

LPLi 연료펌프의 맥놀이 소음 저감 연구 Reduction of Beating noise at LPLi pump

강 태 식† · 심 재 기*

Tae Sik Gang, Jae Gi Sim

Key Words : Liquid Phase LPG injection (LPLi) fuel pump noise & vibration (LPG 직접분사방식 연료펌프 소음진동) impeller type LPLi pump(impeller type 의 LPG 펌프), Beating noise(맥놀이 소음)

ABSTRACT

Until now LPG car has driven used to mixer and vaporizer. So LPG car always has problems back fire and when in the winter. LPG Car's Fuel consumption is rather than gasoline. But LPLi Fuel pump located in the fuel tank is directly injection in the engine. So Fuel consumption is better than LPG mixer system and result to reduced exhaust gas.

In this paper to reduction of beating noise of LPLi(liquid phase LPG Injection) fuel pump

General speaking we know, beating noise is occur to near frequency each of pump. So we Modification of RPM through change of amature turn number and area of dimension of the pump's body

1. 서 론

지금까지의 LPG 는 공기 중에서는 가스형태로 존재하기 때문에 기존에는 자동차엔진에 믹서(mixer)라는 장치를 통해 손쉽게 연료를 공급하여 왔지만 가스는 부피를 많이 차지하게 되고 공기가 엔진으로 들어가는 것을 방해하기 때문에 엔진출력이 감소되고 경우에 따라서는 역화(back-fire) 거울절에는 기체로 증발이 잘 되지 않아 시동이 잘 걸리지 않는 단점이 있었다^{(1),(2)}.

이 때문에 LPLi(LPG 직접분사방식)이 개발되었고 LPG 믹서차량에 비해 LPLi 방식의 차량은 출력 성능이 약 15% 정도 증가하여 동급 가솔린 차량과 대등한 가속성능 및 출력을 내고 있으며, 연비도 약 7~9% 개선되는 것으로 평가되고 있다. LPG 가스의 특성 때문에 배출가스성능도 청정한 것으로 평가되어 촉매에도 부하를 줄여줌으로써 촉매원가가 저감 되는 이점이 있다.⁽³⁾

LPLi 연료펌프는 가솔린 연료펌프를 두개로 사용하는 방식으로 개발되었다.

동일 가솔린 모터를 두개 사용함에 있어 공정 산포상 동일 회전수가 이루어지지 않음으로 흔히 맥놀이 소음을 발생 시킨다.

이 논문에서는 LPLi 연료펌프의 맥놀이를 줄이고자 하는 방향으로 흔히 일반적으로 사용되는 회전수 변경을 통해 맥놀이가 발생하는 영역을 회피함으로써 맥놀이 소음을 저감하고자 한다.

특히나 개발단계에서 문제가 되었던 고주파 임펠러 소음과 저주파 성분에서의 맥놀이 소음 중에서 고주파 소음은 차폐체를 사용해서 차폐를 시키고 차폐가 잘 되지 않은 저주파 성분의 소음을 저감하고자 한다.

† 책임저자:현담산업 시험평가팀

E-mail : trust88@hyundai.com

Tel : (041)539-7314, Fax : (041) 539-7380

* 조선대학교 기전공학과

2. 이론적 배경

2.1 맥놀이의 이론적 배경

진폭이 같고 진동수가 다른 f_1, f_2 인 두개의 음파가 한 점을 지난다고 생각하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} y_1 &= A \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) \\ y_2 &= A \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2) \end{aligned} \quad (1)$$

이들 변위의 합은

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= A[\cos(2\pi f_1 t + \varphi_1) + \cos(2\pi f_2 t + \varphi_2)] \end{aligned} \quad (2)$$

삼각함수정리에 의해 정리하면

$$\begin{aligned} y &= 2A \cos\left[2\pi\left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right)t + \left(\frac{\varphi_1 - \varphi_2}{2}\right)\right] \\ &\times \cos\left[2\pi\left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right)t + \left(\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{2}\right)\right] \end{aligned} \quad (3)$$

합성된 음파의 진동수는 초기 진동수의 평균인 $\frac{1}{2}(f_1 + f_2)$ 이라고 간주한다. 원래 음파의 진동수차의 반인 진동수 $\frac{1}{2}(f_1 - f_2)$ 로써 시간과 같이 변한다.

진폭의 최대값은 $\cos 2\pi\left[\frac{f_1 - f_2}{2}\right]$ 가 +1, -1 일때 생기며 이 값은 매 사이클마다 한번씩 가지게 되므로 최대진폭은 두 번 나타난다.

결론적으로 맥놀이는 원래 음파의 진동수 차인 $f_1 - f_2$ 와 같다.

일반적으로 맥놀이는 두 진동수가 약 10 사이클보다 더 차이가 생길 때 구별하기 힘들다.

