

# 자동차 배기가스 측정을 위한 매연프로브 효율 개선에 관한 연구

채일석\*, 김상유\*, 김재열\*\*.#

\*조선대학교 일반대학원 기계시스템·미래자동차공학과, \*\*조선대학교 기계시스템·미래자동차공학부

## Improvement of Soot Probe Efficiency for Automotive Emission Measurement

Il-Seok Chae\*, Sang-Yu Kim\*, Jae-Yeol Kim\*\*.#

\*Dept. of Mechanical System Engineering, Graduate School of Chosun University

\*\*School of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University

(Received 21 June 2019; received in revised form 26 June 2019; accepted 5 July 2019)

### ABSTRACT

Cars are inspected in the transport sector for their ability to achieve the greenhouse gas reduction targets. A vehicle (automobile) inspection broadly consists of regular and total checks, and both the safety level and the amount of exhaust gas are checked simultaneously during a vehicle inspection. This study deals with the efficiency of a soot probe to measure soot emissions from diesel vehicles. When the vehicle exhaust gas measurement is performed, there may be a difference between the exhaust gas temperature and the soot suction amount because of the different shape and angle of the exhaust port for each vehicle type. This may result in some incidents where the correct inspection nonconforming vehicle is not selected. Therefore, in this study, the shape of the probe was improved to increase the soot measurement efficiency under the condition of the exhaust pipe angle change.

**Key Words** : Exhaust Efficiency(배기효율), Lug-Down3 Mode(러그다운3 모드), Reduction of Greenhouse Gases(온실 가스 감축), Soot Measurement Probe(매연 측정 프로브)

### 1. 서 론

최근 기후변화에 따른 각종 내연기관에 대한 배출가스 규제가 날로 강화되고 있으며, 배기가스에 대한 규제는 전 세계적으로 강화되고 있는 실정이다. 특히 디젤기관에서 배출되는 질소산화물, 흑연 및 입자상물질은 신체 각부의 산소결핍, 광화학스

모그 등의 현상 및 온실가스를 증가시키는 원인을 제공하여 심각한 문제를 발생시키고 있다. 현재 지구는 온실가스 증가에 따른 평균기온상승으로 엘니뇨 현상에 따른 자연재해로 목살을 앓고 있으며 많은 인명과 재산상의 피해를 입고 있는 실정이다<sup>[1-9]</sup>. 이런 온실가스 감축 목표를 달성하는 한 방법으로 수송 분야에 운행자동차 검사제도가 있다. 자동차 검사는 크게 정기검사와 종합검사로 구분되며, 안전도 검사와 배출가스 검사를 동시에 시행하고 있

# Corresponding Author : jykim@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

다. 현재 경유나 경유에 가스를 섞어서 사용하는 자동차 매연 측정기술에는 무부하급가속, Lug-down 3모드, KD 147 모드 검사기술을 적용하여 수행한다<sup>[10-11]</sup>. 경유자동차에 시행하는 Lug-down 3모드 검사기술은 차대동력계에서 가속페달을 최대한 밟는 등 고 부하 고속회전상태에서 검사가 시행됨에 따라 매연과다배출 차량의 선별에는 효과적이다<sup>[12]</sup>. 하지만 이러한 기술로 자동차 매연 측정 시 차종마다 각기 다른 배기구 형상과 각도에 따른 배기가스 온도와 매연 흡입량의 차이가 일부조건에서 발생할 수 있어 정확한 검사부적합차량이 선별되지 않아 자동차검사제도의 실효성에 문제가 제기될 수 있다. 따라서 본 연구는 매연 프로브의 효율에 관한 것으로 배기관 형상의 각도가 45도, 90도, 또는 불규칙한 조건에서 매연 측정 효율이 떨어지는 현상에 따른 개선방향으로, 매연 측정프로브를 개선하여 흡입 효율을 높이는 방향으로 진행 하였으며 그 효과가 있음을 증명하고자 한다.

