

가솔린 엔진의 노킹 감소를 위한 엔진 튜닝 시험 연구

- The test research of gasoline tuning for the
decrease of a knocking -

양 현 수 *

Yang Hyun Soo

천 동 준 **

Chun Dong Jun

이 안 석 ***

Lee An Sok

Abstract

1. Through this experiment, we made certain that the best distinguished frequency area of the Hyundai Beta 2.0 engine's knocking is 6.8khz.

2. Through the experiment, we checked the output power voltage condition of the logging output with the generation of a engine knocking. And wechecked up that it generated maximumly up to 11.4 V which depends on the degree of the streng.

Keywords : Frequency, Engine Knocking, Knock Sensor

1. 연구배경과 필요성

“가솔린 엔진의 노킹 감소를 위한 엔진 튜닝 시험 연구”을 가솔린 엔진의 노킹을 노킹 센서 장비로 테스트하고 이에 따른 최적 점화시기를 엔진 ECU을 통해 직접 제어 하여 엔진에 적합한 최적의 ECU를 시험하는데 있고, 최근 튜닝 세미나 및 튜닝 용품

* 군장대학 자동차디지털공학부 부교수

** 벽성대학 자동차과 교수

*** 군장대학 자동차 디지털공학부

2007년 3월 접수; 2007년 4월 수정본 접수; 2007년 4월 게재확정

의 발전에 따라 국내에도 튜닝 보조 장치들이 개발되어 장착되고 있어 이에 대한 시험을 수행하려고 한다. 이 연구 개발로 인하여 일반 차량 티뷰론 2.0과 완전히 튜닝한 티뷰론을 가지고 실험조건은 2,500RPM 상태에서의 점화시기 변경(BTDC 10, 20, 30 deg)에 따라 노킹의 변화를 알아보기 위한 진동 특성과 출력 특성을 알아보기 위한 연구임을 알려 드립니다. 따라서 일본의 튜닝시장은 20조에 달해 비약적인 보조 산업까지 발전해 가고 있으나 국내에는 법적인 제한 및 국민 정서 이해 부족 등으로 인하여 그 발전이 미미한 수준이다.

그러나 최근 튜닝 세미나 및 튜닝 용품의 발전에 따라 국내에도 튜닝 보조 장치들이 개발되어 장착되고 있어 이에 대한 시험을 수행하여 본다. 본 연구에서는 가솔린 엔진의 노킹을 노킹센서 장비로 테스트하고 이에 따른 최적 점화시기를 엔진 ECU를 통해 직접 제어하여 엔진에 적합한 최적의 ECU를 시험하는데 있다. 엔진의 출력 성능을 확인하는 방법은 시험용 엔진 다이내모미터에서 각종 센서를 부착하여 시험DATA를 얻는 방법이 전문가적이고 정확한 방법이나, 이러한 시험은 연구에 그치고 정비관련 산업체에서는 무의미한 시험이 된다. 그러나 엔진 ECU제어는 정비 산업체에서도 절실히 필요로 하여 엔진의 ECU에서 입력되는 DATA를 이용하여 성능을 예측하는 방법을 제시하는 것이 전문대학의 자동차 학생과 산업체에서 공통으로 관심 분야를 도출할 수 있을 것으로 판단되어 이에 대한 시험과 성능 계산방법을 수행한다.

날로 발전해가는 자동차 기술로 인하여 자동차 정비업체에서 어려움을 겪고 있는 분야가 전자제어 분야인데 기존의 이론적 지식이 아닌 실제 정비업에서 필요로 하는 최신 엔진 출력 향상 및 제어 기술을 습득 이 절실하며, 터보차저 장착 등 엔진 출력용 부품의 장착 증가에 따라 엔진의 성능 DATA를 보다 손쉽게 실제 확인할 수 있을 것으로 기대된다. 압축 압력비 증가가 가솔린 엔진의 노킹을 노킹센서 장비로 테스트하고 이에 따른 최적 점화시기와 연료 분사 시기 등을 엔진 ECU를 통해 직접 제어하여 엔진에 적합한 최적의 ECU를 시험하는데 있다. 엔진 성능에 미치는 이론 및 실험적 결과 값을 비교 확인 가능할 것이며 이를 통해 전문 고급 정비 인력 양성도 기대된다.

