

# 무부하급가속검사방법을 이용한 디젤자동차의 매연프로브 성능에 관한 연구

김재열\*, 채일석\*\*, 오후석\*\*\*,#

\*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부, \*\*조선대학교 일반대학원 기계시스템-미래자동차공학과,  
\*\*\*조선이공대학교 자동차과

## A Study on the Performance of Soot Probe of Diesel Vehicles using Free Acceleration Mode Method

Jae-Yeol Kim\*, Il-Seok Chae\*\*, Hoo-suk Oh\*\*\*,#

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

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

\*\*\*Dept. of Automobiles engineering, Chosun College of Science and Technology

(Received 15 June 2020; received in revised form 22 June 2020; accepted 06 July 2020)

### ABSTRACT

Inspection of vehicle systems is regularly performed by the state to ensure the emission status and the safety of vehicles. Thereby, the safety and quality of life can be improved by reducing green-house gases and fine dust, which are the main causes of vehicle defects and air pollution. This study analyzed the soot measuring probes used in the free acceleration mode method, at no-load condition, looking at the efficiency of a probe to measure soot emissions from diesel vehicles.

In this study, a technique that can improve the inhalation efficiency of the probe over the (a) probes and the improved (b) probes was applied to probes (c). Probe (c) involves a structure designed close to the center of the circumference of the exhaust pipe. Results showed that the suction efficiency was improved by adding a variable center unit.

**Key Words** : Free Acceleration Test Mode(급가속검사 모드), Exhaust Efficiency(배기효율), Soot Measurement Probe(매연 측정 프로브)

## 1. 서 론

최근 미세먼지 및 기후변화에 따른 각종 디젤자동차의 배출가스 및 매연에 대한 규제가 날로 강화

되고 있으며, 배출가스에 대한 규제 및 제재는 세계적으로 강화되고 있는 상황이다.

이러한 이유로 국가에서 정기적으로 자동차 검사를 실시하여 자동차의 안전과 자동차 배출가스 상태를 확인하여 자동차 결함과 대기 오염의 주원인인 미세먼지를 줄여 국민의 삶의 질과 안전을 향상시키는 역할을 하는 제도가 자동차 검사이다<sup>1-10)</sup>.

# Corresponding Author : hoosukoh@cst.ac.kr

Tel: +82-62-230-8330, Fax: +82-62-230-8331

또한, 디젤자동차에서 배출되는 NO<sub>x</sub>, 흑연(black smoke), 미세먼지 및 입자상물질은 인체의 산소결핍 등의 현상, 온실가스효과를 증가시키는 원인으로 심각한 문제를 발생시키고 있다. 이러한 온실가스를 감축하여 목표를 달성하는데 있어 수송 분야에 운행되는 자동차 검사제도가 한 방법이다<sup>[11-13]</sup>.

수송 분야의 자동차검사에는 정기검사, 종합검사로 크게 구분되며, 이러한 검사에는 배출가스 검사와 안전도 검사를 동시에 시행하고 있다. 현재 경유, 경유에 가스를 섞어서 사용되는 자동차의 매연 측정기술로는 Lug-down3모드, 무부하급가속, KD 147 모드와 같이 환경부에서 고시한 “운행차 배출가스 검사 시행요령 등에 관한 규정 제5조 운행차 정밀검사방법 및 기준외의 사항 중 운행차 배출가스 검사방법자동차검사”에 관한 법령을 해당되는 검사기술을 적용하여 수행한다<sup>[10-13]</sup>.

디젤자동차에 수행하는 Lug-down 3모드 검사방법은 차대동력계에서 가속페달을 최대로 밟아 고속회전 및 고속부하 상태에서 검사가 이루어짐에 따라 매연의 과다배출 되는 디젤자동차의 선별에 효과적이며, 배기구 형상과 각도에 따른 배기가스 측정값의 차이가 일부조건에서 발생할 수 있어 자동차검사제도의 실효성에 문제가 제기될 수 있으며, 매연을 측정하는 프로브를 개선하여 배기가스 흡입 효율을 높이는 방향의 연구가 진행되었고, 형상과 각도에 따른 매연측정 성능이 향상됨을 확인할 수 있다<sup>[14,15]</sup>. 하지만, 차대동력계에서 부하검사방법에 의하여 배출가스 측정 검사가 불가능한 경유자동차의 매연농도 측정에 적용되는 광투과식 무부하급가속검사모드(무부하검사방법) 검사기술에 대해서는 매연프로브의 성능이 확인되지 않아 실제 자동차 검사에 이용하는 무부하검사방법에서도 매연프로브에 대한 성능의 향상을 검증하고자 한다.

