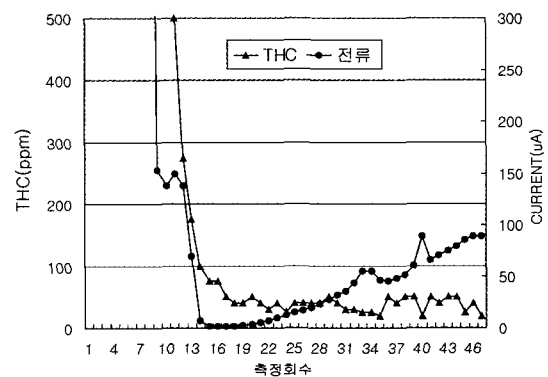


Fig. 10 Chassis Dynamometer의 THC-HC 센서 전류특성치

따라 변화되거나 촉매가 활성화된 상태(온도가 367 °C 정도)로 올라간 상태에서 재시동하였을 때 전류치가 급격히 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 이런 현상은 THC가 온도가 올라간 상태에서 가스의 도전율이 낮아지는 현상을 알 수 있었다. 배출가스가 고온으로 올라간 경우 HC 센서의 누설전류치가 적게 나타내는 것은 촉매 속에 포함된 도전성 입자들이 적어짐을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 촉매 표면에 붙어있는 도전성 입자가 센서에 직접적인 영향을 미침을 알 수 있었다. 이에 대한 정밀 측정은 실차 운행시에 배출가스량과 센서의 누설전류치를 정밀 분석하여야 할 것으로 사료된다. 그림 10은 그림 9에서 촉매가 활성화된 이후의 THC량(ppm)과 HC 센서에서 발생하는 전류치와의 상관 관계를 확대하여 표시하여 놓은 것으로 THC량과 HC 센서의 전류치와는 정확한 추이를 나타내지는 않고 있으나, THC가 저농도(200ppm 이하)에서는 가스의 도전성과 더 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 그림에서 ■는 배기가스 온도를 나타내고 ▲는 THC 함유량(ppm), ◆는 NO(산화질소)를, ●는 HC 센서의 전류치를 나타내고 있다.

### 4.3 실차 실험

그림 11은 4.2항의 chassis dynamometer로 측

정된 실차를 이용하여 경남 창원시 소재 안민고개의 정상과 그 일대를 약 20(km)거리를 운행한 결과를 나타내고 있다. 그림에서 ●표시는 센서의 전류를 나타내고 ▲표시는 실차의 배기변에서 측정된 온도를, ■표시는 산등선을 운행시 등고선에 의한 해발(m)를 나타내고 있다. 그림의 실험 결과에서 알 수 있듯이 산 오르막에서 상당한 누설전류를 나타내다가 내리막에서 전류가 낮아지는 현상을 알아 낼 수 있었다. 이와 같은 현상은 배기가스에 포함된 HC성분이 산 오르막에서 불완전 연소됨으로 발생하는 도전성분의 크기를 알 수 있었고, 내리막에서는 엔진의 적정 연소비에 맞게 도전성가스의 양이 적어짐을 알 수 있었다. 그림에서 냉기동인 3(km)까지 센서의 누설전류치가 급격히 증가하다가 배기가스 온도가 233(°C) 이상에서 누설전류가 급격하게 적어지는 사실(27 μA)을 알 수 있었다. 이와 같은 사실은 전항의 dynamometer 실험에서와 같은 현상이 밝혀졌고, 해발 높이에 따른 누설전류치가 변화되는 것으로 보아 센서기능이 소기의 목적에 접근함을 알 수 있었다.

### 5. 결론

위의 실험 결과를 분석하여보면 다음과 같은

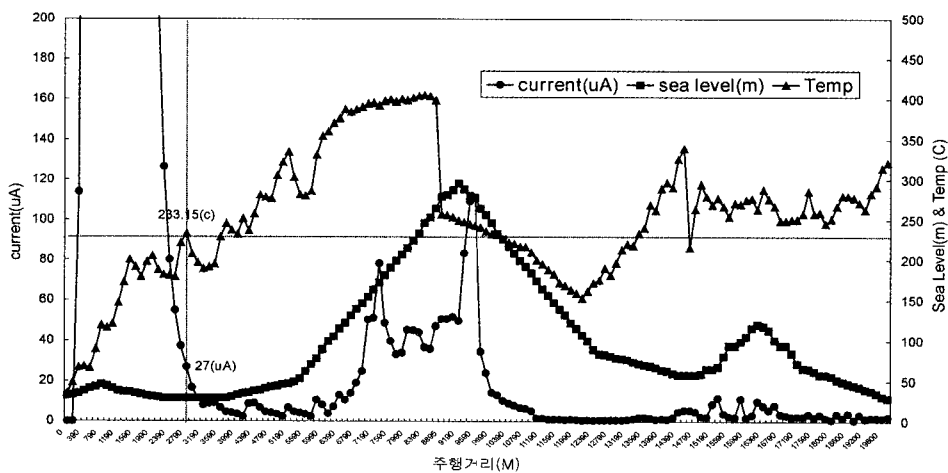


Fig. 11 실차 실험 그래프(온도-전류-해발-주행거리)

결론을 낼 수 있었다.

1) 엔진다이나모 및 샤시다이나모 실험 결과 냉기동시 센서의 누설전류와 THC량의 변화량과 같은 추이로 변화됨을 됴을 알 수 있었고, 배출가스 중 도전성가스 변화에 좌우됨을 알 수 있었다.

2) 실차운행 실험 결과 dynamometer와 마찬가지로 실험결과를 도출하였으며 엔진의 불완전 연소에 따른 센서의 누설전류와는 상당한 연관성이 있음을 알 수 있었다.

3) 앞으로 실차 운행에 따른 배출가스량과 센서의 전류치와 상관관계를 정밀하게 판명하기 위한 response time, 센서의 내구성 시험, offset 현

상 등에 대한 실험연구가 뒤따라야하며 동시에 촉매 열화 진단 및 차량 냉기동시 THC량을 엔진에서 제어할 수 있는 방법을 모색해야 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 전영갑 외 2인, "차량용 HC 감지시스템개발 연구," 한국자동차 공학회 추계발표회, pp.718-721, 1999.
- 2) Y. K. Chon, "Development of HC Sensor & System for Catalyst Monitoring of Automobiles," SAE (FUTURE ENGINES) SP-1559, pp.69-76, 2000.