

자동변속기용 베인펌프의 토출압 노이즈 특성 해석

The Analysis of Discharge Pressure Noise Characteristics Of Vane Pump for Automatic Transmission

최윤용 · 최호종 · 이상현 · 정우진

Y. Y. Choi, H. J. Choi, S. H. Lee and W. J. Jung

Key Words : Vane pump(베인펌프), Pressure pulsation(압력맥동), Pump discharge pressure noise (토출압 노이즈), Pressure regulator valve(압력레귤레이터 밸브)

Abstract: As for an oil hydraulic vane pump of vehicle hydraulic systems, the highest of planning technique required by the acquisition of optimum profile data which can be available to predict noises and vibrations. Pressure pulsation may result in considerable vibration and noise of pump component as well as cavitation in hydraulic system. The influences of the discharge pressure and rotating speed of the vane on the dynamic pressure in chamber surrounding a vane have been investigated. It is very important to predict pressure pulsation in vane pump. This paper presents analysis of technique of vane pump for automatic transmission. The predicted result using AMESim model were good agreement with the experimentally obtained results.

기호 설명

A : Volume of maximum chamber between vane and rotor (cc)

B : Volume of minimum chamber between vane and rotor (cc)

b : Width of rotor (mm)

ΔP : Pressure pulsation (MPa)

P_s : Suction pressure (MPa)

P_d : Discharge pressure (MPa)

Q : Expected discharge flow rate (l/min)

Q_{th} : Theoretical discharge flow rate (l/min)

Q_L : Leakage (l/min)

R : Radius of camring (mm)

r : Radius of rotor (mm)

t : Thickness of vane (mm)

z : Number of vane

μ : Coefficient of friction

θ : Angle of vane (Degree)

ω : angular speed (rpm)

1. 서 론

자동차 연구개발에 있어 NVH(Noise, Vibration, Harshness)는 자동차의 쾌적성을 나타내는 중요한 요소가 되고 있으며, 최근에는 자동차의 엔진, 변속기, 서스펜션, 샤시등에서 발생하는 NVH 를 줄이는 방법을 찾아 내는 것이 주된 관심사가 되고 있다. 또한 엔지니어들은 운전자와 승객이 편안함을 느낄수 있는 수준까지 NVH 를 제거하는 방법을 연구하고 있다. 특히 자

최윤용(책임저자): 자트코 코리아 엔지니어링

E-mail : yunyong_choi@jatco.co.jp

TEL : 02-2082-7057

최호종/이상현/정우진: 자트코 코리아 엔지니어링

동차 엔진에 연결되어 구동되는 오일펌프의 유압 진동은 변속기의 주된 기진원으로서 자동 변속기의 NVH 성능, 더 나아가 자동차의 감성적 성능에 중요한 영향을 미치기 때문에 오일펌프의 초기 설계 단계에서 노이즈 성능을 예측해 최적화 하여 실험확인 과정을 줄일 수 있는 설계 검토 툴의 개발이 요구되고 있다.

본 연구에서는 베인펌프 토출압 노이즈 해석 및 예측을 위해 유압해석 상용 프로그램인 AMESim을 이용하였으며 실험결과와 평가 및 분석을 실시한다. 또한 향후 베인펌프의 사양변경이나 ATF의 물성치 변화에 대한 결과를 예상할 수 있는 기반 설계 기술을 얻는데 그 목적이 있다.

2. 베인펌프의 이론적 분석

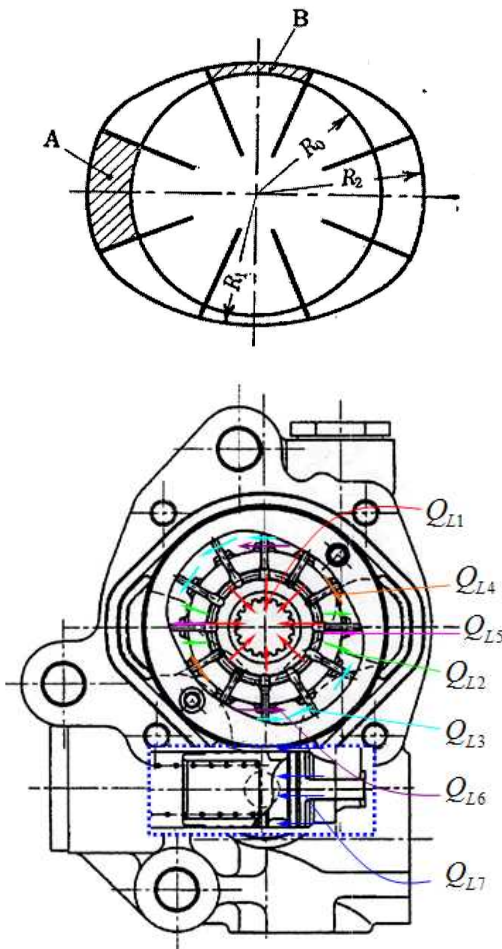


Fig.1 Configuration of vane pump.