터보차저 및 인터쿨러가 장착된 1.5리터 소형 승용 터보과급 자동차엔진을 장착한 튜닝카를 제작하여, 엔진ECU에 입력되는 정보를 모텍리서치사의 Engine Management System장비인 M-8과 DATA ACQUISITION 장비 ADL을 사용하여 ECU시험을 통해 얻었다. 엔진의 성능을 계산할 수 있는 기본식을 전개하여 시험에서 얻은 기본 DATA를 이용하여 압축비에 따른 출력 성능을 계산하고 가솔린 엔진의 노킹을 노킹센서 장비로 테스트하고 이에 따른 최적 점화시기와 연료 분사 시기 등을 엔진 ECU를 통해 직접 제어하여 엔진에 적합한 최적의 ECU를 시험하는데 있다.

2. 실험 목적

엔진의 출력을 동력계에서 측정하게 되면 제어성, 정확도가 떨어지고 특히 동력계 자체가 가지는 관성모멘트의 영향을 받아 정확한 계측이 어려운 단점이 있다. 특히 튜닝의 경우에는 과도모드와 같은 운전 모드에는 적합하지 않으므로 실제 차량을 통한

데이터 분석이 튜닝에는 더 적합하다고 할 수 있다.

실험의 목적은 Knock Monitoring Module의 입력과 출력 특성을 확인하고, 엔진의 노킹 상태에 따른 Logging Output(Analog Voltage Output)의 전압 출력상태를 확인하기 위함이다.

- 1) 테스트 차량 : 현대 티뷰론 2.0 (튜닝카)
- 2) EMS : MOTEC 2.0
- 3) 실험 조건 : 2500rpm 상태에서의 점화시기 변경 (BTDC 10, 20, 30, deg)
- 4) 실험 데이터 : 노킹 발생에 따른 노킹 신호의 진동 특성 및 출력 틀림

3. 실험 장치

3.1 Knock Box 장착 및 설정

3.1.1 Knock Sensor의 장착

실험에 사용된 Knock-Box는 두 개의 Sensor입력 채널을 가지고 있으며, 각각의 센서 장착위치는 다음과 같다

- Knock Sensor No.1 : Cylinder Block
- Knock Sensor No.2 : Cylinder Head

3.1.2 Switch Select

노킹 입력신호에 대한 헤드-셋으로의 Sound 출력을 선택할 수 있는 스위치가 장착되어 있으며, 본 실험에서는 Switch Select 2로 설정하였다.

- Switch Select 1 : Knock Sensor No.1 하나의 센서 입력을 받아 좌우 헤드-셋으로 출력
- Switch Select 2 : 각각의 Knock Sensor(No.1/No.2) 입력에 따라 좌우 헤드-셋으로 출력이 1:1로 구분되어 출력

3.1.3 Volume/Balance의 조정

Knock Box에는 출력(Sound)을 조정하기 위한 Main Volume Knob와 좌/우의 밸런스를 조절하기 위한 Sensor Balance Knob가 있으며, 이는 모두 Head-Set으로 출력되는 사운드 신호의 Amplitude를 조정 하는 기능을 하고 있다.

3.2 테스트 엔진의 사양

본 실험에 사용된 엔진은 현대자동차에서 생산된 Beta 2.0 DOHC이며, 기본 사양은 다음과 같다.

Item	Specification
Engine Type	In-Line DOHC
Number of Cylinders	4
Bore / Stroke (mm)	82.0 / 93.5
Total Displacement(cc)	1975
Compression Ration	10.3

Table 1 Specifications of the Beta Engine

4. 실험 방법

노킹 발생을 위해서 엔진에 전부하 조건을 만들어 주었다. 샤시 다이내모메테에서 구동륜의 속도제어에 따른 엔진 RPM을 제어하여 엔진에 부하가 발생하도록 하였으며, 노킹 발생이 유리하도록 스로틀을 Wide Open 상태로 유지하여 연소실에 높은 압축압력이 발생하도록 하였다. 노킹의 강도조절은 Ignition Timing의 진각정도에 따라 변경하였다.

