

소형엔진용 가솔린 연료펌프의 회전수 측정 조건에 대한 실험적 연구

이준순¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 기계자동차공학부

²공주대학교 공과대학 생산기술연구소

Experimental Study on the Rotational Speed Measuring Condition of a Gasoline Fuel Pump for a Small-Size Engine

Junsun Lee¹ and Sung-Young Park^{2*}

¹Div. of Automotive & Mechanical Engineering, Kongju National University

²Industrial Technology Research Institute, College of Engineering, Kongju National University

요약 펌프의 성능을 개선하기 위해서는 펌프의 회전수 정보를 획득할 필요성이 있으나, 일반적으로 연료펌프는 연료탱크 안에 내장되어 그 회전수를 측정하기에 어려움이 있다. 연료 펌프의 회전수는 크게 가속도 센서를 이용하는 방법과 전류센서를 이용하는 두 가지 방법이 있다. 가속도 센서를 이용하는 방법은 연료 펌프의 진동수를 측정하여 회전수로 계산하는 방법이며, 전류 센서를 이용하는 방법은 펌프모터의 주기적 전압방출 특성을 이용하여 회전수를 계산하는 방법이다. 본 연구에서는 전류센서를 가속도 센서와 동시에 장착하여 다양한 측정 조건에 대한 실험을 수행하였다. 결론적으로 전류센서로도 연료펌프의 회전수를 정밀하게 측정하는 것이 가능하였으며 특히 낮은 회전수 영역에서는 가속도센서 대비 강한 계측특성을 보였다. 오차 1% 이내의 회전수를 측정하기 위하여, 가속도센서는 데이터 저장간격 0.5Hz 이하의 설정이 필요하였으며, 전류센서는 데이터 저장간격 2.0Hz이하의 설정이 필요하였다.

Abstract To develop gasoline engine fuel pump, it is needed to measure the rotational speed of the pump. In general, because gasoline fuel pump is submerged in the fuel tank, it is difficult to measure the rotational speed directly. Currently, there are two popular methods measuring the rotational speed. One of them is using a piezoelectric accelerometer, and the other is using a current sensor. Originally, a piezoelectric accelerometer had been applied to measure the frequency of the motor vibration. A current sensor is measuring current frequency of the commutator slot. In this study, both the piezoelectric accelerometer and the current sensor have been applied on the fuel pump to calculate the rotational speed at the same time. As a result, the current sensor delivered highly accurate rotational speed information compared with that of the piezoelectric accelerometer. Especially, low rotational speed region, the current sensor shows very robust measuring characteristics. To measure the rotational speed within 1% error, the piezoelectric accelerometer needs to be set with less than 0.5Hz datum storage interval, and the current sensor needs to be set with less than 2.0Hz datum storage interval.

Key Words : Fuel Pump, Rotational Speed, Small Engine, Current Sensor

1. 서론

심각한 대기오염으로 인하여 배기규제가 강화되면서,

소형엔진의 연료 공급 계통은 기존의 기화기 방식에서 벗어나 인젝터가 장착되는 전자분사방식으로 전환이 필요하게 되었다. 전자분사방식의 연료공급장치는 연료의

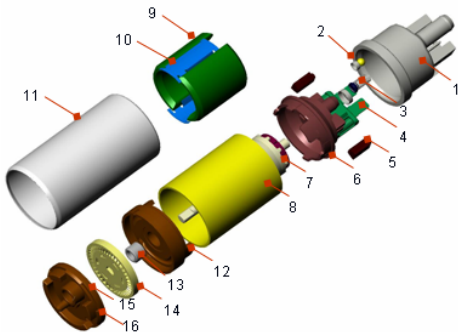
본 연구는 중소기업청 기업협동형과제의 연구비로 수행되었음.

*교신저자 : 박성영(sungyoung@kongju.ac.kr)

접수일 10년 04월 05일 수정일 (1차 10년 06월 09일, 2차 10년 07월 22일, 3차 10년 08월 28일) 게재확정일 10년 09월 08일

분무를 최적화하고 연소를 촉진하여 엔진의 열적 효율과 연비를 향상시키는 중요한 부품이다[1,2]. 전자분사방식의 연료공급장치는 크게 제어기, 연료펌프 및 인젝터로 구성된다. 그 중에서도 연료펌프는 엔진의 시동과 함께 6000rpm 에서 7000rpm 사이의 정격회전수로 구동이 지속되는 특성을 가지고 있다. 이러한 고속의 상시 회전은 엔진의 효율을 저하시키기 때문에, 최근 들어 연료펌프의 회전수를 가변으로 제어하고자 하는 연구가 진행되고 있다. 연료펌프의 회전수 제어를 위해서는 먼저 회전수를 측정하는 것이 필요하다[3].

