

Hydraulic Clutch Control System의 진동특성에 관한연구 A Study on the Vibration of Hydraulic Clutch Control System

소윤섭¹, 허만대¹, 김재영¹, 강지우¹, 이홍범¹, 이재열², 이종형³, 노승훈^{3*}
Yoon-Sub So¹, Man-Dae Hur¹, Jae-Young Kim¹, Ji-Woo Kang¹,
Hong-Bum Lee¹, Jae-Yeol Lee², Jong-Hyung Lee³, Seung-Hoon Ro^{3*}

<Abstract>

This paper was originated to set up a test equipment and to obtain the proper installation condition of the plastic damper for the hydraulic clutch control system. Performance tests with different specifications have been applied to the damper to investigate the workability and the vibration characteristics of each case, and the result was utilized into the system simulation for the optimal condition for the damper. The procedure has been developed to set up a damper test system to analyze the dynamic properties and the operation of the system, and further to setup a simulation program for the realistic situations. The result can also be applied to the dampers and the clutch systems to be developed in the future for the property tests and the optimization of the installation conditions.

Keywords : Hydraulic plastic damper, Vibration, Polymer, AMEsim

1. 서론

자동차용 클러치는 차량에서 엔진과 변속기 사이에 위치하여 엔진으로부터 발생하는 동력을 전달하거나 또는 차단하며, 구동계의 이상적인 충격이 발생하였을 때 감쇠하여 주고 엔진과 변속기로 인하여 발생하는 치타음 및 진동을 감쇠하여 주는 기능까지도 요구된다.¹⁾

최근 자동차용 경량화 신소재로 그 활용범위가 넓어지고 있는 폴리머 복합재료는 기존의 금속재료에 비하여 비중량, 비강성, 내환경성 등에서 우수한 특성을 가지고 있으며, 현재 자동차에 쓰이는 재료의 비중을 함량 무게비로

보면 아직까지 철강제품이 가장 크지만 플라스틱이 차지하는 비율이 무게비로 보면 약 8~10%, 부피로는 약 40%에 이르고 있다.

그러나 이러한 플라스틱 소재의 적용은 국내 기반설비 및 기술력 부족, 소재 수급, 제조 공법 등 현재의 생산방식과 플라스틱에 대한 재질변경에 따른 문제가 발생하여, 현장에서는 이를 해결하기 위한 연구가 진행되고 있다. 앞으로 연료저감과 환경문제 등으로 인해 그 적용범위는 점차 확대될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 처음으로 개발된 국내의 Plastic(T2) Damper를 Hydraulic Clutch Control System의 진동 감쇠 특성시험을 통해

¹정회원, (주)평화발레오 연구개발부

²금오공과대학교 대학원

^{3*} 교신저자, 정회원, 금오공과대학교 기계공학부, 교수, 工博, E-mail: shro@kumoh.ac.kr

¹R&D Center, Valeo Pyeong Hwa Co., LTD.

²Graduate, Kumoh National Institute of Technology, Ph. D.

^{3*} Corresponding Author, Professor, School of Mechanical Engineering, KIT, Ph. D.

System Simulation과 비교분석하여 Simulation을 정형화하였다. 각 Modeling의 Damper 장착 위치에 따른 진동특성을 비교분석하여 보다 우수한 국산 Plastic Damper의 개발과 Hydraulic Clutch Control System내의 진보된 진동감쇠 효과를 갖는 제품개발에 도움이 되었으면 한다.

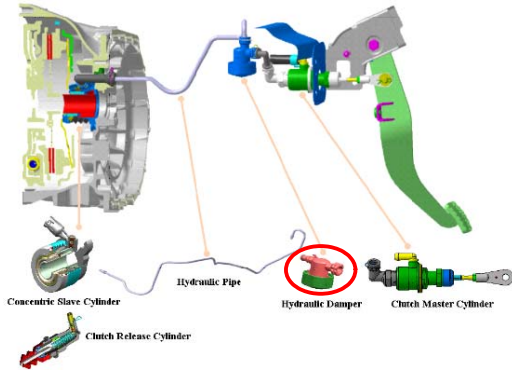


Fig. 1. Hydraulic clutch control system.

