

## Power Steering System의 구동력이 차량 모드주행연비에 미치는 영향

김 남 균<sup>1)</sup> · 한 창 호<sup>2)</sup> · 김 우 석<sup>3)</sup> · 이 종 화<sup>4)</sup> · 박 진 일<sup>4)</sup> · 박 경 석<sup>5)</sup>

르노삼성자동차 기술연구소<sup>1)</sup> · 지엠대우 오토엔테크놀로지 기술연구소<sup>2)</sup> · 현대기아 기술개발본부<sup>3)</sup> ·  
아주대학교 기계공학부<sup>4)</sup> · 금오공과대학교 기계공학부<sup>5)</sup>

### Effect of the Power Steering System Driving Torque on Vehicle Fuel Economy in a Passenger Car

Namkyun Kim<sup>1)</sup> · Changho Han<sup>2)</sup> · Wooseok Kim<sup>3)</sup> · Jonghwa Lee<sup>\*4)</sup> · Jinil Park<sup>4)</sup> · Kyungseok Park<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Renault Samsung Motors, 447-4 Gongse-dong, Giheung-gu, Gyeonggi 449-796, Korea

<sup>2)</sup>GM Daewo Auto&Technology, 199-1 Cheongcheon-dong, Bupyung-gu, Incheon 403-714, Korea

<sup>3)</sup>Commercial Vehicle Test Research Team, Hyundai Motor Co., 772-1 Jangduck-dong, Whasung-si, Gyeonggi 445-706, Korea

<sup>4)</sup>School of Mechanical Engineering, Ajou University, Gyeonggi 442-749, Korea

<sup>5)</sup>School of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongbuk 730-701, Korea

(Received 23 March 2005 / Accepted 18 October 2005)

**Abstract :** To improve the vehicle fuel economy, various technologies have been studied. Meanwhile it deteriorates fuel economy that the increased driving torque for Power Steering System (PSS) due to weighted vehicle and widened tire for low speed driving and parking. So the larger driving torque for PSS is, the lower fuel economy is. Therefore, the study about the effect of the driving torque for PSS and the engine total friction must be preceded to improve the vehicle fuel economy. In this study, a PSS module separated from the vehicle is used to measure the driving torque for PSS with respect to the pressure of PSS. The result shows that the driving torque for PSS was in direct proportion to the pressure of PSS 3 (N-m) driving torque for PSS vs. 10 (bar) pressure of PSS, and 8 (N-m) vs. 40 (bar). In addition, the driving torque and pressure for PSS was measured according to the engine speed in the component test condition which was in the vehicle condition. Measuring the driving torque for PSP in the vehicle condition was established by using the VeFAS which was a fuel economy analyzer developed in our lab and installing PSS By-pass line. The effect of the driving torque for PSS on the vehicle fuel economy was analyzed with FTP-75 cold start mode.

**Key words :** Power steering system(파워스티어링시스템, PSS), Engine total friction(엔진 총 마찰), Fuel economy(연비), Driving torque(구동력), Vehicle condition(실 차량상태)

#### Nomenclature

**P** : Power, W  
 **$\Omega$**  : Angular velocity, rad/s  
 **$\alpha$**  : Angular acceleration, rad/s<sup>2</sup>  
**I** : Inertia, kg-m<sup>2</sup>

#### Subscripts

**A** : Alternator  
**E** : Engine  
**EF** : Engine Friction  
**TF** : Total Friction  
**i** : Indicated  
**PSP** : Power Steering Pump  
**PSS** : Power Steering System

\*To whom correspondence should be addressed.  
jlee@ajou.ac.kr

## 1. 서론

Power Steering System(PSS)은 운전자의 편의 및 안전을 위해 꼭 필요한 차량 구성품 중의 하나이다.

유압식 Power Steering Pump(PSP)는 oil의 압력을 이용해서 운전자가 핸들을 돌리는 힘을 보조하여 운전자가 적은 힘으로 차량을 조향할 수 있게 하는 장치이다. 그러나 최근 차량의 중량증가와 함께 타이어 폭의 증가로 저속 및 주차시의 PSP에 걸리는 부하가 증가하고 있으며, 그로 인한 PSS구동에 사용되는 구동력의 증가로 차량 연비가 저하되고 있다.

