

< 기술논문 >

유압식 파워 스티어링 시스템의 어시스트 유량 특성

이 병 립^{*1)} · 류 상 욱¹⁾ · 유 충 준²⁾

현대기아자동차(주) 연구개발총괄본부¹⁾ · 경기대학교 기계시스템디자인공학부²⁾

Assisted Flow Rate Characteristics in Hydraulic Power Steering System

Byungrim Lee^{*1)} · Sangwoock Ryu¹⁾ · Chungjun You²⁾

¹⁾Corporate R&D Division, Hyundai-Kia Motors, 772-1 Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea

²⁾Division of Mechanical System Design Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi 442-760, Korea

(Received 3 April 2008 / Accepted 20 August 2008)

Abstract : Flow rate of the power steering oil pump is affected by oil temperature, engine rpm and pressure of pump. In this paper, considering those conditions, approximate model expressed by flow rate characteristics between hydraulic power steering oil pump and steering gear is proposed. Oil pump displacement is considered to be 9.6cc/rev. which is adapted to mid size car. Flow rate of the oil pump is predicted from the proposed model and compared with experimental data. And catch-up is also predicted in each steering wheel speed and is compared with experimental results.

Key words : Hydraulic power steering system(유압식 동력조향장치), Oil pump(오일펌프), Flow rate(유량), Catch-up(걸림), Flow characteristics(유량특성)

Nomenclature

- L : leakage
- N : RPM
- P : pressure, kgf/cm²
- Q : flow rate, ℓ/min
- R : steering wheel revolution, rev./sec
- S : hydraulic pressure area
- T : temperature, °C
- a, b, c, d, e : constant

Subscripts

- g : gear
- p : pump

1. 서론

유압식 파워스티어링 시스템은 매뉴얼 스티어링 시스템에 Fig. 1에서와 같이 유압식 펌프를 장착하고 호스 및 튜브를 통하여 스티어링 기어박스로 유체를 이동시켜 스티어링 기어박스로 적정 유량을 공급함으로써, 결과적으로 핸들을 작동하기 위해 소요되는 힘을 경감시켜 가볍게 작동될 수 있도록 하는 역할이 주된 임무였다. 그러나 현재는 주행시 유량 공급을 적절히 제어하여 차량의 주행안정성을 동시에 달성할 것을 요구하고 있다.

자동차의 스티어링 시스템 개발은 주정차시 스티어링 기어박스에서 소요되는 유량에 대해 펌프 공급유량을 설계식으로 계산하고 기존 개발 차량의 제어유량을 참조하여 초기 펌프 유량을 설정한 후, 부품을 제작하여 수차례의 실차 튜닝 과정을 거쳐 최종 사양을 결정하고 있다. 그러나 스티어링 오일

*Corresponding author, E-mail: brlee@hyundai-motor.com

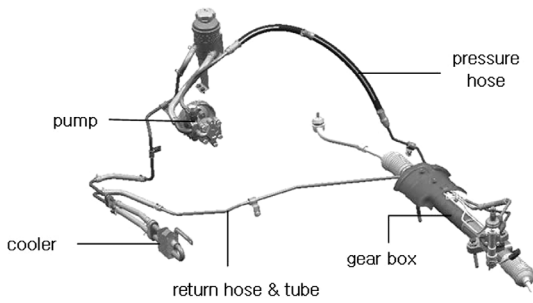


Fig. 1 Hydraulic power steering system

펌프 및 기어박스의 사양이 결정되었다 하더라도 최적으로 시스템이 설정되었는지 판정하기가 어렵다는 문제점이 있다.¹⁾ 만일 설정한 펌프의 공급 유량 및 기어박스의 소요 유량을 크게 설정하였을 경우, 연비 악화 및 부품의 원가 상승 등 악영향을 끼치게 되며 반대로 유량을 작게 설정하였을 경우, 조타력 무거움 등의 성능 악화를 가져오게 된다.