## 2. 매연 측정프로브

현재 자동차 검사 때 사용되고 있는 매연 측정프로브는 배기관에 삽입 시 정확한 매연측정을 위해 배기관의 내주 면에 대해 5mm 이상 이격 되어야 한다. 그래서 기존 매연 측정프로브는 흡입구가 배기관 내주 면으로부터 소정거리 이격되게 하는 여러 개의 리브가 형성되어있으며, 매연 흡입 홀도 앞쪽으로 치우쳐있어 굴곡된 배기관 및 부정확한 삽입 시 흡입 홀이 막히거나 작아져 매연 측정값이 차이가 날수 있고, 리브 또한 얇은 판상으로 형성되어 있어 매연 측정프로브가 배기관 내로 진입 시 리브가 배기관 내주 면에 접촉되면서 충격이나 높은 배기 열을 견디지 못하고 구부러지거나 파손이 발생되어 프로브가 배기관 내주 면에 대해 적절한 이격거리를 유지하기 어려운 문제점이 있다.

본 매연 측정프로브는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로써 간단한 구조로 리브의 구부러짐 발생을 방지하여 고열이나 충격에도 배기관의 내주 면에 대해 소정의 이격유지가 가능한 매연 측정프로브이며, 또한 굴곡된 배기관 및 부정확한 삽입시에도 흡입 홀이 막히거나 작아지는 것을 방지

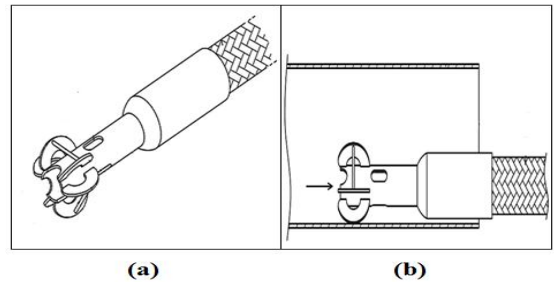


Fig. 1 Development probe drawings

하여 리브의 수명은 100%이상 내구성이 향상되고 흡입 효율 또한 20% 이상 향상될 수 있는 매연 측정프로브이다. Fig. 1의 도면은 좌측부터 개선된 매연 측정프로브의 도면이며, (a)는 매연 측정프로브에 대한 구조도이고, (b)는 매연 측정프로브가 자동차 배기관의 길이방향에 나란하게 삽입된 상태를 도시한 도면이다.

## 3. 자동차 매연측정기술

### 3.1 Lug-down 3모드 기술

엔진회전수 제어방식의 Lug-down 3모드(부하검사 방법)는 대형 승합·화물·특수자동차, 중형 화물·특수 자동차 중 일반형에서 특수용 도형으로 구조를 변경한 자동차, 한국형 경유147(KD147) 부하검사방법을 적용할 수 없는 경유사용자동차의 엔진정격회전수, 엔진정격출력 및 매연농도를 측정하는데 적용한다. 측정원리는 차대동력계상에서 주행하는 상태에서 측정대상자동차의 엔진정격회전수에서 1모드, 엔진정격회전수의 90%에서 2모드, 엔진정격회전수의 80%에서 3모드로 구성하여 1모드에서 엔진정격출력, 엔진정격회전수 및 매연농도를, 2모드와 3모드에서 각각 엔진회전수 및 매연농도를 측정하며, 매연농도는 부분유량채취방식의 광투과식매연 측정기를 사용하여 측정한다. 또한 매연 측정프로브를 배기관의 벽면으로부터 5mm 이상 떨어지도록 설치하고, 5cm 정도의 깊이로 삽입 설치한다.