이번 연구 대상 모델은 12 개의 베인을 가지고 있고, 행정 체적이 12cc 상당인 고정용량형 베인 펌프이다.

Fig.1 에서는 베인 펌프의 개략도를 나타내었다. 베인펌프의 구조는 바디와 커버, 로터, 베인, 캠링, 사이드 플레이트 등으로 이루어진 pumping chamber 부, 토출량을 조절하는 유량 제어 밸브로 나눌 수 있다. 식(1), (2)에 나온 A, B 는 펌프 회전각도에 따라서 베인과 로터사이의 최대 행정체적과 최소 행정체적을 나타낸다. 식(3)은 이론적으로 내보낼 수 있는 토출량의 계산식이다. 식(4)의 실제적인 토출 유량계산은 식(3)의 이론 토출량에서, 펌프내에 발생하는 leakage 량의 차이로부터 계산할 수 있다. leakage 는 흡입부와 토출부의 압력차이에 비례하고, 설정압력이 증가하는 만큼, 내부 leakage 량이 많아지며 송출되는 유량 맥동의 진폭이 커진다. 펌프내부의 leakage 는 크게 흡입부 및 토출부의 측면 클리어런스에 대한 leakage, 로터 슬릿에서 발생하는 leakage, 노치부로부터 발생하는 leakage, 유량 제어 밸브로부터 발생하는 leakage 등으로 나누어 세분화했다.

식(5)는 leakage 총유량 Q_L 을 이론적으로 나타내기 위해서 측면 클리어런스로 부터의 leakage 를 더 세분화 하였고, Q_{L1} 부터 Q_{L7} 까지 7 부분으로 나누어 리크량이 발생한다고 가정한다. 베인 배압구로부터 펌프 중심으로 향하는 로터 측면에서의 leakage 는 식(6)과 같이 나타낸다.

$$A = b\pi(R_2^2 - R_0^2) \frac{\theta}{2\pi} - bt(R_2 - R_0) = b \left\{ \frac{1}{2}(R_2^2 - R_0^2) \frac{2\pi}{z} - t(R_2 - R_0) \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$B = b\pi(R_1^2 - R_0^2) \frac{\theta}{2\pi} - bt(R_1 - R_0) = b \left\{ \frac{1}{2}(R_1^2 - R_0^2) \frac{2\pi}{z} - t(R_1 - R_0) \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{th} = 2z(A - B) = 2z \left[b \left\{ \frac{1}{2}(R_2^2 - R_0^2) \frac{2\pi}{z} - t(R_2 - R_0) \right\} - b \left\{ \frac{1}{2}(R_1^2 - R_0^2) \frac{2\pi}{z} - t(R_1 - R_0) \right\} \right] = 2\pi b \left\{ R_2^2 - R_1^2 - \frac{z}{\pi}(R_2 - R_1)t \right\} \dots\dots\dots(3)$$

$$Q = Q_{th} - Q_L \dots\dots\dots(4)$$

$$Q_L = Q_{L1} + Q_{L2} + Q_{L3} + Q_{L4} + Q_{L5} + Q_{L6} + Q_{L7} \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_{L1} = 2 \frac{\pi(r_2 + r_1)h_r^3(p_d - p_s)}{12\mu(r_2 - r_1)} \dots\dots\dots(6)$$

베인 배압구로부터 흡입 포트로 향하는 로터 측면에서의 leakage 는 식(7)과 같이 나타낸다.

$$Q_{L2} = 2 \frac{\theta}{180} \frac{\pi(r_4 + r_3)h_r^3(p_d - p_s)}{12\mu(r_4 - r_3)} \dots\dots\dots(7)$$

캠링의 대원호부에서 베인 측면 클리어런스에서 발생하는 leakage 는 식(8)과 같이 나타낸다.

