노후 차량의 배기가스 측정을 이용한 산소센서, 인젝터, 점화2차파형의 파형분석 연구

유 종 식¹⁾ · 김 철 수^{*2)}

대원대학교 자동차기계계열¹⁾ · 강릉원주대학교 기계자동차공학부²⁾

A Study on Waveform Analysis of Oxygen Sensor, Injector and Secondary Waveform through Emission Characteristics by a Decrepit Vehicle

Jongsik Yoo¹⁾ · Chulsoo Kim^{*2)}

¹⁾Department of Automobile & Machinery, Daewon University College, Chungbuk 390-702, Korea

²⁾School of Mechanical and Automotive Engineering, Gangneung-Wonju National University, Gangwon 220-711, Korea

(Received 4 December 2012 / Revised 11 March 2013 / Accepted 27 March 2013)

Abstract : The experiment was done on cars travelling at the speeds of 20km/h, 60km/h and 100km/h using the performance testing mode for chassis dynamometer. In this experiment, the relativity between the secondary waveform coming from ignition coil and exhaust emissions were measured in case of cars with failures, in oxygen sensor, spark plugs. The following results obtained by analysis of the relativity between the secondary waveform and exhaust emissions. 1) When the oxygen sensor is failure, the average value of CO emission measured was 6.8 times higher than the standard CO emission value and the average value of HC emission measured was 2.3 times higher than the standard emission level. 2) When engine parts are in failure, more fuel enters the cylinder due to longer opening duration of injector, and it tended to make CO and HC emission values increase. 3) Combustion duration, the shape of flame propagation during spark line, and the size of the discharge-induced energy were the three main elements that directly cause variations in CO and HC emission values.

Key words : Chassis dynamometer(새시다이너모미터), Sensor waveform(센서파형), Sensor trouble(센서불량), Exhaust emission(유해 배기가스), Engine maintenance(엔진 정비), Decrepit vehicles(노후차량)

1. 서 론

가솔린 자동차는 온실가스인 이산화탄소(CO₂)를 기본적으로 배출하고 일산화탄소(CO), 탄화수소(HC) 및 질소산화물(NO_x)등의 유해가스를 배출한다. 앞으로 전기자동차와 하이브리드 자동차등 친환경 자동차의 개발로 인하여 자동차의 유해 배기가스는 크게 저감될 전망이다. 이러한 운행 중인 자동차의 배기가스를 저감시키는 방법의 개발은 연비를 향상시켜 지구 전체 온실가스 중 약 30%를 차지

하는 자동차 온실가스를 줄이고 지구 환경을 보호할 수 있는 중요한 사안이라 할 수 있다.¹⁾ 운행 중인 자동차의 유해 배기가스 저감 방법은 기존의 노후 자동차의 검사와 정비 점검을 철저하게 하는 것이다. 또한 정비 시의 무조건적인 부품의 교환보다는 해당 부품이 유해가스 배출과 관련된 부품이면 더욱 세심한 정비를 해야 한다. 이를 위해서는 유해 배기가스의 양과 센서 파형을 측정하여 정비 시 이용하고 센서의 응답성도 측정하여 엔진 전자 제어의 균형을 다시 잡아주는 체계적인 정비 시스템을 개발하는 것이 중요하다. 자동차의 실제 주행을 통하

*Corresponding author, E-mail: kcsi@gwnu.ac.kr

여 유해 배기가스를 측정하고 센서 파형과의 분석²⁾을 통하여 양자가 어떤 상관관계가 있는지를 분석하는 것은 배기가스 저감의 지름길이라 할 수 있다. 이러한 체계적인 방법의 개발을 통하여 환경오염을 줄이고 연비를 개선하여 향후 적용될 국가 간의 이산화탄소 배출권에 대한 기초자료로도 사용될 수 있다. 본 연구에서는 차대동력계에서 2001년식 1997cc, DOHC 차량을 이용하여 차량속도에 따른 배기가스를 측정하고 자동차의 파형과의 특성을 연구하였다.³⁾

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 실험에 사용된 파형 측정 장비는 FLUKE사⁴⁾의 199C장비를 사용하였으며, 차대동력계는 MACH사의 HD-3000-E 모델을 사용하였고, 배기가스는 자스텍의 CGA-6000 HE 배기가스분석장치로 측정하였다.⁵⁾

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 1은 실험차량의 제원이며, Table 2는 배기가스 측정 장치의 제원을 나타내었다.

