Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 14, No. 2 pp. 548-553, 2013

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.2.548

전기 유압식 동력 조향시스템용 외접형 기어펌프의 유량특성 근사식에 관한 연구

김지혜[1], 김성관[2*]
[1]공주대학교 기계공학과, [2]공주대학교 기계자동차공학부

A Study on the Approximate model of the Flow rate Characteristics in External Gear pump for EHPS

Ji-Hye Kim[1] and Sung-Gaun Kim[2*]
[1]**Division of Mechanical Engineering, Kongju National University**
[2]**Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University**

요 약 Electro-Hydraulic Power Steering(EHPS) 시스템은 오일펌프에 직결된 전기모터를 통해 조향 조작력을 발생시키는 시스템이다. 이러한 스티어링 시스템 부품의 원가 및 성능을 최적화시키는 것은 매우 중요하다. 현재까지 EHPS 시스템과 같은 유압시스템의 개발은 실차 실험을 통해 문제점을 보완하여 개발하고 있기 때문에 많은 시간과 비용이 발생한다. 본 논문에서는 EHPS용 개발한 외접형 기어펌프의 토출유량측정실험을 수행하고 실험 데이터를 통하여 토출유량을 계산할 수 있는 유량 근사식을 제안하였다. 제안한 유량 근사식의 검증을 위해 실험데이터 및 AMESim 유량값과 비교하였고, 그 결과 각각의 유량특성간 오차율 5%내외로 유사성을 입증하였다.

Abstract EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering) is a system to generate the steering operation force from the electric motor connected directly to the oil pump. To optimize the manufacturing cost and efficiency of the performance of the steering system is very important. Until now, the development of the hydraulic system is implemented by the field test which needs a significant time and cost. In this paper, flow measurement of an external gear pump is performed. Then using the experimental results, an approximate model expressed by flow rate characteristics is proposed to calculate the discharge flow rate. Proposed approximate model is verified by comparing with the experimental data and AMESim results. As the experimental data and AMESim results agree well, the approximate model data can be used as an alternative to highly cost experimental procedure.

Key Words : Electro-Hydraulic Power Steering system, External gear pump, Flow rate characteristics

1. 서론

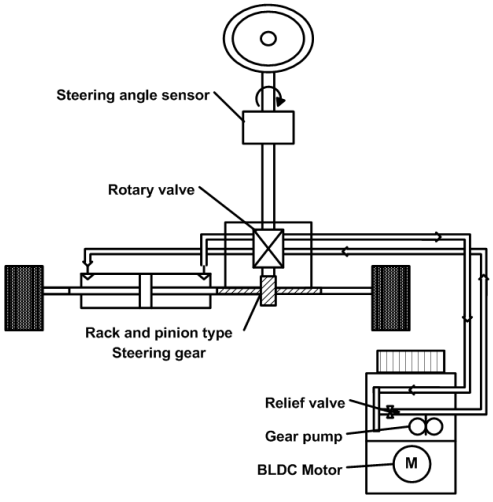
동력 조향 시스템은 유압식 펌프를 장착하고 호스 및 튜브를 통하여 스티어링 기어박스로 유체를 이동시켜 적정 유량을 공급함으로써, 결과적으로 핸들을 작동하기 위해 소요되는 힘을 경감시켜 가볍게 작동될 수 있도록 하는 역할이 주된 임무였다. 그러나 현재는 주행시 유량 공급을 적절히 제어하여 차량의 주행안정성을 동시에 달성할 것을 요구하고 있다. 자동차의 스티어링 시스템 개발은 주정차시 스티어링 기어박스에서 소요되는 유량에 대해 펌프 공급유량을 설계식으로 계산하고 기존 개발 차량의 제어유량을 참조하여 초기 펌프 유량을 설정한 후, 부품을 제작하여 수차례의 실차 튜닝 과정을 거쳐 최적의 사양을 결정하고 있다. 시스템을 최적화시키는 것은 부품의 원가 및 성능을 가장 합리적으로 설정하기 위한 것으로써 매우 중요하다. 지금까지 기본성능 개선 등을 위해 많은 연구가 되고 있으며 특히 유압식 파워스티어링 측면에서 많은 연구가 수행되었다[1].

