Transactions of KSAE, Vol. 17, No. 2, pp.165-170 (2009)

Copyright © 2009 KSAE
1225-6382/2009/098-22

<기술논문>

유압식 동력 조향장치의 소음에 대한 실험적 연구

이 병 림[*1] · 최 영 민[1] · 유 충 준[2]

현대기아자동차㈜ 연구개발총괄본부[*1] · 경기대학교 기계시스템공학과[2]

Experimental Study on the Hydraulic Power Steering System Noise

Byungrim Lee[*1] · Youngmin Choi[1] · Chungjun You[2]

[1]*Chassis & Powertrain Engineering Team 1, Hyundai & Kia Corporate Research & Development Division, 772-1 Jangdeok-dong, Hwaseong-si, Gyeonggi 445-706, Korea*

[2]*Department of Mechanical System Engineering, Kyonggi University, Gyeonggi 442-760, Korea*

(Received 8 September 2008 / Accepted 12 November 2008)

Abstract : Pressure ripple, vibration and noise level are measured in each parts of the power steering system. MD(Mahalanobis Distance) is calculated by using MTS(Mahalanobis Taguchi System) with measured data, and noise sensitive components are selected. The components applied detail design parameters are made and data is measured. After that MD is calculated also. Mean value and SN ratio can be obtained from the MD. Effective noise reduction technique and dominant design parameters in hydraulic power steering system are introduced.

Key words : Hiss noise(히스 노이즈), MTS(Mahalanobis Taguchi System 마하라노비스 다구찌 시스템), MD (Mahalanobis Distance 마하라노비스 거리), Steering system(조향장치), SN ratio(SN비)

1. 서 론

일반적으로 유압식 파워스티어링 시스템에서 발생하는 소음은 조향 휠을 돌리지 않은 상태에서 발생하는 소음과 조향 휠을 돌릴 때 발생하는 소음으로 구분할 수 있다. 조향 휠을 돌리지 않은 상태에서 발생하는 스티어링 소음은 대개 스티어링 작동유가 스티어링 기어 박스의 내부 유로를 통과하면서 발생하는 히스 노이즈(Hiss Noise)이며, 조향 휠을 돌릴 때 발생하는 소음의 대부분은 파워스티어링 유압 펌프의 맥동압에 의해 발생된다.[1] 이 소음은 펌프와 연결된 호스, 튜브, 스티어링 기어 및 차체를 통하여 실내로 전달되거나 펌프에서 방사된 음이 공기를 통하여 차실내로 직접 전달되는 특성을 갖는다. 파워스티어링 시스템의 소음 발생원은 펌프로서 펌프에서의 소음은 공진에 의해서 발생하며, 특히 펌프 베인(Vane)의 10차, 20차, 30차 성분에 의해서 발생하는 소음이 문제가 되고 있다. 이러한 소음은 운전자에게 불쾌감을 느끼게 할 수 있으며 신차 개발 시에 조향 휠을 돌릴 때 발생하는 스티어링 소음 개선을 위해서 많은 시간과 노력을 기울이고 있다.[2-5] 그러나 이러한 소음은 차종별, 개발 단계별로 반복적으로 발생하고 있으며 일관성 있는 개선안을 도출하는데 어려움이 따른다.

본 연구에서는 조향 휠을 돌릴 때 파워스티어링 유압 펌프의 맥동압에 의해 발생하는 펌프의 10차, 20차, 30차 성분의 소음에 영향을 끼치는 스티어링 부품을 평가하여 분석하고, 구체적으로 설계변수가 어떻게 영향을 끼치는가를 판단하기 위하여 치수를 변경한 각각의 부품을 제작하고 기여도 평가를 통하여 소음에 강건한 설계방향을 제시하고자 한다.

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

2. 소음 기여인자 설정 및 평가

유압식 파워스티어링 시스템은 Fig. 1에서와 같이 파워스티어링 오일 펌프, 고압호스, 기어박스, 리턴호스, 석션호스, 리저버 등으로 구성된다. 차량 시동 후 정차 또는 주행 중 실내에 영향을 끼치는 스티어링 시스템의 부품을 정확하게 정의하기는 매우 어렵다.

