

ECU제어를 통한 가솔린 엔진의 노킹 특성에 관한 연구

양현수* · 임주헌** · 천동준***

*군장대학 자동차디지털공학부 · **서울자동차고등학교 자동차과 · ***벽성대학 자동차과

A Study on Characteristics of Knocking in Gasoline Engine through ECU Control

Hyun Soo Yang* · Ju Hun Lim** · Dong Jun Chun***

*Dept. of Automotive & Mechanical Engineering, Kunjang college

**Dept. of Automobile Engineering, Seoul Automobile Highschool

***Dept. of Automobile Engineering, Byuksung college

ABSTRACT

A burning principle in gasoline engine is the one of being burned, by which a mixer in air and gasoline enters a combustion chamber and causes a spark in the proper timing. This is formed, by which ECU controls the fuel-injection volume and the fuel-injection timing, and determines the performance of engine. The purpose of this study is to test the characteristics on knocking in gasoline engine with the knocking-sensor equipment and to research into the characteristics in knocking while directly controlling the optimal igniting timing and the fuel-injection timing through engine ECU. Given controlling ECU by grasping the characteristics in knocking, which becomes the most problem in the engine tuning market, the tuning in a true sense will be formed in gasoline engine.

Keywords : Gasoline engine, ECU control, knocking, tuning

1. 서론

ECU(Engine Control Unit)는 엔진과 관련된 각종 센서에서 수집된 정보를 토대로 최적 연소를 통해 엔진 효율을 높이고 운전자의 의도대로 엔진을 최적으로 제어 해 주기위한 제어장치이다. 엔진을 제어하는 컴퓨터라고 보면 된다[1]. 요즘의 ECU는 학습기능이 있어 운전자의 운전패턴, 차속, 악셀 밟은 정도 등 센서에 의해 운전자의 입력 신호 대비 조작성이 끝난 엔진의 상태를 분석 저장하고 운전자의 조작성에 대응하도록 엔진을 제어한다. 이와 관련하여 본 논문에서는 엔진 결합 중 많은 영향을 미치는 노킹 발생에 관해서 ECU 제어를

통해 문제를 해결해 보도록 할 계획이다.

가솔린기관의 연소는 연료와 공기를 미리 섞어서 엔진의 실린더 내에 공급 한다. 그리고 압축을 하기 때문에 점화 플러그에서 불꽃이 튀 후에도 연료가 가능한 천천히 타야 한다. 또한 천천히 타면서 남아 있는 연료들이 조금씩 부드럽게 타야 된다.

만일 조기에 연소되면 많은 양의 연료가 동시에 타는 것과 같아지며 이는 곧 폭발에 가깝게 된다. 그러면, 순간적으로 고온 고압이 발생되어 마치 엔진을 망치로 치는 듯한 소리가 나는데 이를 노킹(Knocking)이라고 부른다[2,3].

† 교신저자: 양현수, 전북 군산시 성산면 도암리 608-8 군장대학 조선정보공학부

M · P: 010-2352-8332, E-mail: hsyang@kunjang.ac.kr

2008년 4월 접수; 2008년 6월 수정본 접수; 2008년 6월 게재확정

처음 점화 플러그에서 불꽃이 점화되면 플러그 주변에 있는 연료가 일차로 연소하게 된다. 연소된 연료로 인해 남아있는 혼합기는 더 압축이 되고 온도도 올라가게 된다. 혼합기가 조금 더 연소하게 되면 남아있는 혼합기는 조금 더 압축이 되고 온도도 더 올라가게 된다[4].

이렇게 연소가 진행 될수록 남아 있는 연료와 공기의 혼합기체는 점점 더 압축이 되고 압축이 될수록 온도가 올라가게 된다.

혼합기의 온도와 압력이 어느 이상 올라가게 되면 남아있는 연료에 불꽃이 닿지 않았어도 스스로 연소될 수 있게 된다. 그렇게 되면 남아 있는 연료들이 동시에 타게 되며 이는 곧 폭발이 일어나는 것이다. 이것이 바로 전형적인 노킹이다.

