

소형엔진용 연료펌프의 성능에 대한 실험적 연구

이준순*, 박성영*

*공주대학교 기계자동차공학부

e-mail : sungyoung@kongju.ac.kr

Experimental Study on the Fuel Pump of a Small Engine

Junsun Lee* and Sung-Young Park*

*Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

요 약

본 연구는 엔진 연료펌프의 회전수를 측정하는 방법중 하나인 전류측정법의 타당성에 관한 연구이다. 연료펌프를 제어하기 위해서는 펌프의 회전수 정보를 획득할 필요성이 대두된다. 연료 펌프의 회전수를 측정하는데 있어서 여러 가지 방법이 있으나 그 중 두 가지 방법으로 실험을 진행하였다. 하나는 가속도 센서를 이용하여 연료 펌프의 진동수를 측정하고 회전수로 환산하는 방법과, 전류 센서를 이용하여 회전수를 계산하는 방법이 있다. 가속도 센서를 사용하는 방법은 신뢰성이 우수하고 정확한 값을 얻을 수 있으나 고가이며 모든 진동을 측정하기 때문에 실제 엔진에서는 사용하기 어렵다. 따라서 전류센서와 가속도 센서를 동시에 적용하여 연료펌프의 성능실험을 수행한 결과, 정밀한 측정을 위한 측정조건을 획득하였다. 정밀한 측정을 위하여 가속도 센서의 경우 0.1Hz이하의 데이터 획득을 필요로 한다. 또한 전류센서로 펌프의 정밀한 회전수 측정이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

환경문제의 심각성에 의해 배기규제가 강화되면서 기존의 기화기 방식에서 벗어나 인젝터가 사용됨으로 인해 배기가스 감소와 효율 증가를 가져오게 되는데, 이때 연료펌프의 사용이 불가피해졌다.[1] 연료펌프의 사용에 앞서 성능시험을 실시하고 특성에 알맞은 펌프를 선택해야만 하기 때문에 펌프의 회전수 측정을 필요로 한다. 회전수를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중 진동과 전류를 이용하여 회전수를 측정하는 방법으로 가속도센서와 전류센서가 이용된다. 가속도센서는 정밀하지만 가격이 비싸고 펌프의 진동보다 더 큰 외부의 진동이 생성되면 모든 진동을 합성하여 결과를 출력하게 되는데 이때 스펙트럼에 피크값을 갖는 Hz는 외부 진동이 된다. 여러 가지 진동이 합성된 환경에서는 가속도 센서의 사용이 힘들어질 수밖에 없다. 이에 비해 전류센서는 가격이 저렴하고 측정하고자 하는 장비에 전원이 인가되거나 전원을 생성한다면 손쉽게 회전수를 측정할 수 있다. 펌프의 회전에 따라 전원의 전류 파형이 생기며, 이를 센서의 홀에 통과시키고

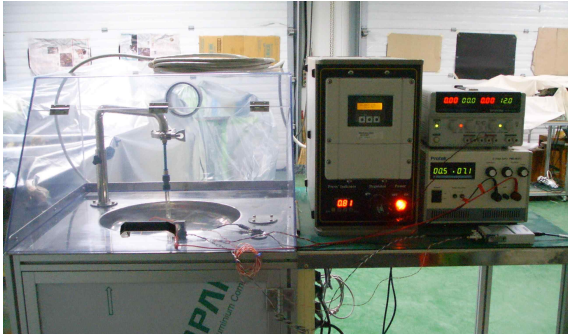
전류센서에 전원을 인가하면 전압이 출력되는데, 출력되는 전압은 펌프의 전원 세기에 비례하여 형성된다. 펌프의 회전에 따라 Commutator slot에 의한 파형이 생성되는데 이는 slot 수에 배수하여 형성된다. 혼합된 파형의 시간변위, 파형의 시작점, 진폭, peaks, valleys 등을 수집하고 스펙트럼으로 파형을 분리하여 x축은 Hz, y축은 각 Hz의 진폭 합으로 그 그래프가 디스플레이 되어 현재 펌프의 회전수를 측정할 수 있게 해준다. 이러한 이유에서 전류센서를 이용한 회전수 측정이 이루어지고 있다.