$$Q_{L3} = 2 \left[2 \left\{ \frac{l_{v1}h_v^3(p_d - p_s)}{12\mu w} - \frac{l_{v1}h_v u_1}{2} \right\} \right],$$

$$l_{v1} = R_2 - r_4, \quad u_1 = \frac{R_2 + r_4}{2} \omega \dots\dots\dots(8)$$

캠링의 소원호부에서 베인 측면 클리어런스에서 발생하는 leakage 는 식(9)와 같이 나타낸다.

$$Q_{L4} = 2 \left[2 \left\{ \frac{l_{v2}h_v^3(p_d - p_s)}{12\mu w} - \frac{l_{v2}h_v u_2}{2} \right\} \right],$$

$$l_{v2} = R_1 - r_4, \quad u_2 = \frac{R_1 + r_4}{2} \omega \dots\dots\dots(9)$$

흡입부에서 로터슬릿과 베인 사이에서 발생하는 leakage 는 식(10)과 같이 나타낸다.

$$Q_{L5} = \frac{bh_s^3(p_d - p_s)}{12\mu l_s}, \quad l_s = l_v - (R_c(\theta) - R_r) \dots\dots\dots(10)$$

펌프내의 노치로부터의 leakage 는 식(11)과 같이 나타낸다.

$$Q_{L6} = 2A_{n1} \left[\frac{2(p_d - p_s)}{\rho(1 - A_{n1}/A_c)} \right]^{0.5} + 2A_{n2} \left[\frac{2(p_d - p_s)}{\rho(1 - A_{n2}/A_c)} \right]^{0.5} \quad (11)$$

유량제어밸브의 클리어런스에서 발생하는 leakage 는 식(12)와 같이 나타낸다.

$$Q_{L7} = \frac{bh_f^3(p_d - p_s)}{12\mu l} \dots\dots\dots(12)$$

3. 베인펌프의 모델링

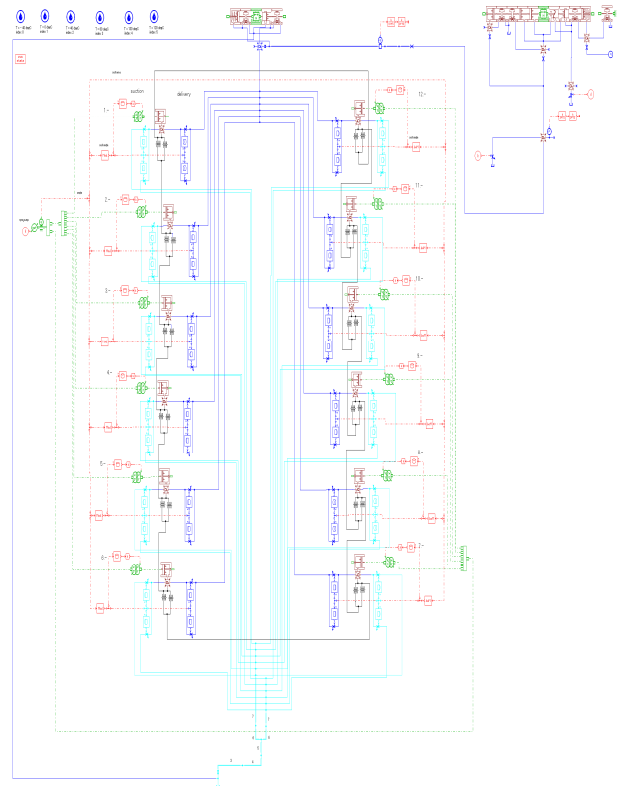


Fig.2 Schematic of vane pump model using AMESim

앞 장에 나온 이론식을 바탕으로 베인펌프를 AMESim 을 이용하여 모델링 한 이미지를 Fig.2 에 나타내었다. 펌프 흡입유로의 흡입 부압을 설정할 수 있도록 간략화하고 펌핑부와 유량제어밸브부를 모델링했다. 또한 펌프 토출압 맥동에 영향을 주는 공기 함유율, leakage, 유체의 물성치 등을 반영할 수 있도록 했다.