본 논문은 지식경제부 “2012년도 지능형 자동차 상용화 반 구축 사업”의 연구비 지원으로 수행되었음.
*Corresponding Author : Sung-Gaun Kim (Kongju National University)
Tel: +82-41-521-9253 email: kimsg@kongju.ac.kr
Received November 16, 2012 Revised (1st January 25, 2013, 2nd February 5, 2013) Accepted February 6, 2013

현재까지 대부분의 유압시스템을 개발함에 있어 각 부품의 성능을 개선한 후에 교환하여 실험하는 시행 착오법(Trial & Error method)방식으로 대상시험(Bench test) 및 실차 실험을 통해 문제점을 보완하여 개발하고 있기 때문에 많은 시간과 비용이 크게 발생하고 있다. 특히 독자적인 시스템을 개발할 때 사양선정 및 최적 설계에 어려움을 주고 있는 것이 현실이다. 근래에 신제품에 대한 기술 수출 상담 시, 설계 기준에 대한 근거자료(Back data)의 구체적인 내용을 요구할 때 해석 기술의 부족과 설계 데이터 구축이 미비하여 부품 및 시스템을 수출하는데 많은 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다.

EHPS(Electro-Hydraulic Power Steering) 시스템과 같은 유압시스템에 대한 신뢰성 있는 모델 개발을 위해서는 에너지 공급원인 기어펌프의 모델링이 매우 중요하다[2].

본 논문에서는 개발한 EHPS용 외접형 기어펌프의 토출유량측정실험을 수행하였고 실험으로 얻은 유량데이터를 통하여 토출유량을 계산할 수 있는 유량 근사식을 제안하였다. 또한 제안한 유량 근사식 검증을 위해 실험데이터 및 AMESim 기어펌프 유량값과 비교를 실시하였다.

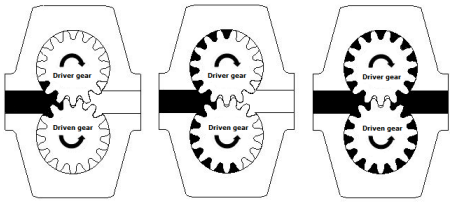


[Fig. 1] Schematic diagram of EHPS system[3]

2. 외접형 기어 펌프의 유량특성

2.1 기어 펌프의 구동원리

외접형 기어펌프는 단순한 구조로 소형화에 적합하고 제한된 체적을 토출해내는 대표적인 용적식 펌프이다. 그림 2와 같이 두 개의 맞물린 기어치 사이로 유체를 옮김으로서 유동을 형성시킨다. 두 개의 기어 중 하나는 구동축과 연결된 구동기어(driver gear)이며, 다른 하나는 구동기어에 맞물려 돌아가는 종동기어(driven gear)이다. 흡입포트는 맞물린 기어치가 풀려 체적이 늘어나서 대기압보다 낮은 압력이 생성되는 곳이며, 토출포트는 기어치가 맞물려 돌아가면서 체적이 줄어들어서 줄어드는 체적만큼의 작동유체가 빠져나가는 부분이다. 흡입포트에서 기어의 이는 기어가 회전함에 따라 중심축으로부터 떨어지게 되고, 기어치 사이에 급격한 체적 증가가 발생한다. 이러한 체적 증가는 진공압력을 발생시키고, 이로 인해 탱크에 작용하는 대기압은 작동유체를 펌프로 밀어 올리게 된다. 그러면 작동유체는 기어이의 하우징 사이의 공간에 실려 출구로 운반된다. 기어가 회전함에 따라 기어치는 다시 맞물리게 되고 기어치 사이에 체적이 감소되므로 유체는 토출포트 밖으로 밀려나가게 된다. 이때 치차의 물리는 부분에 폐입부의 아주 적은 양의 유체는 흡입포트 쪽으로 되돌려지기도 하지만 입구포트 측에서 되돌려지는 유량 또한 일정하기 때문에 토출유량은 일정하게 반복적으로 이송된다[4, 5].



[Fig. 2] Driving principle of external gear pump

기어펌프는 크기가 작고 제작이 용이하여 승용차의 유압동력원과 같이 소형 유압장치의 구동용으로 많이 사용되며, 본 논문에서 실험한 외접형 기어펌프는 120 kgf/cm^2를 상회하는 펌프로 구성되어있다. 먼저 외접형 기어펌프의 시제품 제작하기 위해 설계 목표인 토출유량과 토출압력으로부터 설계 인자를 고려해야한다. 펌프의 제원을 결정하기 위해 적용된 외접형 헬리컬 인볼류트치형 기어펌프의 기본 이론 토출 유량식은 다음과 같다.

