

가솔린엔진의 전자제어 센서파형 측정을 통한 점화2차 파형 분석에 관한 실험적 연구

유 종 식^{*1)} · 김 철 수²⁾ · 차 경 옥³⁾

대원대학 자동차계열¹⁾ · 강릉원주대학교 기계자동차공학부²⁾ · 명지대학교 기계공학과³⁾

An Experimental Study on the Secondary Waveform Analysis according to Measure of Electronic Control Waveform

Jongsik Yoo^{*1)} · Chulsoo Kim²⁾ · Kyoungok Cha³⁾

¹⁾Division of Automobile, Daewon University College, Chungbuk 390-702, Korea

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

³⁾Department of Mechanical Engineering, Myongji University, Gyeonggi 449-728, Korea

(Received 3 March 2010 / Accepted 4 September 2010)

Abstract : The test was done on cars travelling at speeds of 20km/h, 60km/h and 100km/h, the performance testing mode for chassis dynamometer. In this test, the secondary waveform were measured, including those using faulty MAP sensors, oxygen sensors and spark plugs. The results from these measurements and their analysis of secondary waveform can be summarized as follows:

- 1) The secondary waveform measured from the faulty oxygen sensor showed a lot of noise around peak voltage and in the rising and falling sections during spark line which means that the air fuel mixture was non-homogeneous.
- 2) The secondary waveform from the faulty MAP sensor showed the worst shape compared to other sensors, including variation of spark line, state of air-fuel mixture and velocity of flame front.
- 3) The spark line time of secondary waveform using a faulty spark plug displayed the shortest and smallest energy spark line, which means that a misfire occurred.

Key words : Oxygen sensor trouble(산소센서불량), MAP sensor trouble(맵 센서불량), Spark plug trouble(스파크 플러그 불량), sensor waveform(센서파형) Secondary waveform(점화2차 파형)

1. 서론

현재 우리나라 대부분의 자동차는 화석연료를 사용하고 있으므로 질소산화물(NO_x), 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 황산화물(SO_x) 등의 유해가스를 배출한다. 추후 친환경 자동차로 전환함과 동시에 기존의 노후 자동차를 중심으로 정기적인 정비 점검을 강화하고 정비할 때에 간단히 부품교환 및 정비를 통하여 유해 배출가스를 감소시킬 수 있

는 정책을 세워 환경오염 문제 해결은 물론 이산화탄소를 저감할 수 있도록 해야 한다.¹⁾

그러므로 배출가스 저감을 통하여 환경 오염을 줄이고 연비를 개선하여 향후 적용될 국가 간의 이산화탄소 배출권에 대한 기초 자료로서의 연구가 필요하다.

또한 전자제어유니트(ECU)에 설정되어 있는 초기 상태의 룩-업 테이블(look-up table)을 노후 차량에 맞도록 재설정하여 최적의 상태로 운행할 수 있도록 하기 위한 방법이 필요할 것으로 사료된다. 향

*Corresponding author, E-mail: onniu@mail.daewon.ac.kr

후 본 연구에서 측정된 파형의 자료는 노후 차량의 록-업 테이블의 보정, 연비 향상, 배출가스 감소의 기초 자료로 사용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 2001년식, 1997cc, DOHC 차량을 사용하여, 전자제어유니트가 제어하는 맵 센서, 산소센서 및 스파크플러그²⁾가 불량조건 일 때 20km/h, 60km/h, 100km/h의 주행 실험³⁾을 통하여 점화2차 파형을 측정하고 불량센서와의 관련성을 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성

본 실험에 사용된 실험장치의 구성은 Fig. 1과 같다. 실험에 사용된 파형 측정 장비는 FLUKE사의 199C장비를 사용하였으며, 차대동력계는 MACH사의 HD-3000-E 모델을 사용하였다. 가솔린 엔진의 전자제어센서 점화2차 파형을 측정하기 위하여 먼저 정상시 파형을 차대동력계 위에서 주행 속도 20km/h, 60km/h, 100km/h일 때 파형을 측정하였으며, 산소

센서, 맵 센서, 스파크플러그 불량부품을 차례로 교체하여 점화2차 파형을 측정하였다.

측정방법은 파형 측정 장비의 매뉴얼모드(manual mode)를 선택하고 1000:1 프로브를 연결한 후 시간과 전압의 범위를 정하였다. 트리거 설정은 온 트리거(on trigger), 노이즈제거기능(noise reject filter)을 선택하여 측정하였다.