## 2. 매연 측정프로브

자동차 검사에서 사용되고 있는 매연 측정프로브는 흡입구가 배기관 벽면으로부터 소정거리를 유지하도록 여러 개의 리브가 형성되어있어 배기관 벽면에 접촉되면서 충격, 높은 배기열에 의해

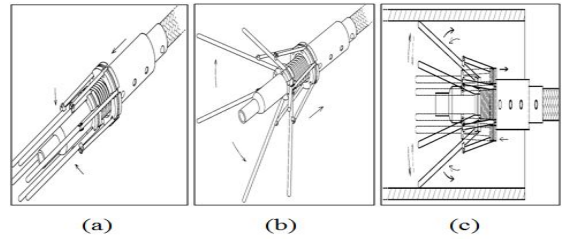


Fig. 1 Schematic of development probe

파손이 발생되어 프로브가 배기관 벽면에 대해 적정한 거리를 유지하지 못하는 문제점이 있다. 또한 굴곡이 심한 배기관에서는 흡입온도가 떨어지는 문제점이 있었다. 본 연구의 매연측정프로브는 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 매연 측정프로브의 리브를 생략하고 프로브 중심 홀이 배기관 벽면 중심에 위치할 수 있는 가변식으로 매연프로브 중심 홀을 지지하는 센터유닛을 구비하여 매연 측정프로브가 배기관의 다양한 굴곡 및 지름의 변화에서도 항상 중심에 가까이 유지할 수 있도록 하여 매연흡입효율을 높일 수 있다. 또한 리브가 존재하지 않아 기존 측정 프로브의 문제점을 향상할 수 있는 것이 특징이다.

Fig. 1의 도면은 추가 개선된 프로브의 도면이며, (a), (b)는 개선된 프로브의 작동 구조도이며, (c)는 배기관에 삽입된 상태를 도시한 것이다.

## 3. 매연 측정프로브

### 3.1 무부하급가속검사모드 기술

이 측정방법은 환경부의 “운행차 배출가스 검사 시행요령 등에 관한 규정” 중 운행차 배출가스 검사 방법에 고시된 규정에 있는 것과 같이 차대동력계에서 부하검사방법에 의해 매연 측정이 불가능한 경유자동차의 매연농도를 측정하는데 적용한다.

측정원리는 무부하정지가동상태에서 엔진을 급가속하여, 부분유량채취방식의 분석방법을 채택한 광투과식 측정기를 이용하여 측정한다. 또한 광투과식 매연측정기의 매연 흡입관(측정프로브)는 배기관의 벽면으로부터 5 mm 이상 떨어지도록 설치하고, 5 cm 정도의 깊이로 삽입하여 설치한다. 디젤자동차

는 무부하정지가동 상태에서 가속페달을 서서히 밟아 엔진회전수 증가에 따라 엔진 등과 같이 차량에서 발생될 수 있는 이상소음의 유무를 확인하고 엔진 등과 같이 차량의 손상이 우려되는 경우에는 검사를 중지하여야 한다.

### 3.2 검사모드의 구성

무부하급가속검사방법은 환경부의 운행차 배출가스 검사 방법에 고시된 규정과 같이 정확한 매연을 측정하기 위해 배기관내에 축적되어 있는 매연을 측정하기 위해서, 예비무부하급가속으로 엔진을 정상작동상태로 하여 측정차량의 엔진을 중립인 상태에서 가속페달을 최대한으로 밟아 급가속하여 엔진 최고회전수에 도달하게 하고, 그 후 2초 정도의 시간을 유지하고 정지가동상태로 복귀시킨 후, 5~6초간의 시간을 두어 배기관 안에 축적되어 있을 매연에 영향을 줄여준다. 앞과 같은 과정을 3회 이상 반복하여 실시한다. 이때 엔진최고회전수를 검출하여야 하며, 가속페달을 밟을 때부터 4초 이내에 엔진최고회전수에 도달하지 못하는 경우와 엔진최고회전수가 측정자동차의 엔진정격회전수 미만으로 검출된 경우에는 부적합으로 판정한다. 매연측정은 예비무부하급가속과정을 수행한 뒤에도 차량의 엔진은 적절한 상태로 예열되어 있어야 한다. 엔진의 예열이 충분하지 않는 경우에는 엔진을 충분히 예열시킨 후 차량의 매연 농도를 측정하여야 한다. 가속페달은 예비무부하급가속과정에서 검출된 엔진의 최고회전수에 도달할 때까지 급격히 밟으며, 밟을 때부터 놓을 때까지의 걸리는 시간은 4초 이내로 하고 매연농도를 측정한다. 이렇게 측정된 자동차의 매연농도 값은 최대 0.5초 단위로 산술평균하고 측정된 값 중, 최대값을 측정값으로 한다.