### 3.2 검사모드의 구성

검사모드는 예열모드 1모드, 2모드, 3모드로 구성

되며, 예열모드는 차대동력계상에서 엔진정격출력의 40% 부하에서 50±6.2km/h의 속도로 주행하여 40초 동안 예열한다. 1모드는 예열모드가 끝나고 차대동력계 롤러가 정지하면, 즉시 측정대상자동차를 구동하면서 70km/h에 근접하되 100km/h를 초과하지 아니하는 최저 변속기어까지 신속히 변속하고, 그 변속기어를 유지한 상태에서 가속페달을 최대한 밟아 차대동력계의 부하마력에 의하여 엔진회전수가 엔진정격회전수가 되도록 한다. 이때 측정된 엔진회전수가 엔진정격회전수의 ±5% 이내로 안정되고 나서 5초 후부터 검사모드가 시작되어 10초 동안의 엔진최대출력, 엔진회전수, 자동차 주행속도, 매연농도, 엔진구동토크 등을 측정하여 이를 각각의 산술평균값으로 나타낸다. 2모드는 1모드 상태에서 차대동력계의 부하마력에 의하여 엔진회전수를 엔진정격회전수의 90%에 해당하는 회전수가 되도록 하고, 측정된 회전수가 엔진정격회전수의 90%에 해당하는 회전수의 ±5% 이내로 안정되고 나서 5초 후부터 검사모드가 시작되어 10초 동안의 엔진최대출력, 엔진회전수, 자동차 주행속도, 매연농도, 엔진구동토크 등을 측정하여 이를 각각의 산술평균값으로 나타낸다. 3모드는 2모드 상태에서 차대동력계의 부하마력에 의하여 엔진회전수를 엔진정격회전수의 80%에 해당하는 회전수가 되도록 한다. 측정된 회전수가 엔진정격회전수의 80%에 해당하는 회전수의 ±5% 이내로 안정되고 나서 5초 후부터 검사모드가 시작되어 10초 동안의 엔진최대출력, 엔진회전수, 자동차 주행속도, 매연농도, 엔진구동토크 등을 측정하여 이를 각각의 산술평균값으로 나타낸다. 각 모드별로 측정된 엔진회전수가 각 모드별 엔진회전수 오차 범위인 ±5% 이내를 연속하여 2초 이상 벗어나거나, 측정 중에 주 제어장치와 1초 이상 통신이 단절된 경우 검사모드는 다시 시작되어야 하며, 이러한 경우가 각 모드에서 2회 이상 발생하면 검사는 중지되어야 한다.

### 3.3 검사결과의 판정

검사결과의 판정은 엔진최대출력은 1모드에서 측정하여 다음의 계산식에 의하여 표준상태로 보정한 엔진출력이 측정대상자동차의 엔진정격출력의 50% 이상이면 적합, 50% 미만이면 부적합으로 판정한다.

다.

$$P_c - P_e \times K$$

$$K = f_a^{f_m} \quad f_a = \frac{99}{P_s} \left( \frac{T}{298} \right)^{0.7}$$

다만, 터보과급엔진(TC)

$$f_a = \left( \frac{99}{P_s} \right)^{0.7} \left( \frac{T}{298} \right)^{1.5}$$

- Pc : 보정출력,                      Pe : 측정출력
- K : 표준상태 보정 값    fa : 대기계수
- fm : 공연비계수(1.2를 적용한다)
- Ps : 대기 압력(kPa)            T : 대기온도(K)

이때 표준상태라 함은 흡기온도 298K(25°C), 대기압력 100kPa(건조대기압력 99kPa+수증기압력 1kPa)의 대기상태를 말한다. 엔진정격회전수는 1모드에서 측정된 엔진회전수가 엔진정격회전수의 ±5% 이내이면 적합으로 판정하고, 엔진정격회전수의 ±5%를 벗어나면 부적합으로 판정한다. 매연농도는 각 모드에서 측정된 매연농도가 모두 운행차 배출허용기준 이내이면 적합으로 판정하고, 어느 한 모드에서도 운행차 배출허용기준을 초과하면 부적합으로 판정한다. 엔진출력은 소수점 첫째자리에서 반올림하여 1ps 단위로, 엔진회전수는 10rpm 단위로, 매연농도는 소수점 이하는 버리고 1% 단위로 나타내어야 한다.

## 4. 실험장비의 구성

Fig. 2는 Lug-down 3모드 기술의 주행그래프<sup>[12]</sup>이며, Fig. 3은 대기환경법에 따른 자동차 종합검사시 시행되는 부하검사 기술의 장비의 구성부품과 배기관 팁을 별도로 제작하여 적용 하였으며, 좌측은 차대동력계, 광투과식 매연측정기, 매연 흡입호스, 매연 측정프로브이며, 우측상단은 운영프로그램, 아래는 각도변환 배기관 팁으로 구성하였다.