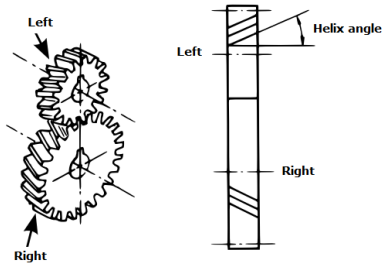
$$V_{th} = 0.5 \times \pi d \times (d_{K1}^2 - a^2 - (t_0^2/3j) - (b^2 \times \tan^2\beta_g/3)) \quad (1)$$

기어펌프 효율은 기어의 이 끝부분과 케이스 사이 그리고 기어 옆면과 케이스 사이에서 발생하는 누설용량과 점성마찰 손실에 의해 크게 좌우된다. 기어펌프의 효율을 향상시키기 위해서, 기어의 이 끝부분과 케이스 사이 간극을 검토하였다. 기본이론 토출량과 간극 검토를 통해

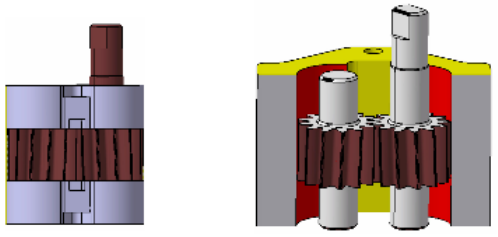
주요인자들을 고려하여 3차원 모델로 도식화 하여 설계 표준화 작업을 진행하였다. 그림 3은 헬리컬 기어의 구조를 나타내며, 그림 4은 설계인자를 고려하여 제작된 외접형 헬리컬 인볼류트치형 기어펌프의 3차원 모델과 구조를 나타낸다[6].

[Table 1] Constant and Unit

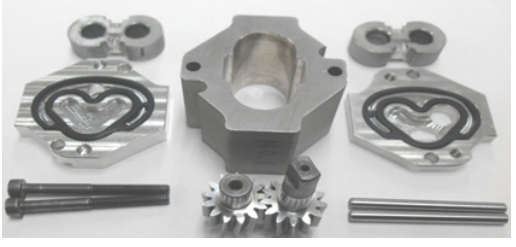
Constant	Unit
Addendum circle diameter (d_{K1})	mm
Center distance (a)	mm
Normal pitch to axial perpendicular (t_0)	mm
Width of the tooth (b)	mm
Spiral angle (β_g)	°



[Fig. 3] Structure of helical gear[7]



(a)

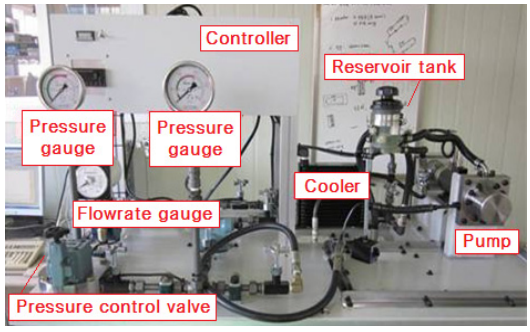


(b)

[Fig. 4] (a) 3D model of external helical involute type gear pump
(b) Structure of external helical involute type gear pump

2.2 기어 펌프의 유량 측정 실험 및 결과

그림 5는 기어 펌프 유량 및 구동토크 측정시험기로써 크게 유압펌프, 모터, 제어부로 구성되어있다. 작동원리는 모터가 유압펌프의 샤프트와 연결되어 유압펌프를 회전시켜 압력/유량을 발생시키고, 제어부는 RPM, 압력, 오일온도, 유량을 표시하고, 압력제어는 수동 조절 가능하도록 구성되어져 있다.



[Fig. 5] Gear pump flow rate and driving torque tester

실험 데이터를 통한 펌프의 토출유량은 회전수 증가시 압력변화에 따른 변화를 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{Q} = f(N, P) \tag{2}$$

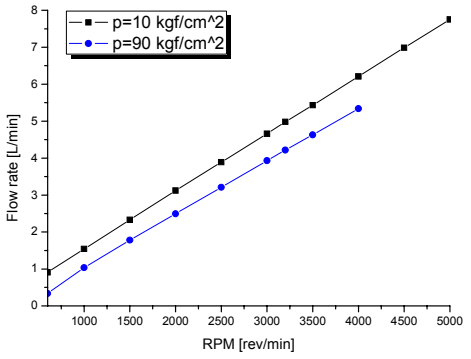
또한 상용 통계 분석 프로그램인 Minitab을 이용하여 다중회귀분석을 수행하였으며 다음과 같은 유량 근사식을 도출할 수 있다.