3. 연료펌프의 모듈 및 펌프구조

3.1 LPLi 연료펌프 단품 및 모듈 구조

LPLi 연료펌프 또한 가솔린 자동차의 펌프를 그대로 사용한 것으로 회전력을 얻기 위해서 영구직류모터를 사용한다.

펌프의 하단에는 임펠러(Impeller)가 장착되어

회전력으로 연료를 에어갭(Air-gap)으로 송출한다. 이 연료는 펌프외부에 설치된 체크밸브(Check valve)를 거쳐 연료라인으로 공급된다.

가솔린 펌프에서는 체크밸브(Check valve)는 키-오프(key-off)시 연료펌프(Fuel Pump)와 레일(Rail)간 연료의 양 및 압력을 일정하게 유지시키는 역할을 한다.

연료라인에 문제가 발생하였을 때 (예:라인의 압력이 규정값 이상으로 올라갔을 때)는 펌프의 상단에 설치된 릴리프 밸브(Relief valve)가 열려 연료를 탱크내로 직접 순환시킨다. (4),(5)

LPLi 연료펌프는 연료압력이 5bar, 경우에 따라서는 더 높아질 수 있으므로 임펠러를 기존의 1 메인 가솔린펌프를 2 개로 변경하여 임펠러가 부담을 압력을 1/2로 줄였다.

2 개의 임펠러(impeller)를 적용하는 또 하나의 이유는 하나의 임펠러로는 임펠러와 펌프부의 간극으로 연료가 누설되어 가솔린과 LPG 연료 특성을 감안하면 LPG 쪽의 누설이 가솔린보다 더 발생하여 2 개를 사용하여 누설량을 줄이기 위함이기도 하다. 그리고 펌프쪽의 relief 및 check valve 를 모듈에 장착하였다.

FIG.1 에서는 각 각의 펌프를 나타내었고 FIG.2 에서는 이것이 모듈화된 후의 그림을 도식적으로 나타내었다.

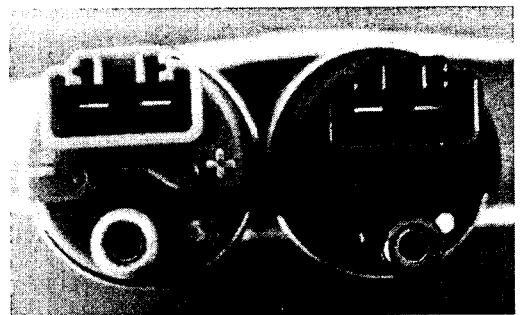


Fig.1 pump For LPLi

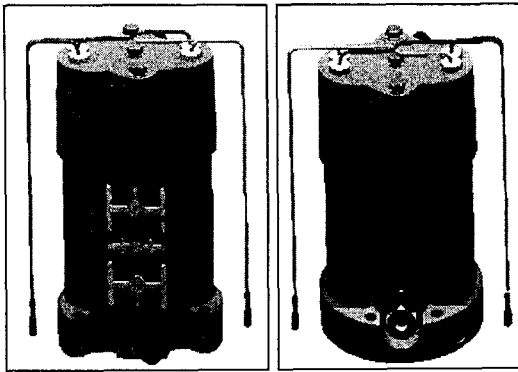


Fig. 2 .Fuel Pump Module for LPLi

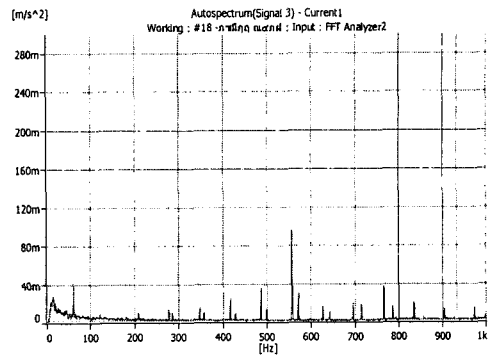


Fig.3 Sound & Vibration Measurement of LPLi pump

3.2 LPLi 연료펌프 소음측정

펌프를 개발함에 있어 소음측정하는 방법으로는 펌프 단품 상태를 가솔린에서 측정하는 방법과 그 펌프를 bombe 상태에 장착하여 LPG 연료를 사용하여 소음을 측정하는 방법을 사용한다.

Fig3 은 단품 상태에서의 소음측정 방법과 측정 그래프를 나타낸 것이고 Fig4 는 bombe 에 장착했을 때의 측정방법과 측정 그래프를 나타내었다. 그리고 마지막으로 Fig.5 에서는 실제 차량에서의 소음 측정 위치와 그래프를 나타내었다.

