

실험적 방법을 이용한 자동차 부품의 고장신호 분석, Part 1 - 엔진의 이상 신호 분석 위주

Fault Signal Analysis of the Automotive Components using Experimental Method, Part 1 - Consideration of the Engine Signals

박상길*·박원식*·이해진*·홍우경**·오재응†

Sang-Gil Park, Won-Sik Park, Hae-Jin Lee, Woo-Gyoung Hong and Jae-Eung Oh

Key Words : Fault signal(고장신호), Coherence analysis(기여도 분석), RMS(실효치), Crest factor

ABSTRACT

자동차의 고장은 그 종류나 특징면에서 다양하게 나타나게 되므로 자동차의 진단과 점검에는 많은 노동력과 비용, 시간이 소요되며 운전자에 의한 정보를 기대하기 힘든 경우에는 진단이나 정비과정에 많은 어려움을 겪게 된다. 따라서 본 연구에서는 운전자에 의한 일반적인 정보와 진동·소음센서에 의한 정보의 신호처리기술을 종합하여 자동차 부품의 이상 신호 분석을 하였다. 그리고 정상 상태 대비 이상 신호에 따른 진동·소음 데이터 변화율을 계산하여 작동 모드 별 실내음압에 영향을 미치는 신호 및 해당 주파수 특성을 분석하였다. 이에 따라 자동차 정비 전문가 시스템 구축을 위한 기초 연구로 엔진부의 이상 신호와 각 부품 별 이상 신호로 나누어 분석하여 데이터 처리 과정 및 이상 증상 별 경향 파악에 본 연구의 목적을 둔다.

1. 서 론

수만개의 부품으로 구성된 자동차는 산업사회의 고도화와 함께 현대사회의 주요한 운송수단으로 자리잡게 되었으며, 생활환경의 향상과 더불어 성능이나 구조면에서 계속적으로 발전하고 있다. 한편, 자동차에 대한 수요의 증가와 제품의 다양화는 많은 정비기술자와 축적된 진단기술을 요구하고 있지만 숙련된 고급 정비인력과 자동차의 발달에 따른 진단 기술의 다양화는 그 수요에 미치지 못하고 있는 실정이다. 기존 자동차 진단 시스템은 차량의 전자제어유닛(ECU)에서 발생시키는 신호를 분석하거나 운전자와의 대화를 통하여 진단하는 방식으로 개발되었다.⁽¹⁾ 그러나 고장으로 인한 소음과 같은 특정 현상에서는 운전자의 정보를 기대하기 어렵고, 전자적인 신호의 분석만으로는 진단 장비 구축에 대한 어려움 등 많은 애로사항이 발생할 수 있다. 실제로 여성운전자의 증가와 대다수 운전자들에게 무의식적으로 팽배해져 있는 안전 불감증 문제는 자동차 고장에 의한 진단이나 정비 방법이 더욱 복잡하고, 조기발견에 의한 돌발 고장의 발생빈도가 증가하는 상황에서 속수무책으로 다가오고 있다. 따라서 운전자

의 주관적 고장 판단과 정비 회사의 전문가적인 고장 판정의 불일치에 대해 쌍방이 납득할 만한 고장 평가 방법이 요구되어 왔으며, 또한 기존의 정비 전문가들이 가진 지식이나 경험, 그리고 새로운 정비 지식 등을 집약하여 표준화하는 것도 매우 중요한 문제로 제기되고 있다.⁽²⁾ 이에 따라 자동차 발달에 의한 정비 방법의 상대적인 능력 감퇴를 보완하고, 정비 진단의 정확성을 높일 수 있도록 진동·소음 레벨분석과 고장 주파수 특성분석을 기반으로 한 자동차 정비 전문가 시스템 구축이 요구되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 자동차 정비 전문가 시스템 구축을 위한 첫 단계로써 실제 측정된 진동·소음 데이터를 이용하여 분석한 결과를 소개하고자 한다. 단, 한 차종에 대해 측정된 데이터로 한계점이 있겠지만, 데이터 처리 과정 및 이상 증상 별 경향 파악에 본 연구에 목적을 둔다. 또한, 이상 증상 별 진동과 소음 사이의 주파수 별 기여도 분석과 RMS, Crest factor 등 통계적 처리 기법을 이용하여 진단 시스템의 데이터 베이스를 구축하고자 한다. 전체 논문을 진단결과에 영향을 미치는 많은 작용변수를 고려한 실험 데이터 이용하였기 때문에 편의상 엔진의 이상 소음에 대한 내용(Part 1)과 부품 별 이상 소음에 대한 내용(Part 2)으로 나누어 소개 하기로 한다.