언덕길을 올라 갈 때에 노킹이 잘 나는 것은 엔진에 부하가 커지면서 운전자는 악셀 페달을 더 깊게 밟게 되고 이는 엔진의 연소실 내에 압력이 점점 높아지는 원인이 된다. 그래서 연소 도중에 남아있는 연료와 공기의 혼합기의 온도와 압력이 비정상적으로 높아져서 스스로 폭발하는 현상이 노킹이다. 그래서 언덕길에서나 고단기어로 지속 주행을 할 때에 많이 발생 하는 것이다.

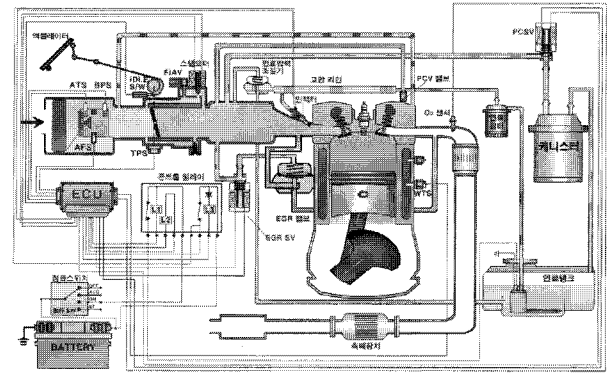
이러한 노킹은 고속 충격파를 만들어 내며 이 충격파로 인해 연소실 표면의 얇은 보호막이 깨어져 피스톤이나 헤드가 녹게 되는 결과를 가져온다[7].

연소가 자연스럽게 일어날 때에는 공기가 압축되면서 연소실 표면에 얇은 보호막(laminar film)이 생성된다. 이 막은 고온의 연소 가스가 직접 알루미늄의 피스톤이나 헤드에 닿는 것을 막아 준다. 연소 가스의 순간 온도는 약 3000°C를 넘어가며, 평균온도도 약 1600°C 정도 된다[6,8]. 그러나 알루미늄은 보통 660°C 정도면 녹게 된다. 따라서 평소에는 보호막이 저절로 형성되면서 고온가스를 막아 주지만 노킹이 일어나면 강한 충격파로 인해 그 보호막이 깨어지게 되고 보호막이 깨진 부분은 녹게 되는 것이다[10]. 이는 자동차의 성능을 떠나 운전자에게 크나 큰 위험 요소가 될 수 있다.

이러한 문제를 가지고 있는 노킹에 관한 연구는 계속되어지고 있고 이에 대한 대책도 많이 찾아내고 있는 실정이다. 그 대표적인 예가 연료의 옥탄가를 높이는 것[11], 압축비를 높이는 것[12], 노킹 방지제를 연료에 첨가하는 것[13], ECU를 통해 노킹을 제어하는 것 등을 들 수 있다[5,9].

본 연구에서는 ECU 제어를 통해 노킹을 제어하는 연구를 진행하고자 한다.

2. 이론 및 실험적 근거



<Fig 1> 전자제어 엔진 간략도

<Table 1> 전자제어엔진 ECU 제어 시스템

입 력	제 어	출 력
◆ 공기유량 센서(AFS)	E C U	◆ 인젝터
◆ 흡기온도 센서(ATS)		◆ 아이들 스피드 액추에이터(ISA)
◆ 스로틀 포지션 센서(TPS)		◆ 피지컨트롤 솔레노이드 밸브(PCSV)
◆ 산소 센서(O ₂ 센서)		◆ 연료펌프 릴레이
◆ 노크 센서		◆ 에어컨 릴레이
◆ 홀 센서(상사점 센서)		◆ 점화코일(파워 T.R)
◆ 크랭크 각 센서(CPS)		◆ 점화시기 제어
◆ 냉각수온 센서(WTS)		◆ 자기진단 출력
◆ 차속 센서		◆ 쿨링 팬 릴레이
◆ 엔진 회전수 신호		◆ 콘덴서 팬 릴레이
◆ IG 스위치 신호		◆ 스로틀 포지션 센서출력
◆ 드라이브 포지션 스위치		
◆ P.N 스위치 (인히비터 스위치)		
◆ 에어컨 스위치		

전자제어엔진 ECU(electronic control unit)제어는 <fig 1>이나 <Table 1>에서 보여 지는 바와 같이 각종 센서 및 스위치가 자동차 주행상태에 따른 대기 온도, 대기압, 차량속도, 운전자의 악셀 밟음 정도, 기관 냉각수 온도, 배출가스 량, 기관 작동 상태 등을 컴퓨터로 입력시켜 컴퓨터에서 점화시기 제어, 공전속도조정, 연료제어 분사, 연비, 엔진효율, 주행성능을 향상시키고 유해배출 가스나 노킹 등을 줄여주기 위해 사용한다[6,7].