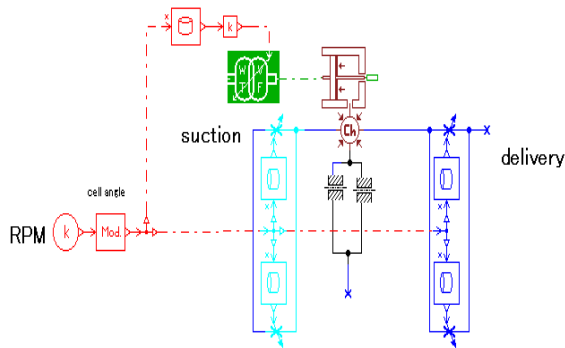


Fig.3 Configuration one vane model of vane pump.

Fig.3 은 AMESim 에서 하나의 vane chamber 의 메카니즘을 모델링한 것이다. 입력한 펌프의 회전 조건에 의해서 inlet 포트와 outlet 포트의 체적이 변형이 된다.

Suction 과 Delivery 부분은 1 회전에 두 번의 opening, closing 가 발생하기 때문에 2 개의 오리피스로 구성이 된다. 펌프 회전조건을 받은 피스톤부는 선형 운동으로 변환되어 체적의 변화로 계산되어진다.

Fig. 4 는 유량 제어 밸브를 모델링한 것이다. 유량 제어 밸브는 펌프 내보내는 곳과 연결된 유량 제어 밸브의 chamber 와 토출 포트의 차압에 의해서 유량을 제어한다.

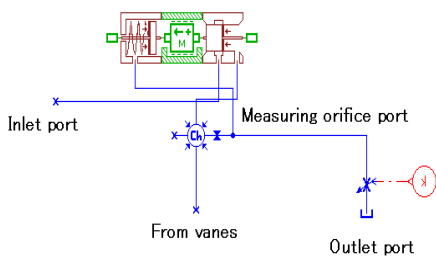


Fig.4 Configuration flow control v/v model of vane pump.

Fig.5 는 베인펌프의 흡입부분의 모델링을 나타 내었다. 파이프 라인 3,4,5,6 은 관성을 고려해 작성하였고, 7 번 파이프라인은 길이가 10mm, 직경이 17mm 상당의 라인으로서, 길이에 비해 직경이 상대적으로 크지 않기 때문에 관성을 고

려하지 않는 모델로 작성하였다. 본 연구 대상의 펌프 토출 부분도 직경이 크고, 길이가 상당히 짧은 형상을 가지고 있기 때문에, 현재 분석하려는 주파수 성분보다 높은 고주파 영역대의 주파수 성분을 나타낼 것으로 판단하여, 펌프 토출 파이프 형상이 맥동의 영향에 큰 요소가 아니라 는 가정 하에 해석을 실시하였다.

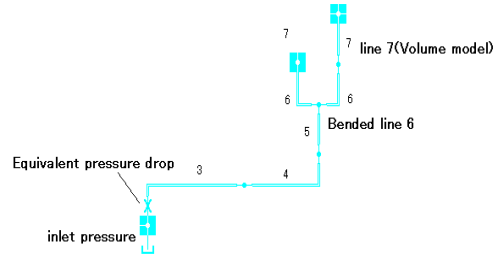


Fig.5 Zoom on inlet line of the vane pump model

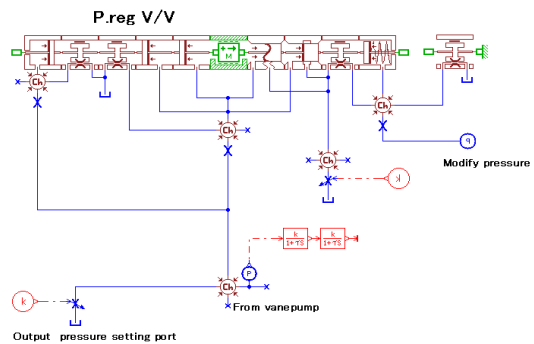


Fig.6 Zoom of P. reg V/V of the vane pump

Fig. 6 은 P.reg 밸브의 모델링을 나타낸 것이다. 밸브 바디의 전체 시스템을 모델링 하는 것은, 큰 계산 성능이 요구되므로, 이번 오일펌프의 맥동 노이즈 해석 모델은 설정압을 조절하는 P.reg 밸브로 간단화하였고, P.reg 밸브의 동특성을 고려하기 위해서 spool 의 중량, 용수철 상수, underlap/overlap 을 고려하여 모델링 했다. 또한 spool 의 중량이 도면치 이상의 경우, 밸브의 응답 속도가 늦어지고, 펌프의 토출압 맥동에 반응이 없는 경우가 있으므로, 정확한 모델링을 했다.