최근 차량 연비 향상에 대한 관심이 고조되고 그에 따른 에너지 저감대책에 대한 연구가 여러 방면에서 활발히 진행되고 있다.<sup>1)</sup> 따라서 PSS이 차량 연비에 미치는 영향에 대한 연구는 차량 연비향상이라는 측면에서 반드시 해결해야 할 과제이다.

지금까지의 PSS에 대한 연구는 PSS제조회사에서의 Pump성능시험밖에 없는 실정이다. 또한 Electric Power Steering System에 대한 연구가 시작되고 있는 시점에서 유압식 PSS의 연비에 미치는 영향에 대한 분석이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 PSS의 구동력에 영향을 주는 인자인 토출압력에 대한 구동력을 측정하고, PSS의 구동력이 엔진 총 마찰과 차량 모드 주행 연비에 미치는 영향에 대해 분석하고자 한다.

이를 위해 축 토크 센서와 PSP단품을 통하여 구동력을 측정하였으며, 실 차량 상태에서의 구동력을 측정하기 위하여 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 엔진 실린더 압력을 이용하여 엔진 토크를 알아내고, 이를 바탕으로 엔진 총 마찰을 비교 분석하였다. 또한 각각의 경우에 대하여 FTP-75 cold start 시의 CVS분석을 통하여 차량 모드 주행 시 PSS구동력이 연비에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

## 2. 연구 내용

### 2.1 이론적 배경

엔진에서 발생되는 동력을 구하는 방법에는 축 토크센서를 이용하는 방법, 엔진 회전속도를 이용

하는 방법 등이 있으나, 축 토크센서를 통해서 구하는 방법은 실제 차량에 적용하는데 있어서 장착이 난해하다는 단점이 있고, 엔진에 회전속도를 이용해서 구하는 방법은 오차를 수반하는 단점이 있다.<sup>2,3)</sup>

따라서 본 연구에서는 실린더 압력을 직접 측정하여 압력으로부터 구한 도시 평균 유효 압력으로부터 구하는 방법을 사용하였다.<sup>4)</sup>

$$T_i = T_I + T_P + T_{EF} + T_{alt} \quad (1)$$

식 (1)과 같이, 연소에 의해 생성된 토크( $T_i$ )는 가스 펌핑에 소모되는 토크( $T_P$ )와 전력을 생산하기 위하여 교류발전기를 구동시키는 토크( $T_{alt}$ ), 그리고 엔진 마찰 토크( $T_{EF}$ )로 세분화 할 수 있다. 도시동력과 펌핑 손실동력은 식 (2)와 같이 정리되며 실린더 압력으로부터 구하였다.

$$P_i = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_1}^{n_2} P_{cyl} dV \quad (2)$$

$$P_I = \frac{\Omega_E}{n_R} \int_{n_2}^{n_1} P_{cyl} dV$$

여기서  $\Omega_E$ 는 엔진회전속도,  $n_1$ 과  $n_2$ 는 각각 흡기 과정과 배기과정시의 하사점,  $n_R$ 은 실린더 당 1사이클의 동력행정에 대한 크랭크 회전수를 의미한다. 교류발전기 구동 토크는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{alt} = \frac{i_{alt} \times V_{alt}}{\Omega_{alt} \times \eta_{alt}} \quad (3)$$

여기서  $i_{alt}$ 는 Alternator의 전류,  $V_{alt}$ 는 Alternator의 전압,  $\Omega_{alt}$ 는 Alternator의 회전속도,  $\eta_{alt}$ 는 Alternator의 효율을 의미한다.

엔진과 보기류 그리고 엔진 구동축의 관성을 집중 질량으로 고려하여  $I_E$ 라 하면 발생된 토크에서 토크 컨버터의 임펠러까지 토크 전달을 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 과도상태에서는 관성항목이 더해지게 된다.<sup>5,10,11)</sup>

$$T_I - T_P - T_{EF} - T_{alt} - I_E \Omega_E = T_I + T_{DCL}$$

for A/T

$$T_I - T_P - T_{EF} - T_{alt} - I_E \Omega_E = T_{Cin} \quad (4)$$

for  $M/T$

여기서  $T_{DCL}$ 는 댐퍼 클러치에 전달된 토크이며,  $T_{Cin}$ 는 수동변속기를 장착한 차량에서 클러치의 입력축의 토크이다. 엔진의 총 마찰토크는 펌핑, 교류 발전기 구동토크, 그리고 엔진 마찰에 사용된 토크의 총 합( $T_{TF} = T_P + T_{EF} + T_{alt}$ )을 의미한다.