2. Plastic Damper의 개발 및 특징

2.1 Plastic Damper의 개발

자동차의 엔진폭발력에 의한 Bending, Pumping작용 및 Flywheel Clutch Cover의 축방향 Run-out으로 발생하는 유압계통의 맥동은 Hydraulic System 내부에 Oil의 맥동을 유발시켜 Pedal에 진동을 일으키며, Damper는 그 진동을 감쇠시키는 기능을 한다. Damper가 장착되는 위치는 운전자가 느끼는 Pedal에 가까울수록 좋으며, 차량 엔진룸 내부의 Lay-out 조건에 따라 장착이 가능하다. Hydraulic System을 이용한 차종에서, 엔진진동의 영향으로 발생하는 Clutch 배관내의 액압 맥동을 저감시켜, Pedal 진동을 방지하는 것이 목적이다. Plastic Damper는 Elastomer의 탄성을 맥동 흡수원으로 이용하는 것을 특징이다. 기존의 Metal Damper는 박판이 떨리면서 감쇠하는 기능으로 Damping 능력이 뛰어나지만 Cost가 비싸며, 이에 비해 Hydraulic Plastic Damper는 2세대 Rubber Damper 사양으로 액압 맥동감쇠효과(이하맥동감쇠효과)가 크며, Damper 손실스트로크가 작고, Plastic으로 Body를 제작하여 Cost Down 및 중량 절감효과 등의 장점을 가

지고 있다.



< Metal Damper >

< Plastic Damper >

Fig. 2. The type of hydraulic damper.

2.2 Damper의 체적손실

Damper 사양별 실차 장착 시 조작성에 해당하는 항목으로서, 실차 장착 시 운전자의 feeling성 및 손실스트로크를 사전에 예측하여 차량의 조건에 맞는 Damper 사양을 제안하며, 조작성 Set-up시 유용한 자료로 활용된다.

시험 장비를 구축하여 압력과 손실스트로크의 관계를 Fig.3에 나타내었다. System 구성으로는 Damper가 없는 것을 Base로 하였고, Plastic Damper에서는 Elastomer의 경도를 80Hs와 90Hs사양과 Elastomer의 형상변경품인 3가지 사양으로, Metal damper는 Ø35×0.8t, Ø35×1.2t와 Ø40×0.8t로 3가지 사양으로 총7가지 System을 구성하여 test를 실시하였다.

Fig.3과 같이 체적 손실로는 Plastic 80Hs, Ø40×0.8t, Plastic 90Hs, Ø35×0.8t, Ø35×1.2t, Plastic Damper의 Elastomer 형상변경품, Damper가 없는 Base사양 순으로 나타났다.

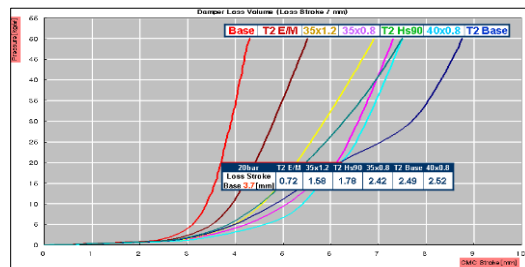


Fig.3. Graph of Loss Volume.

3. Damper 실차 Test Monitoring

Plastic Damper와 Metal Damper의 페달진동 감쇠성능과 페달 조작성을 상호비교 평가하여, 성능을 확인하기 위하여 시험차량으로 Monitoring을 실시하였다.

