

# 승용차 연료탱크의 유량변화에 따른 진동 소음 특성

## Characteristics of Vibration and Noise due to Various Fuel Quantity in Vehicle Fuel Tank

안성덕\*\*\*·김찬목†·강태원\*·사종성\*\*·권요섭\*\*\*·임동민\*\*\*

Sungdeok Ahn, Chanmook Kim, Jongsung Sa, Taewon Kang, Joseph Kwon, Dongmin Lim

**Key Words** : Fuel Pump(연료펌프), Fuel Tank(연료탱크), Fuel Quantity(유량), Acoustic Camera(음향 카메라), Mode Shape(모드형상)

### ABSTRACT

Vibration originated from the fuel pump is transmitted to the fuel pump module and fuel tank. Fuel tank transmits it to chassis of vehicle. Also, noise perturbed through fuel and fuel tank is radiated out. Dynamic characteristics of fuel tank are composed of tank structure and containing fuel quantity. Therefore, this study is focused at fuel tank with various quantity. As a result, characteristics of vibration for various fuel quantity in a tank are identified as the more mass of fuel is, the less the 1st resonance frequency decrease. Also, between acoustic camera and mode shape of modal analysis are used for searching the positions of radiated noise and are found to be in accordance with each other.

변하는 연료탱크의 모드형상(mode shape)을 통해 소음이 크게 나타나는 위치를 알아보고 음향카메라(acoustic camera)를 이용해 이를 확인하였다.

### 1. 서 론

승용차의 승차감은 진동소음 저감기술이 발전 할수록 더욱 요구되고 있다. 연료공급 시스템도 그 중 하나이다.

자동차의 동력기관에 연료를 공급하는 연료펌프는 고속으로 회전하며 회전체의 질량 불균형, 연료유입구와 임펠러 사이의 압력 차이에 의해 진동과 소음이 발생한다. 저주파 진동과 소음은 차체를 통해 실내로 유입되고 고주파 소음은 차량 외부로 방사된다.

연료펌프에 의해 발생하는 진동은 연료펌프 모듈을 통해 연료탱크를 거쳐 차체로 전달된다. 또한 소음은 액체인 연료와 연료탱크의 내부 공간을 통해 연료탱크를 투과하여 외부로 방사된다. 연료탱크의 특성은 연료펌프에 의한 진동과 소음에 많은 영향을 끼친다.

본 연구에서는 연료탱크를 중심으로 연료펌프에 의해 발생하는 진동과 소음의 특성을 알아보고자 한다.

차량의 연료량은 항상 변화하는 것이기에 유량에 따라 진동 소음이 어떻게 변화하는지 확인해 보고, 유량에 따라

### 2. 시험장치 구성

#### 2.1 연료펌프 단품 시험장치

3축 가속도계를 Fig.1처럼 연료펌프의 상단부에 부착하고 microphone을 연료펌프 위쪽 10cm에 위치하였다. 연료펌프 어셈블리의 조건과 가깝게하여 시험오차를 줄이기 위해 지지대를 사용하였다.

연료펌프가 연료탱크에 장착 되었을 때 잠기는 유량 높이를 측정, 비이커에 그 높이를 표시하여 측정하였다.

사용된 장비의 종류 및 수량은 Table 1과 같다.

연료는 가솔린과 같은 점성을 갖는 대체 연료를 사용하였고, 유량을 10~70L까지 변화시켰다. 실차와 같은 조건으로 공급전압은 13.5V, 유압은 0.38MPa이며 연료펌프는 3개의 단품을 사용하였다.

Table 1 사용 장비

No.	장 비 명	수량	모델명
1	LMS CADA-X (FFT Analyzer)	1	V.3.5.F
2	Microphone	1	G.R.A.S 40AE
3	3축 Accelerometer	1	PCB35615
4	Power Supply	1	DY 156-51C
5	Pressure Gauge	1	WO81

† 교신저자 : 정희원, 국민대학교 자동차전문대학원  
E-mail : cmkim@kookmin.ac.kr  
Tel : (02) 910-4683, Fax : (02) 919-0514

\* 정희원, 국민대학교 기계자동차공학부

\*\* 정희원, 서울대학 자동차과

\*\*\* 정희원, 국민대학교 자동차전문대학원

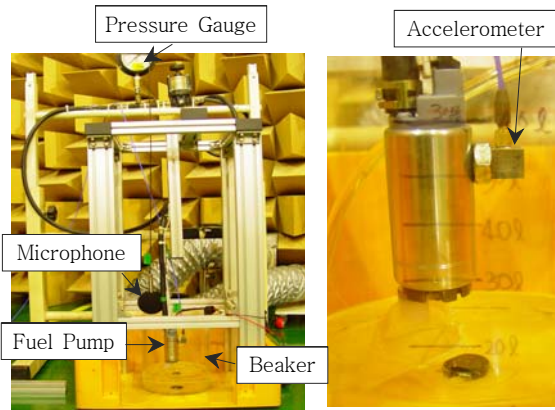


Fig.1 연료펌프 단품 시험장치

## 2.2 연료탱크 시험장치

### (1) 연료펌프 가동시험

연료펌프의 진동은 모듈을 통해 연료탱크로 전달되므로 실제 연료탱크에 영향을 주는 진동을 확인하기 위해 Fig.2 와 같이 연료펌프 모듈 바로 위쪽에 가속도계를 설치하여 진동을 측정하였다.