그림 1은 일반적인 가솔린 연료펌프의 개략도를 보여주고 있는데, 모터와 임펠러가 일체를 이루고 있으며, 회전부가 케이스에 내장되어 있는 구조를 가지고 있다[4]. 또한 가솔린 연료를 공급하는 연료펌프는 소음 및 누유 방지를 위하여 연료 탱크 내에 내장되어 있는 경우가 일반적이기 때문에 연료펌프의 회전수를 직접 측정하기에는 상당한 어려움이 있다.



No	Part Name	No	Part Name
1	Pump Outlet	9	Magnet
2	Relief Valve Ass'y	10	Spring Magnet
3	Check Valve Ass'y	11	Outer Shell
4	Connector Ass'y	12	Upper Casing
5	Brush Ass'y	13	Bushing
6	Inner Outlet	14	Impeller
7	Armature	15	Ball Bearing
8	Flux Tube	16	Lower Casing

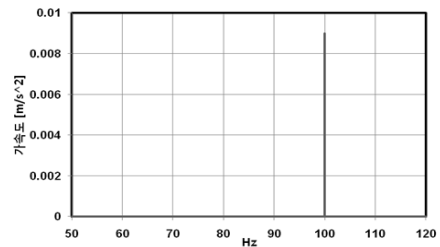
[그림 1] 가솔린용 연료펌프의 개략도

가솔린 연료펌프의 회전수를 측정하는 방법에는 여러 가지 기술이 활용되고 있으나, 그 중에서 진동과 전류를 이용하여 회전수를 측정하는 방법으로 가속도센서와 전류센서가 이용된다.

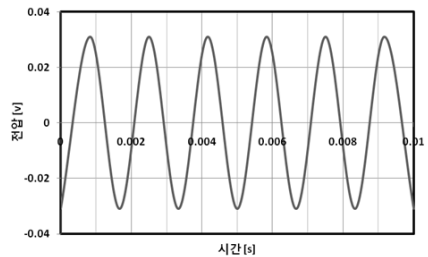
가속도센서는 연료펌프내의 아마추어의 슬롯과 펌프의 블레이드에 의해 공진이 발생하는 주파수를 측정하여 회전체의 회전수를 유추할 수 있는 고가의 센서이다. 즉,

그림 2(a)에 나타난 바와 같이 가속도센서를 적용하면 공진이 발생하는 특정 주파수에서 가속도 성분이 급격히 증가한다. 이때의 진동수를 직접 연료펌프의 회전수로 계산할 수 있다. 본 연구에 사용된 연료펌프는 모터사이클 엔진 또는 일반 소형엔진 등에 사용되는 가솔린 연료펌프로서 엔진의 진동을 직접적으로 받게 되는 위치에 주로 장착된다. 만일 엔진의 부조현상 등으로 인하여 연료펌프의 공진 주파수에서 발생하는 가속도 성분보다 큰 성분이 공진 주파수 근처에서 발생하면, 정밀한 회전수 측정이 불가능해진다. 하지만 이와는 상반되게, 상대적으로 저가인 전류센서는 진동자체에는 매우 강건한 특징을 가지고 있다.

전류센서는 아마추어 슬롯이 발생시키는 파형의 개수를 일정 시간동안 합산하여 연료펌프의 회전수를 계산하기 때문에 전기적인 외란에는 가속도 센서보다 민감하지만, 물리적인 진동에는 매우 강건한 특징을 가지고 있다. 따라서 물리적 진동이 심한 엔진 부근에 장착하여 사용하고자 하는 경우에는 전류센서가 상당한 장점이 있는 것으로 판단된다. 다만, 연료펌프가 저속으로 회전하면서 불안정한 전압파형을 출력할 때에는 정밀한 회전수 측정이 어려울 수도 있다.