4. 시뮬레이션 결과

Table.1 은 80℃, 120℃의 ATF 물성치 및 해석조건을 나타내었다. Table.1 의 조건으로 해석하였으며, Fig.4 의 펌프 토출부에 위치한 Measuring orifice 에서 토출압을 측정하였다. 또한 유압 맥동에 따른 노이즈 분석을 실시하여, 실험치와 비교하였다.

Test NO.	RPM	density(Kg/m3)	air ratio(%)	Output pressure(Mpa)
1	1897	782	26	1.55
2	3360	782	21	1.55

Table.1 ATF physical Properties used for the simulation

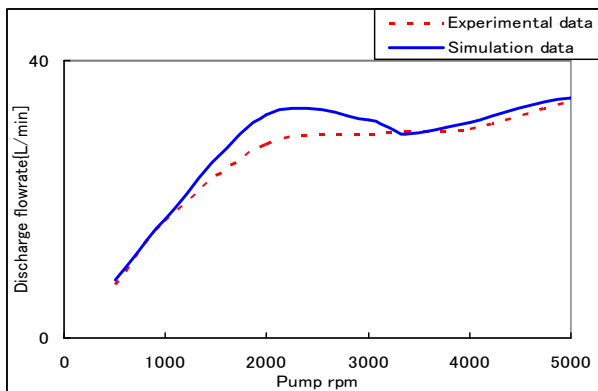


Fig.7 Comparison of discharge flow rate between Experimental data and Simulation data

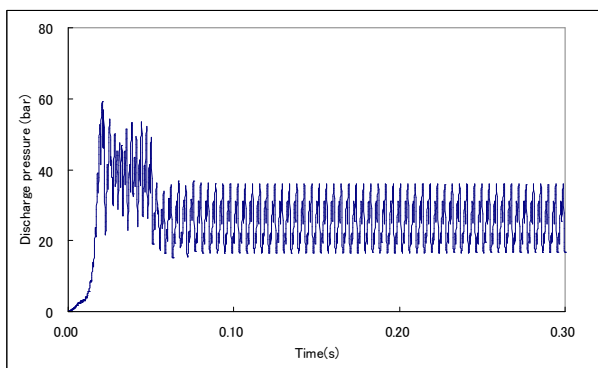


Fig.8 Simulation result of pump discharge pressure at 1897rpm

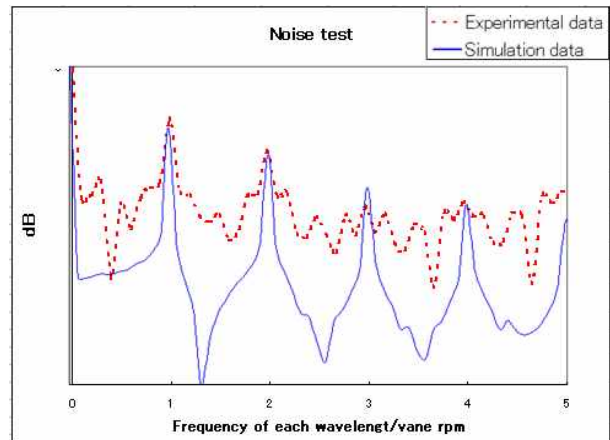


Fig.9 Comparison of output pressure noise (dB) between Experimental data and Simulation data at 1890rpm

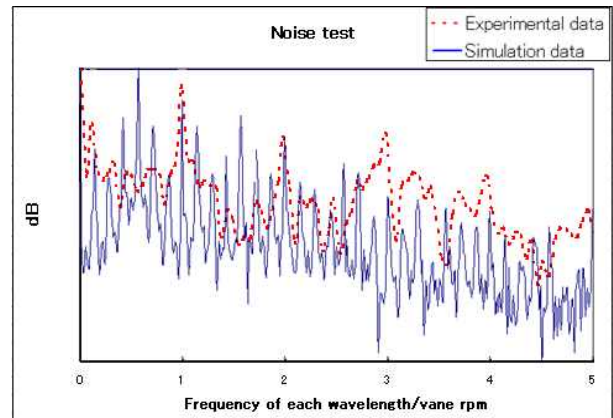


Fig.10 Comparison of output pressure noise (dB) between experimental data and Simulation data at 3360rpm

Fig.7 은 베인펌프의 rpm 에 따른 토출압을 나타내고 있다. 실험치와 해석치의 불균형은 베인펌프의 실물 측정 오차과 실험 측정 오차에 의해서 발생한 것으로 추정 할 수 있다.