Table 1 Specifications of test vehicle

Item	Specifications
Length (mm)	4,745
With (mm)	1,820
Height (mm)	1,420
Engine format	L4 DOHC
Displacement volume (cc)	1,997
Maximum output (PS/rpm)	137/6,000
Unloaden vehicle weight (kg)	1,458
Fuel tank capacity (L)	65

Table 2 Specifications of 5 gas analyzer

Item	Specifications
Operating voltage	AC 110 ~ 220V, DC 12V
Hydrocarbon	0 ~ 9,999 ppm
Carbon monoxide	0 ~ 10 ppm
Nitrogen oxide	0 ~ 5,000 ppm
Measurement method (HC/CO/CO ₂)	Non-dispersive Infrared analytical method (NDIR)
Measurement method (O ₂ , NO _x)	Electric chemical formula analytical method

2.2 실험 방법

실험은 ASM(Acceleration Simulation Mode) 2525 모드에 의해 수행하였다. 이 모드는 시작 시 40 ± 2.0 km/h를 10초간 유지하고 부하마력이 설정마력의 $\pm 5\%$ 를 연속 2초 유지하다가 시작 후 300초에 실험이 종료된다.⁶⁾ Table 3은 본 연구에서 수행한 차량 운전 조건을 나타낸다. 각 주행속도에서 5가지의 조건에 대하여 각각 실험이 수행되었으며 센서의 고장이 발생하면 자기진단기능으로인 패일세이프(Fail safe)모드로 전환하여 자동으로 대체 값을 사용하여 인젝터 열림시간 등을 계산한다. 이때의 배기가스와 센서의 파형을 측정하였다. Table 4는 정비 전, 후의 조건을 나타낸다. 산소센서와 MAP 센서의 고장, 스파크플러그의 부품 교환을 통하여 측정 조건을 변경시켜 가면서 배기가스를 측정한 후 파형을 측

Table 3 Operating condition

Vehicle condition	Experimental condition
20 km/h	① Before maintenance
60 km/h	② O ₂ sensor trouble
100 km/h	③ MAP trouble
	④ Spark plug trouble
	⑤ After maintenance

Table 4 Engine condition

Engine condition	Parts
Before maintenance	Original parts
After maintenance	New engine oil, New spark plug, New ignition coil, Check MAP sensor, Check O ₂ sensor

정하였다. 파형은 산소센서 파형, 인젝터 파형, 점화 2차 파형을 측정하였고 CO, HC 배기가스 값을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유해배기가스

3.1.1 일산화탄소(CO)

CO는 무색무취의 기체로 독성이 매우 강하며 밀도는 공기와 비슷하다. CO는 고온상태나 촉매를 통과하면 산소와 반응하여 이산화탄소로 된다.

Fig. 2는 산소센서의 신호가 나오지 않거나, 응답성이 느리거나, 파형 사이클의 수, 진폭이 정상적으로 나오지 않은 열화된 상태일 때 차속이 20km/h, 60km/h, 100km/h인 경우 CO값을 측정하는 것이다. ASM모드의 초기 50초까지의 실험은 가속 구간이고 촉매의 반활성 온도에 도달하지 못하여 CO값이 평균 11%로 높게 측정되었다. 일반적으로 촉매의 반활성(Light off)온도는 촉매의 변환율이 50%가 될 때의 온도로 250℃ 이상이다. 실험차량은 촉매 가열장치가 없는 차량이어서 촉매의 온도는 빨리 올라가지 못하였다. CO값은 실험조건에서 평균 8.2%가 측정되었다. 이는 기준치보다 6.8배 높은 것이다.

Fig. 3은 정비 전과 정비 후의 주행속도에서 CO값을 비교한 그림이다. 정비 후는 Table 4에서와 같이 센서의 불량이나 엔진오일, 스파크플러그, 고압케이블, 점화코일을 교환한 경우이다. 이때의 CO 측정값은 평균 0.47%의 감소가 있었다. 산소센서 불량일 때와 정비 전을 비교하면 큰 차이가 없었다. 이는 산소센서가 시동 후 안정화되는 시간 동안 또는 가속, 감속 시는 개회로(open loop)로 전환되었기 때문이다.

Fig. 2 CO distribution by velocity (O₂ sensor trouble)

Fig. 3 CO distribution by velocity (after and before maintenance)

3.1.2 탄화수소(HC)

탄화수소는 기체 상태와 입자상태가 있다. 규제는 기체상태의 탄화수소이다. 입자상 탄화수소는 SOF(soluble organic fraction)로 표현한다. 탄화수소는 산소와 반응하여 이산화탄소와 물을 발생한다.