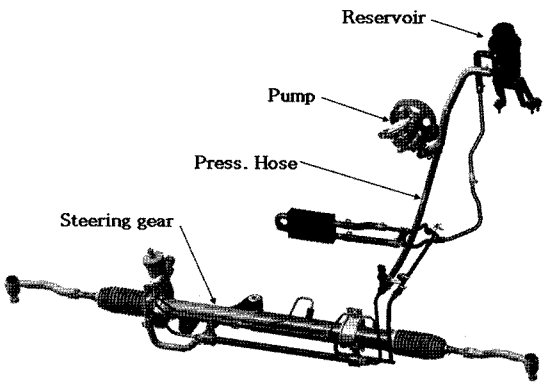


Fig. 1 Hydraulic power steering system

소음에 영향을 끼치는 부품을 선정하기 위하여 본 연구에서는 각 부품에 대해 압력, 진동(가속도) 및 소음을 각각 계측하고, 계측한 데이터를 기준으로 마하라노비스 다구찌 시스템(Mahalanobis Taguchi System, 이하 MTS)을 이용하여 소음에 영향을 끼치는 인자를 진단한다. 소음에 영향을 끼치고 있다고 판단되는 인자에 대해서 구체적으로 설계변수가 소음에 영향을 주고있는지 평가하기 위하여 부품의 설계변수를 변경하여 부품을 다시 제작하고 평가하여 소음에 영향을 끼치는지 분석하고자 한다.

MTS 방법은 수집데이터 내에서 기준 공간(정상공간)으로부터 떨어진 마하라노비스 거리(Mahalanobis Distance, 이하 MD)를 계산하여 판단하는데, MD가 작을수록 정상공간에 있다고 할 수 있으며 멀리 떨어질수록 설계인자 특성이 다른 수준에 있다고 판단하는 개념이다.

여기서, 수집데이터를 x라고하면 이 데이터에 대한 표준화는 $z=\frac{x-\bar{x}}{\sigma_x}$로 나타낼 수 있으며, 상관행렬을 A라고 하면 k개의 변수, 즉 설계인자 k개에 대해 MD는 다음과 같이 나타낼 수 있다.[6]

$$MD=\frac{1}{k}zA^{-1}z^{T} \tag{1}$$

소음 기여도 확인을 위하여 실차에서 발생할 수 있는 다양한 주행 조건을 고려하여 평가방법을 Table 1과 같이 설정하였다. 유압 파워스티어링 펌프의 맥동압에 의해서 발생하는 소음이 주로 발생하는 실차 주행모드를 고려하면 기본적으로 스티어링 휠을 돌리지 않는 조건, 돌리는 조건, 돌린 후 유지했을 때의 3가지 조건으로 나누고, 변속조건 및 에어컨 작동 모드를 고려한다.

시험 대상차량을 국내외 판매되고 있는 차량 30대를 선택하고 기선정한 실차 평가 모드를 이용하여 3명의 시험자가 감성평가를 실시하였으며, 조타시 노이즈가 양호한 차량과 노이즈가 나쁜 차량으로 구분하고 또 조타시 파워스티어링 펌프 베인의 10차, 20차, 30차 노이즈가 양호한 차량 22대, 나쁜 차량 8대로 2개의 그룹으로 분류하였다.

진동 및 소음은 노이즈 전달 경로 파악 및 주요 인자 분석을 위해서 Fig. 2 및 Table 2에서 나타낸 것과 같이 펌프에서 토출되는 압력, 기어박스 입구 및 출구의 압력, 리저버에서 펌프로 흡입되는 석션호스의 압력을 각각 계측하였다. 여기서 Table 2의 번호는 Fig. 2의 번호와 동일하다.

평가 시 파워스티어링 오일의 온도는 약 80~90℃로 일반 주행 시 조건과 동일하게 설정하였으며, 차량의 중량은 공차상태에 2인 탑승한 것을 기준으로 하였다. 아스팔트 노면에서 타이어 공기압은 32psi로 설정 하였으며 계측은 다음 순서로 진행하였다.