2.2 파형 측정 장비의 특성

파형 측정 장비는 200MHz의 주파수 대역폭을 가진 오실로스코프로 자동차에서 발생하는 각종 전기 및 전자적 신호를 측정할 수 있으며, 휴대용으로서 현장 환경에 적합한 크기로 쉽고 정확하게 파형을 측정할 수 있었다. 그리고 옵션 사양에 따라 압력, 온도, 전류, 점화파형을 측정할 수 있으며, 2.5GS/s 실시간 샘플링, 입력 당 27,000 포인트의 강력한 메모리를 지원함으로써 고성능 벤치 타입 오실로스코프의 기능을 동시에 수행한다. 데이터 보관은 물론, 측정 파형을 PC로 전송을 하여, 정밀 분석할 수 있는 다양한 기능을 가지고 있다.

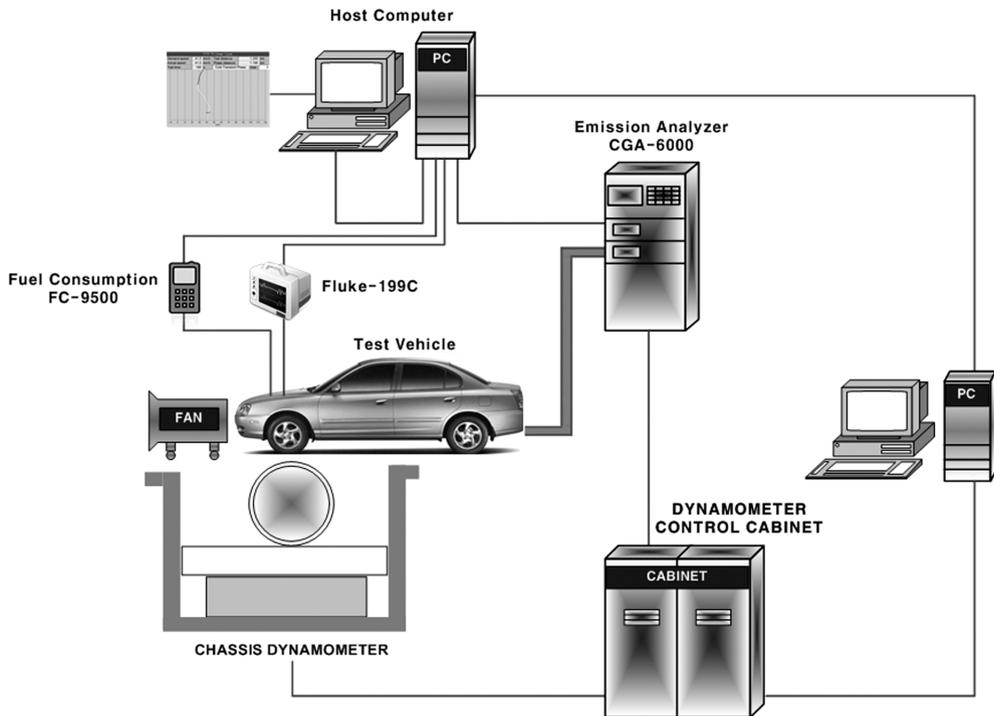


Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup

2.3 차대동력계의 특성

Table 1은 본 실험에 사용된 차대동력계(Chassis dynamometer)의 구성을 나타낸 것이다. 그 구성은 PC, 모니터, 키보드, 마우스와 함께 하는 통신 데스크(communication desk), 원격 조정, 롤러 셋(roller set) 등으로 구성된다. 차대동력계는 차량의 다양한 실험 수행이 가능하고 260kW에서 520kW의 유효 파워, 250km/h 속도로 실험할 수 있다. 차대 부하(dynamo load)의 모의실험은 와전류브레이크(eddy-current break)를 사용한다.