† 책임저자; 한양대학교 기계공학부

E-mail : jeoh@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2294-8294, Fax : (02) 2299-3153

* 한양대학교 기계공학과

** 한양대학교 공학대학원

2. 이상 증상 원인 및 측정 방법

본 절에서는 자동차 이상 증상 원인 중 엔진부에 대한 증상 원인 및 측정 방법에 설명하고자 한다. 엔진부의 이상 신호 측정을 위한 시험 모드는 엔진 공회전 모드와 엔진 오일 유무에 따른 실험특성, 그리고 엔진 과열 시 발생하는 현상에 대해 수행하였다. 이것은 정비 전문가의 조언에 따라 시험 모드를 구축 하였으며, 운전자가 많이 접하고, 쉽게 접근할 수 있는 이상 증상에 대한 시험을 수행하였다. 시험 환경은 배경소음이 작은 밤 11시부터 정비 회사 주차장에서, 측정 차량은 국내에서 생산된 1300cc 급 승용차로 주행 거리는 약 16 만 km 이다.

Fig. 1 은 엔진부 이상 신호 측정을 위한 측정점을 나타낸다. 엔진부의 진동·소음은 주로 엔진룸에서 발생하여 차실내로 전달되지만 문을 닫은 채로 측정하면 200Hz 이상의 소음이 계측되지 않으므로 본넷을 열어 놓은 상태에서 실험을 수행하였다. 각 지점에 소음 측정을 위한 마이크로 폰(B&K 4189)과 진동 측정을 위한 가속도 센서(Rion PV-90B)를 부착하여 근접 신호를 측정하였고, 자동차 실내 운전석의 귀 높이에 마이크로 폰(B&K 4189)를 설치하여 실내 소음을 측정하였다. 모드 별 시험은 상호 독립적으로 수행하였다.



Fig. 1 The location of sensors for measurement of the engine signal

2.1 엔진 공회전 모드

엔진의 공회전 모드는 차량이 정지하고 있는 경우의 타이어가 멈춰있는 상태이므로 노면 가진이나 구동계통의 운동이 없다. 따라서 엔진과 변속장치를 포함한 동력기관(powertrain)에 의한 가진력만이 주원인으로 된다.⁽³⁾ 엔진 공회전 시 진동·소음 발생 원인은 흡·배기 소음, 연소소음, 엔진기계소음, 냉각팬(cooling fan) 소음 등 많은 현상이 있으나, 비교적 쉽게 접할 수 있는 엔진 예열 전·후의 신호, 냉각팬과 클러치 작동 현상에 따른 실험으로 공회전 모드의 기본이 되는 실험을 수행하였다. 최초 엔진

시동 후 고속 RPM 으로 인한 큰 소음이 발생하여 점차 안정 RPM 으로 낮아져 차량 소음도 저감되는 것을 알 수 있다. 이는 엔진의 최상 출력을 위해 알맞은 엔진 온도 도달, 엔진 오일의 정상적인 성능을 발휘하기 위한 것이다. 클러치의 경우 자력이 저하되어 미끄럼 현상이 발생하면 “깁” 하는 소음이 발생하기도 하고 전기적 잡음에 의해 단락이 계속될 때 “착착”하는 소음이 발생한다. 냉각팬은 엔진 과열로 인해 작동되는 부품인데, 자세한 이상 증상 원인은 2.3 절에서 다루기로 한다. 냉각팬의 영향은 차량주행시에는 문제되지 않지만, 차량정체 및 정차시 승객에게 영향을 미치게 된다.

