

승용차용 Passive Damper의 설계변수에 관한 특성 분석

노대경¹ · 장주섭^{2*} · 서원진³

¹가천대학교 대학원 기계공학과, ²가천대학교 기계 · 자동차공학과,
³만도 R&D 센터

Analysis of Design Parameter Characteristics for Automobile Passive Dampers

DaeKyung Noh¹, JooSup Jang^{2*} and WonJin Seo³

¹Graduate School, Dept. of Mechanical Engineering, Gachon University

²Dept. of Mechanical & Automotive Engineering, Gachon University

³Mando R&D Center

(Received October 22, 2013 ; Revised December 2, 2013 ; Accepted December 29, 2013)

Abstract – In this study, we attempted to characterize the physical meaning of the design parameters used for automobile passive dampers by considering the slit, disc, and hole, which influence the pressure characteristics. We also analyzed the change in the pressure characteristics when mixing various slits and discs. Finally, we used a computer simulation to implement lag according to nitrogen gas and analyzed the dependence of frequency on the nitrogen gas pressure.

Keywords – passive damper (수동형 댐퍼), shock absorber (속업소버), disc (디스크), slit (슬릿), hole (홀), pressure override (압력오버라이드), cracking pressure (크래킹압력), simulationx (시뮬레이션X)

1. 서 론

현재 국내 다수의 승용차에는 전자제어장비가 부착된 능동형(Active type) 속업소버가 장착되어 있다. 이러한 능동형 속업소버의 기본 메커니즘은 수동형(Passive type) 속업소버와 몹시 유사하다. 결국 능동형 속업소버는 수동형 속업소버의 설계변수를 유연하게 가변할 수 있는 전자제어장비가 부착된 것이라고 할 수 있다[1-4].

자동차 업계의 많은 종사자들은 소비자에 의하여 수시로 바뀌는 승차감의 기준을 충족시키기 위해 설계변수들을 변경하여 무수한 반복실험을 수행한다. 그 설계변수들이 갖고 있는 특성을 명확하게 이해한다면 튜닝

이 수월해지겠지만 대부분의 현장에서는 그렇지 못한 현실이다.

수동형 속업소버는 일반적으로 적층된 디스크(Disc)와 오일의 유동이 가능한 작은 틈새인 슬릿(Slit), 벨브의 진입유로인 홀(Hole)에 의하여 특성이 결정된다. 저속으로 행정할 때는 슬릿을 통하여 오일이 유동하고, 고속행정에서는 속업소버 내부의 압력상승에 의하여 적층된 디스크에 변형이 발생하면서 오일이 유동하게 된다. 이는 유압공학 관점으로 볼 때 Fig. 1과 같은 PRV(Pressure Relief Valve)와 오리피스(Orifice)의 조합으로 표현이 가능하다. 유압공학의 관점이 적용되는 부품은 1D 해석도구로 해석모델 개발이 가능하며 해석시간이 오래 걸리지 않아 다양한 조건에서 설계변수 특성의 변화를 확인할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서 다루는 속업소버의 해석모델개발에 사용된 해석도구는 상용 소프트웨어인 SimulationX이다[5].

*Corresponding author : jjs1@gachon.ac.kr

©이 논문은 한국윤활학회 2013년도 추계학술대회(2013. 10. 16~18/여수) 발표논문임.

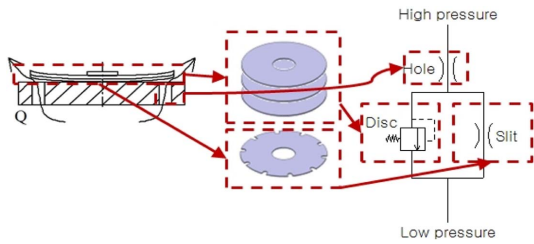


Fig. 1. The shock absorber with hydraulic point of view.