(a) 가속도센서 적용시 신호파형



(b) 전류센서 적용시 신호파형

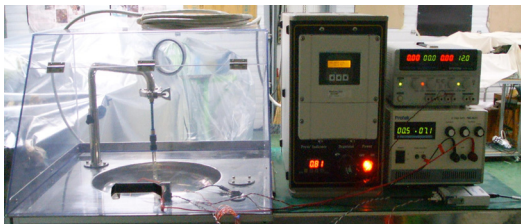
[그림 2] 회전수 측정을 위한 센서별 신호파형

본 연구에서는 전류센서의 회전수 측정이 어느 정도의 타당성을 보이는지 분석하고, 정확한 펌프의 효율을 분석할 수 있는 데이터 취득의 최소한계 및 최소 회전수 한계 등을 검토하고자 한다. 이러한 특성들은 펌프의 정확한 회전수

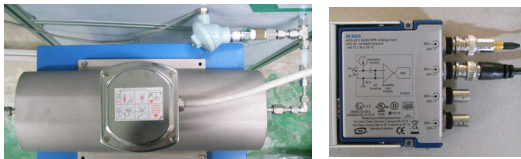
정보를 제공하고 여러 가지 펌프의 특성을 비교, 분석하고 개발하는데 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험 장치 및 방법

그림 3은 실험에 사용된 장비와 계측기를 보여주고 있다. 압력 컨트롤러를 이용하여 연료펌프의 규정된 송출압력(300 kPa)을 생성하였으며, 코리올리 유량계로 가솔린 연료의 질량유량을 측정하였다[4].



(a) 연료펌프 성능실험 장치



(b) 코리올리 유량계 (c) 데이터 수집장치
[그림 3] 실험장치 및 계측장비



(a) 가속도 센서 (b) 전류 센서

[그림 4] 연료펌프 회전수 측정용 센서

[표 1] 가속도센서 사양

Parameter	specification
Sensitivity(±10%)	5.13mV/g
Measurement Range	±1000g pk
Frequency Range(±5%)	1 to 10,000Hz
Temperature Range(Operating)	-65 to +250°F
Output Impedance	≤100 ohm
Output Bias Voltage	8 to 12VDC
Discharge Time Constant	0.5 to 2.0 sec

[표 2] 전류센서 사양

Parameter	specification
Rated Current	30A
Output Voltage	±04V ±1%
Supply Voltage	±12V ±5%
Response Time	5μsec Max
Frequency Range	DC 25KHz
Output Voltage Temperature Coef.	Within ±0.1% / °C Max.
Zero Offset Voltage Temperature Coef.	Within ±1.0mV/ °C Max.
Operating Temp.	-10 ~ +80°C
Storage Temp.	-25 ~ +85°C

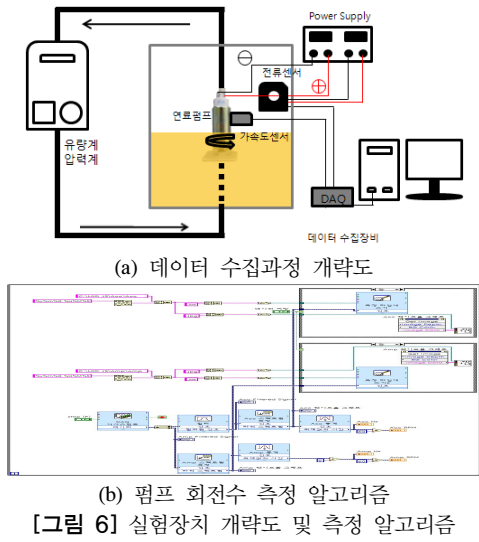
연료펌프의 회전수를 측정하기 위하여 가속도센서와 전류센서를 동시에 적용하였다. 가속도센서는 연료펌프의 측면에 부착하였으며, 전류센서는 비점촉식으로 연료펌프의 (+) 도선을 센서홀에 통과시켜 출력 전압의 파형을 계측하였다. 그림 4는 본 연구에서 사용된 가속도센서와 전류센서를 보여주고 있으며, 표 1 및 표 2에서는 각 센서의 사양을 보여주고 있다.

실험에 사용된 펌프는 가솔린 연료를 사용하는 소형엔진용 시제품을 사용하였으며, 아마추어 슬롯 수는 6개이다. 따라서 전류센서를 적용하였을 경우 6번의 정현파를 발생시키면 1회전으로 계산된다. 그림 5는 본 실험에 사용된 연료펌프를 보여주고 있다.