$$\dot{Q} = 0.00155N - 0.006P + 0.035 \tag{3}$$

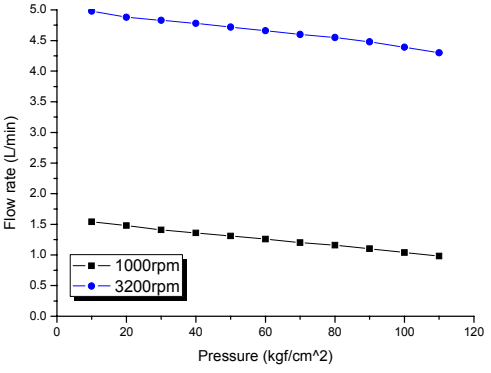
여기서, $\dot{Q}$는 토출유량, N은 기어펌프의 회전수, P는 토출구 압력을 나타낸다. 표 2는 Minitab을 이용한 다중회귀분석의 결과로 분산 및 회귀분석의 데이터이다. F는 회귀식을 검증하기 위한 값으로 127289.42 이며, F의 유의성은 0.000 으로 나타나 유의성이 높은 것으로 분석되었다. 결정계수(Coefficient of determination, R^2)는 1에 가까울수록 적합하며, 유량 데이터의 결정계수는 0.99958 이므로 적합한 수치이다. 또한 독립변수의 유의성 검정결과 각각 유의수준인 P<0.05 로 나타나 유의성이 있은 것으로 나타났다.

그림 6은 제작한 외접형 기어펌프를 유량 및 구동토크 시험기의 실험을 통해 계측한 토출유량 결과를 나타낸다. 유량측정실험은 기어펌프의 유량 및 구동토크를 압력별로 측정하였으며, 그림을 통해 RPM이 증가함에 따라 유

량이 증가하고 압력이 증가함에 따라 유량이 감소하는 것을 알 수 있다.



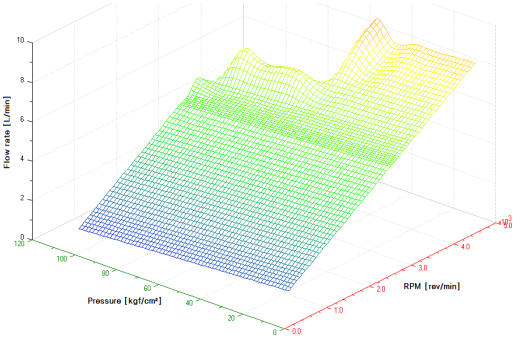
(a)



(b)

[Fig. 6] a. RPM-flow rate characteristics at P=10, 90
b. Pressure-flow rate characteristics at N=1000, 3200

그림 7은 도출된 유량 근사식을 통해 계산된 기어펌프의 회전수 및 압력에 따른 유량특성을 3D평면으로써 나타낸 그래프이다.



[Fig. 7] Approximate model flow rate characteristics 3D graph

3. 시뮬레이션

AMESim(Advanced Modeling Environment for Simulation of Engineering Systems)은 기계, 전기전자 및 유압 등의 복잡한 융합 시스템을 Graphical interface를 통해 빠르고 정확하게 모델링 및 해석이 가능한 프로그램으로써[8,9], 본 논문에서는 실험의 근사식을 검증하기 위하여 사용되었다.

그림 8은 실험을 통한 외접형 기어펌프의 유량데이터와 근사식을 통한 유량 및 AMESim 결과를 비교한 그래프이다. 실험 데이터와 근사식을 통한 유량의 오차율은 5% 미만이며, AMESim 결과와의 오차율은 5% 내외의 차이가 나타났다.

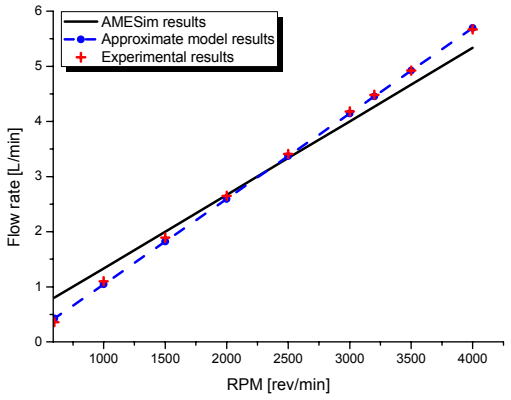
[Table 2] The Summary of Results from Multiple Linear Regression

(a) Analysis of variance

Source of variance	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean of squares	F	Significance of F
Regression	2	451.79	225.87	127289.42	0.000
Residual	107	0.19	0.000		
Total	109	451.92			

(b) Multiple Linear Regression (Coefficient of determination=0.99958, Adjusted coefficient of determination=0.999572)