이렇게 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 기술 습득이 절실

하며, 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. 이는 엔진 성능에 미치는 이론 및 실험적 결과 값의 비교 확인이 더욱 쉬워질 것으로 기대된다.

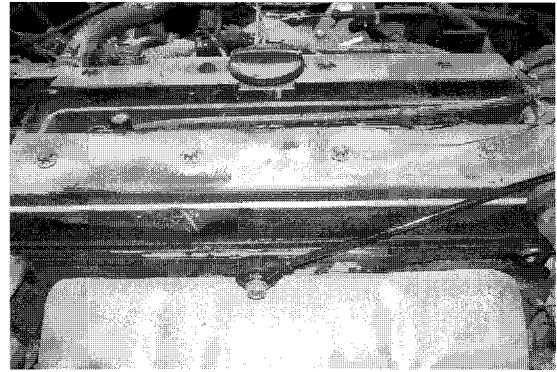
엔진 튜닝 시장에서 가장 문제점이 되는 노킹의 특성을 파악하여 ECU를 제어한다면 가솔린 엔진에 있어서 진정한 의미의 튜닝이 이루어질 것으로 본다. 본 실험 연구에서는 모텍리서치사의 ECU 튜닝 장비인 M8 장비 셋을 이용하여 주어진 2000CC급 지엠대우 매그너스 차량의 엔진 ECU 와이어 링을 우선 실시하여 기본적인 엔진 제어 데이터를 확보한다. 이후에 튜닝 엔진인 압축비 변화를 증대한 엔진과 점화시기를 진각 시킨 경우 엔진의 출력 및 노킹 특성 데이터를 실험을 통하여 확보한다. 이때에 노킹 특성은 별도의 노킹 센서와 키트를 사용하여 데이터 값을 컴퓨터를 통하여 저장 분석한다.

엔진의 출력은 차량 주행 상태에서 측정하여 분석 튜닝 하는 것이 가장 이상적이나 통상적으로는 새시디어나모미터와 같은 차량 동력계에서 측정하는데 이 경우에는 제어성, 정확도가 떨어지고 특히 동력계 자체가 가지는 관성모멘트의 영향을 받아 정확한 계측이 어려운 단점이 있다. 이번 실험은 차량 주행 및 스톱 테스트를 통하여 엔진 튜닝의 경우 Knock Monitoring Module의 입력과 출력 특성을 확인하고, 엔진의 노킹 상태에 따른 Logging Output 즉 아날로그 전압 출력상태를 확인하여 진동 및 출력의 노킹 특성을 분석하고자 한다.

이번 실험에 사용된 테스트 차량은 지엠대우자동차의 매그너스 2.0 DOHC이며 엔진 EMS는 MOTEC M8 및 KNOCK-BOX를 사용하였고 시험 조건은 주로 공전상태 및 2000rpm 상태에서의 점화시기 변경(BTDC 8°, 20°, 30°)에 따른 노킹 발생에 따른 노킹 신호의 진동 특성 및 출력을 분석하고자 한다.

3. 실험 방법

실험에 사용된 Knock-Box는 두 개의 Sensor 입력 채널을 가지고 있으며, 각각의 센서 장착 위치는 <fig 2>와 같이 실린더 헤드에 별도로 Knock Sensor No.1 : Cylinder Head를 장착하였고, 실린더 블록에는 원래 장착된 차량의 Knock Sensor No.2 : Cylinder Block의 배선을 이용하였다.