따라서 부품의 원가 및 성능을 가장 합리적으로 설정하기 위해서 시스템을 최적화시키는 것이 매우 중요하다. 지금까지 기본성능 개선 등을 위해 많은 연구가 되고 있으며¹⁻³⁾ 특히 유압식 파워스티어링 측면에서 많은 연구가 수행되었다.⁴⁻⁶⁾

본 연구에서는 판매량이 가장 많은 준중형 차량을 대상으로 하였으며 유압식 파워스티어링에서 실제 요구되는 유량에 대한 공급유량을 계산할 수 있는 근사식을 제안하고 평가를 통하여 제안한 식의 타당성을 검증하고자 한다.

2. 스티어링 펌프의 유량특성

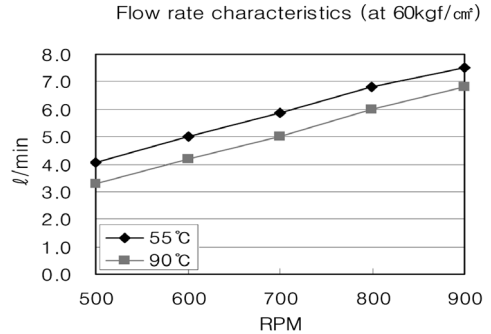
유압식 파워스티어링 시스템에서 오일을 스티어링 기어박스로 공급하여 파워를 어시스트 하는 오일 펌프에는 기어 펌프, 베인 펌프, 피스톤 펌프 등 여러 가지 종류가 있는데, 현재 파워 스티어링 시스템에는 유량 조절이 용이하고 원가 측면에서 가장 유리한 베인 타입의 펌프가 적용되고 있다.

베인 타입 펌프의 하우징 내부에는 풀리와 맞물려 회전하는 로터가 있고 로터는 외부에 기계 가공된 홈을 가지고 있다. 베인이라 불리는 금속 스플라인이 각 홈(slot)에 끼워져 있다. 베인은 홈 안에서 자유로운 운동을 할 수 있는 크기로 되어 있다. 엔진축

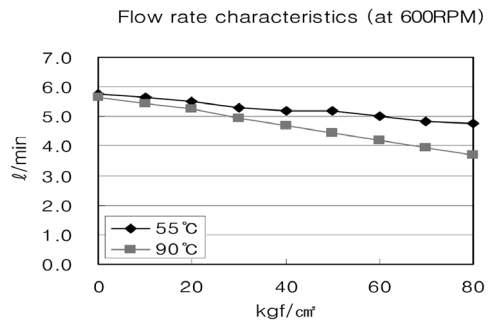
에 벨트로 연결된 펌프 풀리가 회전하게 되면, 동축에 고정된 로터의 원심력 때문에 로터 내부에서 베인이 나오게 된다.

로터와 로터 외부의 카트리지 사이의 체적 변화에 의해 오일이 흡입 및 토출 작용을 하게 되는데, 카트리지의 형상을 변경함에 따라 토출되는 유량을 조절하기가 용이하다. 베인 타입 파워스티어링 오일펌프 시스템에서는 엔진의 구동축과 펌프를 기계적으로 연결하여 엔진의 회전수에 따라 토출되는 유량이 달라지게 된다. 차량 정차상태 및 저속 운행 시에는 타이어와 노면 사이의 마찰력이 커져 큰 조타력이 필요하게 된다. 따라서 펌프의 제어밸브에서 토출량을 많게 하여 큰 조타력을 어시스트 해주게 된다. 차량이 고속주행시에는 타이어와 노면의 마찰력이 작아지게 되어 안정된 조타감을 주기 위해 조타감을 무겁게 설정한다.

Fig. 2는 펌프의 토출 유량을 계측한 결과를 나타낸다. 그림에서 온도별 유량은 RPM과 압력이 증가함에 따라 유량 특성이 변화되고 있음을 알 수 있다.