2. 수동형 속업소버 해석모델을 통한 압력 특성 확인

속업소버의 밸브는 일반적으로 오일이 지나다니는 홀과 Low disc, Main Disc, Sub Disc와 같은 3종의 디스크, Low disc slit, Main disc slit과 같은 2종 슬릿의 조합으로 이루어져있다. 이들은 속업소버가 행정할 때 내부 압력특성의 변화를 야기하며 결국 속업소버의 감쇠특성을 결정짓는다고 볼 수 있다. 그러한 이유로 3종 디스크와 2종 슬릿의 각기 다른 조합으로 이루어진 해석모델을 개발하여 그 특성을 면밀히 살펴볼 필요가 있다.

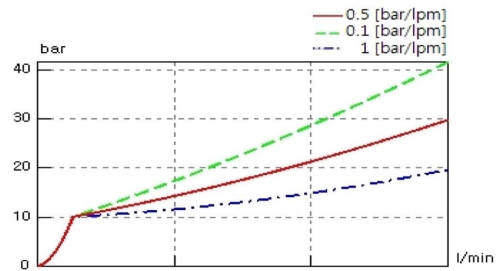
2-1. 1종 디스크, 1종 슬릿

1종 디스크와 1종 슬릿으로 이루어진 속업소버의 압력특성은 설계변수가 적은 만큼 단순하다.

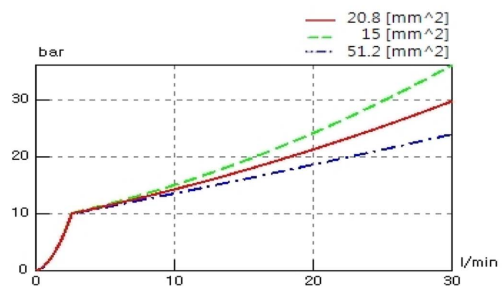
Fig. 2(a)는 디스크의 오버라이드(override)특성을 변화시켰을 때 유량 변화에 따른 압력강하특성의 변화를 보여준다. 오버라이드가 커진다는 것은 동일한 압력조건일 때 허용 유량이 더 적어진다는 것을 의미하며 결국 디스크의 변형량과 관련이 깊은 요소라는 것을 알 수 있다.

Fig. 2(b)는 피스톤이 왕복행정을 하게 될 때 유량이 통과하는 홀의 크기를 변화시켰을 경우이다. 홀이 커지면 오일의 이동이 수월해지기 때문에 동일 유량조건에서 형성되는 압력이 더 낮은 것을 볼 수 있다. 디스크 변화량에 따라 개도면적이 확장, 축소되어 발생하는 오버라이드 특성과 변화형태가 동일한 것으로 보여 논리적으로 타당함을 알 수 있다.

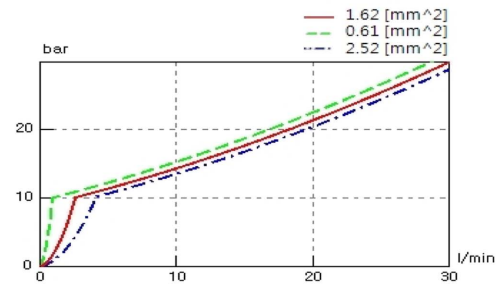
Fig. 2(c)는 슬릿에 변화를 주었을 경우에 관한 해석 결과이다. 디스크에 변형이 발생하여 크래킹(cracking)되기 전 소량의 유량이 통과할 수 있는 면적이며 이를 증가시킬 경우 저 유량 구간에서 유량증가에 따른 압력상승이 어려워지게 된다. 디스크의 누설유량이 증가



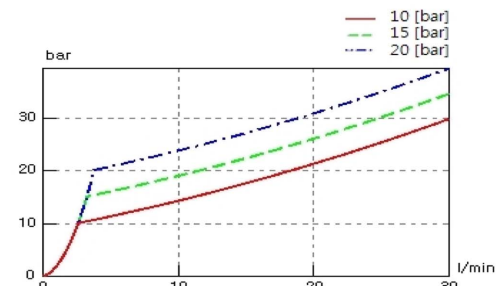
(a) Change of the pressure according to override characteristic variation