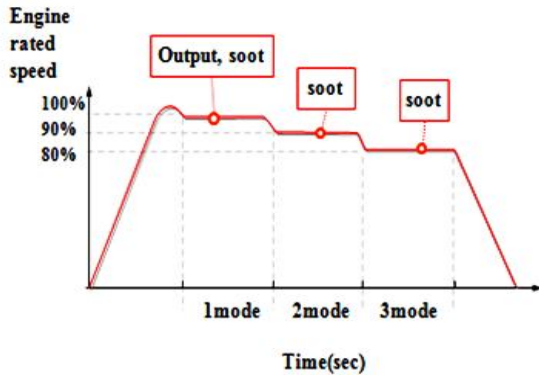


Fig. 2 Lug-down 3 mode running graph

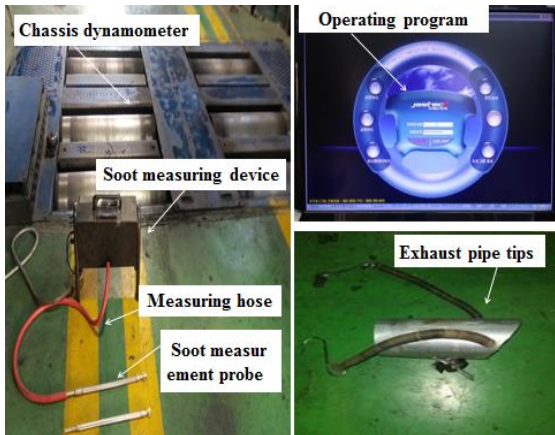


Fig. 3 Configuration of equipment

Table 1 Measuring conditions

Item	Measuring conditions
How to measure	Lug-down 3 mode
Ambient temperature (°C)	10~35
Atmospheric humidity (%)	45~75
Atmospheric pressure (kpa)	101.3
Place of measurement	Comprehensive automobile inspection center

Table 2 Specification of experimental vehicle

Item	350,000 km engine
Model	Starex
Displacement (cc)	2,476
Number of cylinder	4
Maximum output (ps)	103
Rated speed (rpm)	3800
Fuel	Diesel
First registration date	2000
Vehicle weight (kg)	1,945

Table 1은 실험 검사장의 실험 조건이며, 국토교통부에서 지정한 지정정비사업자의 종합검사소에서 진행하였으며, Table 2는 실험 차량인 350,000km를 주행한 실험차량의 스펙을 나타내고 있다.

## 5. 실험방법 및 고찰

### 5.1 실험방법

배기관 형상의 각도가 0도, 30도, 45도, 70도, 90도 조건에서 기존의 매연 측정프로브와 개선된 매연 측정프로브를 삽입 후 Lug-down 3모드 검사 기술로 진행 하였으며, 이에 따른 매연 흡입량과 온도를 그래프로 확인하는 방법과 배기관에 삽입 시 매연 측정프로브의 위치를 일부조건에서 확인하는 방법으로 진행하였다. Fig. 4는 기존의 매연 측정프로브이며, Fig. 5는 개선된 매연 측정프로브이다.

Fig. 6의 좌측은 별도의 배기관 팁을 제작하여 실험 차량에 임의의 각도로 매연 측정프로브를 삽입할 수 있도록 특수 제작한 배기관 팁을 설치한 사진이다. 우측 사진은 실제 매연 측정프로브를 30도 각도로 장착한 사진이다. 실제실험은 실험차량에 매연 측정프로브를 0도, 30도, 45도, 70도, 90도의 임의의 정해진 각도를 설정하여 특수제작한 배기관 팁에 장착하여 Lug-down 3모드 검사 기술로 배기가스인 매연, 온도를 측정하여 두 프로브의 성능을 비교분석하는 방법으로 진행하였다. Fig. 7의 (a)는 실제 매연 측정프로브가 굴곡진 배기관에 삽입 시 배기가스의 흐름 방향을 예시한 것이며, (b), (c), (d)는 실제차량의 배기관 형상을 도시한 사진으로 차종마다 각기 다른 배기관의 형상과 각도를 가지고