### 3.3 검사결과의 판정

배출가스 검사결과의 대한 판정은 운행차 배출가스 검사 방법에 고시된 규정에 나타난 것과 같이 3회 연속 측정된 매연농도값을 산술평균하여 소수점 이하 값은 절사하고, 최종 측정값으로 한다. 만약, 3회 측정된 매연농도의 최대값과 최소값이 5%를 초과한 차이가 나거나 최종 측정값이 규정에서 정

한 배출허용기준에 부적합한 경우에는 순차적으로 1회씩 측정을 더하여 최대 5회까지 측정하고 측정시마다 마지막 3회의 측정치값을 산출하여 마지막 3회의 최대값과 최소값이 5% 이내의 차이를 갖고, 측정값의 산술평균값도 규정에 정한 배출허용기준 이내로 측정이 된다면 측정을 종료하고 그 값을 최대매연농도의 측정값으로 한다. 만약, 위의 방법으로 5회 까지 반복하여 측정하여도 최대값과 최소값이 5%를 초과한 차이가 나거나 마지막 3회(3번째, 4번째, 5번째) 측정값의 산술평균값이 규정에 정한 배출허용기준을 초과하게 되면 매연 측정을 종료하고 마지막 3회의 값을 매연 농도의 최종 측정값으로 한다. 위와 같은 방법에 의해 측정된 매연농도의 측정값이 고시된 규정의 배출허용기준 이내가 되면 적합으로 판정되고, 초과하게 되면 부적합으로 판정하게 된다<sup>[15]</sup>.

## 4. 실험장비의 구성

Fig. 2는 차량 검사 시스템 구성 그림이며, Fig. 3은 자동차 종합검사장의 Diesel 자동차 부하검사 장비의 구성부품과 중형차량의 실제 배기관을 적용하였으며, 좌측사진은 아래쪽부터 매연 흡입호스, 매연 측정프로브, 광투과식 매연측정기, 차대동력계를 나타내며, 우측 상단은 운영프로그램, 아래는 실제 중형 Diesel 자동차의 굴곡진 배기관을 실험차량에 설치한 예를 보여 주고 있다.

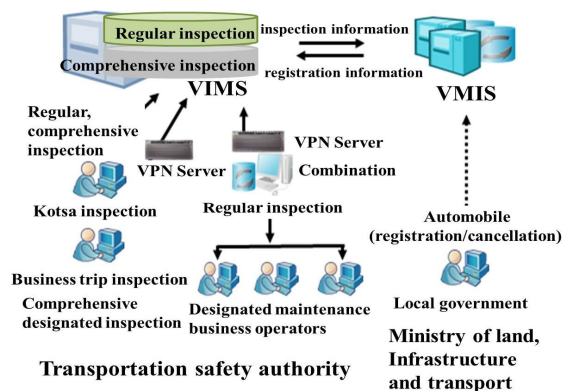


Fig. 2 Car inspection system configuration diagram

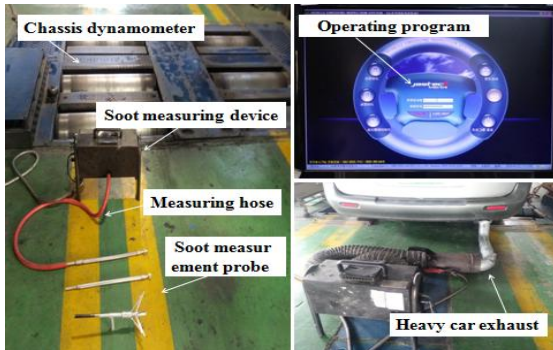


Fig. 3 Configuration of equipment

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 Specifications 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

지정정비사업자의 종합검사장 실험조건은 Table 1에 정리되어 있으며, 이 연구에서 실험한 차량인 스타렉스 차량의 사양은 Table 2에 나타나 있다.