[그림 5] 실험에 사용된 가솔린 연료펌프

연료펌프의 회전수 측정을 위한 데이터 획득은 그림 6(a)에 나타난 바와 같이 가속도 센서와 전류센서를 동시에 적용하였으며, 데이터 수집을 위하여 그림 6(b)의 Labview[5] 프로그램을 작성하였다. 동시에 입력된 가속도센서와 전류센서의 신호파형을 분리하고, 스펙트럼으로 주파수를 구하기 위해 통계함수를 사용하고, 측정된 주파수를 회전수로 계산하였다. 전류센서의 신호도 통계함수를 활용하여 회전수를 계산하였다.



3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 조건에 따른 오차

측정 조건에 따른 회전수의 정확도를 분석하기 위하여, 다양한 데이터 수집 조건에 대하여 실험을 수행하였다. 각 조건은 표 3에 기록된 바와 같이 샘플수와 샘플속도를 변화시켜 수집시간과 저장간격이 결정된다. 예를 들어, 조건 c는 51,200개의 샘플을 25,600개/sec의 속도로 2초 동안 획득하며, 데이터 저장간격은 0.5Hz임을 의미한다. 조건 a, b, c, d는 샘플개수가 일정할 때 샘플속도가 측정에 미치는 영향을 고찰하기 위한 것이고, 조건 d, e, f는 동일한 샘플속도에서 총 샘플 개수의 영향을 고찰하기 위한 조건이다.

[표 3] 데이터 수집 조건

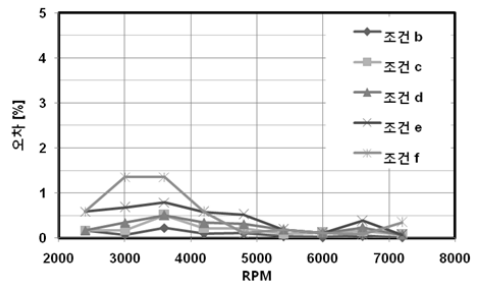
측정조건	샘플개수 (×1000)	샘플속도 (개수/s)	수집시간 (s)	저장간격 (Hz)
a	51.2	5.12k	10	0.1
b	51.2	10.24k	5	0.2
c	51.2	25.6k	2	0.5
d	51.2	51.2k	1	1
e	25.6	51.2k	0.5	2
f	12.8	51.2k	0.25	4

펌프의 데이터 수집 조건에 따른 전류센서와 가속도센서의 오차율을 그림 7에 보여주고 있으며, 조건 a를 기준으로 각각의 조건별 오차를 도시화하였다. 그림 7의 수평

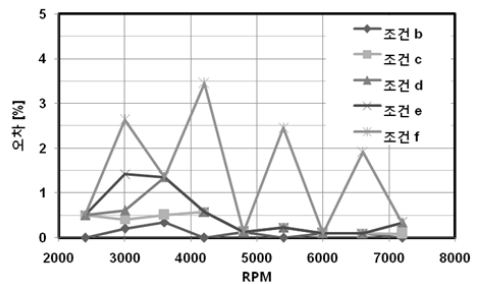
축은 연료펌프의 목표 회전수를 나타내며, 조건 a에서 획득한 회전수이다. 수직축은 조건 a의 결과를 기준으로 기타 조건들의 회전수 오차를 백분율로 나타낸 것이다.

데이터 수집시간이 길어지고, 저장간격이 작아질수록 오차가 작아지는 것을 알 수 있다. 그림 7(a)의 4000rpm 이하 전류센서의 오차에서, 샘플개수가 일정하면 샘플속도의 변화(조건 a, b, c)는 샘플개수의 변화(조건 d, e, f) 대비 그 영향이 미미한 수준이다. 가속도센서 오차를 보여주고 있는 그림 7(b)에서는 수집조건에 따른 특정한 경향을 보이고 있지는 않으나, 수집조건에 따른 가속도센서의 오차가 전류센서 대비 크게 발생하고 있다.

전반적으로 전류센서의 전체 오차는 1.5% 미만의 미소한 값을 보이는 반면, 가속도센서의 오차는 조건 f의 경우 3% 이상의 값을 나타내고 있다. 즉, 1% 미만의 회전수 오차를 얻기 위하여, 전류센서에서는 2Hz이하의 저장 간격을 설정하여야 하고, 가속도센서에서는 0.5Hz이하의 저장간격을 설정하여야 한다.