Fig. 4는 산소센서 불량일 때 실험조건에서 HC값을 측정한 것이다. 50초까지의 초기 주행인 경우 평균 1600ppm으로 값이 높다. 주행 실험조건에서 평균 510ppm의 HC가 측정되었고 이는 기준치 보다 2.3배 높은 것이다.

Fig. 5는 정비 전인 경우 평균 80~160ppm, 정비 후는 50~160ppm이 측정되었다. 산소센서가 불량이면 CO와 HC 모두 값이 높게 측정되었다.

3.2 파형분석

3.2.1 산소센서 파형

산소센서는 주행 실험 중에도 개회로와 폐회로 제어를 하기 때문에 측정하기 어려운 파형이다. 작

Fig. 4 HC distribution by velocity (O₂ sensor trouble)

Fig. 5 HC distribution by velocity (after and before maintenance)

Fig. 6 Oxygen sensor waveform by velocity at 20 km/h

동 온도가 되어야 신호가 나오고 기본적으로 2분간 2500rpm 이상으로 유지되어야 한다. 또한 신호는 희박 400mV 이하, 농후 550mV 이상이 되어야 이론공 연비 제어를 수행하는 센서이다.⁷⁾

Fig. 6은 주행속도 20km/h일 때 산소센서 파형을 나타낸다. 그림에서 정비 전과 정비 후의 산소센서 듀티비는 50%, 진폭은 200~1000mV의 신호를 나타내었다. 500mV를 기준으로 농후 쪽으로 치우치는

결과를 나타내었다. 이러한 현상은 희박보다 농후 쪽에서 제어가 이루어짐을 나타낸다. 정비전후 100km/h인 경우와, 60km/h일 때 산소센서 불량, MAP센서 불량 및 스파크플러그 불량인 경우는 모두 개회로 제어로 측정되지 않았다.

3.2.2 인젝터 파형

인젝터 파형은 서지전압이 70V이상이고 인젝터 열림시간(Injection Duration)이 공회전시 0.002sec, 과부하시 0.004sec이상의 패턴을 나타낸다.⁸⁾

Fig. 7은 차속 60km/h일 때 인젝터 파형을 나타낸다. 인젝터 구동전압은 11.6~14.6V이었고 연료 분사 시간은 MAP 불량일 때 0.0089sec로 가장 길고, 산소센서 불량 0.0075sec, 점화플러그 불량 0.0071sec, 정비 전 0.0069sec, 정비 후가 0.0064sec로 측정되었다. 주행속도 100km/h일 때는 모든 경우 0.01sec로 측정되었다. 주행속도가 60km/h일 때 세가지의 부품불량인 경우도 인젝터 열림시간이 길게 측정되었다. 100km/h일 때 모든 실험의 경우 0.01sec로 동일한 것은 산소센서 제어가 원인인 것으로 판단된다.

Fig. 7 Injector waveform by velocity at 60 km/h

3.2.3 점화2차파형

Fig. 8은 산소센서 불량인 경우 주행 속도가 20 km/h, 60km/h, 100km/h인 경우 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.6062J, 1.0764J, 1.3275J로 계산되었다. 즉 정상파형보다 연소전파시간은 짧아지고 방전에너지는 커졌다. 100km/h는 산소센서가 개회로 제어를 하여 최고전압주위에 저항이 발생한다. 정상파형과 비교할 때 최고전압의 차이는 없으나 방

Fig. 8 Secondary waveform distributions of oxygen sensor trouble at 20, 60, 100 km/h

Fig. 9 Secondary waveform distributions of before maintenance at 20, 60, 100 km/h

Fig. 10 Secondary waveform distributions of after maintenance at 20, 60, 100 km/h

전유도에너지의 크기는 커짐을 알 수 있다. 스파크 라인 내의 화염전파의 모양도 상승 및 하강 곡선을 나타내어 실린더 내부의 혼합기 연소가 균일하지 못하고 저항이 존재함을 알 수 있다. 이러한 요인은 앞서의 CO와 HC의 배출이 많은 원인이 아닌가 생각된다.

Fig. 9는 실험 주행속도에서 정비 전 점화2차 파

형을 나타낸 그림이다. 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.6014J, 0.8272J, 0.8272J로 계산되고 주행 속도의 증가에 따라 스파크라인의 시간은 짧게 되었다.