Variable	Coefficients	Standard error	Test statistic	P-value
Constant	0.03505	0.01267	2.77	0.007
Pressure	-0.006	-0.006	-45.82	0.000
RPM	0.001554	0.001554	488.35	0.000



[Fig. 8] Gear pump flow rate characteristics by approximate model v.s flow rate characteristics by experimental data and AMESim results

AMESim에서 사용된 기어펌프의 유량 근사식은 다음과 같다.

$$q_n = Z \cdot m^2 \cdot b \cdot |speed| \cdot (1 + \frac{1}{Z} - \frac{Z}{4} cos^2\phi \cdot \theta^2)\eta_{vol} \quad (4)$$

$$where, -\frac{\pi}{Z} \le \theta \le \frac{\pi}{Z}$$

여기서 Z 는 기어잇수, m 은 모듈, b 는 기어 이의 두께, ϕ 는 접촉각, θ 는 각위치, η_{vol} 는 체적효율을 나타낸다[10]. 다음은 각각의 상수 값을 나타내는 표이다.

[Table 3] Constant conditions

Constant	Condition
Number of teeth (Z)	13
Gear module (m)	1.125 mm
Width of the tooth (b)	12.1 mm
Contact angle (ϕ)	20 °
Volumetric efficiency (η_{vol})	0.99

4. 결론

본 논문에서는 개발한 EHPS용 외접형 기어펌프의 토출유량 측정실험을 하였고, 실험한 유량 데이터를 통해 유량 근사식을 제안하였다. 제안한 유량 근사식의 타당성을 위해 토출유량측정실험 데이터 및 AMESim 기어펌프의 유량 데이터와 비교를 하였다. 그 결과 실험 데이터 및 AMESim 기어펌프 유량 데이터의 유량특성과 유량 근사식을 통한 유량특성간 오차율은 5%내외로써 유사성을 검증하였다. 본 논문에서 제시한 유량 근사식은 EHPS 시스템의 시뮬레이션 및 제어기 설계에 기초자료로 활용 가능하며, 향후 기어펌프 유량 근사식을 활용한 EHPS 시스템의 시뮬레이션 및 제어기를 설계하고자 한다.

References

[1] B. R. Lee, S. W. Ryu, C. J. You, “Assisted Flow Rate Characteristics in Hydraulic Power Steering System", Transaction of KSAE, Vol. 17, No. 1, pp.58-63, 2009

[2] J. S. Jang, Y. H. Yoon, “Analysis Model Development for Designing of Hydraulic Power Steering System", Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 1, pp.158-165, 2008

[3] J. H. Kim, S. G. Kim, “A Study on the Modeling and Simulation of an Electro-Hydraulic Power Steering system", Journal of KAIS, Vol. 13, No. 3, pp. 1008-1013, 2012

[4] W. S. Che, “The Meshing Pressure Analysis of an External Gear Pump according to Relief Groove Position through CFD", Journal of Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 12, No. 4, pp. 125-132, 2010

[5] J. H. Ha, S. J. Park, “Fluid machinery”, pp.297~298, Munundang, 1996

[6] J. H. Kim, H. K. Lee, S. C. Kim, S. G. Kim, “Development of the External Gear Pump for EHPS”, Proceedings of KAIS, Vol. 12, No. 2, pp.421-424, 2011

[7] KOHARA GEAR INDUSTRY Co Ltd., Gear Technology References, Introduction to Gears, “http://www.khkgears.co.jp/en/gear_technology/guide_info.html” (accessed Jan. 2013)

[8] H. WANG, R.-T. DING, Z.-J. LI, Y. ZHOU, Y. JIAO, “Simulation of Electro-Hydraulic Power Steering System”, Journal of Tianjin University, Vol 41, No 5, pp. 628-630, 2008

[9] Shinho Systems Co,, Ltd., Software Introduction, http://www.ishinho.com/product/product04.html, (accessed Jan. 2012)

[10] LMS Imagine. AMESim ver10 Help File.

김 지 혜(Ji—Hye Kim) **[준회원]**

- 2011년 2월 : 공주대학교 천안공과대학 기계공학 (공학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 기계공학 (석사 재학 중)

<관심분야>
지능형제어시스템, 메카트로닉스

김 성 관(Sung-Gaun Kim) **[정회원]**

- 1992년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학사)
- 1995년 8월 : KAIST 자동화 및 설계공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : GIST 기전공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 기계공학과 교수

<관심분야>
지능형제어시스템, 메카트로닉스, 로보틱스, 분자동역학