엔진의 총 마찰토크를 구하기 위한 조건은 다음과 같다.

$$T_I = 0 \text{ for } A/T$$

$$T_{Cin} = 0 \text{ for } M/T \quad (5)$$

$$\alpha_E = 0$$

위 식을 만족하는 조건은 자동변속기 차량의 경우 ‘주차’ 상태이거나 ‘중립’ 상태이다. 또한 댐퍼 클러치에 전달된 토크는 이러한 상황에서 댐퍼 클러치가 작동하지 않기 때문에 ‘0’이 되며, 엔진이 정상 상태로 운전될 경우이다. 수동변속기 차량의 경우 ‘중립’ 상태이면서 클러치를 밟은 상태에서 엔진이 정상상태로 운전될 경우에 만족된다.

즉, 무 부하에서 연료의 연소에 의해 발생된 토크는 엔진의 총 마찰 토크가 된다.

$$T_I = T_{TF} \quad (6)$$

## 2.2 실험 장치

PSP단품 실험을 위해서 Photo 1과 같이 모터로 구동되는 축 토크센서로 PSP를 구동시킬 수 있도록 실험 장치를 구성하였다. PSS의 Oil유로는 실 차량 상태와 동일하게 구성하였다.

토크 센서는 로타리 타입(key사, 4104-01)을 사용하였으며, T-type Thermocouple을 통하여 PSS Oil온도를 취득하였다. PSS Oil 토출압력을 측정하기 위하여 부르돈관 압력계(Wika, 16bar, 100bar)를 사용하여 측정하였다.

실 차량에서의 실험에 사용된 차량 제원은 Table 1과 같다.

엔진에서 발생하는 동력을 측정하기 위해 각각의 실린더에 압력센서(Kistler사, 6052A, spark plug type)를 스파크 플러그 형 어댑터(Kistler사, 6617BFD17)

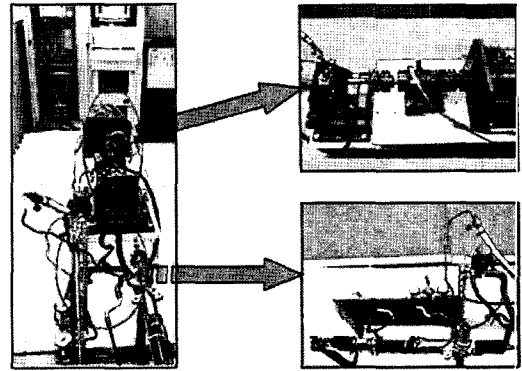


Photo. 1 Rig of the power steering system

Table 1 Specification of experimental vehicle

엔진 형식	V6-VVT
배기량 (cc)	3,342
Bore X Stroke (mm)	92 X 83.8
Con - rod (mm)	152
압축비	10.4
ETW (lbs)	3,750
공차 중량 (kg)	1,612

를 사용하여 장착하였다.

각각의 실린더로부터 측정된 압력에 대한 전하량은 전하증폭기(Kistler사, 5019A140)를 이용하여 증폭하고, 데이터 획득 장치를 통해 cycle마다 각 실린더의 압력을 측정하였다.

엔진 회전속도 측정은 1도 단위의 엔코더(메트로닉스사, H40-8-0360ZV)를 장착 하였다.

교류 발전기의 전류데이터 취득하기 위해 전류센서(한국센서사, PLA100-04D15)를 교류 발전기 출력 단자에 장착하였다.

엔진 오일 온도를 취득하기 위하여 엔진 오일에 T-type Thermocouple을 장착하여 데이터 취득 장비를 통해 엔진 총 마찰과 함께 취득하여 동기 시켰다.