Table 1 Specification of chassis dynamometer

Roller Set	Specification
Axis load	2.5t
Length [mm]	4140
Width [mm]	1100
Height [mm]	625
Weight	about 1500 kg
Roller length	750 mm
Roller diameter	318 mm
Compressed air	max 8bar
Eddy current	2×260 kW
Voltage	230V/ 50Hz
Velocity	max. 250km/h
rpm	0-10000 rev/min

3. 실험결과 및 고찰

3.1 정상 시 점화2차 파형

Fig. 2는 정상엔진일 때 주행속도 20km/h, 60km/h, 100km/h일 때 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. x축은 시간, y축은 전압을 나타낸다. 속도 증가에 따라 역서지 전압이 걸리는 위치까지의 시간은 1ms, 0.92ms, 0.8ms로 측정되었고 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.6014J, 0.8272J, 0.8272J로 계산되고 주행 속도의 증가에 따라 스파크라인의 시간은 짧게 되었다. 스파크라인의 방전 모양⁴⁾은 20km/h일 때 가장 안정되고 100km/h일 때 가장 불안정 모습을 나타내었다. 높이 또한 크기가 낮아 연소실 내부에는 큰 저항이 없이 화전결과가 이루어짐을 알 수 있다. 따라서 방전시간이 길어짐에 따라 연소는 안정되며 운전안정성도 증가한다.⁵⁾ 최고전압은 주행속도가 점점 커짐에 따라 부하가

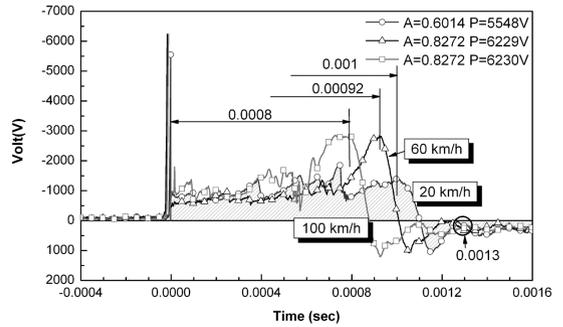


Fig. 2 Secondary waveform distributions of before maintenance at 20, 60, 100km/h

커져 전압형성 저항이 커짐을 알 수 있다. 다음 2차 파형을 생성하기 위해 안정화되는 시간은 주행속도와는 관계없이 1.3ms에서 안정화되기 시작하였다.

파형 안정화의 기준은 파형의 시작점을 '0'으로 하고, 'x'축 시간 설정, 'y'축 전압 설정, 트리거 레벨, 트리거 기울기등을 이용하였으며, 오토모드보다 파형이 빨리 안정화되는 매뉴얼 모드를 선택하여 측정을 하였고 측정된 전압이 다시 '0'으로 돌아오는 전압이 안정화 기준이다.

3.2 산소센서 불량일 때 점화2차 파형

Fig. 3은 산소센서 불량인 경우 주행 속도 20km/h, 60km/h, 100km/h인 경우 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 산소센서의 불량은 공전 상태에서 엔진 부조 현상이 생기고 오픈루프(open loop) 상태로 배기가스와 연비가 동시에 나빠진다. 1, 2선 방식은 센서 자체가 접지이고 센서온도가 350°C 이하인 경우에는 작동하지 않으며, 이에 비해 2, 4선 방식은

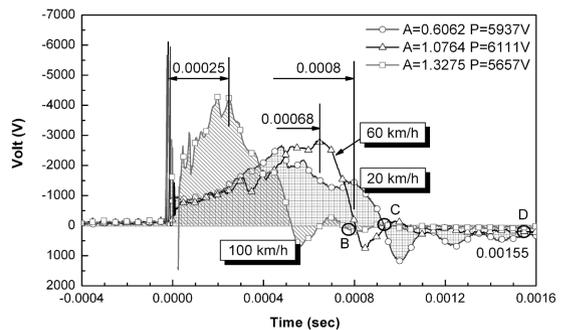


Fig. 3 Secondary waveform distributions of oxygen sensor trouble at 20, 60, 100km/h

시동 후 20~30초 내에 작동한다. 속도 증가에 따라 역 전압이 걸리는 위치까지의 시간은 0.8ms, 0.68ms, 0.25ms로 측정되었고, 이때 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.6062J, 1.0764J, 1.3275J로 계산되었다. 즉 정상과형 보다 점화전과 시간은 짧아지고 방전에너지는 많아졌다.