(a) 조건 변화에 따른 전류센서 오차



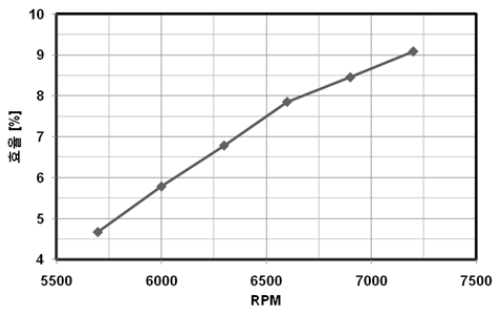
(b) 조건 변화에 따른 가속도센서 오차

[그림 7] 연료펌프의 데이터 수집 조건에 따른 오차

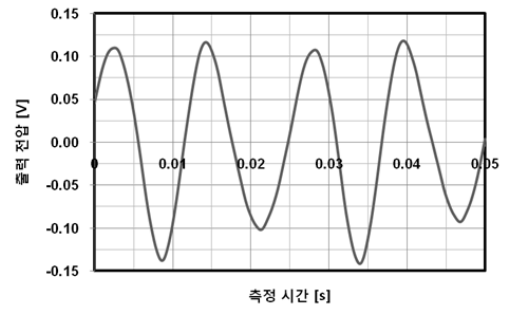
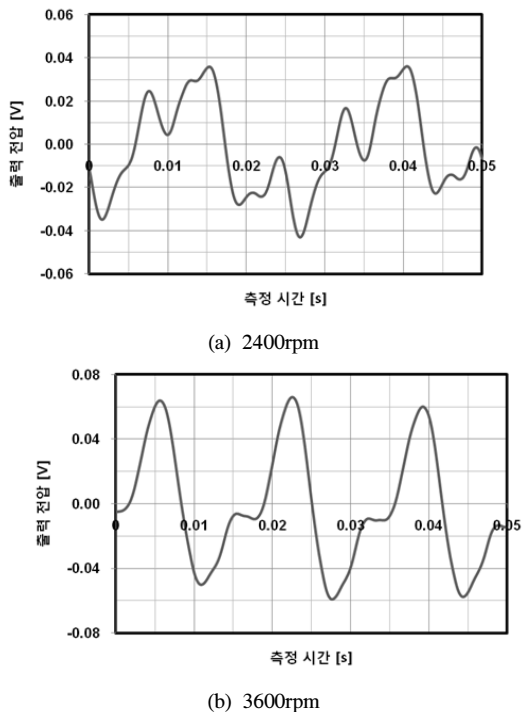
3.2 저속에서의 출력전압 변화

소형엔진에서 사용되는 전자식 인젝터의 공급압력을 300kPa로 설정하였을 때, 가솔린 연료펌프의 회전수는 6500 ± 500 rpm 정도에서 결정된다. 결정된 회전수 범위에서 효율 특성은 그림 8과 같다. 수평축의 rpm은 연료펌프의 회전수를 나타내며, 표 3의 조건 a를 적

용하여 측정한 결과이다. 회전수가 증가 할수록 연료펌프의 유량이 공급전력 대비 증가하여 효율은 증가하는 경향을 보이고 있다. 작동회전수를 7200rpm으로 제한한 이유는 그 이상의 회전수에서는 공급연료량이 과잉되어 리턴되기 때문이다. 리턴되는 연료량이 증가할수록 엔진전체의 손실은 증가한다. 또한, 5700rpm 이하에서는 인젝터를 위한 공급압력(300kPa)을 생성하지 못했기 때문에 본 연구에 사용된 가솔린 연료펌프의 최소 회전수는 5700rpm이 되었다. 연료펌프의 효율 $\eta = PQ / VI$ 이다. 여기서 P는 공급압력(kPa), Q는 유량(m^3/s), V는 전압(V), 그리고 I는 전류(A)이다.