2.2 엔진 오일

엔진 오일은 자동차 운행에 있어 꼭 필요한 품목으로 윤활작용, 밀봉작용, 냉각작용, 부식방지 작용, 세정작용 등 많은 역할을 한다. 엔진 오일 미교환시 오일의 점도 저하로 엔진 각 부의 마멸을 촉진시켜 수명이 단축될 수 있고, 엔진 내부의 불순물 증가로 오일 순환이 불량해져서 연료 소비율이 증가할 수 있다. 또한 엔진의 소음이 커지고 시동이나 가속이 부드럽지 못하게 되는데, 최근 이러한 영향으로 엔진 음질을 좋게 하는 제품 및 엔진 성능을 향상 시켜주는 제품 등 다양한 엔진 오일이 출시되고 있다. 하지만, 아무리 좋은 엔진 오일이라 해도 본인 차량에 알맞은 엔진 오일을 사용해야 자동차 성능을 유지 할 수 있다. 엔진 오일의 점성 차이에 따라서도 엔진 특성이 변할 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구의 엔진 오일 실험에는 다양한 엔진 오일에 따른 실험 수행이 불가능하므로 기본 엔진 오일이 채워져 있는 경우와 물을 넣었을 경우, 엔진 오일을 없앴을 경우에 대해서만 실험을 수행하였다.

2.3 엔진 과열 상태

흔히 오버 히트라 불리는 엔진 과열 상태는 폭염 속 도로 주행 시 계기판의 수온계가 급상승하고 차에서 흰 연기가 발생하면서 엔진 속의 냉각수가 끓어 넘치는 현상을 말한다. 이때 계속해서 무리한 주행을 한다면 노킹소리도 심하고 주행이 불가능할 정도로 출력이 급격히 떨어지며, 끝내는 엔진 실린더가 눌러 붙어 차가 정지하게 된다.

엔진과열의 원인은 첫째가 엔진 냉각수가 부족할 때 발생한다. 주기적으로 클램프의 고정볼트를 재조임해 주어 냉각수의 누수를 방지한다.

둘째, 라디에이터를 식혀 주는 냉각팬이 회전을 하지 않는 경우이다. 라디에이터의 수온센서는 엔진의 현재 온도를 감지하여 설정온도보다 높으면 팬모터를 자동으로 회전시켜 온도를 일정하게 유지하도록 하는데 온도 스위치가 고장일 때는 팬을 회전

시키지 못해 엔진 과열을 일으킨다. 최근에는 전자 제어를 통한 엔진 과열 방지/경고장치가 출시되었지만, 아직까지 엔진 과열로 인해 차량 화재까지 유발하는 사고가 끊이지 않고 있다.

엔진 과열 현상은 시각적 방법인 계기판이나 환연기 발생 확인 등이 더 효과적이지만, 가혹한 조건 상태인 라디에이터의 냉각수가 끊어서 운전적으로 전달되는 소음 및 라디에이터의 진동 영향을 평가하였다. 또한 본넷을 열었을 경우와 닫았을 경우에 대해 데이터를 비교, 분석하였다.

3. 이상 증상 원인 별 고찰

엔진룸에서 발생하여 차실내로 전달되는 실내 소음과 엔진부의 부품 별 진동·소음 신호를 측정하여 이상 증상 원인 별 데이터를 분석하였다. 통계적 기법인 RMS 와 Crest factor 를 이용하여 시험 모드 별 데이터 간 크기 변화율을 분석하였고, 기여도 분석 및 스펙트럼 상의 주파수 특성을 규명하여 이상 증상 원인 별 관심 주파수 대역을 선정하였다.