산소센서 불량 시 최고전압주위에 저항이 발생하였다. 정상과형과 비교할 때 최고전압의 차이는 없으나 방전유도에너지의 크기는 커짐을 알 수 있다. 스파크라인 내의 화염전과의 모양도 상승 및 하강 곡선을 나타내어 실린더 내부의 혼합기 연소가 균일하지 못하고 점화가 쉽게 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다.⁶⁾ 주행속도 100km/h인 경우는 열에너지가 존재하지 않는 거의 실화(misfire)의 형태를 나타내고 있다. 과형이 안정화되기 시작하는 시간은 정상과형보다는 다소 긴 1.55ms에서 측정되었다.

3.3 맵 센서 불량 시 점화2차 과형

맵 센서 불량 시 자기보정기능(fail safe)으로 들어간다. 맵 센서가 불량일 발생하여 공기유입량을 계측하지 못하면 크랭크각센서와 스톱틀위치센서(TPS)를 이용하여 유량을 계산한다. 즉 공기유입량은 스톱틀위치센서로 부터 감지하고 엔진회전수로 나누면 1회전 당 공기유입량이 된다. 그러나 공회전시에 맵 센서가 불량일 발생하면 시동이 꺼지고 회전속도를 높이면 맵 센서를 탈거해도 시동은 꺼지지 않는다. 이 두 가지 경우 모두가 자기보정기능으로 전환된 상태이다. 이때는 산소센서의 피드백 기능도 믿을 수가 없게 되고 혼합비가 희박하다는 신호가 발생하기도 한다. 이때는 가속페달을 밟아도 차속이 줄어들거나 출력이 떨어지는 현상이 나타난다.

Fig. 4는 맵 불량 시 주행속도에 따른 점화2차 과형을 나타낸 그림이다. 속도 증가에 따라 역서지 전압이 걸리는 위치까지의 시간은 0.48ms, 0.7ms, 1.25ms로 측정되었고 스파크라인 아래 면적인 방전유도에너지의 크기는 0.7478J, 0.9410J, 3.9227J로 계산되고, 최고전압은 5829V, 4457V, 6509V로 측정되었다. 맵 센서가 불량인 경우 60km/h, 100km/h인 경우 스파크점화시점과 스파크라인 시간 내에 많은

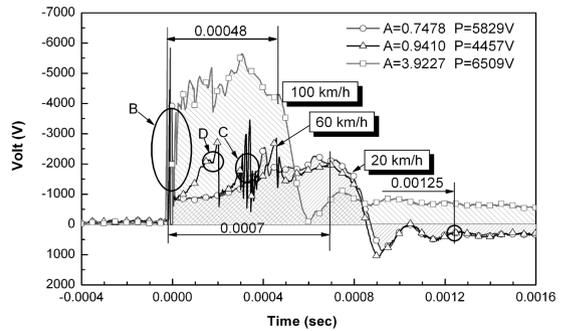


Fig. 4 Secondary waveform distributions of MAP trouble at 20, 60, 100km/h

저항이 발생하였다. 즉 혼합비 상태가 매우 불안하여 화염전과에도 많은 저항이 존재하였다. 100km/h 일 때는 거의 실화의 모습을 나타내고 열에 의한 에너지 전달이 거의 되지 않고 과형이 20km/h, 60km/h 일 때는 1.25ms에서 안정화되기 시작하였지만 속도가 100km/h인 경우는 시간이 지나도 안정화 되지 못하여 실험차량의 출력이 떨어졌음을 의미한다.

3.4 스파크플러그 불량 시 점화2차 과형

스파크플러그 불량 중 스파크 간극이 넓어지면 점화 가능한 공연비의 한계가 희박 쪽으로 범위가 넓어져 점화성능이 좋아진다. 중심전극의 직경 크기에 따른 소염작용은 스파크 간극이 1.1mm이하 일 때 영향이 크고, 간극이 클수록 중심전극의 소염작용은 영향이 작다. 따라서 소염작용을 작게 하면 점화성을 향상시킬 수 있다.

또한 전계가 약하여 이온 충돌 시 속도가 저하되고 공기 중의 원자 밀도가 높으면 평균 자유 행로가 짧아져 충분히 가속되지 않으므로 방전에 요구되는 전압은 높아진다. 스파크가 일어나지 않는 이유는 전극이 소모되어 전극 간 간극이 넓어지거나 오염된 경우이다. 퇴적물이나 납에 의한 오염은 플러그에 치명적인 성능 열화를 일으킨다. 플러그 오염은 오염이 절연체 역할을 해서 불꽃지속시간이 짧아지고 실화가 발생한다. 실화는 연비의 증가의 원인이 된다.