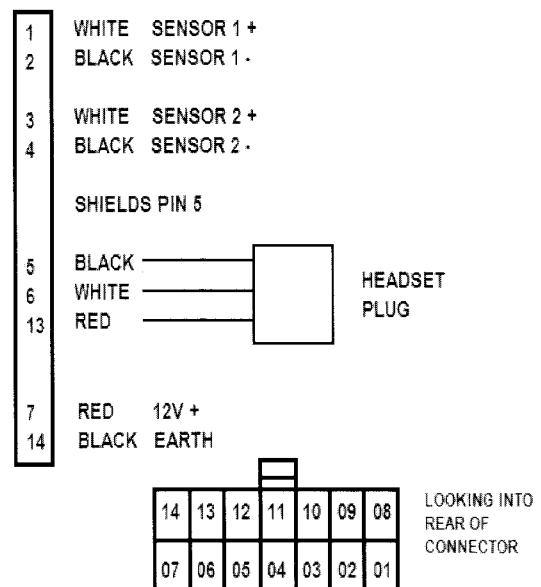


<Fig 2> Mounting of Knocking sensor

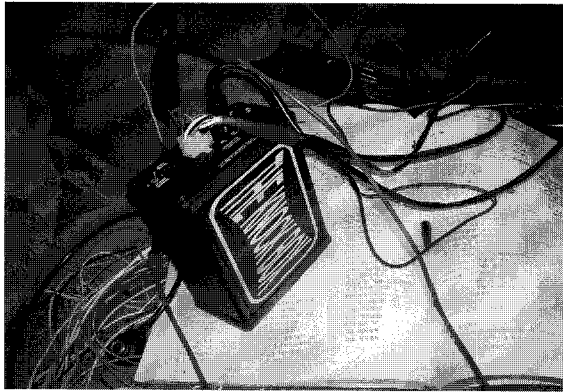
노킹 입력신호에 대한 헤드-셋으로의 Sound 출력을 선택할 수 있는 스위치가 장착되어 있으며, Switch Select 1은 Knock Sensor No.1 하나의 센서 입력을 받아 좌우 헤드-셋으로 출력하고 Switch Select 2는 각각의 Knock Sensor(No.1/No.2) 입력에 따라 좌우 헤드-셋으로 출력이 1:1로 구분되어 출력하게 되어 있다.

또한 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.

<Fig 3>은 Knock Box의 와이어링 다이어그램으로 커넥터 1번과 커넥터 3번이 각각 Knock Sensor No.1과 No.2가 연결된 그림으로, <Fig 4>와 같이 실제 배선에 연결하였다.



<Fig 3> Wiring Diagram



<Fig 4> The Knock Box Wiring

본 실험에 사용된 차량은 지엠대우자동차 매그너스이며 엔진은 2.0 DOHC 로서 기본 사양은 다음과 같다.

<Table 2> Test Engine Specification

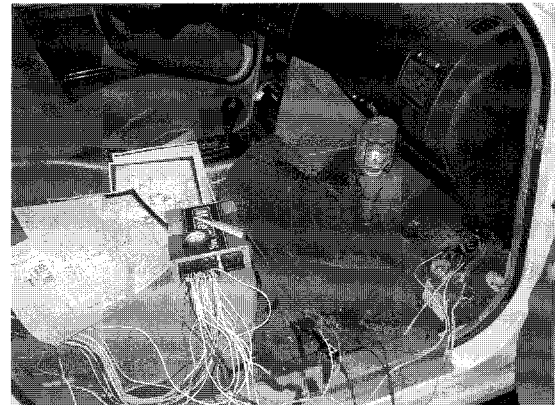
항목	사양
엔진형식	2.0 L DOHC
배기량	1998CC
압축비	9.6 : 1
최대출력	130ps / 5400 rpm
최대토크	18.4 kgm / 4000 rpm
점화시기	BTDC 8°

노킹 발생을 위한 실험은 스톨 테스트를 하였는데 엔진 회전수에 따른 전부하 조건을 EMS 에서 확인해 가며 전부하 조건을 만들어 주었다. 실험은 부분부하 (50%)상태에서는 가벼운 노킹만이 확인되어 노킹 발생이 유리하도록 스톨들을 Wide Open 상태로 유지하여 연소실에 높은 압축압력이 발생하도록 하였다. 노킹의 강도조절은 Ignition Timing의 진각 정도에 따라 변경하였으며, 노킹 테스트를 위해 실시한 실험조건은 다음과 같다.