조작성시험과 진동특성비교시험을 Free Play

Table 1. Result of Pedal Control Test

Fig.	Damper	Test Result				Loss stroke (mm)
		Free Play (mm)	Max. effort (Kgf)	Reserve Stroke (mm)	Full stroke (mm)	
1	Without Damper	12	10.4	39	145	Base
2	T2 Damper (Hs80)	14	10.3	21	145	18
3	T2 Damper (Hs90)	12	10.3	32	145	7
4	T2 형상 변경품	12	10.4	39	145	0
5	Metal Damper (Ø35×1.2t)	12	10.3	37	145	2
6	Metal Damper (Ø40×0.8t)	13	10.2	36	145	3

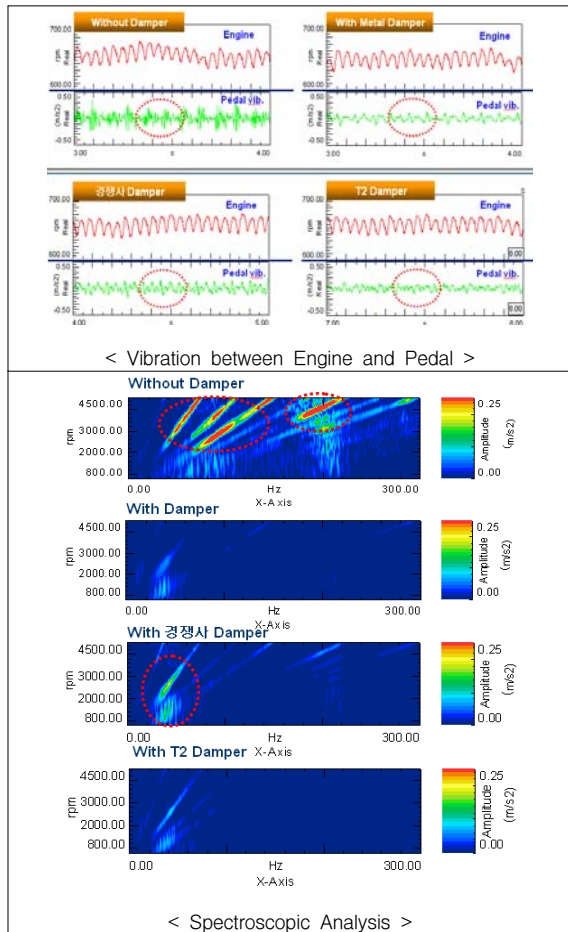


Fig. 4. Test Result of Vibration test.

Table 2. NVH Results

System	Test Result			O. All Rating
	35mm Idle	35mm run up		
		1300rpm	2700rpm	
Without Damper	0.54m/s ²	0.37m/s ²	0.92m/s ²	7-
With Metal Damper	0.23m/s ²	0.20m/s ²	0.12m/s ²	7+
With 경쟁사 Damper	0.29m/s ²	0.32m/s ²	0.33m/s ²	7
With T2 Damper	0.20m/s ²	0.20m/s ²	0.16m/s ²	7+

35mm 구간에서의 Pedal 진동과 Free Play 35mm 유지 상태에서 RPM Run up (Idle ~ 4500rpm), Stroke 20mm 구간에서의 엔진 Idle 상태의 Pedal 진동, Stroke 20mm 유지 상태에서 RPM Run up (Idle ~ 4000rpm)을 확인하였다. 페달진동비교시험 결과 전체적인 페달진동은 양호한 수준이었고, Damper가 없는 사양 대비하여 우수한 Damping 성능이 확인하였으며, Idle 진동의 경우 Metal Damper 와 Plastic Damper 동등한 수준이며, Run up mode의 경우에는 Metal Damper와 그 효과가 비슷한 수준으로 측정되었다.

Table 3. Subjective evaluation criteria

Dissatisfactory	Rating	Satisfactory	Division
Even skilled evaluator cannot feel	10	Excellent	salable
Only skilled evaluator can feel	9	Very good	
Only fault finding customers can feel	8	Good	
Some customers can feel but donot complain	7	Satisfactory	
All customers can feel and some customers complain	6	Common	
All customers complain	5	Not good	Unsalable
All customers consideritasadefect	4	unsatisfactory	
All customers consideritasa major defect	3	Very unsatisfactory	
Donot function properly	2	Bad	
Unable to operate	1	Very Bad	

페달 조작성 시험결과 전체적인 Pedal Stroke에 의한 Effort는 양호한 수준으로 Damper가 없는 사양 대비 우수한 Effort의 성능이 확인되었고, 여유 Stroke의 경우에 Plastic Damper가 가장 좋은 결과를 나타냈다.