1) 무조타, Drive range N/D, A/C ON/OFF

Table 1 Test mode for noise analysis

Steering conditions	Drive range	Air con.	
		On	Off
No steering	N	○	○
	D	○	○
Steering	N	○	○
Relief	N	○	○
	D	○	○
Sweep	N		○

Table 2 Sensing positions for power steering system

Measuring parts		No.
Noise	Front driver seat	①
	Pump	②
Vibration	Pump outlet	③
	Press. hose 1st Mtg Brkt	④
	Press. hose 2nd Mtg Brkt	⑤
	Gear box inlet	⑥
	Pump Mtg	⑦
	Suction hose (Reservoir)	⑧
	Reservoir bracket	⑨
Pressure	Pump outlet	⑩
	Gear box inlet	⑪
	G/Box outlet	⑫
	Suction hose	⑬

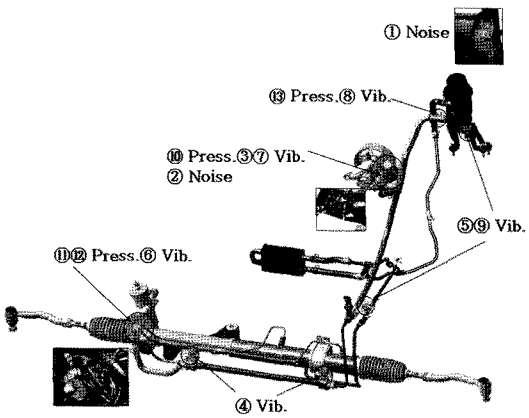


Fig. 2 Measuring positions of steering system

2) 조타 Drive range N, A/C ON/OFF

3) Relief Drive range N/D, A/C ON/OFF

4) Sweep Drive range N

조타 모드의 경우, 조향휠을 좌측 끝에서 우측 끝까지 90deg/s의 속도로 조타를 하여 실내 소음 및 각부의 진동/압력을 계측하였고, Relief 조건 시에는 조향휠을 좌측으로 돌려 완전조타 10~20deg 전에서 그 상태를 유지한 조건에서 계측하였으며, Sweep 모드의 경우 차량의 엔진회전조건을 엔진 공회전 상태에서 약 2,000rpm까지 올리면서 실내 펌프 노이즈가 최대가 되는 시점에서 계측하였다.

3. 기여인자에 대한 설계변수와 소음관계

판매되고 있는 다양한 차량 30대를 Table 2의 항목에 대해 각 모드별로 진동, 소음 및 압력변동을 측정하여 MTS방법을 이용하여 MD를 계산하고 소음에 기여도가 높다고 진단된 인자를 대상으로 하여 설계변수를 선정하고 Table 4와 같이 치수 및 형상 변경하여 각각 2종류씩의 부품을 제작하였다. 다시 앞에서 소개한 시험 모드별로 소음, 진동 및 압력을 계측하였다. 계측한 데이터에 대해 MD를 구하고 이것을 이용하여 각 평가 모드 및 5개 모드를 통합한 모드에 대해 각각 SN 비(Signal to Noise Ratio) 반응 그래프를 작성하고 분석하여 관계를 예측하였다.

4. 결과 및 분석

각 모드별로 소음, 진동 및 압력 변동에 영향을 끼치는 부품을 설정하기 위하여 실내 노이즈가 최대가 되는 시점에서 각부품별로 소음, 진동 및 압력 변동을 Sweep, 조타시 Range - N, 에어컨 On/Off, 릴리프압 N, A/C On/Off 5종류 모드에 대해 계측하고 MTS 방법으로 MD를 계산하여 결과를 Table 3에 나타냈다. 여기서 각 모드에 MD가 3보다 큰 값이 변별력이 있다고 가정하고 적어도 2개 이상을 포함하는 값을 갖는 부품을 선택하면 펌프 근접소음, 석션호스부 진동, 리저버 탱크부 진동, 기어박스 출구측 압력, 석션호스 흡입부 압력을 소음관련 주요 인자로 설정할 수 있다.