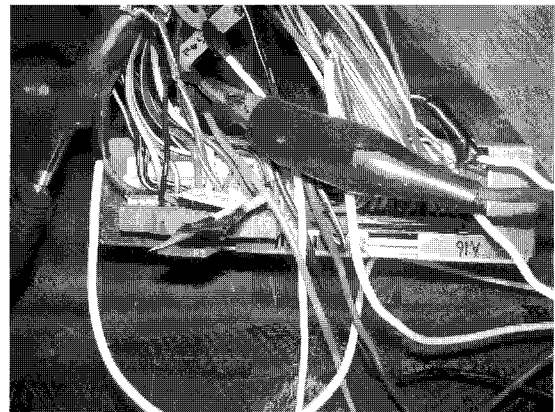
<Table 3> Test condition for Knocking

No	Engine RPM	Ignition Condition	Transmission Condition	Load Condition	Knocking Condition
1	750 RPM	BTDC 8°	Neutral	0%Load	Non-knocking
2	2000 RPM	BTDC 20°	4thGear	100% Load	Light-Knocking
3	2000 RPM	BTDC 30°	4thGear	100% Load	Heavy-Knocking

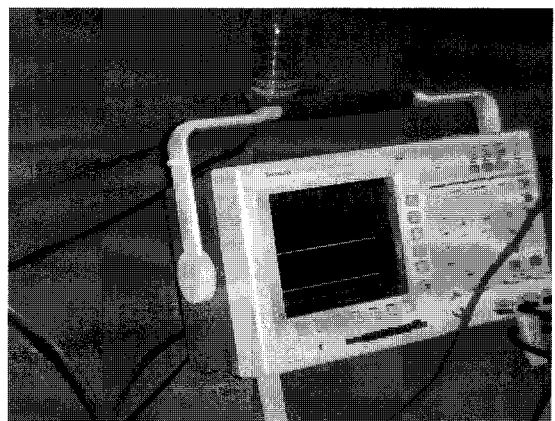
매그너스 차량의 ECU 에서 점화 신호를 받기 위하여 EST"A", EST"B" 를 연결하였고 크랭크각 신호를 주기 위하여 CPS "LOW" 단자를 연결하였으며, 실린더 블록의 노크센서 신호와 tm로틀 개도 각을 검출하기 위하여 TPS 신호를 연결하였으며 이외 메인접지와 센서 접지선을 연결하였다. 연결된 실험 장치는 <Fig 5> 및 <Fig 6>, <Fig 6-1>, <Fig 6-2>와 같이 모택의 M8 EMS, ECU와 같다.