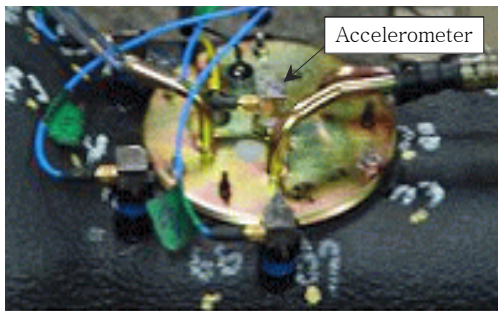


Fig.2 연료탱크 시험시 가속도계 위치

연료펌프 단품 시험과 같은 전압과 유압에서 10~70L까지 유량을 변화시켜 가며 진동과 소음을 측정하였다.

또한 음향 카메라를 이용하여 소음이 많이 발생하는 위치를 측정하였다.

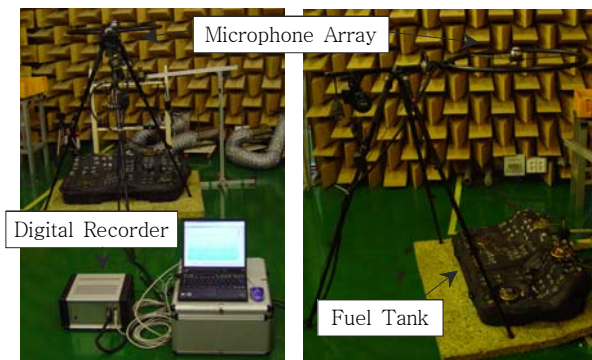


Fig.3 연료펌프를 체결한 연료탱크의 음향 카메라 시험 장치

Table 2 음향 카메라의 장비 및 모델명

No.	장비명	수량	모델명
1	Software	1	Noise image 2D
2	Microphone Array	1	Ring 32-75
3	Digital Recorder	1	DREC 192

### (2) modal 시험

가진점을 일정하게 하고 3축 가속도계를 옮겨가며 79개의 노드점을 선정하여 측정하였다.

유량을 10~70L로 변화시키며 시험하였다.

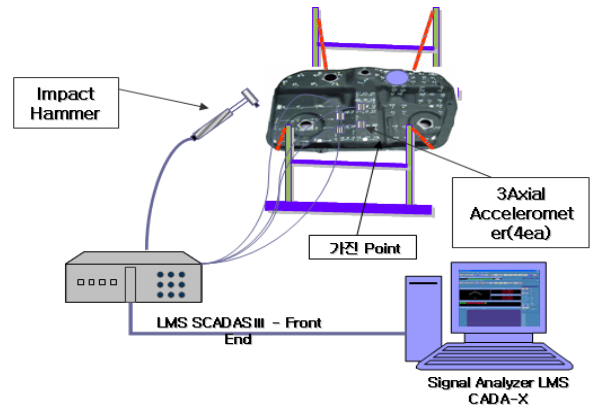


Fig.4 연료탱크 modal 시험 setup

## 3. 시험 결과

### 3.1 연료펌프의 연료탱크 장착 시 특성 변화

연료펌프는 Fig.5에서 보이는 것처럼 연료펌프의 회전수를 기준으로 1차 주파수와 그 하모닉 성분들이 진동의 주를 이룬다. 특히 그 중 정류자 편 영향으로 8의 배수 성분의 진동 특성이 크게 나타난다. 또한 대상 연료펌프의 임펠러수가 53매로, 53차 주파수가 나타난다.

연료펌프가 모듈에 연결되어 연료탱크에 체결되었을 때는 Fig.6에서 보이는 것처럼 1차 주파수와 53차 주파수의 진동이 크게 나타난다. 따라서 유량별 진동 특성을 파악할 때 1차 주파수를 가진 주파수로 두어 진동의 특성을 파악했다.