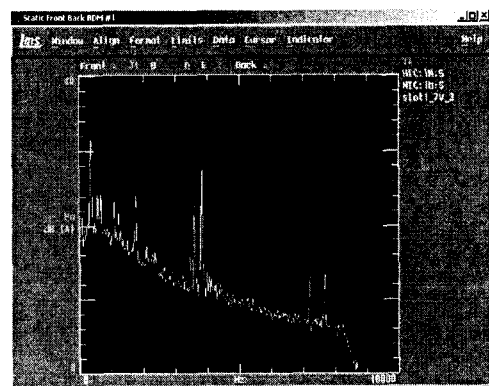
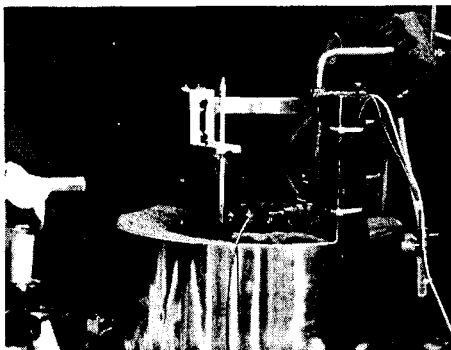
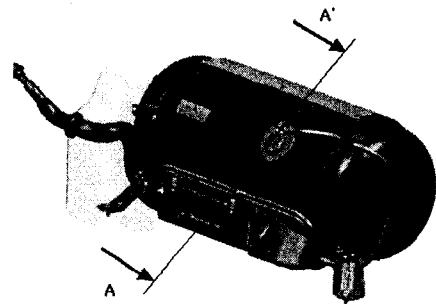


Fig.3 sound & vibration Measurement of LPLi Bombe

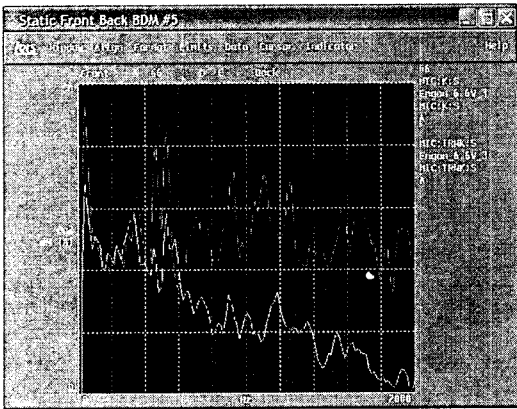
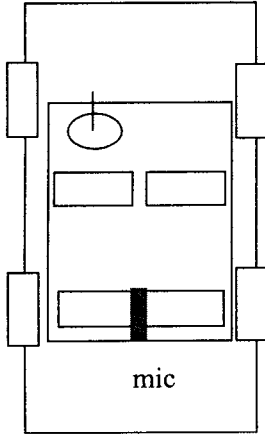


Fig.4 sound measurement of LPLi pump in the car

펌프와 bombe 상태 그리고 실제 차량에서의 그래프를 비교해보면 펌프의 진동 및 소음이 항상 쌍으로 나타나는 것을 알 수 있고, 이것은 앞에서 언급한 것 처럼 동일 사양의 펌프를 사용함에 있어 공정 및 생산기술면의 공차에 의해 회전수가 변하여 한음의 근접부근에서 또 하나의 음이 발생하는 맥놀이(beat)현상이 발생한다고 판단된다. 또한 그래프를 자세히 보면 펌프 단품에서의 주파수에서의 맥놀이가 실차에서의 맥놀이로 진행되는 것으로 보아, 펌프 단품에서 맥놀이 현상을 피하는 것으로 실차에서도 맥놀이의 주파수를 피할수 있다고 유추할 수 있다. 때문에 이후에는 펌프 단품에서 각 펌프의 회전수를 변경하여 각각의 소음이 10Hz 이상 떨어지게 하기로 하였다.

3.3 펌프의 회전수를 변경하는방법

연료펌프의 기계적인 요인에 의한 모터의 진동은 식(4)와 같이 회전주파수의 배수성분으로 표현한다

$$F_n = \frac{kN}{60} \quad k:\text{정수 } N:\text{RPM} \quad (4)$$

펌프의 아마추어 사양을 변경하는 방법과 펌프부의 유로 단면적을 변경하는방법을 통해 회전수를 각각 300RPM 정도 낮추는 방안이 검토하였다.

자세한 방법으로는 Turn 수의 변경 사항은 아마추어 제작 시 한 turn 를 더 감아 RPM 을 300RPM 정도 낮추면 식에 의해 1차 기본주파수가 5Hz 떨어져 발생하므로 현재 문제시 되는 저주파 소음은 40 Hz 차이로 10Hz 이상 차이가 나므로 맥놀이 소음으로 발생되지는 않는다

또하나의 방법으로는 아마추어 사양은 그대로 두고 펌프부의 유로 단면적을 변경하는 방식으로 변경내용은 Fig.5 와 같다.