(a) N-Q characteristics



(b) P-Q characteristics

Fig. 2 Flow rate Characteristic graph

따라서 펌프의 토출 유량은 엔진회전수 증가시 온도와 압력변화에 따라 변화를 고려하면 식 (1)과 같이 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = f(N, P, T) \quad (1)$$

상기 조건이 모두 포함될 수 있는 펌프의 토출유량식을 펌프 압력이 엔진회전수와 비례관계에 있다고 가정하고 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_p = aPTN + bTP + cPN + dP + e \quad (2)$$

Fig. 3은 엔진회전수에 따른 유량변화, Fig. 4는 압력변화에 따른 유량변화를 나타낸다. 특히, Fig. 4는 600RPM, 40kgf/cm²에서 유온 55°C일 때 효율 85% 이상이고, 600RPM, 65kgf/cm²에서 유온 100°C일 때 효율 60% 이상으로 가정한 경우의 펌프 유량특성 그래프를 나타낸다.

국내 생산하고 있는 토출량 9.6cc/rev 펌프를 이용하여 계측을 실시하고 그 결과를 이용하였다. 그 결과를 이용하여 각 온도 조건에서 특성을 정리하면 식 (3), 식 (4)와 같은 결과를 얻을 수 있다.

$$\text{at } 80^\circ\text{C}, P = 0.5076N - 297.78 \quad (3)$$

$$\text{at } 90^\circ\text{C}, P = 0.4725N - 285.0 \quad (4)$$

위의 Fig. 3, 4의 관계와 실험으로 얻은 데이터로부터 관계식을 정리하고, 각각의 계수 값을 구하여 식 (2)에 대입하면 식 (5)와 같은 9.6cc/rev 펌프에 대한 근사화된 유량식을 얻을 수 있다.

$$Q_p = 2.647 \times 10^{-7} TPN - 4.655 \times 10^{-4} TP - 6.994 \times 10^{-6} PN - 5.371 \times 10^{-4} P + 9.574 \times 10^{-3} N + 9.148 \times 10^{-2} \quad (5)$$

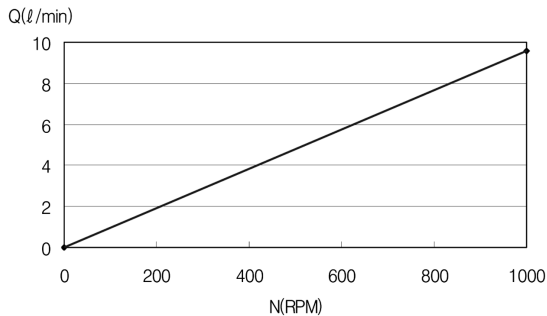


Fig. 3 RPM-Flow rate Characteristic (55°C, 3.5kgf/cm²)

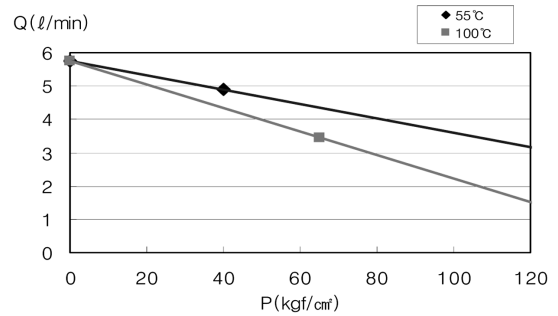


Fig. 4 Pressure-Flow rate of power steering pump

3. 실험 및 고찰

앞에서 구한 유량식이 실제 경우에 대해 잘 추정하고 있는지 여부를 검증하기 위하여 현재 양산되고 있는 펌프를 임의로 선정하여 유량을 계측하고 정확도를 살펴보고자 한다. 여기서, 한 종류의 펌프를 임의로 3개씩 추출하여 다음 조건으로 시험을 실시하였다.

- ① 55°C, 80°C, 100°C의 온도에 대한 유량을 구한다.
- ② 압력은 0~80kgf/cm²의 범위에서 10kgf/cm² 단위로 유량을 측정한다.