4. Pedal 진동 Simulation

NVH(Noise, Vibration, Harshness)의 시험과 시스템의 동작을 그와 비슷한 모델로 대응할만한 목적을 위한 컴퓨터 프로그램을 이용하여 실제조건으로 판단하기 위한 Simulation Tool을 도입하였다.

유압시스템을 AMEsim으로 모델링한 유압시스템의 강성과 관성의 영향을 고려하여 선형해

석을 수행하여 시스템의 Critical frequency를 예견하고 실차 시험결과와 Correlation 시켜 Parameter study를 통하여 최적화된 유압시스템을 제안하기 위함이며, Simulation을 통하여 Pedal 진동의 최적화와 문제점 발생 시 초기에 찾아낼 수 있으며 미세한 부분까지도 해석할 수 있는 장점을 가지고 있다.

외부 입력에 무관하게 시스템의 고유특성을 분석하여 선형 모델로 분석하며, Operating Point에서 시스템 선형화의 상호관계는 다음과 같은 상태방정식으로 표현한다. 단, 행렬 $A(n \times n)$, $B(n \times m)$, $C(p \times n)$, $D(p \times m)$ 은 각 벡터 사이의 상호관계를 나타내는 행렬이다. (x:state variable, u:control variables, y:observer variables)

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$y = Cx + Du$$

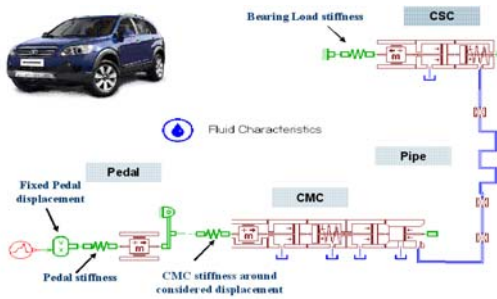


Fig. 6. Model of Pedal vibration Simulation.

상태공간의 모델식은 제어시스템을 시간 역에서 해석하고 설계하기 위해서는 시스템의 상태개념을 이용해야 한다. 시스템의 상태란 어떤 지정된 시간에서 시스템의 상태를 완전하게 기술하는데 필요한 일련의 최소 숫자의 집합을 말한다. 시스템의 정의할 수 있는 일련의 최소 숫자의 집합 $(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ 을 상태변수라 한다. 초기시간 t_0 에서의 상태변수 초기값 $(x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0))$ 과 $t \geq t_0$ 일 때의 입력신호 $(u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t))$ 를 알면 출력의 미래값과 상태변수를 충분히 결정할 수 있다.⁴⁾

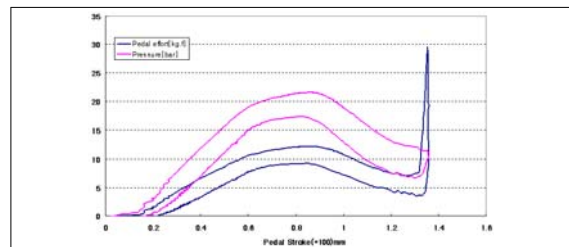
Fig.6은 Pedal부터 T/M과 엔진과의 진동을 각 구역에 센서를 적용하여 각 구간별의 시스템 신호를 나타낸다. Hydraulic System구간은 CSC+Flexible/Rigid Pipe+Damper+CMC 이다.

Simulation 절차방법으로 시스템 모델링 후 각단품의 강성, 용적, 물성치 입력하고 CMC와 CSC의 전달함수(frequency response function)를 구해 고유진동수를 구하였다. 시뮬레이션의 고유진동수와 시험 값을 Correlation 시키며, 유압시스템의 Parameter study(주로 pipe 길이와 유압탱퍼의 강성 조정)하여 최적 Simulation 수행하였다.