이번 노킹 테스트를 위해 실시한 실험조건은 다음과 같다.

순서	엔진 RPM	점화시기 (CA)	변속기어	부하조건	비고
1	2500	BTDC 10°	Neutral	무부하	Non-Knocking
2		BTDC 20°	4 th	전부하	Light-Knocking
3		BTDC 30°	4 th	전부하	Heavy-Knocking

Table 2 Knocking Test를 위한 실험조건

4.1 Knock Signal Acquisition

본 실험에 사용된 현대 Beta 2.0 엔진의 노킹 Frequency특성을 분석하기 위해 Oscilloscope(Tektronix)의 FFT 기능을 이용하여 수집하였다.

다음의 <Fig. 1>은 노킹이 없는 엔진운전상태의 Knock Sensor신호와 이에 대한 FFT 결과를 나타낸다. 운전조건은 실험조건(1)으로써 엔진회전속도 2500RPM이며, 점화시기 BTDC 10°, 변속기어는 중립상태의 무부하 운전조건으로 실행하였다. 여기서의 3회 반복 측정된 결과는 모두 0~300Hz 정도의 낮은 주파수 성분만이 확인되었다.

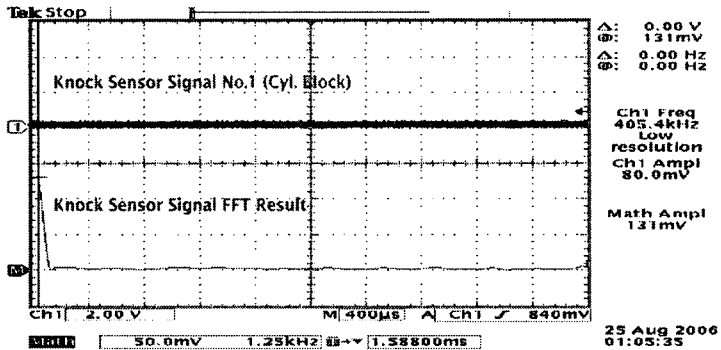
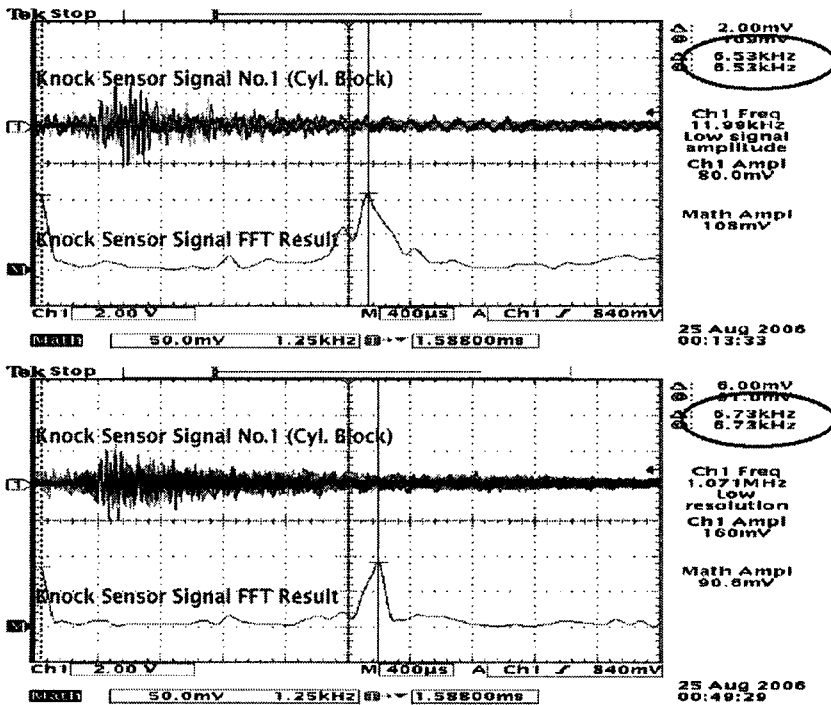