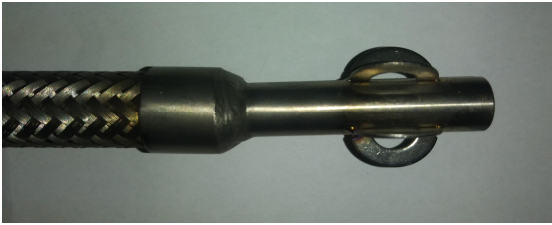


Fig. 4 Existing soot measurement probe



Fig. 5 Improved soot measurement probe

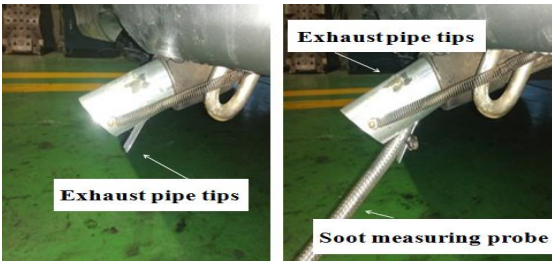


Fig. 6 Installation of a soot measuring probe on an experimental vehicle

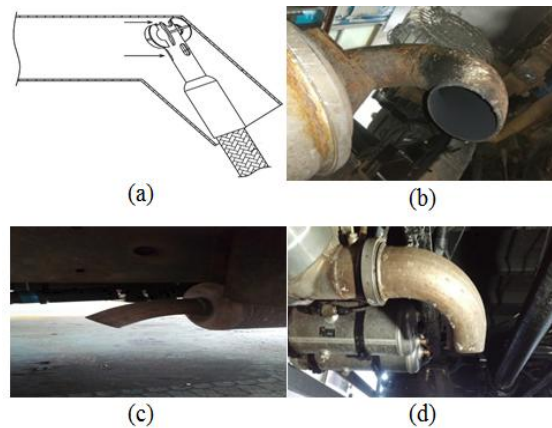


Fig. 7 Various shapes of automobile exhaust pipe

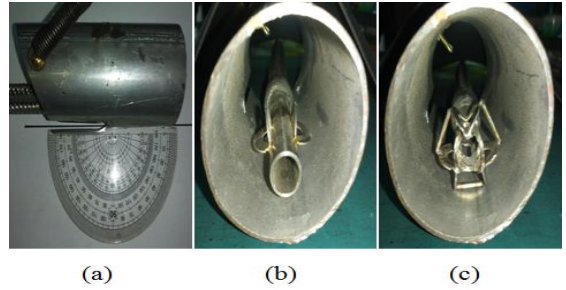


Fig. 8 Two probe positions at 0 degrees

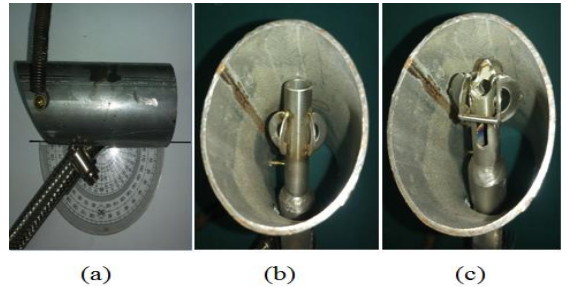


Fig. 9 Two probe positions at 45 degrees

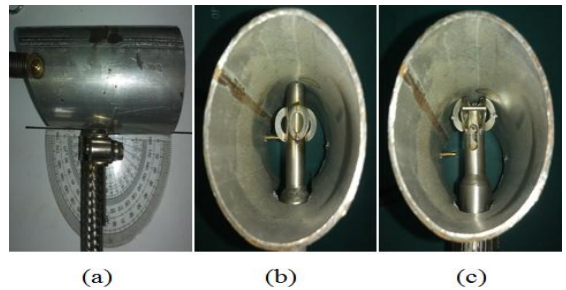


Fig. 10 Two probe positions at 90 degrees

있는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8, - Fig. 10은 0도, 45도, 90도 조건의 배기관에 삽입된 두 프로브의 각각 위치를 나타내고 있으며, 좌측 (a)와 같이 각도기로 각도를 설정하였으며, (b)는 기존 프로브, (c)는 개선된 프로브의 위치를 각각 나타내고 있다. 사진으로 알 수 있듯이 각도변화가 클수록 기존 프로브는 배기관에 프로브가 이격되지 못하는 것을 알 수 있으며, 개선된 프로브는 소정의 이격거리를 유지하는 것을 알 수 있다.

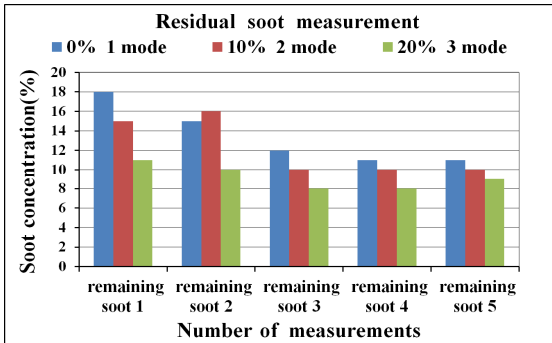