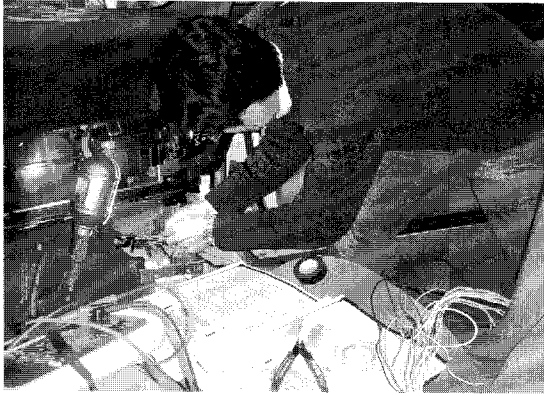
<Fig 5> EMS M8 Wiring



<Fig 6-1> ECU Wiring for knocking test



<Fig 6-2> ECU Wiring for knocking test equipment

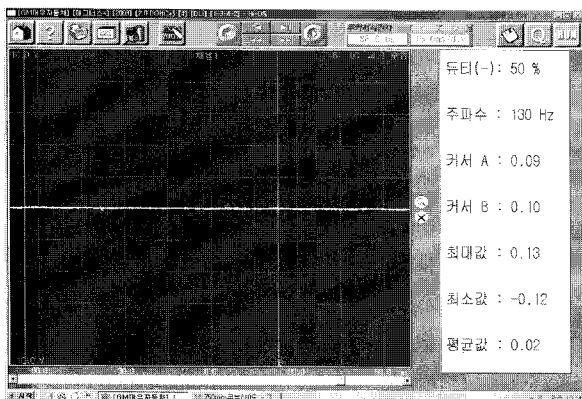


<Fig 6-3> ECU Wiring for knocking test a figure

4. 실험 결과 및 고찰

본 실험에 사용된 지엠대우 매그너스 2.0 엔진의 노킹 Frequency 특성을 분석하기 위해 Hi-DS의 Oscilloscope 기능을 이용하여 데이터를 수집하였다.

다음의 <Fig 7>은 노킹이 없는 엔진 운전 상태의 실린더 블록(센서2)의 Knock Sensor 신호와 이에 대한 FFT 결과를 나타낸다. 운전조건은 시험조건(1)로서 엔진회전속도 750 RPM이며, 점화시기 BTDC 8°, 변속기어는 중립상태의 무부하 운전조건으로 실행하였다. 여기서의 3회 반복 측정된 결과는 0~130Hz 정도의 낮은 주파수 성분만이 확인되었다. 무부하 750 RPM의 노킹이 없는 상태에서의 노킹센서 신호와 Head-Set Output 그리고, Logging Output의 전압상태의 출력 특성은 특별한 출력이 없는 양호한 상태를 나타내었다.

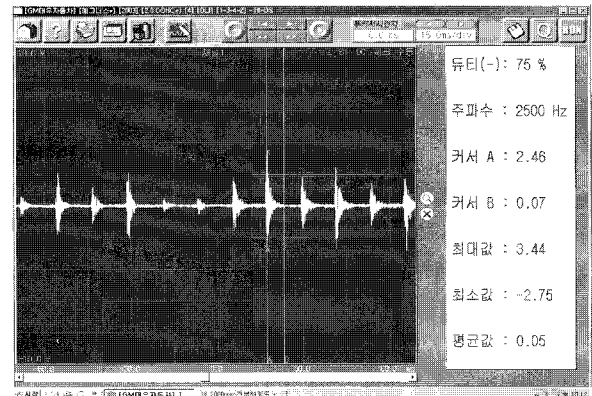


<Fig 7> Knock Sensor Signal of Non-Knocking Condition

<Fig 8>은 센서2에서 Light-Knocking을 발생시키기 위해 시험조건(2)로 운전한 상태의 결과를 나타낸다.

엔진 회전속도는 2000RPM이며, 점화시기는 BTDC 20°, 변속 기어는 4단상태의 전부하 운전조건으로 3회 반복하여 실행하였다. Light-Knocking 조건에서는 2~2.5kHz의

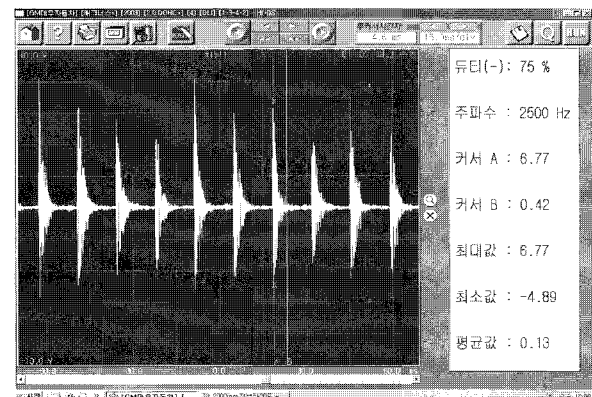
주파수 성분이 가장 높은 분포를 나타내었다. 노킹 발생에 따른 Logging Output의 출력전압이 약 3.4V까지 발생하는 것을 확인 하였다.



<Fig 8> Knock Sensor Signal of Light-Knocking Condition

<Fig 9>는 Heavy-Knocking을 발생시키기 위해 센서2에서 시험조건(3)로 운전한 상태의 결과를 나타낸다.