Fig. 1은 PSS의 Oil을 by-pass시키기 위한 장치에 대한 전체적인 개략도를 나타내었다. PSS Oil by-pass 밸브를 설치하여 PSS 작동 시와 by-pass시의 엔진 총 마찰을 비교할 수 있도록 하였다.

Photo 2는 실 차량에 PSS Oil by-pass line을 장착한 모습이다. PSP로부터 토출 되는 Oil을 Oil Tank로 by-pass 밸브를 통하여 직접 By-Pass 시키므로 Oil을 압축하는데 사용되는 구동력을 제거할 수 있었다.

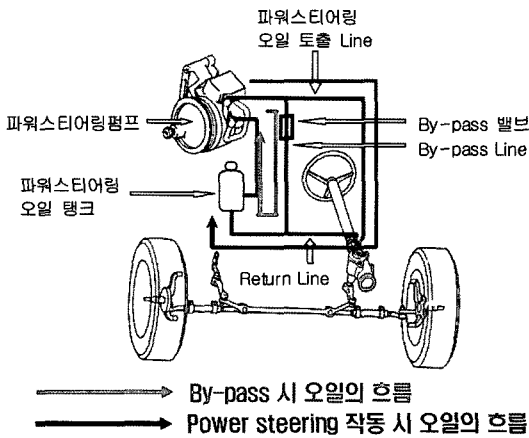


Fig. 1 Schematic diagram for power consumption measurement of power steering system

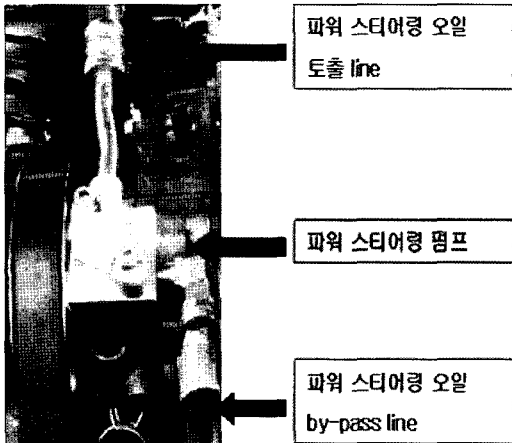


Photo. 2 Photo of the power steering system by-pass line

### 2.3 실험 방법

PSP단품 실험은 토출압력에 대한 Pump구동력을 측정하기 위하여 일정 회전수(2000rpm)에서 토출압력을 변화시키며 수행하였다.<sup>8,9)</sup>

PSP의 Oil유로를 실차상태와 동일하게 Rig로 구성하여 Pump회전수에 대하여 Pump구동력과 그때의 토출압력을 측정하였다. 이 실험에서는 유량 특성이 다른 2개의 PSP에 대하여 각각 수행하였으며, 또한 토출 Line의 직경의 1(mm) 증가시켜 동일 실험을 수행하여 비교하였다.

가솔린엔진에 대하여 엔진 마찰, 보기류 구동손실, 그리고 펌핑손실을 모두 포함한 엔진 총 마찰은 엔진의 부하에 관계없이 엔진의 회전속도의 함수로

표현한 바 있다.<sup>6)</sup>

따라서 본 연구에서는 엔진 총 마찰을 각 엔진 회전속도에 대하여 측정하였으며, 실차상태에서의 엔진 총 마찰을 통한 PSS 구동력을 측정하기 위해서 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 엔진 총 마찰을 각각 비교하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 2는 PSP의 토출 압력에 대하여 Pump의 구동력을 측정한 결과이다.

PSS의 구동력은 Pump의 토출압력에 비례하였으며, 완전한 1차 함수로 나타낼 수 있었다. 즉 PSP의 토출압력이 10(bar)일 때는 3(N-m)의 구동력이 필요하였으며 40(bar)일 때는 8(N-m)의 구동력을 필요하였다. 일반적으로 승용차량이 도로 위를 주행할 때 조향하지 않는다면 PSP의 토출압력이 10(bar)이하일 것이지만, 실제 도로에서의 조향 시에는 최대 80(bar)까지 증가한다. 따라서 그때의 PSP의 구동력은 13(N-m)까지 증가할 것으로 예상된다.