Table 3 Dominant components(Obtained by MTS)

No.	RPM sweep	Lock to lock /N/AC off	Lock to lock /N/AC on	Relief/D/ AC off	Relief/D/ AC on	Sum
②	0.41	4.51	5.18	-0.04	3.48	3
③	3.13	-1.93	-0.20	-2.40	-1.75	1
④	0.17	0.91	-1.30	-1.55	0.92	0
⑤	2.60	1.58	1.14	-0.12	-0.81	0
⑥	1.84	-0.63	0.77	2.02	6.42	1
⑦	9.96	7.52	8.82	3.86	3.82	5
⑧	-0.21	2.77	0.80	3.00	3.11	2
⑨	0.34	-0.05	-1.15	1.60	-0.76	0
⑩	0.34	-0.16	-2.51	3.14	1.78	1
⑪	3.59	0.33	3.35	2.18	-0.40	2
⑫	2.71	2.24	3.12	3.05	3.03	3

Table 4 Design parameters

Design parameters		Sample	
		1	2
A	Gear box out port dia. (mm)	Φ5	Φ7
B	Press. hose spiral cable	유	무
C	Press. hose MTG hardness (Hs)	60/70	50/50
D	Suction hose dia. (mm)	Φ17	Φ14
E	Suction hose length (mm)	240	330
F	Suction hose hardness (Hs)	75/75	60/80
G	Pump suction port angle	둔각	직각
H	Reservoir MTG hardness (Hs)	75	65
I	Reservoir displacement (cc)	468	683
J	Return hose orifice	무	유
K	Press. cap	-	-

Table 5 MD results for the parts of table 3

No	RPM Sweep		Steering/ N/AC off		Steering/ N/AC on		Relief/D/ AC off		Relief/D/ AC on	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
R1	1.09	1.38	4.75	5.38	2.25	2.67	2.43	2.92	1.66	2.85
R2	1.67	1.26	3.26	3.80	1.99	2.24	2.40	2.10	1.56	2.39
R3	1.38	1.55	4.37	4.27	2.52	2.86	3.75	4.64	4.94	4.57
R4	2.20	2.50	4.32	4.95	3.09	3.95	5.69	4.88	5.47	5.68
R5	3.24	3.55	3.92	4.00	2.20	2.71	4.08	4.31	2.66	4.46
R6	2.60	1.65	4.72	3.81	2.66	2.56	3.58	3.24	2.65	3.50
R7	1.09	1.39	4.49	2.98	2.78	2.37	2.82	3.60	2.55	4.19
R8	1.50	1.03	2.84	2.69	2.00	2.38	2.89	3.98	2.96	3.92
R9	1.53	1.40	3.03	3.28	2.55	2.98	2.66	3.16	2.64	4.20
R10	3.75	5.66	9.15	8.34	4.84	9.01	5.33	9.52	6.66	6.01
R11	2.28	3.39	5.33	5.32	4.63	4.16	5.67	5.00	6.74	7.28
R12	1.58	1.85	6.80	6.96	4.16	4.66	4.31	4.85	4.76	6.59

주요 인자에 대해 설계변수가 어떻게 영향을 끼치는지 확인하기 위해 Table 4의 변경된 설계변수에 대해 부품을 제작하였다.

실험은 L12 직교배열표 조합을 이용한 실험계획법으로 시험을 실시하고 MTS 방법을 이용하여 MD 값을 구하여 Table 5에 결과를 나타냈다.

Fig. 3은 소음이 양호한 차량을 계산한 결과와 부품을 변경한 경우, 즉 설계인자를 변경해 얻은 Table 5의결과를 동시에 나타낸 것으로 MD값이 1전후인데 반해 설계인자를 변경시킨 차량은 5전후로 차이가 크게 발생함을 알 수 있다. 이것은 설계인자가 소음에 영향을 크게 끼치고 있음을 의미하게 된다.

설계인자 소음 영향도 예측을 위해 Table 5의 값에 대해 SN비를 구하고 그 결과를 Fig. 4와 5에 각각 나타냈다.

여기서, 실선은 A~J부품을 의미하며, 순서대로 샘플1,2에 대한 SN비를 나타낸다.