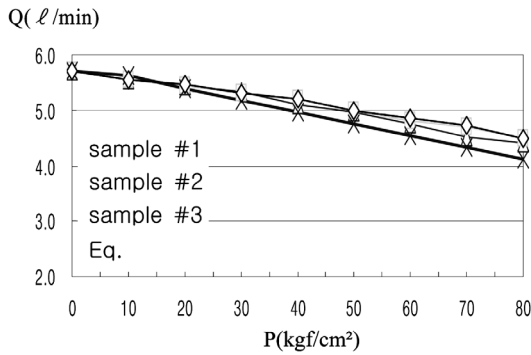
Fig. 5에는 측정된 실측 데이터와 식 (6)의 펌프 유량식으로 계산한 유량을 그래프로 나타내었다.

그래프에서 나타나는 바와 같이, 유량식과 실측 데이터는 압력 40kgf/cm²기준으로 55°C에서 3.8%, 80°C에서 2.6%, 100°C에서 2.9%의 범위 내에 존재함을 알 수 있다. 즉, 근사 신규 유량식을 이용하여 펌프의 토출량을 설정하게 되면, 실차에서도 거의 유사한 형태의 유량 특성을 얻을 수 있다.

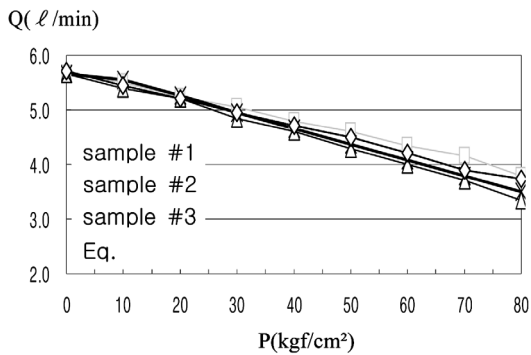
앞에서 제안한 펌프 유량식은 시스템 내부 리크를 고려하여 실차에서 소요되는 유량과 비교할 때 다음 식과 같이 같거나 커야 충분히 파워를 어시스트 했다고 할 수 있다.

$$Q_p \geq Q_g + L_g \quad (6)$$

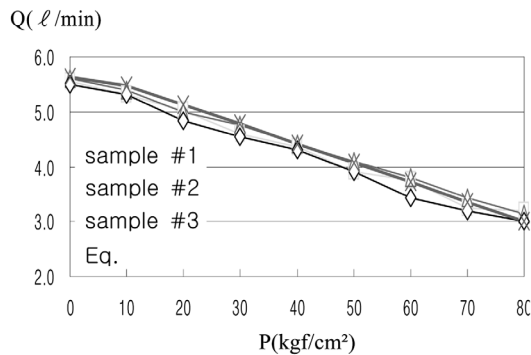
스티어링 기어가 파워를 어시스트 하기 위해 필요한 힘은 스티어링 기어 밸브에서의 압력과 기어 박스 실린더 단면적을 고려하여 구할 수 있으며, 스티어링 기어의 소요유량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.



(a) 55°C P-Q characteristics



(b) 80°C P-Q characteristics



(c) 100°C P-Q characteristics

Fig. 5 Comparison : Prediction vs Measurement

$$Q_g = R \times S \times \frac{\text{rack stroke}}{\text{wheel turns}} \times \frac{60}{10^6} \quad (7)$$

여기서 R은 초당 핸들 회전수를 의미하는데, 이것에 따라서 전체 단위 시간당 공급해야 할 펌프 유량이 지배를 받는다. 그리고 S는 기어박스 축방향으로 입력되는 힘의 비례에 대한 보정치로 정차 조타시에는 1.0이 된다. 또한 L_g 는 실제 스티어링기어

의 내부리크를 고려하면 된다. 식 (6)은 스티어링 시스템의 초기 유량 결정에 매우 중요한 역할을 하게 된다.