Fig.8 은 베인펌프의 토출압 맥동 데이터를 나타내고 있다. 정상상태의 결과를 얻기 위해서 0.1 초 이후의 데이터를 해석 결과로 활용하였고, 토출압맥동 data 를 DFT(Discrete Fourier Transform)로 변환하여 산출하였다.

Engine 의 회전 속도는 1680rpm, 2960rpm 이지만 1.12 : 1 의 기어비에 의해서 베인펌프는 1897rpm, 3360rpm 의 회전수가

된다.

1897rpm 의 1 차 성분의 베인이 12 개로 구성되어 있으므로 주파수는 각 파장의 주파수/32 rps×12 vane = 380 Hz 가 되고, 2 차, 3 차 성분도 1 차 성분의 주파수의 정수배인 760 Hz, 1140 Hz 가 된다. 3360rpm 의 경우에도 각 차수 성분이 670 Hz 의 정수배로 나타나게 된다.

Fig.9 는 1897rpm 에서 토출압 맥동에 대한 노이즈 해석 결과를 나타낸 것이다. 각 차수별 노이즈값은 실험값대비 1·2 차수에서는 약 84%, 3·4·5 차수에서는 약 91%의 정확도를 나타내고 있다.

Fig.10 은 3360rpm 에서 토출압 맥동에 대한 노이즈 해석 결과를 나타낸 것이다. 각 차수별의 노이즈값은 실험값 대비 약 80%의 정확도를 나타내고 있다. 노이즈는 회전에 의해 유량을 가진시키는 가진원, 토출압을 전달하는 전달계, 토출압을 공진하는 공명부가 있어야 비로소 노이즈로 발생하는데, 본 논문의 해석값은 가진원 데이터로서, 실험쪽의 전달계나 공명부를 포함하지 않기 때문에, 해석 결과와 실험 결과의 차이가 발생하는 원인이라고 생각된다.

5. 결론

이번 연구로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유압 해석 소프트웨어인 AMESim 을 이용하여 고정 용량형 vane 펌프의 노이즈 해석 수법을 개발하였다.
2. 베인 펌프 노이즈 해석에 있어서 소프트웨어 (AMESim)를 이용한 모델링 및 시뮬레이션 수법은 펌프 노이즈 특성을 예측설계 할 수 있는 유용한 수단이라고 판단되어진다.

6. 고찰

본 연구에서 제시한 해석 모델을 적용하면 펌프

설계 단계에서 유압맥동에 대한 노이즈 특성을 예측하는 것이 더욱 용이해지고, 제품 개발의 시행 오차를 줄여, 개발 기간 단축 및 연구비 절감에 도움이 된다고 생각한다.

향후 모델에서 더 정확한 해석치를 얻기 위해 베인펌프 모델의 토출량을 실험치와 유사하게 적용시키는 방법과, 밸브모델(P.reg v/v, Flow c/v)의 상세한 입력설정 및 노이즈 발생에 기본이 되는 가진계 뿐만 아니라, 전달계와 공명부까지 포함한 해석모델 작성이 필요할 것으로 생각된다.

Reference

- 1) 장주섭 “가변용량형 유압 베인 펌프의 토출압력 맥동 특성 연구” 2008 년도 유공압 학회 추계 학술대회 논문집, pp.137-144p
- 2) 신재운,전승경 ” 유압관로 내 맥동압 예측을 위한 유압식 동력조향장치의 동특성 해석모델 개발” 자동차공학회 2003 년도 춘계학술대회 논문 pp.527-532
- 3) 김기동,조명래 “유압 베인 펌프의 압력 맥동에 관한 연구
- 4) 김지환,김광호 ” 유압회로 설계를 위한 유압관로에서의 동특성 연구” 대한기계학회 춘계 학술대회 논문집
- 5) 김도태,김진 “동력조향용 압력평형형 베인 펌프의 유량맥동 계측. 자동차공학회 2003 년도 논문집.2003-03-0113
- 6) 김상열,윤주남 “Design of part plate in gerotor pump for reduction of pressure pulsation” KSME INT,J 2006,Vol.20
- 7) S.Neyrat, N. orand “ Modeling and analysis automatic transmission internal gear oil pump with cavitation ” SAE international
- 8) 모양우,유영태 “유압관로에서 맥동유동에 관한 연구” 설비공학 논문집 2001 년 pp.653~665p