## 5. 실험방법 및 고찰

### 5.1 실험방법

매연 검사 측정 실험은 Fig. 4 ~ Fig. 5에서 보는

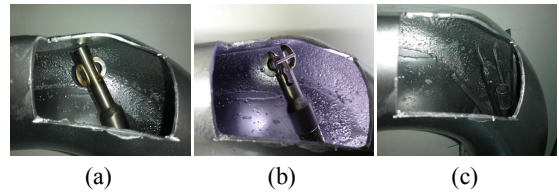


Fig. 4 (a), (b), (c) probes position at 70 degrees

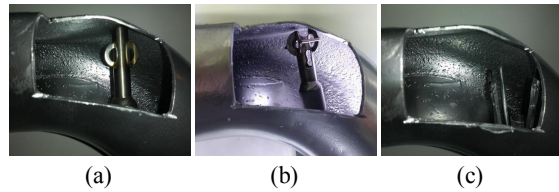


Fig. 5 (a), (b), (c) probes position at 90 degrees

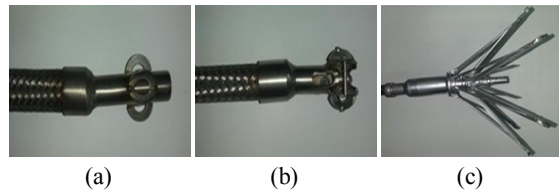


Fig. 6 (a), (b), (c) existing soot measurement probe

것과 같이 배기관 각도 70도, 90도 조건에서 Fig. 6에 나타나 있는 기존 측정프로브(a), 개선1프로브(b), 개선2프로브(c)의 측정프로브를 배기관에 삽입 후, 무부하 상태에서 가속 페달을 엔진의 최고 회전수에 도달할 때까지 급격히 페달을 밟은 상태에서 급가속 하여 엔진최고회전수까지 도달하게 한 후 2초 정도 유지하고 정지동상태로 복귀시킨 다음 5~6초간 두고 시행하였고, 이 과정을 3회 이상 반복 실시하였다.

진행은 기존의 매연 측정프로브(a)와 개선된 매연 측정프로브(b), (c)를 삽입 후, 무부하급가속 방법으로 진행하였으며, 이때 측정된 매연 흡입량과 온도를 그래프로 확인하는 방법으로 진행하였다.

### 5.2 연구결과

Fig. 7와 Fig. 8은 70도, 90도의 배기관에 삽입 후, 무부하급가속 방법에서 기존의 매연 측정프로브(a)와 개선된 매연 측정프로브(b), (c)의 매연 흡입

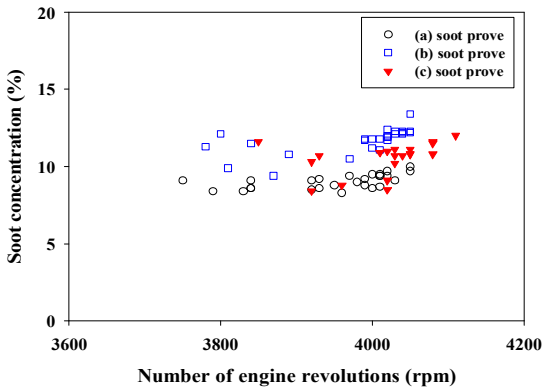


Fig. 7 Soot concentraion changes of existing probe and improved probes at 70 degrees

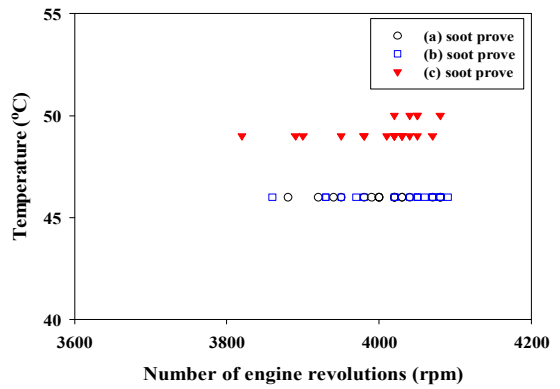


Fig. 10 Gas temperature changes of existing probe and improved probes at 90 degrees

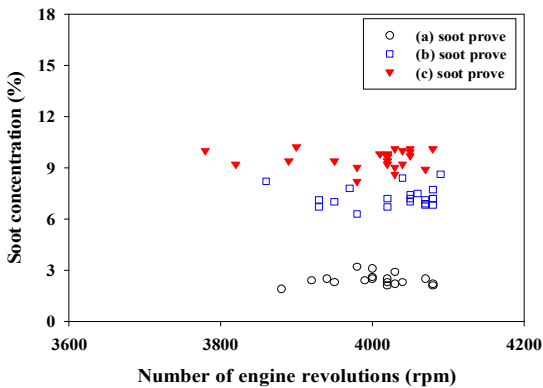


Fig. 8 Soot concentraion changes of existing probe and improved probes at 90 degrees