Fig. 10은 주행속도에서 정비 후 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.4796J, 1.3428J, 0.7920 J로 계산되었다. 스파크라인의 방전 모양은 20km/h일 때 굴곡이나 상하요동이 없이 가장 안정된 모양을 나타내었고 스파크라인의 높이 또한 낮아 연소실 내부에는 큰 저항이 없이 화염전파가 이루어짐을 알 수 있다. 주행조건 60km/h와 100km/h일 때는 약간 불안정 모습을 나타내었다. 이로부터 스파크라인의 모양이 직선이고 연소시간이 약간 길어지는 모양이면 연소는 잘 이루어지고 배기가스의 배출도 감소된다고 볼 수 있다. 스파크라인의 모양이 가장 나쁜 산소센서 불량인 경우 100km/h에서는 CO와 HC의 배기가스도 나쁘게 측정되었고 가장 좋은 모양인 정비 후 20km/h의 실험조건에서는 CO와 HC의 배기가스도 좋게 측정되었다. 즉 연소시간이 너무 짧아 급격연소가 발생하거나, 유효방전에너지가 크거나, 연소가 진행되는 동안 전압의 요동이나 굴곡이 있으면 배기가스는 나빠지고 그에 따라 연비도 나빠진다고 추론할 수 있다.

4. 결 론

차량의 정비를 통하여 배출가스 저감과 연비향상을 도모하기 위해서 실제 주행 실험에서 배기가스와 파형 패턴 사이의 연관성을 파악하였다. 또한 노후차량의 배기가스가 적게 배출되도록 하기 위하여 분석 결과를 이용하여 차량의 룩-업(look up) 테이블을 보정하여 배출가스를 저감하는 방법이 현실적으로 가능할 것으로 여겨진다.

이를 위하여 노후차량의 배기가스와 가솔린 엔진의 파형의 상관성에 관한 기초연구를 수행하였다. 본 연구에서는 산소센서 불량, 맵(MAP) 센서 불량 및 스파크플러그 불량인 경우와 정비전·후 차량의 주행실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산소센서가 불량이면 CO는 기준치보다 주행속도 평균 6.8배 증가하였고 HC는 기준치보다 주

행속도 평균 2.3배 증가하였다.

- 2) 산소센서 불량 시 스파크 라인 내의 화염전파의 모양은 전압의 요동을 나타내어 실린더 내부의 혼합기 연소가 균일하지 못함을 추측할 수 있었다. 이는 직접적으로 CO와 HC의 증가의 원인이 되었다.
- 3) 산소센서 파형은 엔진의 조건에 따라 많은 부분 측정되지 않았으며 이러한 개회로로의 제어전환은 점화2차 파형의 모양을 나쁘게 하였고 CO와 HC를 높이는 원인이 되었다. 따라서 산소센서의 응답성 점검과 파형패턴 분석은 배기가스 저감과 깊은 연관성이 있었다.
- 4) 엔진 부품불량이 있으면 인젝터 파형의 열림시간이 길어져 많은 연료가 실린더로 들어가 CO와 HC 배출이 높아질 가능성이 많았다.
- 5) 점화2차 파형 패턴에서 연소시간, 스파크라인의 방전모양, 방전유도에너지의 크기등 3요소는 배기가스 배출물의 증감에 직접적인 영향을 주는 가장 핵심적인 사항이었다.

Measure, Ricardo Report, pp.7-17, 2011.

- 2) J. S. Yoo, C. S. Kim and K. O. Cha, "An Experimental Study on the Secondary Waveform Analysis according to Measure of Electronic Control Waveform," Transactions of KSAE, Vol.19, No.1, pp.95-100, 2011.
- 3) J. S. Yoo, A Study on the Waveform and Emission or Fuel Consumption Characteristics by Engine Sensors using Chassis Dynamometer, Ph. D. Dissertation, Myongji University, Seoul, Korea, 2010.
- 4) Fluke Korea, 190 Series Manual, 2008.
- 5) Jastec, Analyzer of Exhaust Gas, User Manual of CGA-6000HE, 2007.
- 6) Korea Education Council of Automotive Exhaust Emission, KECA, Technical Education Textbook of Vehicle Inspect Engineer, Goldenbell, Seoul, 2009.
- 7) Toyota Motor Sales USA, Fuel System Injection Duration Control, pp.1-11, 2004.
- 8) Bosch, Gasoline Engine Management, 3rd Edn., John Wiley & Sons, New York, 2006.

References

- 1) J. Patterson, Preparing for a Life Cycle CO₂