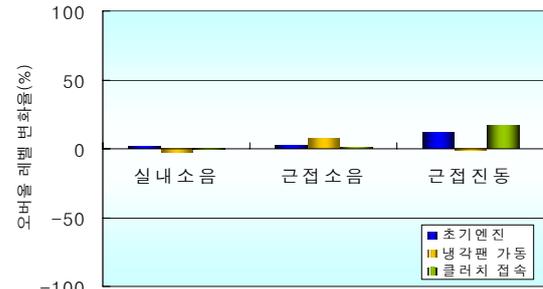
3.1 엔진 공회전 모드

엔진 공회전 모드에서의 주파수 특성 분석이 난해하여 Fig. 2 에서 보는 바와 같이 통계적 기법을 이용한 오버울 변화 성향과 Crest factor 성향을 분석하였다. 엔진 예열 후 정상상태를 기준으로 작동 모드 별 진동·소음의 변화율을 비교한 결과 오버울 레벨 변화율 성향과 Crest factor 성향이 비슷하게 나타났다. 단, 오버울 레벨의 변화율은 전체적으로 큰 차이가 없으나, Crest factor 차이는 크게 발생하였다. 이것은 충격 성분이 발생했다는 근거로 특히, 엔진 예열 전 상태에서 소음 특성 보다 진동 특성이 더 크게 나타났다. 또한, 클러치 접속에도 진동 영향이 더 크게 나타났지만, 소음에는 큰 영향을 미치지 못했다.

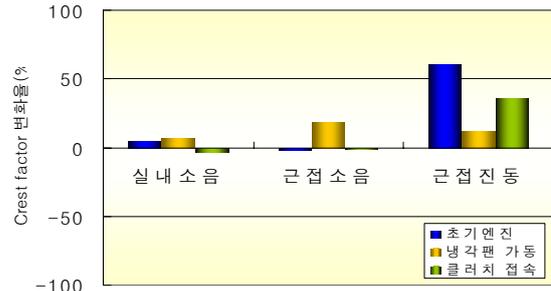
Fig. 3 은 팬 작동 전·후의 실내소음과 근접소음의 기여도 그래프를 나타내는 것으로 팬 작동 시 회전체 특징인 주파수 하모닉 성분이 뚜렷하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.2 엔진 오일

엔진 오일 대신 물을 넣었을 경우와 엔진 오일을 제거하였을 경우 모두 Crest factor 변화율이 크게 나타났다. 오버울 레벨은 진동 크기만 증가하고, 소음은 큰 영향이 없었다. 이것만 보면 근접진동이 실내소음에 기여하지 않는 것처럼 보이지만, Crest factor 변화율을 보면 실내소음 증가량이 두드러진 것을 볼 수 있다. 이로써 근접진동의 충격 성분이