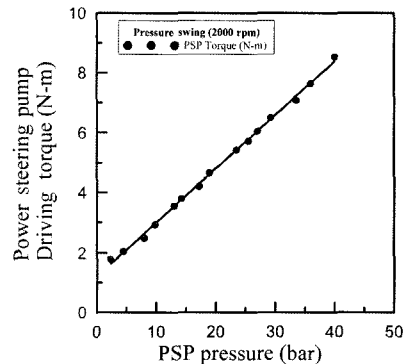


Fig. 2 Relations between the pressure and driving torque of the power steering system

Fig. 3과 Fig. 4는 PSP와 Oil의 유로를 실차상태와 동일하게 Rig를 구성하여 핸들을 조향하지 않은 상태에서 실험을 수행 하여 Pump의 토출 Line의 직경이 4.2(mm)일 때와 5.2(mm)일 때의 각각에 대하여 Pump의 회전속도에 대한 Pump의 압력과 구동력을 측정한 결과이다.

PSS의 소요 구동력과 토출 Line의 압력은 Pump 회전속도 2000(rpm) ~ 3000(rpm)에서 최대값을 나

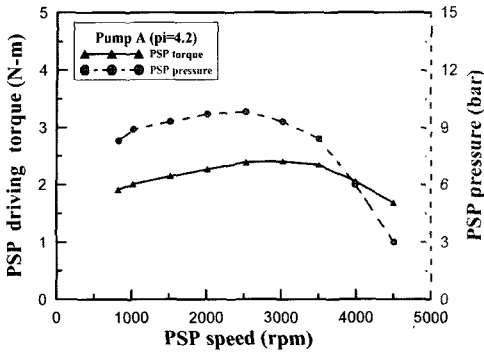


Fig. 3 Driving torque and pressure of the power steering pump (Pump A,  $\phi = 4.2mm$ )

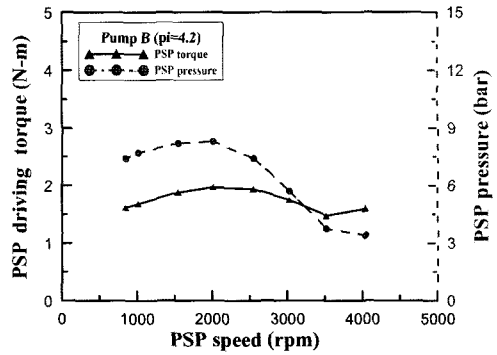


Fig. 5 Driving torque and pressure of the power steering pump (Pump B,  $\phi = 4.2mm$ )

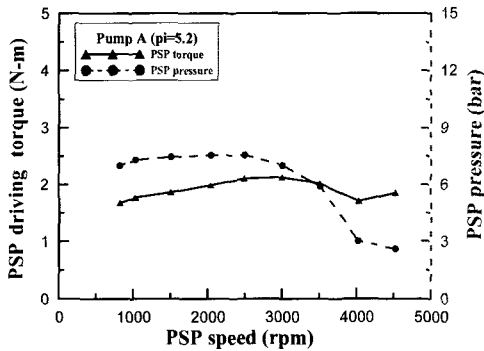


Fig. 4 Driving torque and pressure of the power steering pump (Pump A,  $\phi = 5.2mm$ )

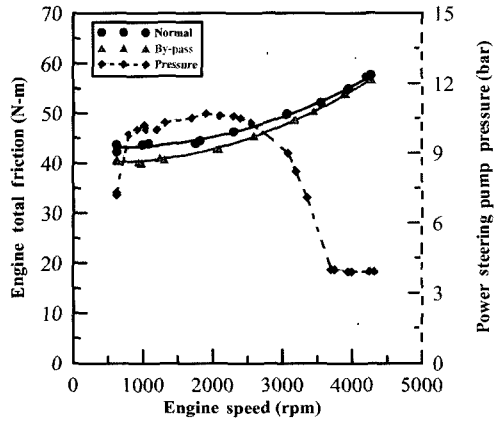


Fig. 6 Measurement of engine total friction with power steering system and without power steering system by-pass

타내었다.