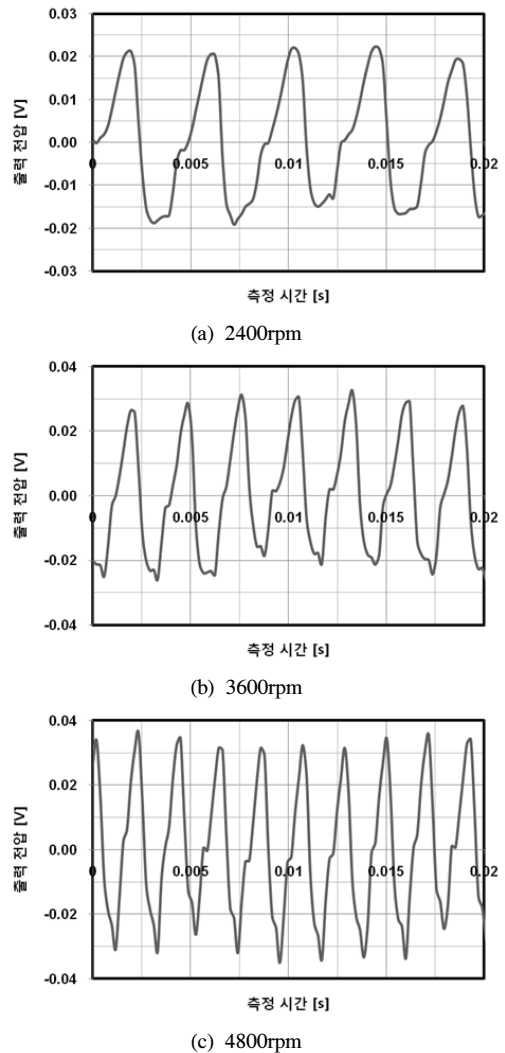


[그림 8] 펌프의 효율특성 실험 결과



(c) 4800rpm

[그림 9] 회전수에 따른 가속도센서 출력전압



(a) 2400rpm

(b) 3600rpm

(c) 4800rpm

[그림 10] 회전수에 따른 전류센서 출력전압

그림 9 및 그림 10은 연료펌프의 일반적인 작동 회전

수를 벗어난 저속에서의 센서별 출력신호 변화를 관찰하기 위하여 2400, 3600 및 4800rpm에서의 출력신호를 보여주고 있다. 그림 9의 가속도 센서의 출력전압은 연료펌프의 회전이 4800 rpm 부근에 도달하면 펌프 회전에 따른 출력전압이 안정화되는 것을 알 수 있다. 2400 rpm 부근의 저속에서는 연료펌프의 물리적 진동이 발생하기 때문에 왜곡된 결과를 초래 할 가능성이 있다.

반면에, 그림 10의 전류센서 결과 파형은 연료펌프 회전수 변화에 따라 출력전압의 진폭과 최대값의 차이는 있지만, 가속도센서 대비 저회전수인 2400 rpm 에서 매우 안정적인 파형을 출력하고 있다. 이는 저회전수에서도 안정적인 펌프의 회전수 정보를 제공할 수 있음을 의미한다.

4. 결론

진동에 의하여 회전수를 측정하는 가속도센서와 전압 파형을 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, 전류센서를 사용하여 정밀한 펌프 회전수 측정이 가능함을 확인하였다. 본 연구에서 적용한 전류센서와 데이터 획득 조건에서 오차 1.5% 이내의 정밀한 연료펌프 회전수 측정이 가능하였다.
2. 펌프의 진동이 안정적이면 가속도센서의 정밀한 측정이 가능하나, 본 연구에서 설정한 실험조건으로 가속도 센서를 사용할 경우, 데이터 저장간격을 0.5Hz 이하로 설정하여야 회전수 오차 1%이내의 신뢰성 있는 데이터를 획득할 수 있었다.
3. 가솔린 연료펌프의 일반적인 작동범위를 벗어난 2400rpm의 저속영역에서, 전류센서는 가속도센서보다 안정적인 회전수 정보를 제공할 수 있었다.

참고문헌

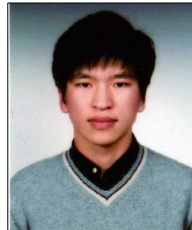
- [1] W.A. Schuster, "Small Engine Technology", Delmar Publishers, 1999.
- [2] 이성원, 이상인, 박성영, "가솔린엔진 인젝터의 벽류 및 분무특성에 관한 실험적 연구", 한국산화기술학회 논문지, Vol. 11, No. 3, pp. 815-820, 2010
- [3] 이준순, 박성영, "소형엔진용 연료펌프의 성능에 대한 실험적 연구", 2009년 한국산화기술학회 추계학술대

회, pp. 515-519, 2009

- [4] 박성영, "연료펌프 모듈의 효율 특성", 2006년도 공주대학교 자동차전장부품 RIS 기업지원 공동기술개발 결과보고서, 2007.
- [5] 광두영, "Labview 8.6 - 컴퓨터 기반의 제어와 측정", Ohm사, 2008.

이 준 순(Junsun Lee)

[준회원]



- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 재학

<관심분야>

열 및 유체 유동해석, 재생에너지

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 2002년 5월 : Texas A&M Univ., 기계공학과(공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교, 기계자동차공학부, 조교수

<관심분야>

열유체 유동해석, 내연기관 성능개발