진동 Simulation System의 시험방법은 Damper 없는 Test, With Damper Test, With Damper+Derivation Pipe으로 3가지로 하였다.

Table 4. Input parameter

Parameter	Unit	Value	
Pedal	Displacement	m	-
	Stiffness	N/m	150
	Mass	kg	1.696
CMC	Piston Diameter	mm	15.87
	Preload Spring Stiffness	N/m	-
	Spring Preload	N	-
	Chamber Dead Volume	cm ³	55.384
	Internal Mobile Assembly Mass	kg	0.427
Steel Pipe	Diameter of pipe	mm	3.36
	pipe length	m	513.4
Flexible Pipe	Diameter of pipe	mm	3.4
	Pipe length	m	246.2
	Orifice or Connector	mm	1.8
	equivalent orifice diameter	mm	3.6
CSC	Piston Diameter	mm	44/32.2
	Internal Mobile Assembly Mass	kg	0.338
	Preload Spring Stiffness	N/m	686.46
	Spring Preload	N	68.6
	Chamber Dead Volume	cm ³	55.384
	Spring rate	N/m	1.38



Stroke [mm]	20	30	40	50	60
CMC [bar]	3	8	11.8	15.6	18.9

Fig. 7. Pressure curve of CMC by pedal stroke.

Table 3의 Input parameter의 stiffness를 확인하고자 실차량에서 시험하였고 stroke시 CMC의 압력변화량과 Pedal effort의 선도를 Fig.7과 같이 나타내었다. Stroke에 의한 Pedal 하중 변화량 그래프에서 기울기는 Pedal stiffness를 나타내며 Fig.8과 같이 20mm시 20N/mm, 30mm시 31N/mm, 40mm시 32N/mm, 50mm시 37N/mm로 확인할 수 있었다.

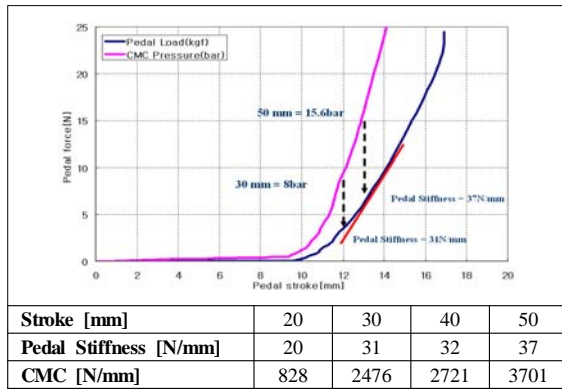


Fig. 8. Pedal load curve by Stroke.

4.1 Simulation without Damper

Damper가 없을 때의 40mm의 stroke를 가하였을 때 압력은 11.8bar이며 CMC와 CSC의 시간에 대한 진동관계와 주파수에 따른 관계는 다음과 같다.

Fig.9와 같이 시간대비 액압 변형량은 40mm stroke시 약 26Hz에서는 Rigid body mode이며 80Hz에서 Pedal/CMC mode이고 약 469Hz에서는 CMC/CSC mode임을 확인할 수 있다.

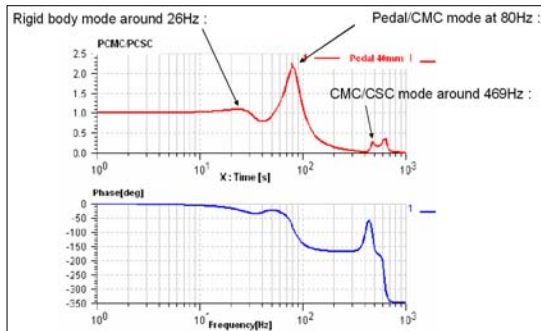


Fig.9. Vibration Curve by Pressure During Stroke.