Fig. 11 Removal of residual soot

자동차의 배기시스템은 배기매니폴드, 배기가스 정화장치(DOC, DPF, SCR) 시스템, 1차, 2차 소음기 배기관 등으로 구성되어 있으며, 주행거리와 사용 시간에 따라 잔류매연이 쌓이게 되어 매연측정량의 편차를 유발한다. Fig. 11은 이러한 배기 시스템 내의 잔류매연을 제거하기 위해 실험 차량은 5회의 Lug-down 3모드를 진행하였으며, 각 모드별 셋팅 타임은 5분씩 유지하면서 진행하였다. 위 표로 알 수 있듯이 3회 측정 시부터 매연측정량이 일정하게 측정되어 측정값이 일정해지는 것을 알 수 있다. 실제 실험 또한 배기가스 온도와 매연량을 일정하게 하기 위해 잔류매연 제거 후 연속하여 각도별로 두 프로브를 교체하며 진행하였으며, 셋팅 타임은 5분을 유지하면서 진행하였다.

## 5.2 연구결과

Fig. 12, - Fig. 14는 각 모드별 매연 농도를 Fig. 15, - Fig. 17은 각 모드별 흡입온도를 보여주고 있다. Fig. 12, - Fig. 14의 매연 농도 그래프로 알 수 있듯이 0도에서 45도까지는 매연 흡입량의 차이는 크게 나타나지 않지만 70도부터 기존 프로브보다 개선된 프로브의 성능이 향상되는 것을 알 수 있으며, 90도 조건에서는 수치의 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있다. Fig. 15, - Fig. 17의 흡입 온도의 그래프 결과는 두 프로브 모두 각도변화가 클수록 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 기존 프로브는 70도, 90도 조건의 각도변화가 클수록 변화의 폭이 크게 나타나고 특히 90도 조건에서는 변화의 폭이 컸으며, 매연의 농도 값 또한 크게 낮아지는 것을 알 수