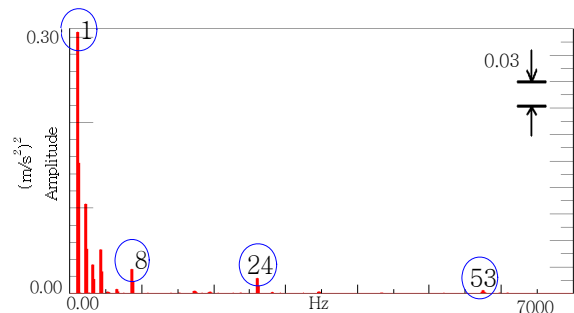


Fig.5 연료펌프 진동 특성 (단품 40L)

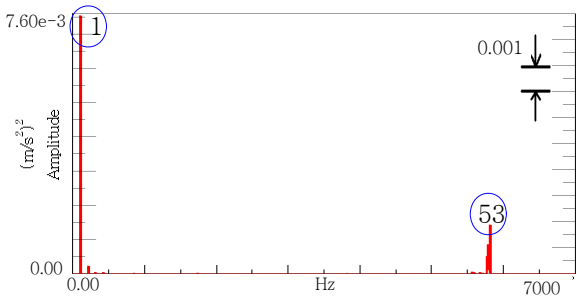


Fig.6. 연료펌프를 체결한 연료탱크의 진동 특성 (단품1 40L)

측정된 소음은 연료펌프가 연료탱크에 체결 되었을 때 1차 주파수의 소음 크기는 증가하였고 53차 주파수의 소음 크기는 감소하였다.

### 3.2 유량 변화에 따른 진동 특성

Table 3은 각 단품의 유량별 1차 주파수를 나타낸 것이다. 측정된 유량 변화에 따른 연료펌프 단품의 1차 주파수는 변화가 거의 없고, 연료펌프를 모듈에 끼워 연료탱크에 장착할 경우 강성의 변화로 연료탱크에서 나타나는 가진 주파수는 단품 상태의 연료펌프에서 측정된 주파수보다 증가한다.

연료펌프를 체결한 연료탱크에서는 유량 증가에 따른 질량의 증가로 연료탱크의 고유진동수가 낮아져 가진 주파수가 감소한다.

연료펌프에서 연료펌프 체결 시 연료탱크의 가진 주파수는 10L일 때 3.2~8.7% 증가, 70L일 때 0.7~2.9% 감소로 체결에 의한 강성의 영향보다 유량에 의한 질량의 영향이 더 큼을 확인하였다.

Table 3 유량별 주파수

유 량	단품 1 (Hz)		단품 2 (Hz)		단품 3 (Hz)	
	연료펌프 1차 주파수	연료탱크 가진 주파수	연료펌프 1차 주파수	연료탱크 가진 주파수	연료펌프 1차 주파수	연료탱크 가진 주파수
10L	108.13	117.50	117.50	121.25	118.13	122.50
20L	108.13	113.13	117.50	121.25	117.50	120.00
30L	108.13	110.00	118.13	121.13	117.50	119.38
40L	108.75	109.38	117.50	120.00	116.88	119.63
50L	108.13	109.88	117.50	121.88	116.88	120.00
60L	108.13	109.38	116.88	120.00	116.88	118.13
70L	108.75	105.65	117.50	116.25	116.25	115.38

### 3.3 유량변화에 따른 소음 위치

연료펌프가 연료탱크에 체결 되었을 때 1차 주파수에서 가장 큰 진동이 나타난다. 그렇기에 저주파 소음의 방사는

연료탱크의 가진 주파수와 같은 주파수에서의 연료탱크 모드 형상이 많은 영향을 준다.

Fig.7은 40L 단품2의 120Hz에서의 모드 형상이고 Fig.8은 40L 단품2의 음향 카메라로 찍은 소음이 가장 크게 나타나는 부분의 그림이다.

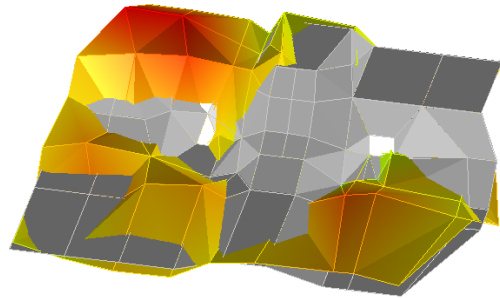


Fig.7 40L 단품2의 모드 형상 (120Hz)



Fig.8 40L 단품2의 음향 카메라로 찍은 소음 위치

위의 두 그림에서와 같이 유량별 연료탱크의 가진 주파수의 모드 형상과 3가지 단품을 연료탱크에 체결하여 가동시켰을 때 음향 카메라로 찍은 소음이 가장 크게 나타나는 부분이 대부분 일치함을 확인 할 수 있다.

Fig.9는 단품 2의 유량에 따른 모드 형상이 크게 나타나는 부분이고 Fig.10은 음향 카메라로 찍은 유량별로 소음이 크게 나타난 부분이다. 10L를 ①, ... 70L를 ⑦로 표현하였다.