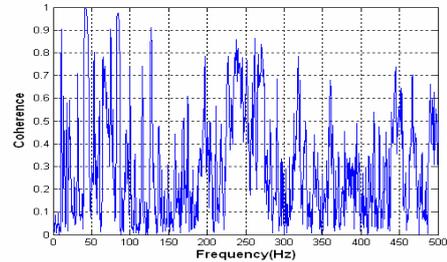


(a) The change rate of overall level

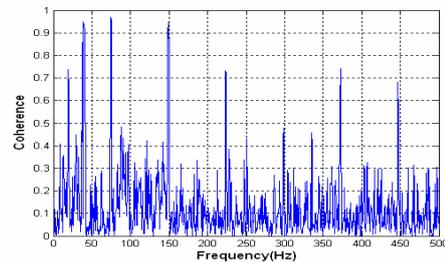


(b) The change rate of crest factor

Fig. 2 The statistics analysis of noise and vibration under idle



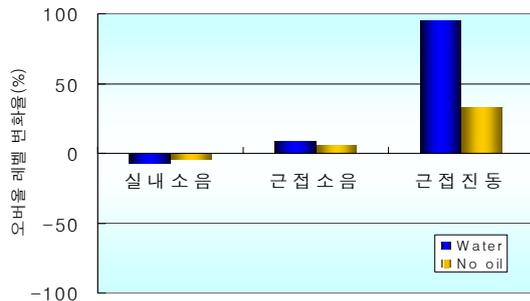
(a) Normal condition



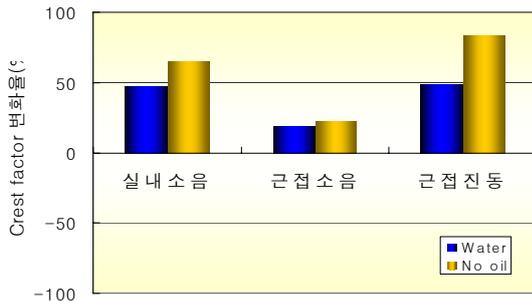
(b) The fan operating

Fig. 3 The coherence between inside and outside noise

실내소음에 어떻게 기여를 하고 있는지 분석하기 위해 정량적 분석보다 정성적 분석을 할 필요가 있었다. 따라서 실내소음에 대한 객관적 음질평가 수행하여 Table 1 에 나타내었다. 초기 상태에 비해 실내소음 크기가 약간 작아졌으나, 운전자를 거칠고 날카롭게 느끼게 하는 음질 인자 값들은 증가하였다.



(a) The change rate of overall level



(b) The change rate of overall level

Fig. 4 The statistics analysis of noise and vibration under engine oil exchange

Table 1 The objective sound quality analysis

	Origin	Water	No oil
SPL(dBA)	60.2	57.2	58.1
Loudness (sone)	16.3	13.3	14.4
Sharpness (acum)	1.21	1.40	1.55
Roughness (asper)	0.291	0.427	0.498
Fluctuation (vacil)	0.0188	0.0361	0.0468

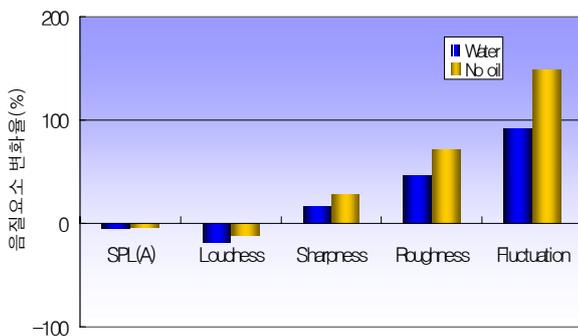
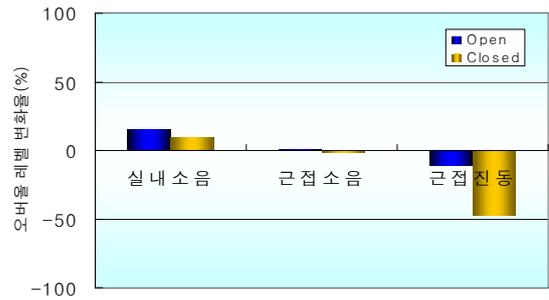


Fig. 5 The change rate of sound quality under engine oil exchange

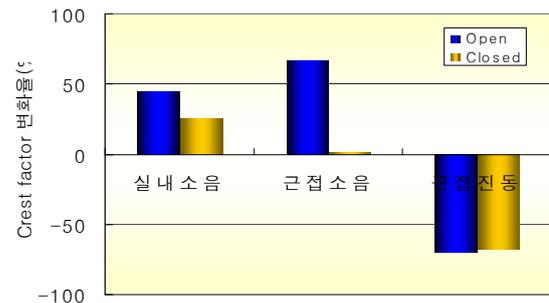
또한, 엔진에 물을 넣었을 때보다 엔진 오일이 없을 경우 소음·진동의 충격 성분이 증가하였고, Fig. 5에서 보는 것처럼 실내소음의 음질에도 같은 경향이 나타났다. 이는 엔진 마찰로 인한 진동·소음 발생이 큰 영향으로 사료된다.