Fig. 1 조건 (1) Knock Sensor Signal과 FFT 결과 (Non-Knocking)

<Fig. 2>은 Light-Knocking을 발생시키기 위해 실험조건(2)로 운전한 상태의 결과를 나타낸다.엔진 회전속도는 2500RPM이며, 점화시기는 BTDC 20°, 변속기어는 4단상태의 전부하 운전조건으로 3회 반복하여 실행하였다. Light-Knocking조건에서는 6.5~6.7kHz의 주파수 성분이 가장 높은 분포를 나타내었다.



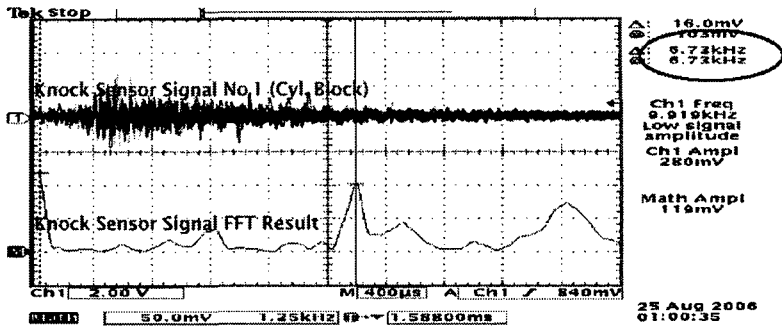


Fig. 2 조건 (2) Knock Sensor Signal과 FFT 결과 (Light-Knocking)

<Fig. 3>은 Heavy-Knocking을 발생시키기 위해 실험조건(3)로 운전한 상태의 결과를 나타낸다. 엔진 회전속도는 2500RPM이며, 점화시기는 BTDC 30°, 변속기어는 4단 상태의 전부하 운전조건으로 3회 반복하여 실행하였다. Heavy-Knocking조건에서는 6.7~6.8kHz대의 주파수 성분이 가장 높은 분포를 나타내었다.

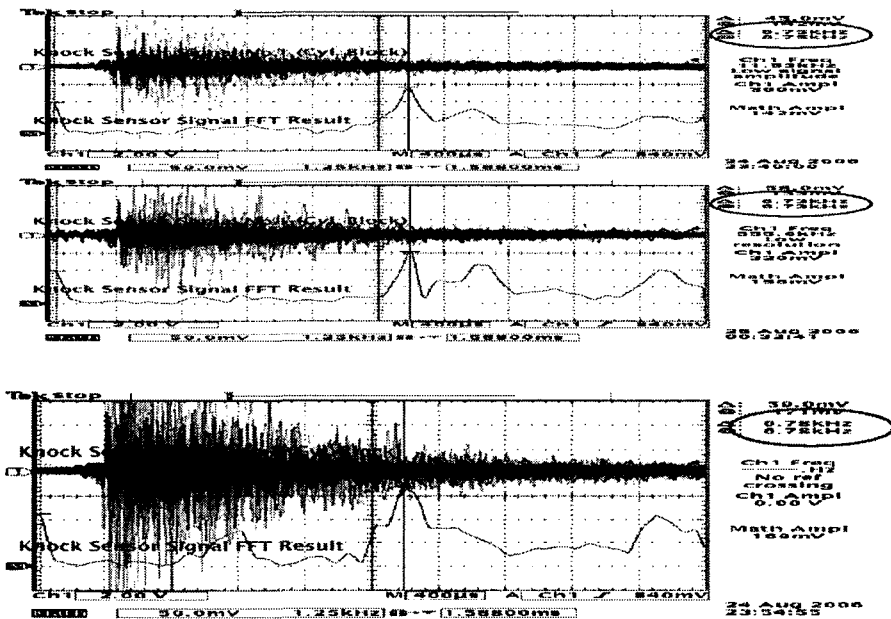


Fig. 3 조건 (3) Knock Sensor Signal과 FFT 결과 (Heavy-Knocking)

4.2 Knock Signal의 분석

위의 조건으로 각각 3회 반복하여 얻어진 Knock Signal의 FFT 데이터를 평균하여 하나의 그래프로 나타내었다. 이를 통해서 이번 실험에 사용된 현대 Beta 2.0 엔진의

Knock Frequency 특성을 파악하였다.