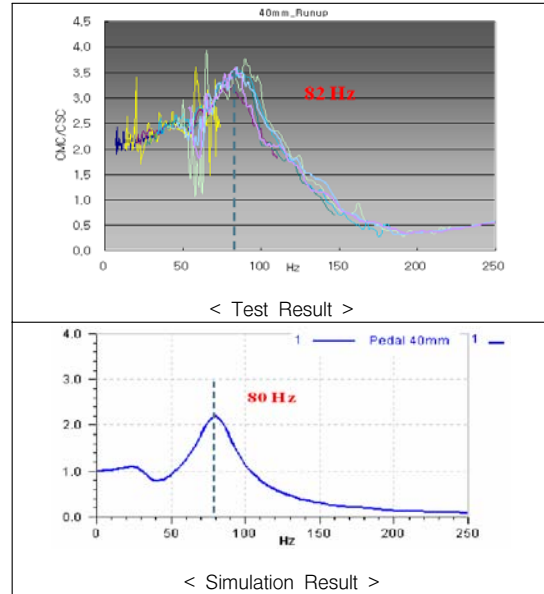


Fig.10. Graph of test and Simulation result without damper during 40mm stroking.

4.2 Simulation with Damper

Damper의 진동특성을 확인하기 위하여 Fig.11과 같이 Damper Parameter를 입력한 Simulation Modeling을 하였다. System test with Damper serial 2pipes로 실차와 가장 근접한 진동측정 위치를 확인하여 sensor의 위치 설정하기 위하여 두 가지 방법으로 Pipe를 구간을 설정하여 Modeling 하였다.

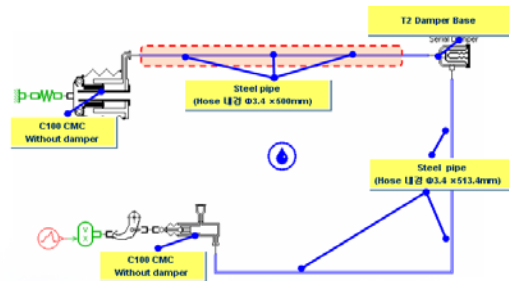


Fig. 11. Modeling system with damper serial 2pipes.

System with Damper Serial 2pipes시에는 Linear damper와 Plastic Damper의 비교하여 stiffness를 비교한 결과 Fig.12과 같이 Plastic Damper의 경우 15bar(2000N=Pedal stroke 50mm) 이상에서 Stiffness 감소됨을 확인할 수 있었다.

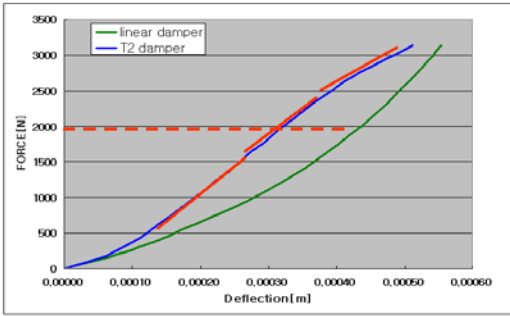


Fig. 12. Non linear stiffness of T2 damper.

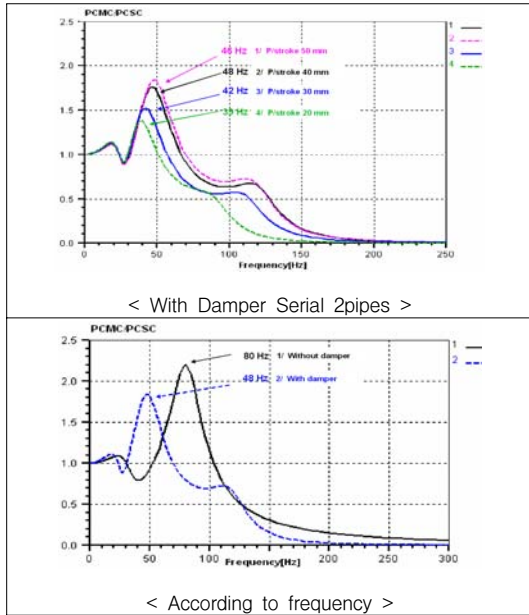


Fig. 13. Graph of CMC & CSC Pressure.