· 토출 Line의 직경이 4.2(mm)일 경우에는 2500 (rpm)에서 구동력은 2.5(N-m), 압력은 10(bar)로 나타났으며, 토출 Line의 직경이 5.2(mm)일 경우에는 2500(rpm)에서 구동력은 1.8(N-m), 압력은 6.5(bar)로 토출 Line의 직경이 4.2(mm)일 때보다 적게 나타났다. 즉, 토출 Line의 직경의1(mm)증가로 인하여 최고 압력이 3.5(bar) 감소하였고, 그로 인한 Pump의 구동력은 0.7(N-m)감소 하였다. 이는 토출 Line의 직경변화로 Pump 토출부의 유동저항이 감소하고, 그로 인한 압력의 감소가 Pump구동력의 감소로 나타난 것으로 생각된다.

Fig. 5는 유량 특성이 다른 PSP(PUMP B)로 교체한 후 토출Line직경 4.2(mm)일 때의 PSP회전속도 대하여 Pump구동력과 압력을 측정한 그림이다.

PSP의 변화로 인한 중속 고속에서의 압력강하로 Pump구동력이 감소함을 알 수 있다. 이 결과를 통하

여 PSS 구동력은 펌프 압력의 함수임을 재확인 할 수 있었다.

따라서 PSS 구동력을 감소 시킬 수 있는 방법으로는 Pump의 토출압력을 낮추는 것이지만, 압력을 낮추면 그만큼의 조향능력이 감소할 것이다. 그러므로 조향 시 큰 힘을 필요로 하지 않는 중속 및 고속영역에서의 Pump의 압력을 낮추면 PSS의 구동력으로 인한 손실을 줄일 수 있을 것이다.

Fig. 6은 실 차량에서 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 엔진 총 마찰을 Pump압력과 함께 나타낸 그래프이다.

엔진 회전수가 2500(rpm)에서 Pump의 압력은 10(bar)로 최대를 나타냈으며, 이때의 엔진 총 마찰의 차이는 3(N-m)였다.

이 결과는 PSP 단품 Rig 실험의 결과와 동일하였으며, 펌핑 손실과 토크컨버터 임펠러까지의 마찰을 포함한 엔진 총 마찰 중 약 7(%)에 해당함을 알 수 있었다.<sup>7)</sup>

이를 통하여 엔진 총 마찰과 PSS by-pass장치를 통한 실차상태에서의 PSS 구동력 측정방법을 마련하였다.

Fig. 7은 대상 차량에 대하여 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 FTP-75 cold start mode 주행에서의 주행 상태를 나타낸 것이다.

PSS를 by-pass시킬 때 PSP로 인해 소모되는 엔진의 구동력이 없으므로 차량이 일정한 주행모드로

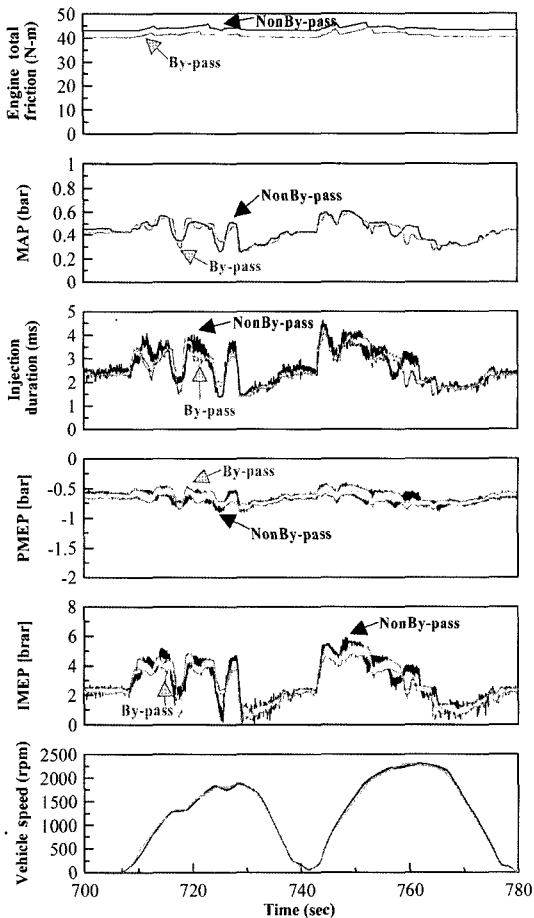


Fig. 7 Comparison of IMEP, PMEP, MAP, injection duration and engine total friction between power steering system by-pass and power steering system non by-pass at FTP-75 COLD START

주행하기 위하여 엔진에서 필요로 하는 구동력 또한 줄어든다. 따라서 분사된 연료량이 감소하였으며, 이는 IMEP와 BMEP의 감소로 나타났다. 또한 엔진의 부하가 작아짐에 따라 흡기 매니폴드의 압력이 낮아져 엔진의 PMEP가 증가하였다.