Frequency의 분석결과, Non-Knocking과 Light-Knocking 그리고 Heavy-Knocking의 구분이 가장 두드러지는 6.8kHz의 frequency 영역을 확인할 수 있었으며, 이 6.8kHz의 frequency영역을 현대 Beta 2.0 엔진의 Knock Frequency특성으로 결정하였다.

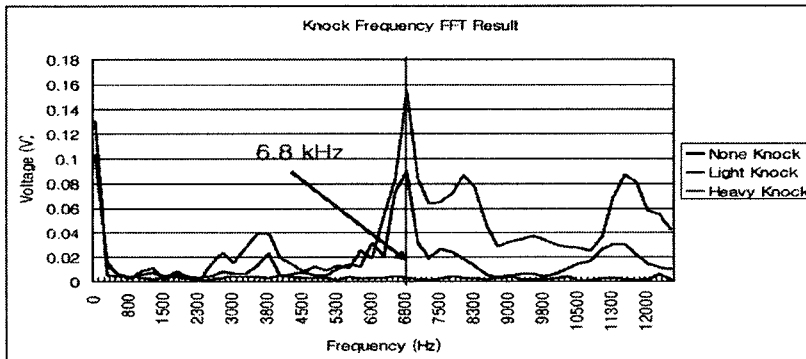


Fig. 4 각각의 엔진운전 조건에 따른 Knock Frequency FFT 결과

4.3 Knock-Box Rectifier의 특성

위 실험의 결과로 현대 Beta 2.0 엔진의 노킹주파수 특성이 6.8kHz 영역에서 명확하게 구분할 수 있음을 확인하였다. 이 결과를 토대로 Knock Box의 Rectifier조정을 통해 6.8kHz 영역에서 Logging Output(Analog Voltage Output)이 정확하게 출력될 수 있도록 튜닝작업을 실행하였다.

이를 위해서 Function Generator를 이용하여 생성된 6.8kHz(Amplitude $\pm 2V$)의 신호를 Knock Box의 노킹센서 입력부에 인가한 후, Knock Box의 10번 핀(Rectifier 단자)의 전압을 최대 마이너스 전압이 출력되도록 트리머를 조정하였다. Rectifier단자의 전압은 0~-1.42V의 출력범위를 나타내었으며, 여기서는 최대 마이너스 전압인 -1.42V로 조정 하였다.

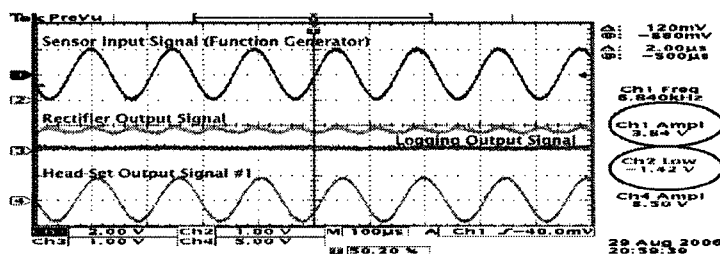


Fig. 5 Logging Output를 위한 Rectifier Tuning

참고로 위와 같이 Rectifier조정을 마친 후 입력신호의 Amplitude와 Frequency의 변화에 따른 Rectifier 출력전압의 특성을 확인하였다.

아래의 <Fig. 6>와 <Fig. 7>은 입력신호의 Amplitude를 각각 5.00V와 3.28V로 입력한 상태이며, 두 경우 모두 입력신호의 Amplitude가 3.84V의 범위를 벗어나는 경우 Rectifier의 출력전압이 최대 마이너스 전압인 -1.42V보다 감소되는 현상을 나타내었다.