본 연구에서는 전류센서의 RPM 측정이 어느 정도의 타당성을 보이는지 분석하고, 정확한 펌프의 효율을 분석할 수 있는 데이터 취득의 최소한계 등을 검토하고자 한다. 이러한 특성값들은 펌프의 정확한 회전수 정보를 제공하고 여러 가지 펌프의 특성을 비교 분석하고 개발하는데 중요한 기초자료로 사용될 수 있을 것이다.

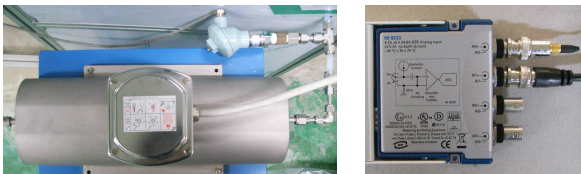
2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 실험에 사용된 장비와 계측기를 보여주

고 있다. 압력 컨트롤러를 이용하여 규정된 배압을 생성하였으며, 코리올리 유량계로 가솔린 연료의 유량을 측정하였다.[2]



연료펌프 성능실험 장치



코리올리 유량계 및 압력계 데이터 수집장치
[그림 1] 실험장치 및 계측장비

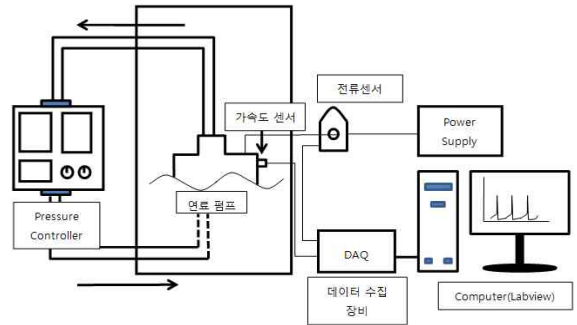
RPM 측정에는 가속도 센서와 전류센서가 사용되었다. 데이터 수집에는 그림 1의 데이터 수집장치를 이용하여 두 센서의 값을 동시에 받아 펌프의 회전수를 측정하였다. 가속도 센서는 피에조 타입으로 민감도는 5.13mV/g이다. 전류센서는 30A 전류를 4V로 출력하며, 전원으로서는 12V를 필요로 한다.



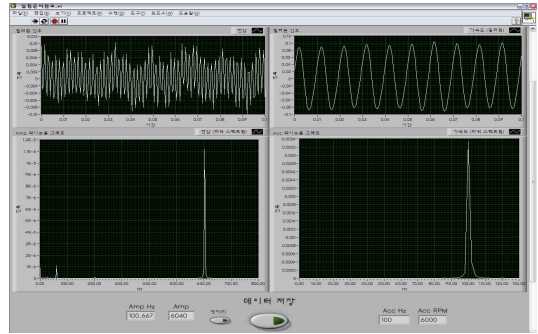
(a) 가속도 센서 (b) 전류 센서

[그림 2] 연료펌프 회전수 측정을 위한 센서

데이터 획득 과정은 그림 3(a)에 나타난 것과 같다. 유량과 압력은 펌프 제어기에 표시되는 값을 측정하였고, 그림 3(b)와 같이 데이터 수집에 사용된 프로그램은 Labview[3]이며, 펌프의 회전수를 측정하기 위하여 가속도 센서와 전류센서에서 출력되는 파형을 스펙트럼 파형으로 분리하여 회전수를 계산한다.



(a) 데이터 수집과정 개략도



(b) 펌프 회전수 측정 S/W

[그림 3] 실험장치 개략도 및 측정 S/W

실험에 사용된 두 펌프는 Commutator slot수와 블레이드는 동일하지만 감긴 코일의 횡수가 서로 다른 모델이다. Commutator slot 개수는 6개이다.