CVS분석결과 PSS by-pass때의 연비가 2.1(%) 증가 하였으며, 이는 파워스티어링 시스템 소요구동력 감소로 엔진 마찰 0.69(%)감소, 그로인한 엔진 열손실 1.4(%)감소, 불완전 연소 손실 0.04(%)감소, 펌핑 0.1(%)증가에 기인하였다.

Fig. 8과 Fig. 9는 FTP-75 cold start mode 전체 주행구간의 rpm-bmep-bsfc를 비교하여 나타낸 것이다.

PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때를 비교한 결과, PSS By-Pass시 PSS 구동에 사용되는 동력이 작기 때문에 차량이 동일 모드 주행 시 동일 Power 대비 분사된 연료량이 작아 더 낮은 bsfc 영역

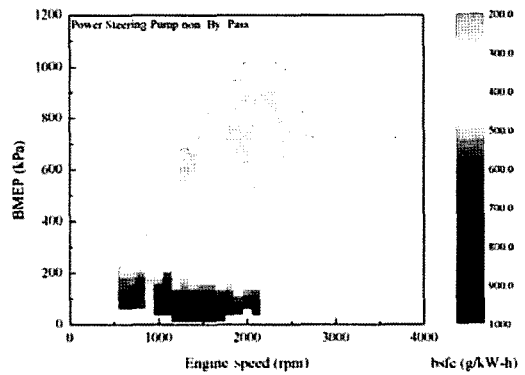


Fig. 8 Rpm-bmep-bsfc of the power steering system non by-pass

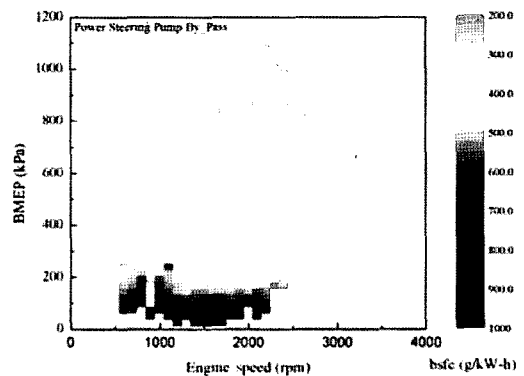


Fig. 9 Rpm-bmep-bsfc of the power steering system by-pass

에서 운전되고 있음을 볼 수 있다.

#### 4. 결론

PSS 구동력이 차량 모드 주행 연비에 미치는 영향에 대한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) PSP 단품 Rig를 구성하여 Pump의 토출압력에 대하여 구동력을 측정하였다. PSS 구동력은 펌프 압력의 1차 함수인 것으로 나타났으며, 이는 PSS의 압력이 증가할수록 Oil을 압축하기 위하여 더 큰 구동력이 필요하기 때문으로 사료된다.
- 2) PSS와 Oil의 유로를 실차상태와 동일하게 Rig를 구성하여 핸들을 조향하지 않은 상태에서 Pump의 회전속도에 대하여 Pump의 압력과 구동력을 측정하였다. Pump의 압력과 구동력은 3000(rpm)에서 최고를 나타내었으며, 회전속도가 증가함에 따라 점차 감소하였다. 또한, PSS의 토출 Line의 직경을 1(mm) 증가시키므로써 PSP 토출 압력은 3.5(bar)감소하였으며, 그로 인하여 PSS구동력은 0.7(N-m)감소하였다.
- 3) 서로 다른 유량특성을 갖는 A, B 두 종류의 펌프에서 PSS 회전속도 대하여 Pump구동력과 압력을 측정하였다. Pump의 변화로 토출압력과 구동력은 변하였지만 PSS 구동력은 PSS의 토출 압력에 대하여 비례하여 증가하였다. 따라서 PSS의 구동력을 감소하기 위해서는 조향 시 큰 힘을 필요로 하지 않는 중속 고속영역에서 Pump의 압력을 낮추는 것이 중요하다. 이를 위해 토출 Line의 직경을 변화시키거나, 펌프의 유량 특성에 변화를 주는 방법을 제시하였다.
- 4) 실차상태에서 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 엔진 총 마찰을 비교함으로써 PSS 구동력을 측정하였다. Pump 토출Line의 최고 압력은 2000(rpm)~3000(rpm)에서 10(bar)로 나타났으며, 그때의 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 엔진 총 마찰의 차이는 3(N-m)였다. 또한 Pump의 회전수가 증가함에 따라 토출압력과 엔진 총 마찰의 차이는 감소하였다. 이는 단품 실험에서의 결과와 동일하며, 이를 통하여 실차상태에서의 PSS구동력 측정 방법을 확립할 수 있었다.