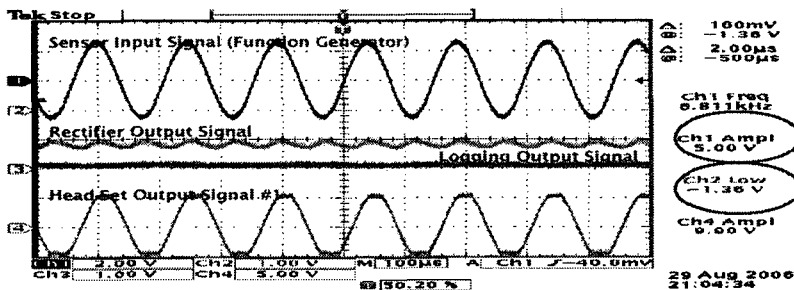


Fig. 6 입력신호의 Amplitude에 따른 Rectifier 출력전압

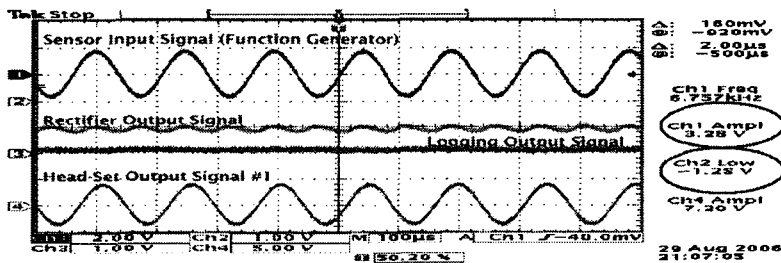


Fig. 7 입력신호의 Amplitude에 따른 Rectifier 출력전압

아래의 <Fig. 8>과 <Fig. 9>는 입력신호의 Frequency를 각각 7.1kHz와 6.5kHz로 입력한 상태이며, 위에서 설정한 6.8kHz를 벗어나는 경우 또한 Rectifier의 출력전압이 최대 마이너스 전압인 -1.42V에서 감소되는 현상을 나타내었다.

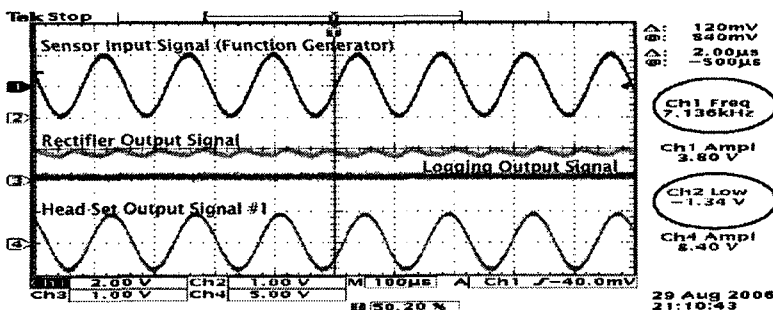


Fig. 8 입력신호의 Frequency에 따른 Rectifier 출력전압

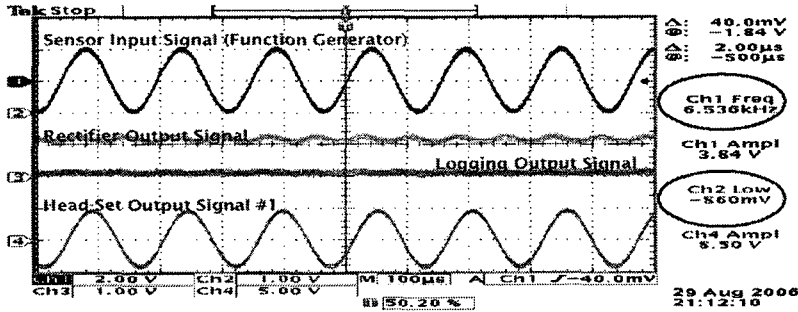


Fig. 9 입력신호의 Frequency에 따른 Rectifier 출력전압

5. 실험 결과

5.1 Non-Knocking 상태에서의 결과

아래의 <Fig. 10>은 무부하 2500RPM의 노킹이 없는 상태에서의 노킹센서 신호와 Head-Set Output 그리고, Logging Output의 전압상태를 나타낸다. 노킹이 없는 상태의 출력특성은 특별한 출력이 없는 양호한 상태를 나타내고 있다.