(a) 펌프-A (b) 펌프-B

[그림 4] 실험에 사용된 연료펌프

3. 실험 결과 및 고찰

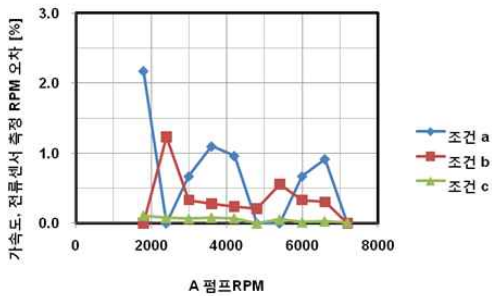
3.1 실험 조건에 따른 오차

데이터를 획득하는 조건에 따른 회전수 측정결과 민감도를 분석하기 위하여, 데이터 획득 조건을 변경하면서 RPM 측정의 정확성 실험을 수행하였다. 각 조건은 표 1에 기록된 바와 같이 데이터 획득시간과 저장간격을 변경하였다. 예를 들어, 조건 c는 데이터 획득을 10초 동안 수행하며, 데이터 저장간격은 0.1Hz 단위이다.

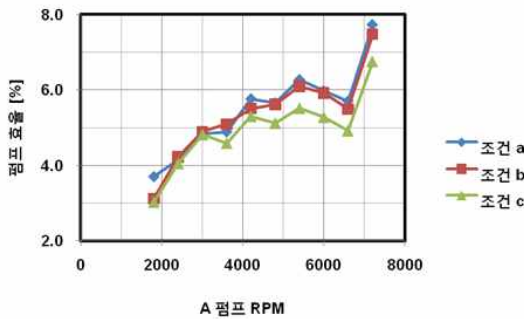
[표 1] 데이터 획득 조건

조건	수집시간 [sec]	저장간격[Hz]
a	0.5	2
b	1	1
c	10	0.1

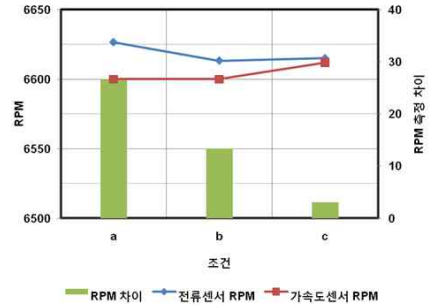
펌프-A의 측정 조건에 따른 가속도센서와 전류센서의 회전수 측정 오차율과 효율을 그림 5에 보여지고 있다. 그림 5(a)는 표 1의 조건에 따라 동일한 시간에 획득한 펌프의 회전수 오차를 기록한 그림으로 조건 c에서 안정화되는 것을 볼 수 있다. 그림 5(b)는 이러한 측정치를 이용하여 펌프의 효율을 계산한 결과이다. 작동 전 영역에서 조건 c대비, 조건 a와 b가 심각한 효율 증대치를 보여주고 있다. 5000에서 7000rpm의 경우 약 10%이상의 효율 오차가 발생하고 있다. 여기서 주목할 점을 그림 5(a)에서 대부분의 측정 오차율이 일반적으로 공학적인 수행에서 허용되는 1%미만을 보이고 있다는 점이다. 하지만 그림 5(b)를 보면 이러한 오차가 효율 계산에 막대한 오류의 결과를 생산함을 알 수 있다. 그림 5(c)는 실제 회전수와 그 차이를 보여주고 있다. 결론적으로 조건 c에서만 신뢰성있는 데이터를 획득할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 측정조건 변화에 따른 오차율