(b) Change of the hole size



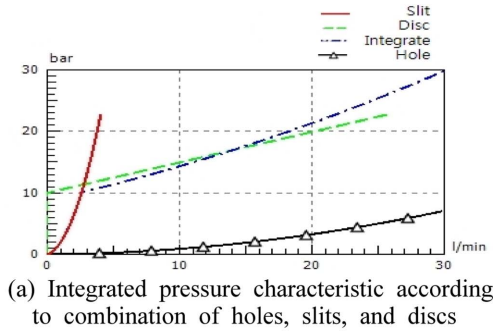
(c) Change of the slit size



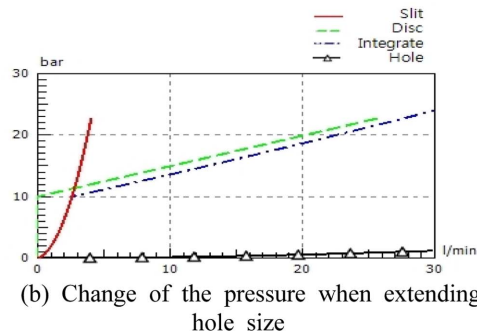
(d) Change of the cracking pressure

Fig. 2. Characteristic of the valve (one type of disc and one type of slit).

한다고 볼 수 있으며, 속업소버의 저속행정특성을 지배한다.



(a) Integrated pressure characteristic according to combination of holes, slits, and discs



(b) Change of the pressure when extending hole size

Fig. 3. Integrated pressure characteristic of the valve (one type of disc and one type of slit).

Fig. 2(d)는 디스크의 크래킹압력에 변화를 주었을 때이다. 크래킹압력은 디스크가 변형이 되기 시작할 때의 압력이며 디스크의 매수와 강성에 밀접한 관련이 있다. 디스크의 적층량이 많아질수록 크래킹압력은 높아지게 된다. 크래킹이 되고 난 후에는 오버라이드 특성에 지배를 받기 때문에 유량에 따른 압력상승의 기울기가 큰 폭으로 줄어드는 것을 볼 수 있다.

Fig. 3(a)는 홀과 슬릿, 디스크의 조합으로 결정되는 통합 압력특성이며, Fig. 3(b)는 각각 1종의 디스크와 슬릿으로 구성된 밸브에서 진입유로인 홀을 확장했을 때의 압력변화이다. 진입유로가 넓어지면서 크래킹 후 압력특성이 비선형에서 선형으로 바뀐 것을 볼 수 있다. 이는 좁은 유로에 의해 발생하는 비선형성이 유로가 확장됨에 따라 디스크 강성에만 우세한 영향을 받게 되는 현상이다.

2-2. 2종 디스크, 1종 슬릿

2.1절에서 다뤘던 밸브에 1종의 디스크를 추가한 밸브의 통합특성은 Fig. 4와 같다. Main disc와 Sub disc는 직경이 다를 뿐 적층되어있는 구조이기 때문에 종속적으로 움직인다. 때문에 디스크의 크래킹압력만

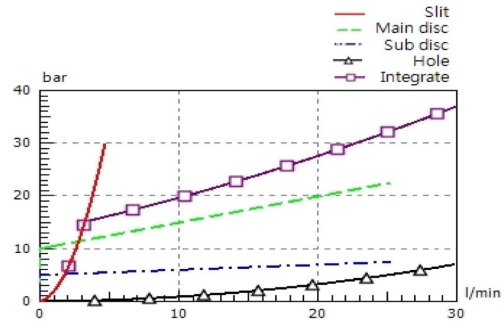


Fig. 4. Integrated pressure characteristic of the valve (two types of discs and one type of slit).