4.3 Simulation with Damper+Derivation Pipe

Damper의 진동 특성을 simulation을 통해 확인하였으며, Model의 최적화를 위하여 Damper가 없는 사양과 Damper+Derivation pipes system과 Damper+Derivation 2pipe system을

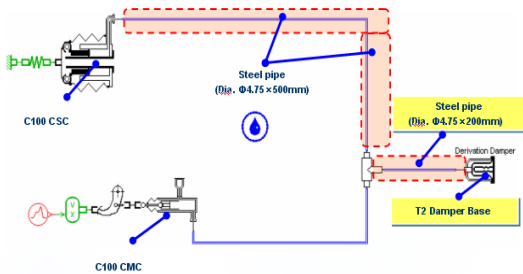


Fig.14. Modeling System of Damper+Derivation pipes.

차량과 진동특성을 비교하여 최적사양을 검증하기 위한 Simulation을 실시하였고 최적의 진동감쇠 사양을 확인하였다.

Simulation 결과 Damper+Derivation 2pipe system 사양이 진동감쇠 최적사양이며, 이를 토대로 Damper+Derivation+Twist 2pipes 사양과 비교 확인하였다.

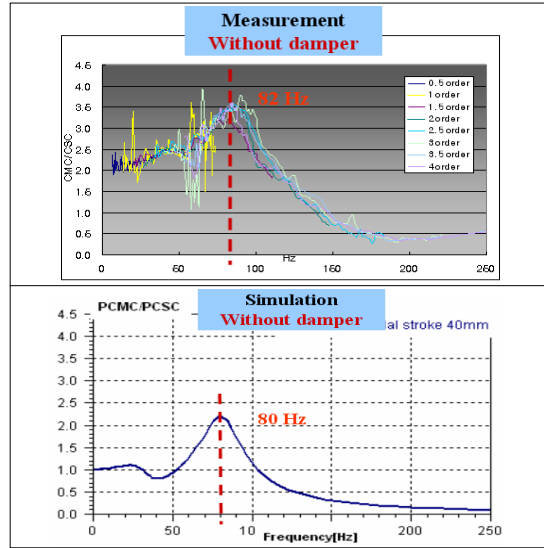


Fig. 15. Correlation between measurement and simulation without damper.

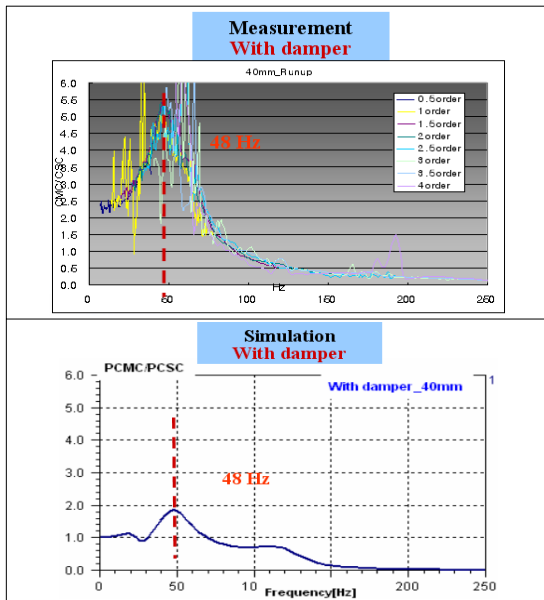


Fig. 16. Correlation between measurement and simulation with damper.