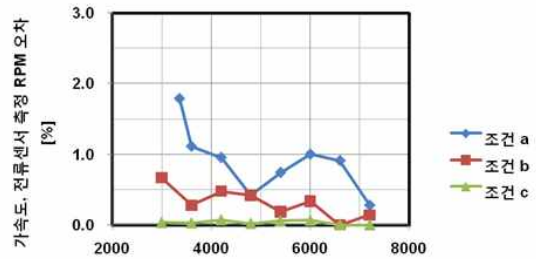


(b) 측정조건 변화에 따른 펌프효율

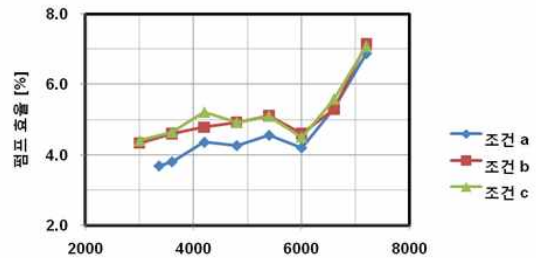


(c) 측정조건 변화에 따른 RPM
[그림 5] 펌프-A의 측정조건 변화

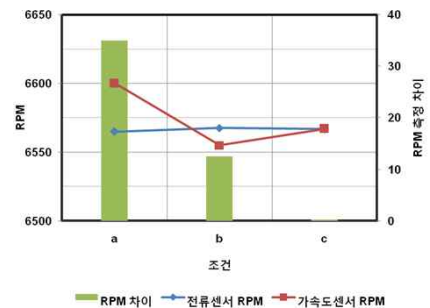
펌프-B의 측정 조건에 따른 가속도센서와 전류센서의 RPM 측정 오차율과 효율을 그림 6에 보여주고 있으며, 펌프-A와 유사한 형태의 오차 및 오류 가능성을 보이고 있으며, 조건 c에서 만족할 만한 측정 오차율을 보여준다. 여기서 조건 a는 펌프-B의 회전수를 과소 측정함으로 인하여 펌프-A와는 반대로 조건 c 대비, 효율이 저하되는 결과를 그림 6(b)에 나타낸다.



B 펌프 RPM
(a) 측정조건 변화에 따른 오차율



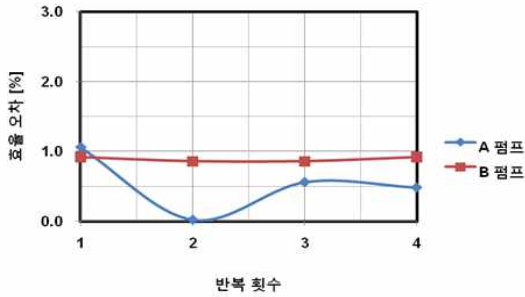
(b) 측정조건 변화에 따른 펌프효율



(c) 측정조건 변화에 따른 RPM
[그림 6] 펌프-B의 측정조건 변화

3.2 신뢰도

실험을 진행하는 동안 발생하는 오차로 인해 잘못된 결과를 갖는 경우가 있다. 펌프 회전에 의해 유량이 발생하는데, 이때 일정하지 못한 유량이 실험의 오차가 되기도 한다. 이러한 오차를 알아보기 위해 반복실험을 통하여 평균을 계산하고, 각각의 실험에 대한 오차를 그림 8에 나타내었다. 모든 반복횟수의 실험에서 계산한 효율 오차가 1%미만이므로 반복에 의한 오차는 미미한 수준으로 판단된다.



[그림 8] 반복 실험에 따른 효율 오차

3.3 성능 특성

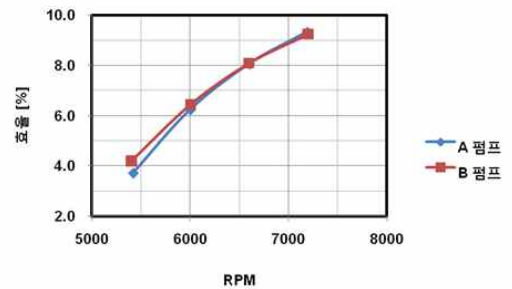
객관적인 펌프의 성능 비교를 위해 측정조건을 조건 c로 고정하여 실험을 수행하였고, 효율과 유량계수, 압력계수, 및 비속도를 획득하여 펌프의 성능 비교를 하였다. 압력은 300kPa로 일정하게 유지하였으며, 펌프의 회전수 범위는 5400RPM ~ 7200RPM으로 하였다.

본 실험에서는 펌프의 성능비교를 위하여 효율, 압력계수, 유량계수, 및 비속도의 무차원수를 사용하였는데 표 2와 같이 정의된다.