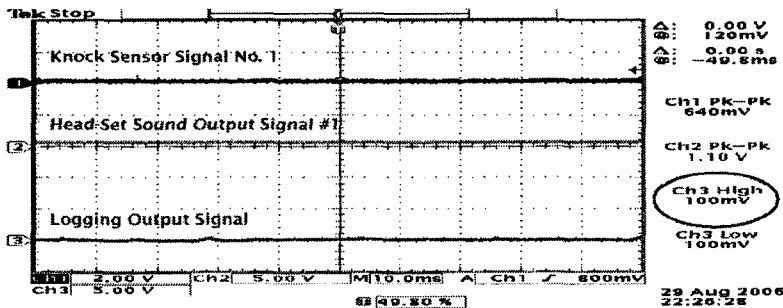


Fig. 10 Knock Sensor Signal과 Logging Output Signal (2500RPM / BTDC 10° / Neutral)

5.2 Light-Knocking 상태에서의 결과

<Fig. 11>은 2500RPM, 점화시기 BTDC 20°, 전부하 상태에서의 출력을 나타낸다. 여기서의 결과는 노킹 발생에 따른 Logging Output의 출력전압이 약 6.1V까지 발생되는 것을 확인 하였다.

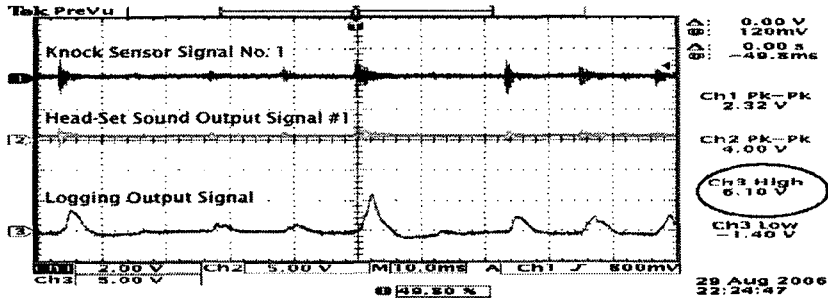


Fig. 11 Knock Sensor Signal과 Logging Output Signal (2500RPM / BTDC 20° / 4th Gear)

5.3 Heavy-knocking 상태에서의 결과

<Fig. 12>은 2500RPM, 점화시기 BTDC 30°, 전부하 상태로서 Heavy knocking을 일으킨 상태의 출력을 나타낸다. 연속되는 노킹에 연관된 Logging Output 신호가 발생되었으며, 출력전압의 범위는 최대 약 11.4V를 나타내었다.

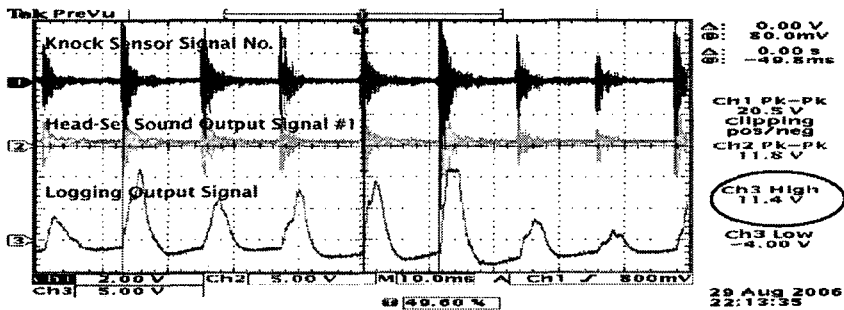


Fig. 12 Knock Sensor Signal과 Logging Output Signal (2500RPM / BTDC 30° / 4th Gear)

5.4 점화시기의 변경을 통한 Knocking 발생과 Logging Output의 비교

별도의 스위치 입력을 사용하여 MOTEC EMS에서 점화시기를 변경하는 방법으로 노킹이지 않는 경우와 노킹이 발생하는 경우의 Logging Output의 출력을 비교 확인하였다.