지금까지 각 모드별로 구한 SN비에 대해 다시 정리하면 Table 6과 같은 결과를 얻을 수 있다. 여기서, A~J는 Table 3에 나타낸 부품의 종류이며 소음에 영향을 끼치는 정도가 큰 것을 비교하여 나타냈는데 결과적으로 음영부위의 부품 중 박스로 흑색 마킹한 부품이 스티어링 시스템 소음에 유리하게 작용하고 있음을 의미한다. C, H, J 부품은 경우에 따라 경향이 일정치 않아 특정한 패턴을 찾기 어려웠다. 다시 한번 정리하면, 소음은 스티어링 기어 박스 출력측 포트 직경이 작을수록, 고압호스의 스파이럴

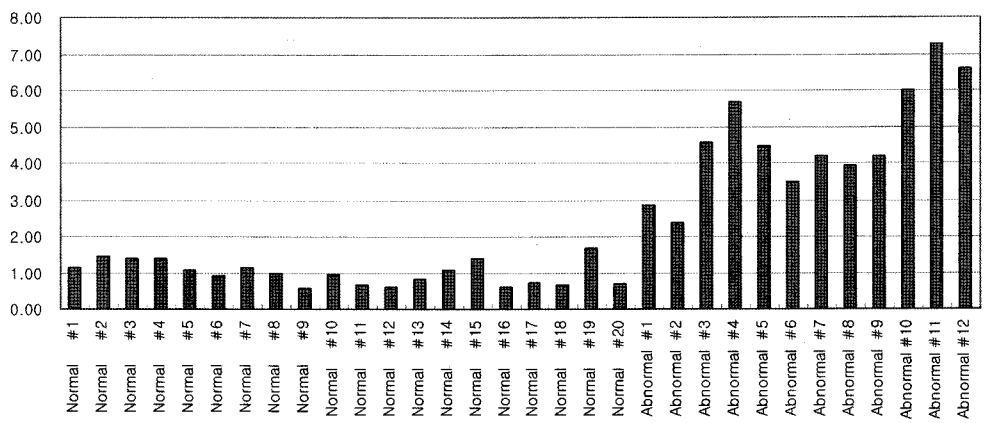
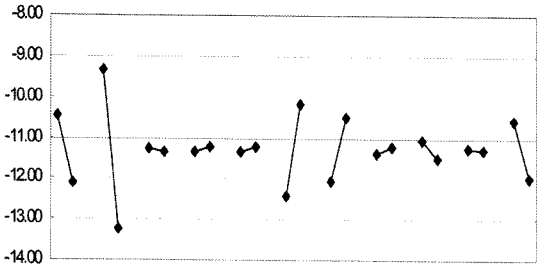
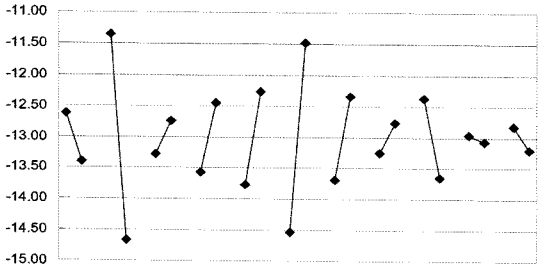


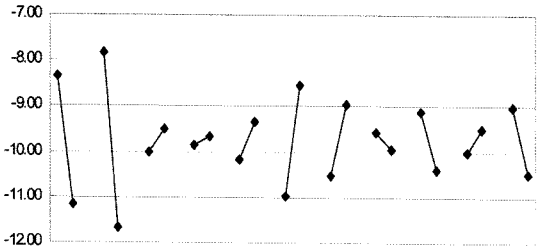
Fig. 3 MD for normal and abnormal data(Relief/D/AC On)
: Normal #1~20Noise Good Vehicles, Abnormal#1~12 Relief/D/AC On Vehicle in Table 5



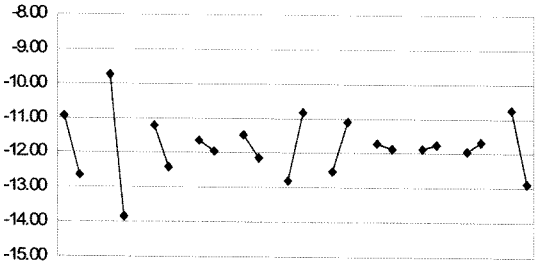
(a) SN ratio for RPM mode sweep condition