엔진 회전속도는 2000RPM이며, 점화시기는 BTDC 30°, 변속기어는 4단 상태의 전부하(100% Load) 운전 조건으로 3회 반복하여 실행하였다. Heavy-Knocking 조건에서는 2.3~2.5 kHz 대의 주파수 성분이 가장 높은 분포를 나타내었다. Heavy knocking을 일으킨 상태의 연속되는 노킹에 연관된 Logging Output 신호에서 출력전압의 범위는 최대 약 6.7V를 나타내었다.



<Fig 9> Knock Sensor Signal of Heavy-Knocking Condition

Frequency의 분석결과, Non-Knocking과 Light-Knocking 그리고 Heavy-Knocking의 구분이 가장 두드러지는 2.5Hz의 frequency 영역을 확인할 수 있었으며, 타 엔진의 노킹 특성에 비해 비교적 저주파수대인 2.5 kHz의 frequency 영역을 매그너스 2.0 엔진의 Knock Frequency 특성으로 파악할 수 있었다.

실험에서 주파수 특성은 EMS자체에 대한 외부 노이

즈 영향이 심하여 EMS 및 오실로스코프 장비에 대한 별도의 접지를 통하여 노이즈를 필터링하는 것이 중요하였다. 또한 별도의 스위치 입력을 사용하여 MOTEC EMS에서 점화시기를 변경하는 방법으로 노킹이 아닌 경우와 노킹이 발생하는 경우의 Logging Output의 출력을 비교해보면 점화시기를 변경하기 위한 스위치 입력 후 약100~350ms 정도의 EMS의 내부적인 지연발생 후 점화시기가 변경되며 노킹의 발생에 따른 Logging Output의 출력신호를 확인할 수 있었다.

5. 결론

실험을 통하여 엔진의 점화시기 및 부하 변동에 따른 노킹 특성을 파악할 수 있었으며 이러한 일련의 실험을 통하여 엔진의 노킹 및 튜닝 기술을 개발할 수 있는 과정을 확보할 수 있었다. 또한 ECU 제어를 통해 노킹을 제어하여 운전자에게 크나 큰 위험 요소가 될 수 있는 엔진 결함을 줄여 줄 수 있을 것으로 보고 있으며 특히, 이번 매그너스 2.0 엔진의 노킹 시험의 특성을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 가솔린 엔진인 매그너스 2.0 엔진의 노킹에 대한 주파수 영역이 약 2.5kHz 에서 비교적 뚜렷한 특성 영역임을 확인하였다.

둘째, 실험을 통해 엔진노킹 발생에 따른 Logging Output의 전압 출력 상태를 확인해본 결과 노킹강도에 따라 다르나 최대 6.8V까지 발생하는 것을 확인하였다.

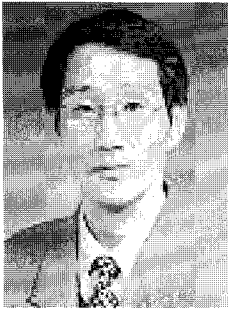
셋째, 안전과 관련하여 ECU 제어를 통해 노킹이 발생하는 것을 미연에 방지해 노킹에 의해 발생할 수 있는 엔진 과열, 피스톤 소손, 엔진에서 발생하는 노킹 소음 등을 예방하여 운전자가 보다 안전하고 쾌적한 운전을 할 수 있을 것으로 본다.