여기서, 점화시기를 변경하기 위한 스위치 입력 후 약 150ms(EMS의 내부적인 지연 발생)후 점화시기가 변경되며 노킹의 발생에 따른 Logging Output의 출력신호를 확인할 수 있었다.

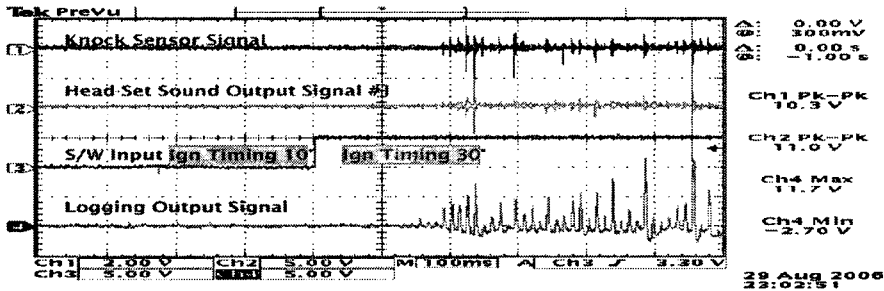


Fig. 13 정황사이에 따른 노킹발생 및 Logging Output의 비교

6. 결 론

- 본 실험을 통하여 현대 Beta 2.0 엔진의 노킹에 대한 주파수 영역이 약 6.8kHz 에서 가장 확실 하게 구분되는 영역임을 확인하였다.
- 실험을 통해 엔진노킹 발생에 따른 Logging Output의 전압출력 상태를 확인하였으며, 노킹강도에 따라 다르나 최대 11.4V까지 발생되는 것을 확인하였다.

7. 참 고 문 헌

- [1] 이원근, 엄인용, “가솔린 엔진에서 압축비 변경 방법이 성능에 미치는 영향”, 한국 자동차공학회논문집 제9권 제4호, pp27~33, 2001
- [2] 김진, “터보과급 가솔린 기관의 과급 압력비와 노크 한계 압축비”, 한국자동차공학회 논문집 제7권 제4호, pp97~107, 1999
- [3] 권병준, 이종윤, 이종태, 이성열, “직접분사식 스파크 점화 수소기관의 연소 및 성능 특성에 미치는 압축비의 영향”, 한국자동차공학회논문집 제1권 제2호, pp17~26, 1993

저 자 소 개

양 현 수 : 조선대학교 정밀기계공학과 졸업하고, 시립 인천대학교 공학석사 및 공학 박사 학위를 취득하였으며, 울산 현대자동차 생산기획부 근무, 현재는 군장대학 자동차디지털공학부 부교수로 재직 중이며, 관심분야는 복합재료 및 자동차 터보차저, 가솔린기관의 노킹에 관련된 부분을 현재 많은 연구를 진행 중에 있습니다.

천 동 준 : 현재 벽성대학 교학처장 이면서 자동차과 교수이고, 기아자동차 연구소에서 선임연구원으로 재직하면서 자동차 터보차저에 관한 분야를 연구하였고, 또한 단국대학교 대학원 공학석사, 경희대학교 공학박사학위 취득, 관심분야는 자동차 터보차저 및 가솔린 기관의 노킹에 많은 연구를 진행하고 있는 중이다.

이 안 석 : 전주대학교를 졸업하고 현재 원광대학교 교육 대학원 재학 중이며 군장대학 자동차 디지털공학부에 재직 중. 주요 관심분야는 자동차 튜닝, 모델링.

저 자 주 소

양 현 수 : 전북 군산시 성산면 도암리 608-8 군장대학 자동차디지털공학부

천 동 준 : 전북 김제시 공덕면 공덕리 51-25 벽성대학 자동차과

이 안 석 : 전북 군산시 성산면 도암리 608-8 군장대학 자동차디지털공학부