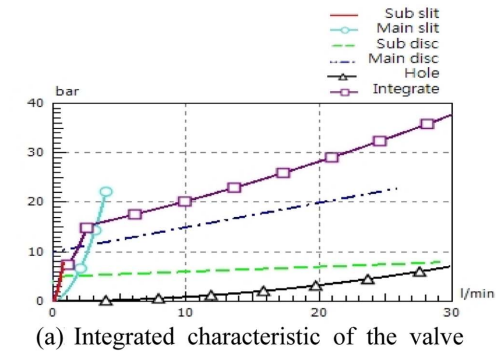
변화하게 된다. Sub disc의 추가로 디스크의 전체적인 강성이 증가하면서 오버라이드 특성 또한 바뀔 것으로 예상했지만 진입유로 자체가 좁은 조건이기 때문에 큰 변화는 없는 모습을 보인다.

2-3. 2종 디스크, 2종 슬릿

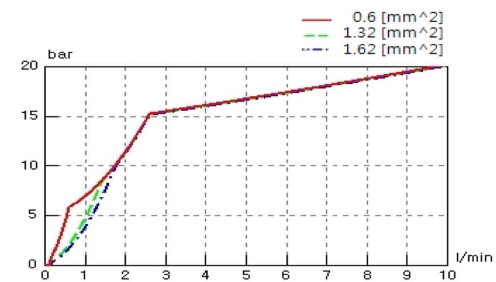
슬릿이 2종으로 늘어남에 따라 속업소비의 저속행정 영역을 지배하는 요소가 2개가 된다. 보통 속업소비에 2종 슬릿을 적용할 때는 극 저속영역부와 저속영역부의 감쇠특성을 구분하기 위함이다. 극 저속영역에서 일은 Low disc slit을 통해 Main disc slit으로 이동한다. 유량이 증가하면 Low disc에 변형이 발생하여 크래킹 되고 Main disc slit으로 유량이 이동 하게 되며, 유량이 더 증가 할 경우 Main disc까지 크래킹 되게 된다. Fig. 5(a)는 2종 디스크, 2종 슬릿으로 구성된 밸브의 통합특성이며, Fig. 5(b)는 Low disc slit의 면적을 변화시켰을 때 극 저속영역에서의 압력특성을 보여준다. Low disc slit의 면적이 증가하면서 극 저속영역의 구분이 퇴색되어 지고 Main disc slit에 더욱 지배적인 영향을 받게 된다. Fig. 5(c)는 Main disc slit을 증가시켰을 때 저속영역에서의 압력특성을 보여준다. 앞 절에서 확인한 것과 같이 크래킹 포인트가 뒤로 밀리는 것을 볼 수 있다.

2-4. 3종 디스크, 2종 슬릿

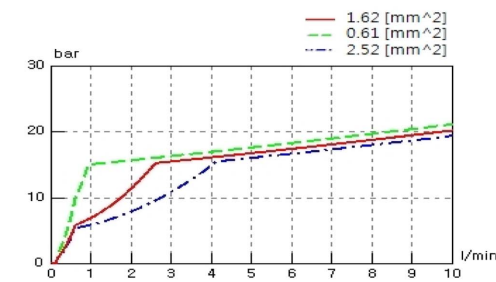
2.3절에 다룬 밸브에 1종의 디스크를 추가하였을 경우이다. 보통 속업소비를 튜닝 할 때 디스크의 매수를 가감하여 크래킹압력을 조정하는 방법을 사용한다. 그래서 직경과 두께가 다른 다양한 종류의 디스크를 추가하면 크래킹압력의 다양성이 확보되어 보다 정밀한 튜닝이 가능하다. 본 해석모델에서는 디스크에 의해 결