추정한 펌프 유량식이 소요유량에 대해 실차에서 적정한지를 판단하기 위해 조타속도 별 여유유량을 계산한다. 여유유량이 없으면 캐치업이 발생되는데, 동일한 조타 각속도의 예측식과 실차 계측치에서 캐치업 발생이 되는가를 확인하고자 한다.

실제 차량에서 일반적으로 많이 나타나는 조건을 모델로 하면 유온은 80°C 전후가 빈도수가 많고, 정차상태에서 스티어링 휠을 작동하면 펌프압력은 50~60kgf/cm² 이 많다. 따라서, 펌프 아이들 RPM, 유온 80°C, 유압 54.68kgf/cm²일 때로 가정하고, 이 값들을 신규 유량식에 대입하게 되면 토출유량 5.38 l/min가 구해진다.

여기서 토출유량은 스티어링휠 조타속도에 관계없이 일정하다. 정차 중 조타시 조건에서 국내 생산되는 준중형 차량의 실린더 내경, 랙바 외경, 랙 스트로크, 회전수를 고려하여 계산하면, 조타속도에 따라 Table 1과 같이 소요유량이 계산된다.

식 (5)을 이용하여 계산한 펌프의 토출 유량과 기어박스의 소요유량 차이가 여유유량이 되는데, 이 여유유량이 0보다 작아지면 유량 부족으로 인한 조타력 무거움 즉, 캐치업이 발생하게 된다.

Table 2에서 계산된 여유유량 값에 따르면 조타속도가 576deg/sec(초당 1.6바퀴) 과 640deg/sec인 경우에서 캐치업이 발생함을 알 수 있다. 초당 약 1.5바

Table 1 Required flow rate

Steering wheel angular velocity (deg/sec)	Required flow rate (l/min)
430	4.46
504	5.08
576	5.60
640	6.30

Table 2 Surplus flow rate

Steering wheel angular velocity (deg/sec)	Suplus flow rate (l/min)
430	0.92
504	0.30
576	-0.31
640	-0.92

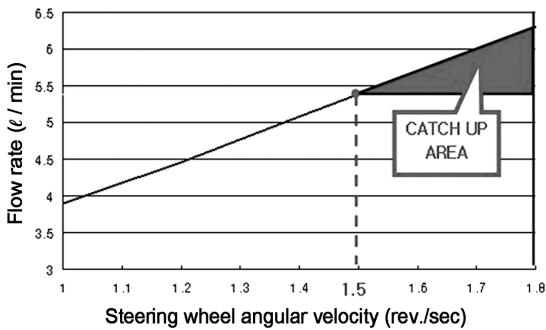


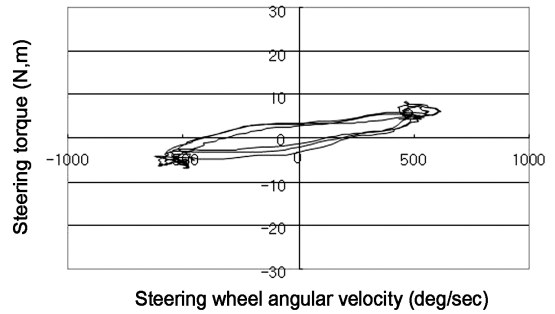
Fig. 6 Angular velocity(rev./sec)-Flow rate

퀴 회전시 캐치업이 발생된다고 할 수 있다.

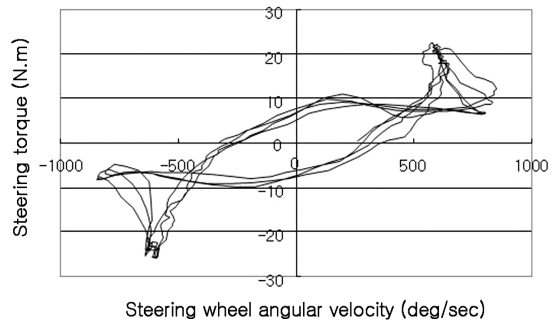
Fig. 6은 조타 속도에 따른 유량 그래프를 나타낸다. 여기서 펌프의 토출 유량은 조타속도에 영향을 받지 않는다. 펌프 유량이 5.38 l/min으로 일정하고, 기어박스 내부 리크가 일정하다고 가정하여 캐치업이 발생하기 시작하는 조타속도를 계산하면 Fig. 6에서와 같이 540deg/sec가 나온다. 즉, 540deg/sec 이상의 속도로 핸들을 돌리게 되면 캐치업이 발생하게 됨을 의미한다.