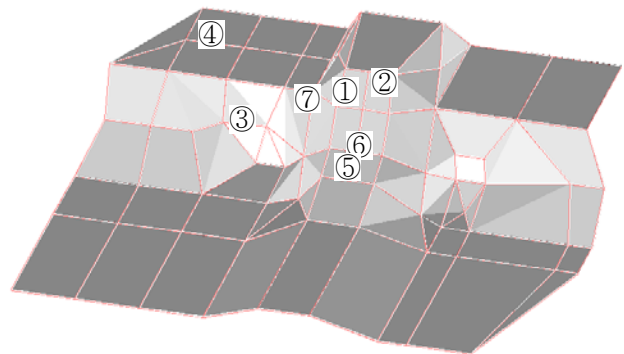


Fig.9 유량별 모드 형상이 크게 나타나는 위치

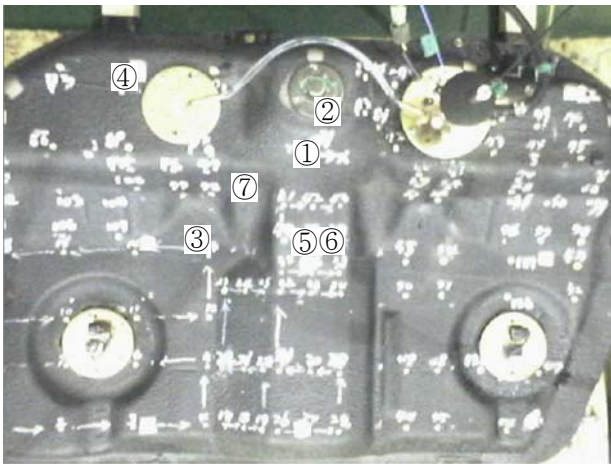


Fig.10 acoustic camera로 찍은 유량별 소음이 크게 나타나는 위치

### 5. 결론 및 고찰

연료펌프에서는 1차와 53차 주파수와 1차 주파수의 8의 배수 성분이 크게 나타나며 연료펌프가 연료탱크에 체결되었을 때는 다른 차수 성분은 줄어들고 가진 주파수가 두드러지게 나타난다. 진동과 소음이 연료탱크를 통해 나타나기에 가진 주파수를 관심 주파수로 선택하여 시험하는 것이 필요하다.

유량변화에 따른 주파수의 특성은 연료펌프 단품일 때는 유체의 저항이 연료펌프에 큰 영향을 주지 못해 일정하게 나타났다.

연료펌프가 연료탱크에 체결될 때 강성이 증가하여 체결시 가진 주파수가 연료펌프 단품일 때 보다 증가한다. 연료탱크의 유량이 증가함에 따라 연료탱크의 질량이 증가, 고유진동수가 감소하여 가진 주파수는 감소하게 된다.

연료탱크의 유량변화로 인한 방사소음의 위치는 모드 형상과 음향 카메라에서 대부분 일치하였음을 확인하였다. 음향 카메라는 측정 시 소음 크기도 확인할 수 있어 소음 제어에 위한 체진재의 설계에도 적용 될 수 있으리라 사료된다.

### 후 기

음향 카메라로 도움을 주신 에스브이(주)와 무향실을 쓸 수 있도록 허락하신 (주)현담산업 관계자에게 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- (1) Victor R. Lake, "Noise Measurements of Electric In-Tank Fuel Pumps", SAE870982
- (2) 우메무라 코지와 2인, "탱크 내부 액체의 음장해석에 의한 연료펌프의 작동음 연구", 일본자동차기술회 1990년
- (3) 나병철외 2인, "누설특성을 고려한 GDI 엔진용 연료펌프의 고압생성 증진에 관한 연구", 대한기계학회논문집, 24권6호, 2000, pp.785 ~ 791
- (4) 박성호외 4인, "연료탱크의 슬로싱 진동 및 소음에 관한 모델링 및 해석", 한국자동차공학회 1998년도 춘계학술대회, pp.563 ~ 568
- (5) 박기진외 1인, '배플을 적용한 액체연료탱크 내의 슬로싱 억제기법 연구', 한국소음진동공학회 2003년 춘계학술대회, pp.917 ~ 920
- (6) 심재기의 1인, "연료펌프 진동검사 프로그램 개발", 한국자동차공학회 2003년도 추계학술대회, pp.768 ~ 773
- (7) 강태식의 1인, "질량법칙을 이용한 연료펌프 특정음 저감 방법", 한국자동차공학회 2004년도 추계학술대회, pp.759 ~ 763
- (8) 강태식, "자동차 연료펌프 날개깃 모양에 따른 소음변화의 실험적 연구", 한국자동차공학회 2006년도 추계학술대회, pp.1773 ~ 1778