Fig. 5는 플러그 간극이 넓을 때 주행속도에 따른 점화2차 과형을 나타낸 그림이다. 역서지 전압이 걸리는 위치까지의 시간은 속도 100km/h일 때 0.28ms,

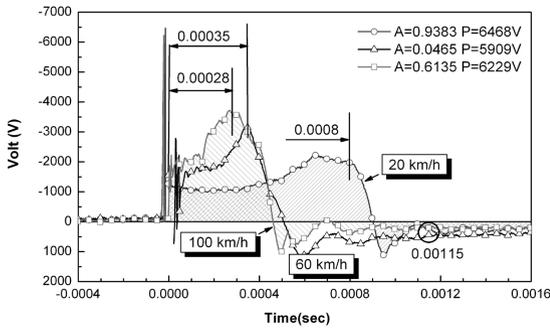


Fig. 5 Secondary waveform distributions of spark plug trouble at 20, 60, 100km/h

속도 60km/h일 때 0.35 ms, 속도 20km/h일 때 0.8ms로 측정되어 속도의 증가에 따라 역서지 전압이 걸리는 시간은 짧아졌다. 스파크라인 면적인 방전 유도에너지의 크기는 20km/h에서 0.9383J, 최고전압은 6,468V, 60km/h에서 0.0465J, 5,909V, 100km/h에서 0.6135J, 6,229V로 측정되어 스파크플러그 불량시는 60km/h에서 가장 적은 값이 측정되었다.

3.5 주행속도에 따른 센서 불량 시 점화 2차 파형

Fig. 6은 주행속도 20km/h일 때 산소센서, 맵 센서 불량 및 플러그 불량일 때 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 가장 연소가 잘 이루어지는 경우는 플러그 간극이 넓을 때이고, 산소센서 불량이나 맵 센서 불량일 때는 역 서지전압의 발생은 없었기에 거의 같은 연소과정을 모습을 나타내고 있다. 방전유도 에너지의 크기는 스파크플러그 불량일 때 가장 크게 측정되었으며, 파형이 안정화 되는 시간은 1.35ms에서 측정되었다.

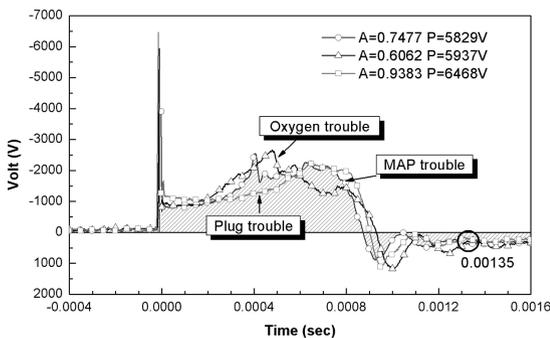


Fig. 6 Secondary waveform distributions of oxygen sensor, MAP sensor and spark plug troubles at 20km/h

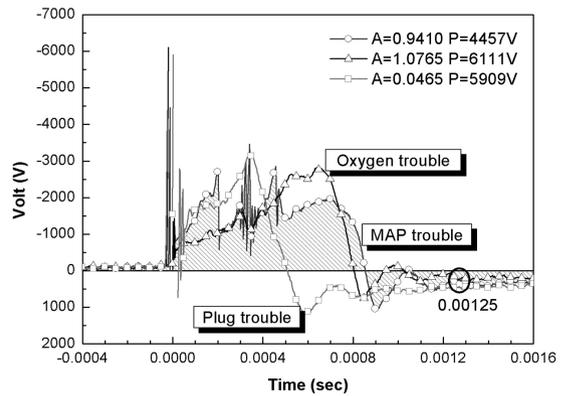


Fig. 7 Secondary waveform distributions of oxygen sensor, MAP sensor and spark plug troubles at 60km/h