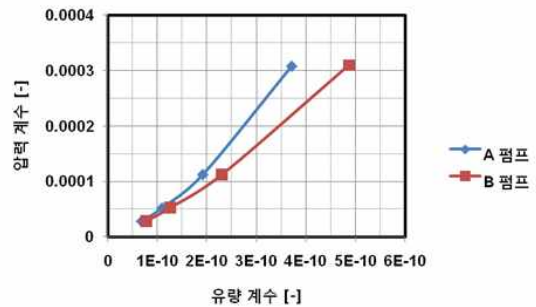
[표 2] 효율 및 무차원 수 정의

무차원 수	정의
효율	$E = \frac{PQ}{VI}$
압력계수	$\psi = \frac{gH}{\omega^2 D^2}$
유량계수	$\phi = \frac{Q}{\omega D^3}$
비속도	$N_s = \frac{\omega Q^{\frac{1}{2}}}{(gH)^{\frac{3}{4}}}$
P : Pressure (kPa) Q : Flow (m^3/s) V : Voltage I : Current	g : Gravity (m/s^2) H : Head (m) ω : Angular velocity (rad/s) D : Diameter (m)

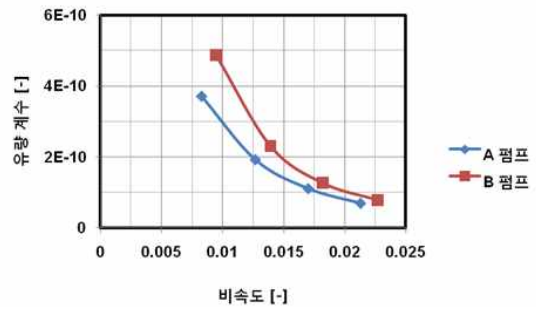
그림 7은 펌프-A와 펌프-B의 성능실험 결과를 보여주고 있다. 그림 7(a)와 같이 6000RPM이하 구간에서 펌프-B가 펌프-A대비 미미하지만 우세한 효율 특성을 보여주고 있다. 그림 7(b)는 압력계수와 유량계수의 결과이며, 동일한 압력에서 펌프-B가 더 많은 유량을 송출함을 알 수 있다. 그림 7(c)는 유량계수와 비속도의 관계를 보여주고 있으며, 동일한 유량에서 펌프-A 대비, 펌프-B가 더 큰 비속도 특성을 보이고 있다. 그림 7(d)는 효율과 유량계수의 관계를 보여주고 있으며, 동일유량에서 펌프-B가 높은 효율을 가지고 있음을 알 수 있다.



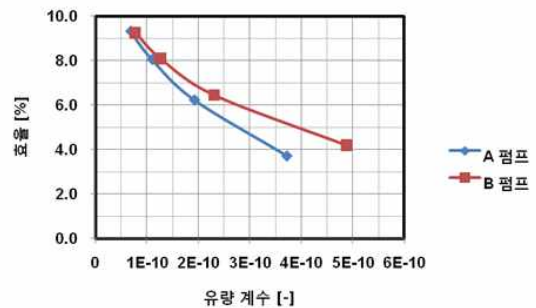
(a) 효율 - RPM



(b) 압력계수 - 유량계수



(c) 유량계수 - 비속도



(d) 효율 - 유량계수

[그림 7] 펌프의 성능특성 실험 결과

3. 결론

진동에 의하여 회전수를 측정하는 가속도센서와 전류과형을 통하여 회전수를 측정하는 전류센서의 비교를 통하여 펌프의 회전수 측정 오차에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연료펌프의 회전수를 측정하기 위한 다양한 기술이 있음을 확인하였고, 정밀한 측정을 위한 측정 조건을 실험을 통하여 획득하였다. 가속도 센서의 경우 0.1Hz이하의 데이터 획득을 필요로 한다. 또한 전류센서로 펌프의 정밀한 회전수 측정이 가능함을 확인하였다.
2. 펌프-A와 펌프-B의 성능을 비교한 결과 펌프-B가 효율과 유량특성에서 우수한 특성을 가짐을 확인 하였다.

본 연구를 통하여 성능 실험이 완료된 연료펌프는 소형엔진에 적용되어 엔진의 성능향상을 위한 실험을 수행할 예정이다.

후기

본 연구는 중소기업청의 기업협동형과제에서 지원 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] W.A. Schuster, "Small Engine Technology", Delmar Publishers, 1999.
- [2] 박성영, "연료펌프 모듈의 효율 특성", 2006년도 공주대학교 자동차전장부품 RIS 기업지원 공동기술 개발 결과보고서, 2007.
- [3] 곽두영, "Labview 8.6 - 컴퓨터 기반의 제어와 계측", Ohm사, 2008.