3.3 엔진 과열 상태

Fig. 6에서 보는 바와 같이 실내소음의 오버올 레벨과 Crest factor가 증가하였고, 당연히 본넷을 열고 측정했을 경우 실내소음이 크게 나타났다. 특히, 본넷을 닫을 때 근접소음의 Crest factor 감소가 두드러졌다. 전체적으로 진동량은 감소하였으나 실내소음이 증가한 것으로 보면, 오버 히트 상태에서는 진동보단 소음의 영향이 크다고 볼 수 있다. 따라서 Fig. 7에 실내소음과 근접소음의 주파수별 기여도 분석을 수행하였다. 냉각수가 끊으면 100~300Hz의 소음 기여도가 커지고, 본넷을 닫으면 다시 없어지는 것을 알 수 있다.

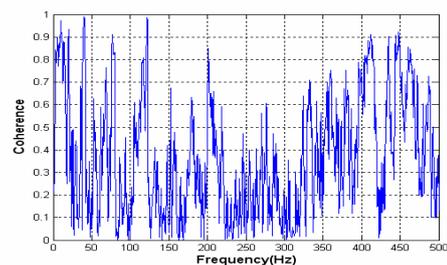


(a) The change rate of overall level

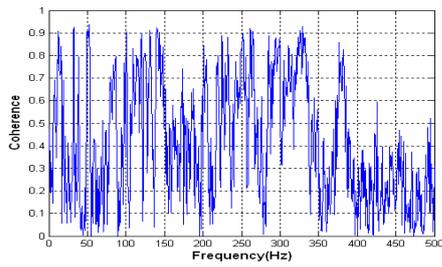


(b) The change rate of overall level

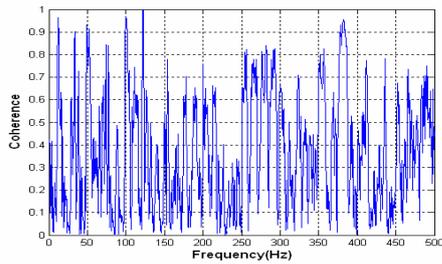
Fig. 6 The statistics analysis of noise and vibration under overhit



(a) Normal condition



(b) Bonnet opened



(c) Bonnet closed

Fig. 7 The coherence between inside and outside noise

4. 결론

본 연구에서는 자동차 정비 전문가 시스템 구축을 위한 기초 연구로 한 차종에 대해 이상 증상 별 진동·소음 데이터를 측정하여 통계분석 및 기여도 분석을 수행하였다. 전체 이상 증상 중 엔진부에 대한 실험 및 데이터 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 엔진 공회전 모드에서 작동 모드 별 진동량은 크게 증가하였으나, 실내소음에는 큰 영향을 미치지 않았다. 특히, 엔진 예열 전이나, 클러치 접속 시 진동량이 증가했음에도 소음에는 기여도가 없었다.

(2) 엔진 오일 변화에 따른 실험 결과 작용변수에 따라 실내소음의 크기는 감소하였으나, 운전자가 느끼는 음질적인 측면에서는 부정적으로 예상된다.

(3) 엔진 과열 상태에서 실내소음에 영향을 미친 인자는 근접진동보단 근접소음의 영향이 더 크게 나타났다.

이상의 결과를 종합하여 이상 증상에 따라 실내소음에 영향을 미치는 관심 주파수 대역을 정리하여 Table 2에 나타내었다

Table 2 The objective frequency region of the inside noise according to operating mode of the engine

Frequency(Hz)				
엔진 오일	정상상태	팬작동	예열전	오버 히트
27~29	34~36	40~41	42~45	50~52

본 연구를 통해 자동차 고장 진단을 위한 데이터 처리 과정 및 이상 증상 별 경향을 파악함으로써, 추후 다양한 차량에 대해 시험을 수행하여 데이터 베이스가 구축 된다면, 보다 쉽고 객관적인 정비가 이루어 질 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) 오재응 등, 1993, “부품 고장 On-line 진단 시스템 개발, 연구보고서”, 한양대학교, 3 장.
- (2) 신준, 1990, “Fuzzy 추론에 의한 자동차 고장 진단 전문가 시스템의 개발”, 한양대학교 석사학위 논문.
- (3) 사종성 등, 2006, “자동차의 진동소음의 이해”, 청문각, pp. 114~116