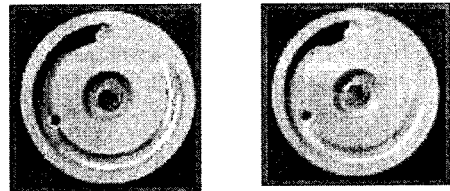
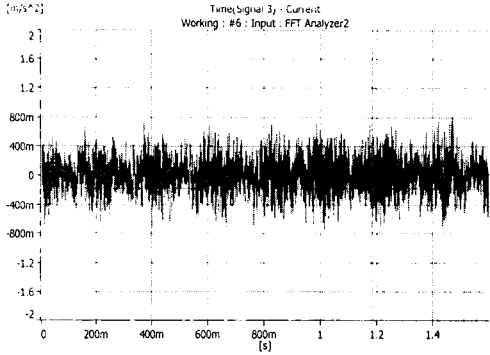


Fig.5 changed of pump body

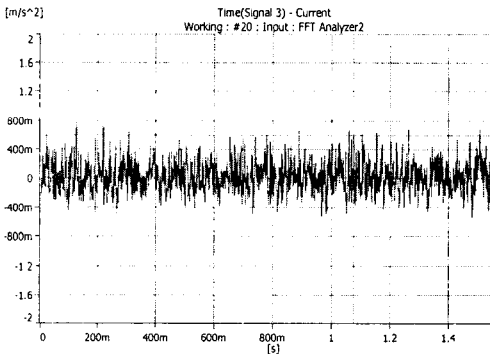
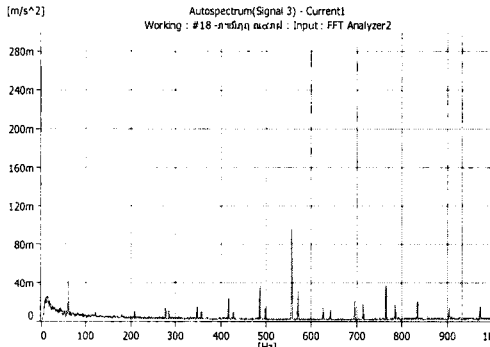
Fig.5 를 보면 펌프부의 단면적을 줄이므로 RPM 을 300 RPM 정도를 차이가 나게 하여 펌프부를 수정하였다.

4. 결과 및 고찰

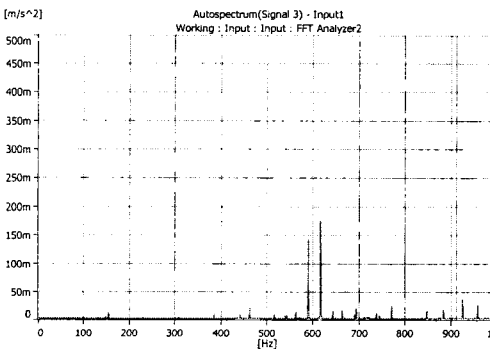
4.1 회전수 변경으로 인한 소음 저감 효과
회전수를 변경한 LPLi 펌프를 조립하여 소음을 측정하여 비교해 보면 Graph. 1 과 graph. 2 와 같다.



Graph.1 Before Modification of RPM



Graph.2 After Modification of RPM



각 그래프를 살펴보면 Graph.1 은 RPM 을 변경하기 전의 그래프인데 500~600Hz 영역에서의 진동이 각이이 근접하여 있는 것을 볼수 있지만 3.3 절의 방법으로 RPM 을 변경하면 Graph.2 의 경우와 같이 맥놀이 소음으로 들리지 않는 30~40Hz 정도의 차이가 나는 영역으로 이동하였다.

5. 결론

가솔린 사양의 펌프의 직렬구조로 적용되는 현재 LPLi 펌프의 맥놀이 소음을 저감하기 위한 시험의 결론은 다음과 같다,

1. 두개의 펌프중 한 개의 아마추어(모터부)의 사양을 변경함으로써 맥놀이에 의한 소음을 피할 수 있다.
2. 두개의 펌프중 하나를 유로 단면적을 변경한 펌프부의 변경으로 인해서도 맥놀이에 의한 소음을 피할 수 있다.

참고문헌

- 1) 가스안전공사 홈페이지
- 2) 자동차 LPG 공학, 골든벨 pp122~127
- 3) 김진호 외, 대형 단기통 디젤엔진에서 mixer 방식과 LPLi 방식에 따른 연소 및 배출가스 특성에 관한 연구, 자동차공학회 2001 추계학술대회논문집, pp 336~341
- 4) 加藤 哲男, 磁石の世界. コロナ社, pp.106 ~ 107, 1999
- 5) 두원정공, EFI 가솔린 Engine 용 연료펌프에 관한 기술개발, pp.10~ 20, 1992