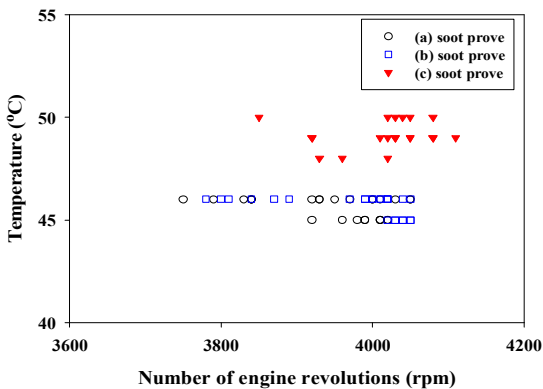


Fig. 9 Gas temperature changes of existing probe and improved probes at 70 degrees

량에 대한 결과이며, Fig. 9과 Fig. 10은 온도에 대한 결과를 보여 주고 있다. Fig. 7에서는 기존 측정 프로브(a)는 매연흡입량이 8.3~10.0%가 측정되었으며, 개선 측정프로브(b)에서는 9.4~13.4%, 개선 측정 프로브(c)에서는 8.4~12.0%로 개선된 매연 측정프로브의 매연 흡입량이 기존 매연 측정프로브보다 각각 평균 29.2%와 16.5% 정도 향상되는 것을 확인하였으며, Fig. 8에서는 기존 측정프로브(a)는 매연흡입량이 1.9~3.2%가 측정되었으며, 개선 측정프로브(b)에서는 6.3~8.6%, 개선 측정프로브(c)에서는 8.2~10.2%로 개선된 매연 측정프로브의 매연 흡입량이 기존 매연 측정프로브보다 각각 평균 197.7%와 288.6% 정도로 향상되었다. 또한, 개선 측정프로브(c)는 개선 측정프로브(b)보다도 각도가 90도인 조건에서는 30.5%정도 향상되는 것을 확인 할 수 있었다.

(a)측정프로브는 프로브 입구가 배기관 벽면과 소정의 거리를 유지하지 못하고, (b)측정프로브는 배기관 벽면에 프로브 입구가 위치하지만 개선된 리브의 위치와 천공으로 어느 정도의 흡입구가 확보되었고, (c)측정프로브는 배기관 벽면에서 프로브 입구가 완전하게 이격되어 흡입구가 배기관 중심에 위치하여 흡입구가 확보되는 것을 알 수 있다.

실험 결과로 알 수 있듯이 개선된 (c)프로브가 각도의 변화가 클수록 기존 매연 측정 프로브보다 흡입구가 충분히 확보되어 흡입효율이 개선되었음을 알 수 있다.

흡입 온도의 경우에는 Fig. 7과 8에서 보는 것과 같이 70도, 90도 조건 모두에서 기존프로브(a)와 개선프로브(b)에서는 온도의 변화가 없었지만, 개선프로브(c)에서는 큰 변화는 없었지만, 3~4℃ 정도 높게 측정되는 것을 확인 할 수 있었다.

## 6. 결 론

무부하급가속검사방법을 이용한 디젤자동차 매연 측정을 위한 매연 측정 프로브의 성능 연구에 대해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 70도 조건에서는 무부하급가속 방법에서 개선된 (b), (c)매연 측정프로브의 흡입성능과 흡입효율이 향상됨을 알 수 있었다.
2. 배기관 형상 및 각도가 클수록 매연 측정프로브 중심 홀의 위치가 벽면으로 치우치며 흡입효율이 떨어지는 것을 알 수 있었다.
3. 추가 개선된 (c)측정프로브가 흡입구가 확보되지 않는 90도와 같은 조건에서도 프로브 홀이 배기관 중심에서 벗어나지 않고 위치하기 때문에 흡입효율 및 효율성이 향상됨을 알 수 있었다.
4. 기존 매연 측정프로브(a)보다 개선된 매연 측정 프로브의 각도변화가 클수록 매연측정 성능이 (c)프로브에서 향상됨을 확인할 수 있었다.

## REFERENCES

1. Jo, H. S., Sim, J. I., Kim, J. R., "Quantitative Effectiveness Analysis of Vehicle Inspection," Journal of Korean Society of Transportation Vol. 25, No. 3, pp. 65-74, 2007.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
12. Kang, H. J., Kim, T. J., "Study on the Characteristics of Exhaust Emissions in accordance with the Intake Manifold and Fuel Injector Maintenance of the Electronic Control

- Diesel Engine,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No. 9, pp. 196-205, 2016.
13. 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.
  14. Chae, I. S., Kim, S. Y., Kim, J. Y., “Improvement of Soot Probe Efficiency for Automotive Emission Measurement,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 8, pp.74~81, 2019.
  15. Chae, I. S, Kim, E. J., Kim, J. Y., “Improving Diesel Car Smoke Measurement Probe Performance of Diesel Cars Using Hole Position”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 1, pp.29~35, 2020.