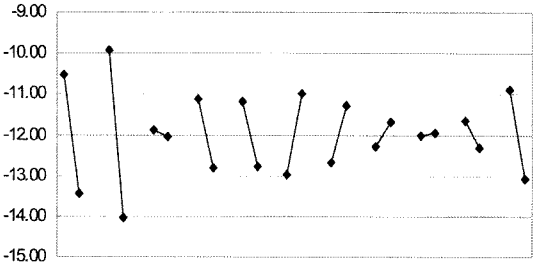
(b) SN ratio for lock to lock air con off condition



(c) SN ratio for lock to lock air con on condition



(d) SN ratio for relief, D, air con off condition



(e) SN ratio for relief, D, air con on condition

Fig. 4 SN ratio for each driving mode

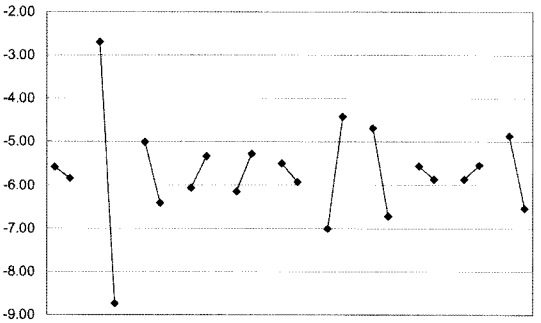


Fig. 5 SN ratio for overall 5 mode mixed sweep condition

케이블을 적용, 석션 호스 직경이 크고 길이가 길수록, 펌프 석션 포트가 직각일수록 그리고 리저버 용량이 큰 쪽이 소음에 유리하게 작용한다 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 파워스티어링 펌프의 맥동압에 의해서 무조타시 및 조타시 발생하는 펌프의 베인 10차, 20차, 30차 성분의 실내 노이즈 개선을 위한 주요 인자 선정을 위하여 MTS 방법을 이용하여 노이즈 발생 조건을 고려한 시험 모드로 시험을 실시하고 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

Table 6 Dominant design parameters for test modes

	A		B		C		D		E		F		G		H		I		J	
All (5 Mode)	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
Sweep	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
Lock to lock/N/AC off	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
Lock to lock/N/AC on	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
Relief/D/AC off	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2
Relief/D/AC on	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	I1	I2	J1	J2

1) MTS방법을 이용하여 MD를 구하고 그 값을 이용하여 설계변수가 소음에 영향을 끼치는 정도를 분석할 수 있었다.
2) 파워스티어링 펌프의 맥동압에 의해 발생하는 노이즈에 영향력을 주는 변별력 있는 인자는 유압 펌프의 근접소음, 석션호스부의 진동, 기어박스 출구 포트부의 압력, 석션 호스부의 압력임을 알 수 있었다.
3) 운전석에서의 소음은 운전 조건을 고려 할 때 스티어링 기어 박스 출력 측 포트 직경이 작을수록, 고압호스의 스파이럴 케이블을 적용하고, 석션 호스 직경이 크고 길이가 길수록, 펌프 석션 포트가 직각일수록 그리고 리저버 용량이 큰 쪽이 실내 소음에 유리하게 작용하고 있음을 예측할 수 있었다.

References

1) D. Kim and J. Kim, "Measurement of Flow Ripple Generated by Balanced Vane Pumps in Automotive Power Steering Systems," Transactions of KSAE, Vol.8, No.6, pp.70-78, 2000.
2) J. Botti, G. Venizelos and N. benkaza, "Optimization of Power Steering Systems Vibration Reduction in Passenger Cars," SAE 951253, pp.1179-1201,1995.
3) J. Yu, F. Johnson, F. Iwami, N. Verrecchia and E. Kojima, "Experimental Evaluation for Fluid Borne Noise Attenuation in Tuning Cables and Hoses of Automotive Power Steering Hydraulic Systems," SAE 1999-01-1777, 1999.
4) T. Matsumaga, T. Tanaka and S. Nishimura, "Analysis of Self-Excited Vibration in Hydraulic Power Steering System : Prevention Against Vibration by Supply Line," SAE 2001-01-0488, 2001.
5) J. Jang and K. Kim, "A Study on the Discharge Pressure Ripple Characteristics of Variable Displacement Vane Pump," Transactions of KSAE Vol.11, No.3, pp.106-114, 2003.
6) Y. Wu, The Mahalanobis - Taguchi System, McGraw-Hill, 2000.