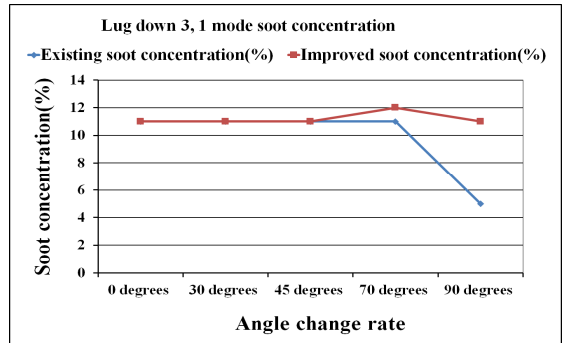


Fig. 12 1 mode, soot change due to angle change

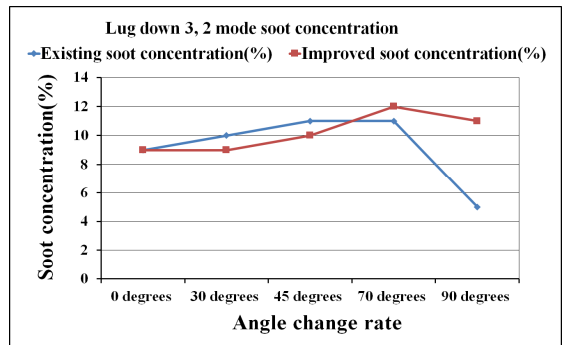


Fig. 13 2 mode, soot change due to angle change

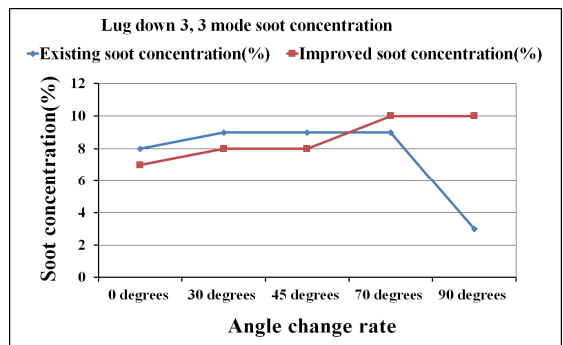


Fig. 14 3 mode, soot change due to angle change

알 수 있었다. 개선된 프로브는 각도 변화에 따라 일정하게 온도가 낮아지는 특성을 보였으며, 45도 70도 조건에서는 기존 프로브보다 온도가 낮게 측정되는 특성을 보였지만 매연 농도의 차이는 나타나지 않고 일정하게 측정되는 것을 알 수 있었다.

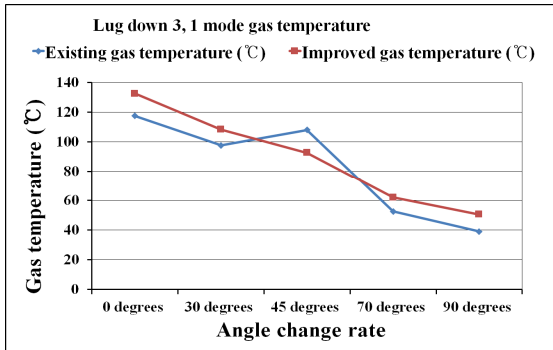


Fig. 15 1 mode, temperature change due to angle change

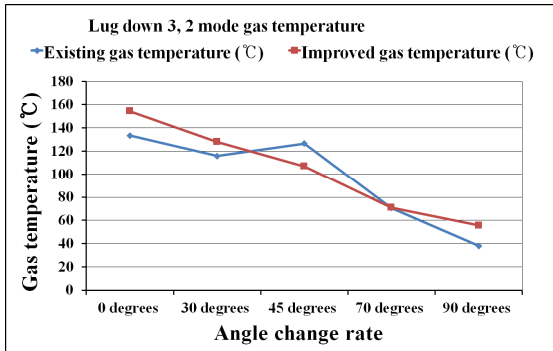


Fig. 16 2 mode, temperature change due to angle change

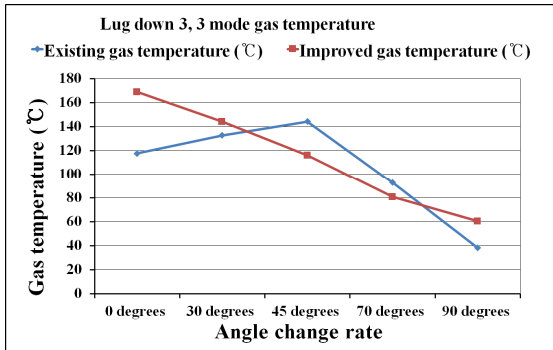


Fig. 17 3 mode, temperature change due to angle change

45도 70도 조건의 온도가 낮아지는 특성은 개선된 프로브의 형상에 따른 것으로 프로브 측면의 관통

홀의 영향으로 배기가스의 유속의 차이 때문에 나타나는 결과로 판단된다. 위의 측정결과로 알 수 있듯이 개선된 프로브가 각도의 변화의 큰 조건일 수록 매연의 농도를 일정하게 측정하는 것을 알 수 있었으며, 모든 조건에서 매연의 농도를 일정하게 측정하였고, 기존 프로브보다 성능이 우수한 것을 알 수 있었다.