- 5) 대상 차량에 대하여 PSS를 by-pass시켰을 때와 그렇지 않았을 때의 FTP-75 cold start 연비를 비교한 결과 PSS by-pass때의 연비가 2.1(%)증가하였으며, 이는 파워스티어링 시스템 소요구동력 감소로 엔진 마찰 0.69(%)감소, 그로 인한 엔진 열 손실 1.4(%)감소, 불완전 연소 손실 0.04(%)감소, 펌핑 0.1(%)증가에 기인함을 확인 하였다.
- 6) PSS를by-pass시킴으로써 PSS의 구동력이 감소하여 대상 차량이 일정한 주행모드로 주행하기 위하여 엔진에서 필요로 하는 연료량이 감소하였으며, 이는 IMEP와 분사된 연료량의 감소로 확인할 수 있었다. 또한 엔진의 부하가 작아짐에 따라 흡기 매니폴드의 압력이 낮아져 엔진의 PMEP가 증가하였으며, FTP-75 cold start시의 전체 주행구간의 bsfc는 PSS By-Pass시가 동일 Power 대비 분사된 연료량이 작기 때문에 PSS를 By-Pass 시키지 않았을 때보다 낮은 영역에서 운전됨을 확인하였다.

#### References

- 1) H. B. Song, "Modeling and Experiments for the Break-down of Fuel Consumption in a Passenger Car," Ph. D. Dissertation, Ajou University, 2002.
- 2) I. J. Garshelis, J. A. Aleksonis, C. A. Jones, and R. M. Rotary, "Development of a Magnetoelastic Torque Transducer for Automotive Transmission Application," SAE 970605, 1997.
- 3) J. R. Sobel, J. Jeremiasson and C. Wallin, "Instantaneous Crankshaft Torque Measurement in Cars," SAE 960040, 1996.
- 4) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw Hill, 1988.
- 5) T. D. Gillespie, Fundamentals of Vehicle Dynamics, SAE 1992.
- 6) R. E. Gish, J. D. McCullough, J. B. Retzlloff, and H. T. Mueller, "Determination of True Engine Friction," SAE Trans., Vol.66, pp.649-661, 1958.
- 7) S. I. Lee, "Analysis of Factors Affecting Vehicle Fuel Economy During Acceleration," M. S. Thesis, 2003.

- 8) J. W. Post and E. H. Law, "Modeling, Characterization and Simulation of Automobile Power Steering Systems for the Prediction of On-Center Handling," SAE 960178, 1996.
- 9) H. Kato, Y. Inaguma, K. Haga and M. Suzuki, "Energy-Saving Power Steering Pump," SAE 950582, 1995.
- 10) H. B. Song, J. C. Yoo, J. H. Lee and K. S. Park, "Prediction of Vehicle Fuel Consumption on a Component Basis," Vol.11, No.2, pp.203-210, Transactions of KSAE, 2003.
- 11) J. C. Yoo, H. B. Song, J. H. Lee, K. S. Park, J. S. Yoo and Y. M. Park, "An Experimental Study on Breakdown of Fuel Consumption on a Component Basis in a Gasoline Engine Vehicle," Vol.12, No.1, pp.153-161, Transactions of KSAE, 2004.