(a) Integrated characteristic of the valve



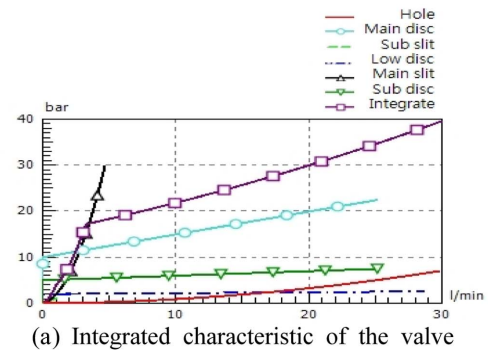
(b) The pressure characteristic when changing size of the low slit



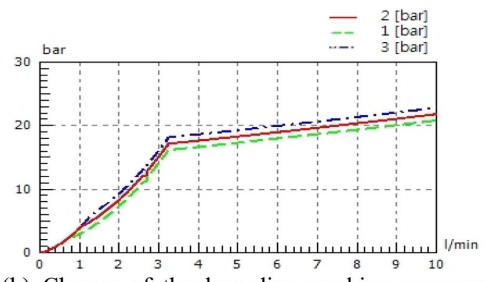
(c) The pressure characteristic when changing size of the main slit

Fig. 5. Characteristic of the valve (two types of discs and two types of slits).

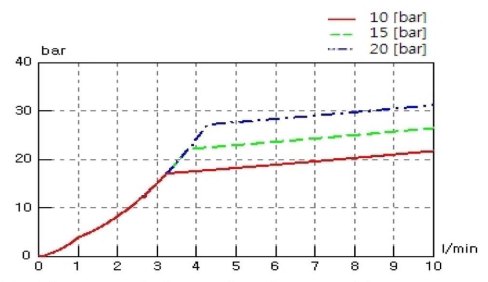
정되는 오버라이드 특성과 크래킹압력을 가정하여 해석하였는데, 이는 감쇠력 시험을 통해 추정이 가능한 부분이다. Fig. 6(a)은 3종 디스크, 2종 슬릿을 가진 밸브의 통합특성이며, Fig. 6(b)은 Low disc의 매수를 가감하였을 때를 모사한 것이고, Fig. 6(c)은 Main disc의 매수를 가감하였을 때를 모사한 것이다. 다양한 종류의 디스크를 사용하면서 튜닝의 범위가 정교해지는 것을 알 수 있다.



(a) Integrated characteristic of the valve



(b) Change of the low disc cracking pressure



(c) Change of the main disc cracking pressure

Fig. 6. Characteristic of the valve (three types of discs and two types of slits).

3. 수동형 속업소버 해석모델을 통한 동적 특성 확인

속업소버의 내부에는 로드와 피스톤이 존재하기 때문에 행정 시 피스톤 윗 공간(로드 위치)과 아래 공간의 체적변화가 다르다. 압축행정을 할 때는 피스톤 아래공간에서 발생하는 체적의 변화가 윗 공간보다 커져 별도의 유량 저장 공간이 없으면 내압에 의하여 파손된다. 그리고 신장 행정을 하게 되면 피스톤 윗 공간의 체적변화가 더 작기 때문에 피스톤 아래 공간에 유량이 부족하게 되며, 이를 별도의 저장 공간에 있는 오일이 채워주게 된다. 별도의 유량 저장 공간은 Fig. 7과 같이

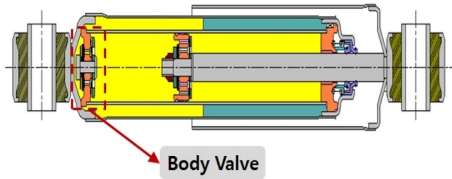


Fig. 7. The body valve position in the shock absorber.

피스톤 아래 공간과 바디밸브를 통해 연결되어 있다. 이 밸브 역시 앞서 언급 한 것과 같이 적층된 디스크를 사용하는 방식으로 구성 되어 있다.