## 6. 결론

자동차 배기가스 측정을 위한 매연 측정프로브 효율 개선을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 자동차 배기관 형상에 따른 매연 측정프로브의 삽입 위치 및 형상에 따라 매연 측정값의 차이가 나타남을 알 수 있었다.
2. 배기관 형상의 각도가 클수록 배기가스 온도와 매연 농도의 차이가 남을 알 수 있었다.
3. 배기관 형상의 각도가 클수록 두 제품 모두 온도의 차이를 나타내는 것을 알 수 있었다.
4. 45도 70도 조건에서는 개선된 프로브가 기존프로브보다 온도가 낮게 측정되는 특성을 보였지만 매연 농도의 차이는 나타나지 않고 일정하게 측정되는 것을 알 수 있었다.
5. 배기관 형상의 각도가 70도이전보다 90도에서 온도의 차이와 매연 농도의 차이가 크게 나타남을 알 수 있었다.
6. 기존 매연 측정프로브 보다 개선된 매연 측정프로브의 각도변화가 클수록 매연측정 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

## 후 기

이 논문은 2019년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0002092, 2019년 산업전문인력역량강화사업)

## REFERENCES

1. Yi, C. S., Lee, T. E., Lee, C. W., "Numerical analysis of the Internal Flow of 8kW Grade

- Diesel Generator Muffler,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 3, pp. 45-50, 2018.
2. Lee, T. E., Suh, J. S., Jeong, S. H., Park, Y. S., “A Study on Thermal and Fluid Characteristics inside Engine Room of Auxiliary Powr Unit for Tracked Vehicle,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 26, No. 12, pp. 85-93, 2009.
  3. Kim, T. H., Lee, C. W., “A Comparative Study on Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of Response Power 150HP & 240HP Turbocharged Marine Diesel Engine,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 1, pp. 43-51, 2013.
  4. Sim, H. S., Jun, J. H., “A Design for Water Cooling of a Marine Diesel Engine with Verification of Improvement,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 6, pp. 58-63, 2016.
  5. Yang, Y. J., “Study on Simulation of Fuel Injection Nozzle for Marine Medium Speed Diesel Engine,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 3, pp. 41-47, 2013.
  6. Sim, H. S., Lee, M. K., Lee, K. Y., “A Development Study on an Engine Control Module of an Electronic Marine Diesel Engine,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 5, pp. 134-140, 2015.
  7. Yi, C. S., Jeong, I. G., Suh, J. S., Park, C. D., Jeong, K. Y., “A Numerical Analysis on Flow Uniformity of SCR Reactor for 5,000PS Grade Marine Engine”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 6, pp. 28-35, 2012.
  8. Yi, C. S., Lee, C. W., “A Study on the Exhaust Gas After Treatment for Small Ship,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 3, pp. 76-81, 2017.
  9. Kim, T. J., Hong, S. I., “Study of the effect of cleaning the intake manifold on common rail diesel engine and exhaust gases,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 15, No. 10, pp. 5912-5918, 2014.
  10. Jin, K. S., Lee, C. H., “A Study on the Characteristics of Smoke Emissions from Heavy Duty Diesel Vehicles Using a Chassis Dynamometer,” Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 24, No. 4, pp. 1-10, 2009.
  11. Kim, Y. J., Park, K. S., “A Study of the Opacity Correlation Factor between the Filtration Type and Light Extinction Type Diesel Smoke Meters,” Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 146-152, 2007.
  12. Jung, Y. D., Yeo, U. S., Yun, Y. G., Hong, M. S., “A Study on Emission Inspection Method Improvement of Heavy-Duty Diesel,” Vehicles Transactions of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 22, No. 1, pp. 165-173, 2014.