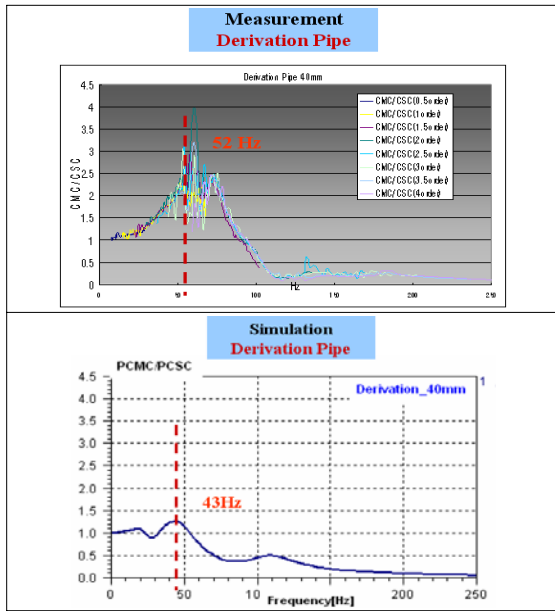


Fig. 17. Correlation between measurement and simulation with Damper and Derivation pipe.

Table 5. Data of Test Result

Natural Frequency			
Pedal Stroke	Base	Damper	Damper + Derivation Pipe
20mm	65Hz	45Hz	40Hz
30mm	80Hz	50Hz	50Hz
40mm	82Hz	48Hz	52Hz
50mm	85Hz	54Hz	56Hz

Table 6. Result between test and simulation

Stroke (mm)		20	30	40	50
Pressure (bar)	-	3	8	11.8	15.6
Pedal Stiffness (N/mm)	-	20	31	32	37
CMC Stiffness (N/mm)	-	828	2476	2721	3701
Without Damper (Hz)	Simulation	64	80	80	84
	Measurement	65	80	82	85
With Damper (Hz)	Simulation	39	42	48	46
	Measurement	45	50	48	54
Derivation Pipe (Hz)	Simulation	35	36.9	43	38
	Measurement	40	50	52	56
Twist 1m pipe (Hz)	Simulation	30	32	32	32

5. 결 론

Simulation 결과 CMC와 CSC의 공진주파수는 Pedal stroke 증가에 따라 64~84Hz 대역에 걸쳐있으며, Plastic damper 적용하여 40mm stroke시 Resonance Frequency 80Hz에서 48Hz로 저감되었으며, Derivation pipe 적용시 주파수 이동보다는 damping 감소의 영향성이 큰 것으로 나타났다. Plastic damper 적용시 공진 주파수는 80Hz에서 48Hz로 저감되며 CMC/CSC 압력도 2.19에서 1.85로 저감을 확인하였다. Derivation pipe 적용시 공진주파수는 48Hz에서 43Hz로 저감되고 CMC/CSC 압력도 1.85에서 1.28로 저감됨을 확인하였다. Twist 1m Pipe 사용시 공진주파수는 43Hz에서 32Hz로 감소되며, CMC/CSC 압력은 1.28에서 0.6으로 크게 감소함을 확인하였다.

최적사양은 Plastic Damper+Derivation+ Twist 1m pipe 이었으며, 가장 큰 진동감쇠를 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 지식경제부 우수제조기술연구센터 (ATC) 기술개발사업지원에 의하여 이루어졌으며 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) Il Kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chung Kyun Kim, Han Goo Kim, Byung Kwan Lee, Young Gyu Kim, Geum Won Kang, "Failure Study of Tribological Characteristic in Automotive Clutch System," Trans. of KSAE, Autumn Conference Proceeding, pp.711~716 (2005)
- 2) MD Hur, CK Lee. JY Kim, JW Kang, HB Lee, NT Jang "Clutch Control Hydraulic System의 Plastic화 개발," Advanced Technology Center Report, Valeo Pyeong Hwa Co., LTD., (2009)

- 3) SK Lee, DY Kim , "Pedal Vibration and Simulation," Intra-Research Report, Valeo Pyeong Hwa Co., LTD., (2008)
- 4) CAE program, AMESim, instructor manual, Copyright©2003 LMS Korea Co.Ltd., www.amesim.com

(접수:2009.09.14, 수정:2009.11.27, 게재 확정:2010.01.22)