근사 유량식을 이용하여 계산한 값과 실차에서 나타나는 현상이 일치하는지 확인하기 위해 건조한 아스팔트 노면에서 아이들 RPM, 정차상태 조건에서 캐치업 평가를 실시하였다.

Fig. 7 그래프는 실차에서 측정한 조타속도와 조타력을 나타낸 것이다. 캐치업 발생여부에 대한 판별은 차량의 스티어링 휠에 조타력계를 설치하고 측정 후 타 속도 360deg/s를 1.0으로 하여, 각각의 조타 속도에 따른 비를 계산할 수 있는데 이 값을 R이라 한다. 이 값은 식 (8)의 R과 같다. 여기서, R값을 1.2~1.8 까지 0.2씩 증가시키며, 각각의 조타 속도에서 캐치업 발생 유무를 판별할 수 있다. Fig. 7의 (a)에서는 조타각속도 증가시 조타력이 급격히 증가되는 현상이 발생하지 않았다. 그러나 (b)에서는 조타각속도 540deg/sec이 넘는 순간 조타력이 급격히 증가하고, 반전시 조타력이 감소하는 현상을 알 수 있다. 결과적으로 Table 2의 이론적 예측치와 Fig. 7의 실험치는 초당 스티어링 휠 1.5회전 이상 작동시에는 캐치업이 발생되는 동일한 결과를 나타냄을 알 수 있다.



(a) Angular velocity of steering wheel : 504deg/sec



(b) Angular velocity of steering wheel : 576deg/sec

Fig. 7 Steering effort at variety Steering wheel angular velocities

4. 결론

지금까지 근사적인 방법으로 펌프의 공급유량 및 스티어링 기어의 소요유량에 대한 근사식을 제안하고 실차 통하여 시험함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실제 사용 조건을 고려하여 펌프 공급유량과 소요유량과의 관계를 계산할 수 있는 근사식을 제안하였다.
- 2) 근사식을 이용하여 이론적으로 추정된 유량은 압력 및 온도 상승시에도 측정한 유량과의 차이가 4% 이내에 있었다.
- 3) 본 연구에서 제안하는 펌프 공급유량과 기어박스에서 필요로 하는 유량과의 관계를 제공함으로써 차량개발 초기단계에서 유량 특성을 좀 더 근사하게 예측 가능하게 함으로써 시행착오를 줄이고 완성도 높은 차량 개발 업무를 수행하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) Kayaba Engineering Company, Steering and Dynamics, 山海堂, Japan, 1996.
- 2) V. D. Mills and J. R. Wanger, "Behavioural Modelling and Analysis of Hybrid Vehicle Steering Systems," Proc. Imech. Engrs., Vol.217, Part D, J. Automobile Engineering, pp.349-361, 2003.
- 3) S. J. Kim, B. H. Kwak, S. J. Chung and J. G. Kim, "Development of an Active front Steering System," Int. J. Automotive Technology, Vol.7, No.3, pp.315-320, 2006.
- 4) M. Wang, N. Zhang and A. Misra, "Sensitivity of Key Parameters to Dynamics of Hydraulic Power Steering Systems," SAE 2005-01-2389, 2005.
- 5) B. Lee and J. Lee, "Improvement of on Center Steer Feel by Using Power Steering Gear Box Characteristics," Transactions of KSAE, Vol.10, No.6, pp.100-105, 2003.
- 6) J. Jang and Y. Yon, "Analysis Model Development for Designing of Hydraulic Power Steering System," Transactions of KSAE, Vol.16, No.1, pp.135-142, 2008.