6. 참고 문헌

- [1] LAURA. KISTLER, ANTHONY M, WAAS "Impact response of cylindrically curved laminates including large deformation scaling study" Publish by Elsevier Science Ltd. Vol 21, pp. 61-75, 1998.
- [2] Dinitris A. Saravanos, Andreas P. Christoforou "Low-energy impact of adaptive cylindrical piezoelectric-composite shells", International Journal of Solids and structures Vol. 39, pp. 1757-1779, 2002.
- [3] Y. N. Kim and I. Y. Yang, "Impact Response and Damage of Composite Shell With Various Curvatures", Key Engineering Materials, Vol. 270-273, pp. 1911-1916, 2004.
- [4] Y. N. Kim, K. H. Im and I. Y. Yang, "Characteristics of Impact Damages and Response in CFRP Composite Shells", Materials Science Forum, Vol. 465-466, pp. 247-252, 2004.
- [5] Im, K. H., Sim, J. K. and Yang, I. Y., "A Study on Impact Response Damage Behavior of CF/Epoxy Composite Laminates", Transactions of the KSME, Vol. 26, No. 5, pp. 835-842, 2002.
- [6] Nam, H. W., Jung, S. W. and Han, K. S., "Stacking Sequence Effects on Indentation Damage Behaviors of Fiber Metal Laminate", Transactions of the KSME, Vol. 26, No. 5, pp. 960-968, 2002.
- [7] Cantwell, W. J. and Villanueva, G. Reyes, "The high velocity impact response of composite and FML-reinforced sandwich structures", Composites Science and Technology 63, pp. 1-20, 2003
- [8] Krishnamurthy, K. S., Mahjin, P. and Mittal, R. K., "Impact Response and Damage in Laminated Composite Cylindrical Shells," Composite Structures, Vol. 59, pp. 15-36, 2003.
- [9] Wardle, B. L. and Lagace, P. A., "Behavior of Composite Shells under Transverse Impact and Quasi-Static Loading," AIAA Journal, Vol. 36, No. 6, pp. 1065-1073, 1998.
- [10] Wardle, B. L. and Lagace, P. A. "Importance of Instability in Impact Response and Damage Resistance of Composite Shells," AIAA Journal, Vol. 35, No. 2, pp. 389-396, 1997.
- [11] Cho, Y. J., Kim, Y. N. and Yang, I. Y., "Energy Absorption Characteristics of CFRP Laminated Shell According to High Speed Penetration", KSPE Proceeding, pp. 912-915, 2004.
- [12] Kim, Y. N., Kim, J. H. and Yang, I. Y., "Influence of Stacking Conditions on the Absorbed Energy Characteristics of Composite Tubes", Vol. 18, No. 11, pp. 34-41, 2001.
- [13] Im, K. H., Park, N. S., Kim, Y. N. and Yang, I. Y., "A Study on Impact Characteristics of the Stacking Sequences in CFRP Composites Subjected to Falling-Weight Impact Loading," International Journal of Automotive Technology, Vol. 4, No. 4, pp. 203-211, 2003.

저 자 소 개

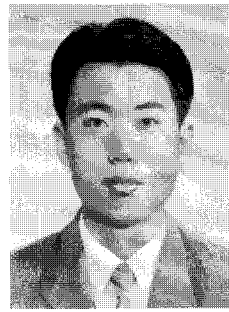
양 현 수



현 군장대학 자동차 디지털 공학부 부교수로 재직 중이며, 조선대학교 정밀기계과 학사, 인천대학교 공학 석·박사 학위 취득. 현재 서울대학교 조선해양공학과 박사과정 재학. 주요 관심분야는 자성 재료, 자동차 재료 개선 및 복합 재료 분야, 조선 관련 분야, 해양 관련 분야

주소: 전북 군산시 성산면 도암리 608-8 군장대학 자동차디지털공학부

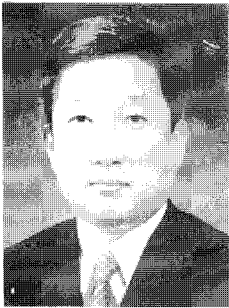
임 주 헌



현 서울자동차고등학교 자동차과 교사로 재직 중이며 호원대학교 공학사, 원광대학교 교육학석사, 현 인천대학교 공학박사과정에 재학 중이며 주요 관심분야는 자동차성능시험, 용접실무, 파괴역학, 조선 관련 분야이다.

주소: 서울시 용산구 효창동 5-198 서울자동차고등학교 자동차과

천 동 준



현재 벽성대학 부학장 이면서 자동차과 교수이고, 기아자동차 연구소에서 선임연구원으로 재직하면서 자동차 터보차저에 관한 분야를 연구하였고, 또한 단국대학교 대학원 공학석사, 경희대학교 공학박사, 관심분야는 자동차 터보차저 및 가솔린 기관의 노킹에 많은 연구를 진행 중

주소: 전북 김제시 공덕면 공덕리 51-25 벽성대학 자동차과