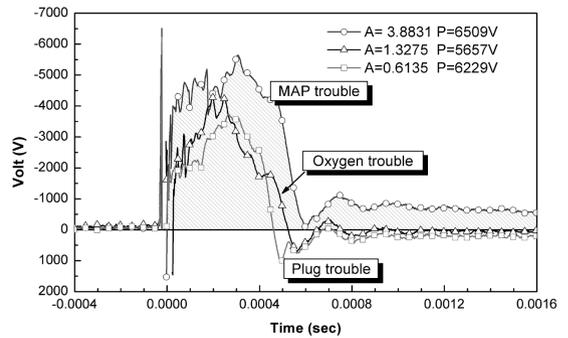


Fig. 8 Secondary waveform distributions of oxygen, MAP sensor and spark plug troubles at 100km/h

Fig. 7은 주행속도 60km/h일 때 산소센서, 맵 센서 불량 및 플러그 불량일 때 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 20km/h의 속도와 비교하면 세 가지 경우 모두 화염의 전파에 저항이 많이 걸린 모습이다. 방전유도에너지의 크기도 거의 없어 모든 경우 실화 발생일 가능성이 높았다. 파형이 안정화되는 시간은 1.25ms에서 측정되었다.

Fig. 8은 주행속도 100km/h일 때 산소센서, 맵 센서 불량 및 플러그 불량일 때 점화2차 파형을 나타낸 그림이다. 세 가지 경우 모두 화염의 전파가 가장 빨리 진행되는 모습을 보이고 있으며, 이때 방전유도 에너지의 크기는 맵 센서가 불량인 경우 가장 크고 파형이 안정화되는 시간도 매우 길어졌다.

4. 결론

차량의 완전 연소를 유도하여 배출가스 저감과

연비향상을 도모하기 위해서는 이들 과형간의 관련성을 파악하여 실제 주행에서 과형, 배출가스 농도, 연비의 상관관계를 매핑(mapping)으로 분석하였다. 또한 배출가스 및 연비가 최적으로 배출될 수 있도록 전자제어 과형분석을 정립화 함으로써 결과적으로 노후 차량의 록-업 테이블을 보정하는 방법이 현실적으로 가능할 것으로 여겨진다. 이를 위한 기초 연구로써 가솔린 엔진의 과형 측정을 통하여 노후 차량의 배기가스저감 및 연비향상과의 관계에 대한 기초연구를 수행하였다. 본 연구에서는 산소센서 불량, 맵 센서 불량 및 스파크플러그 불량인 경우 주행실험을 수행하면서 과형을 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 산소센서 불량 시 최고전압주위에 저항이 발생하였다. 스파크 라인 내의 화염전파의 모양은 상승 및 하강 곡선을 나타내어 실린더 내부의 혼합기 연소가 균일하지 못함을 알 수 있었다.
- 2) 맵 센서가 불량인 경우 모든 경우와 비교하여 유효방전에너지 변화, 혼합기 상태 등이 가장 좋지 않았고 화염전파도 가장 어려운 모습을 보였다.
- 3) 스파크플러그 간극이 넓을 때는 60km/h, 100km/h 일 때 역서지 전압이 걸리는 위치까지의 시간이 가장 짧았고 방전유효에너지도 가장 작아 실화가 발생한 것으로 해석된다.
- 4) 주행속도 20km/h 일 때는 센서불량에도 불구하고 가장 좋은 연소상태를 나타내었고 60km/h 인

경우 맵 센서가 불량일 때 연소저항이 많았고, 100km/h일 때는 모든 경우 실화가 발생하여 자동차의 출력이 급격히 떨어진 것으로 추론된다.

References

- 1) Ministry of Knowledge Economy, A Technology Development of Steam Powered Cogeneration for Improving Automobile Fuel Efficiency, Final Report of Research Project, pp.2-10, 2009.
- 2) Bosch, Gasoline Engine Management, 3rd Edition, Wiley, Chichester, pp.189-220, pp.256-261, 2006.
- 3) J. S. Yoo, A Study on the Waveform and Emission or Fuel Consumption Characteristics by Engine Sensors using Chassis Dynamometer, Myongji University, Ph.D. Dissertation, pp.120-130, 2010.
- 4) Erjavec, Automotive Technology, 4th Edn., Thomson, New York, pp.639-646, 2004.
- 5) J. H. Song, Y. H. Seo and M. H. Sunwoo, "A Study the Ignition Energy and Discharge Duration on the Performances of Spark Ignited Engines," Transactions of KSAE, Vol.9, No.6, pp.40-46, 2001.
- 6) P. S. Kim, "CAR Oscilloscope, Method of waveform analysis," pp.165-190, Goldenbell, 2004.