3-1. 가스 충전 압력에 따른 동특성 변화

속업소버의 가진주파수를 높게 되면 신장 시 별도의 저장소에 있는 오일이 가진속도를 따라가지 못하게 된다. 이렇게 되면 피스톤 아래 공간에 오일이 아닌 공기가 채워지게 된다. 이러한 상태에서 행정방향을 압축방향으로 바꾸게 되면 순간적으로 가진력이 걸리지 않게 되어 댐퍼의 기능을 상실하게 된다. 이를 현상에서는 랙(Lag)현상이라고 한다. 보충되어야 할 유량이 가진속도를 따라가지 못하는 랙 현상을 방지하기 위해 속업소버에는 보편적으로 약 5 bar의 질소가스를 충전한

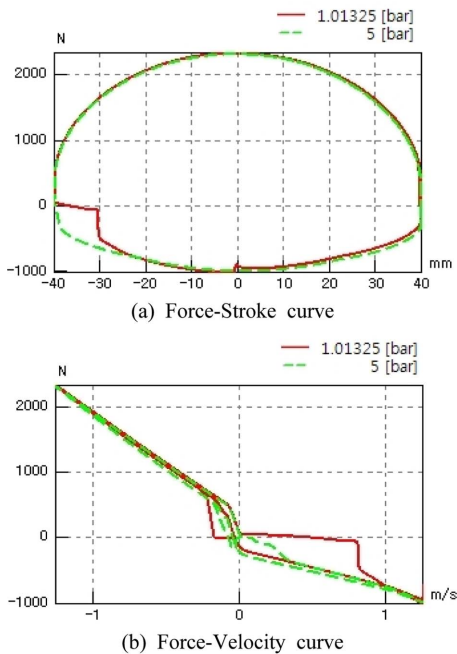


Fig. 8. The effect of the nitrogen gas in the shock absorber.

다. Fig. 8은 5Hz 가진주파수에서의 F(Force)-S(Stroke) 선도와 F(Force)-V(Velocity)선도이다. 대기압조건과 5 bar의 질소가스 충전 조건에서의 비교이며, 압축된 가스로 인하여 랙 현상이 사라지는 것을 볼 수 있다.

3-2. 주파수 특성

먼저 해석모델이 신뢰성을 갖기 위해서는 실제 시험 데이터와의 비교가 필요하다. Fig. 9는 로드센서로 실제 측정한 가진력으로 그린 F-V선도와 같은 조건으로 컴퓨터 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 시험결과와 매우 근접한 수준까지 튜닝이 된 해석모델임을 알 수 있고, 이는 이로부터 얻는 해석결과가 신뢰성을 가진다는 의미이기도 하다.

적용된 디스크의 제원은 0.254t, 0.203t, 0.152t의 3 가지 두께를 갖는 디스크의 조합에 의하여 이루어져 있다.

Table 1은 주파수 특성 그래프를 그리기 위한 해석 조건을 나타낸 표이다. Fig. 10은 이러한 해석 조건으로 즉, 동일한 최고속도 조건에서 가진주파수를 높여

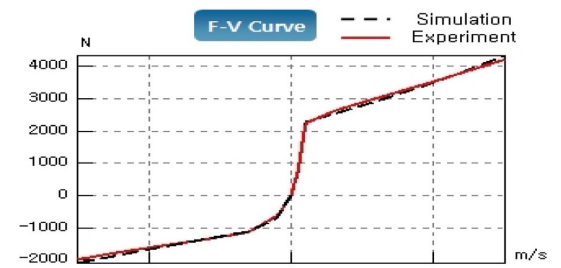


Fig. 9. Comparing the simulation with experimental results.

Table 1. The view table for checking frequency characteristic

	Frequency[Hz]	Stroke[mm]
	0.2	39.79
	0.5	15.92
*Pressure: 3, 4, 5.09 [bar]	1	7.96
	2	3.98
*Max Velocity: 0.05 [m/s]	4	1.99
	8	0.99
	13	0.61
	20	0.40

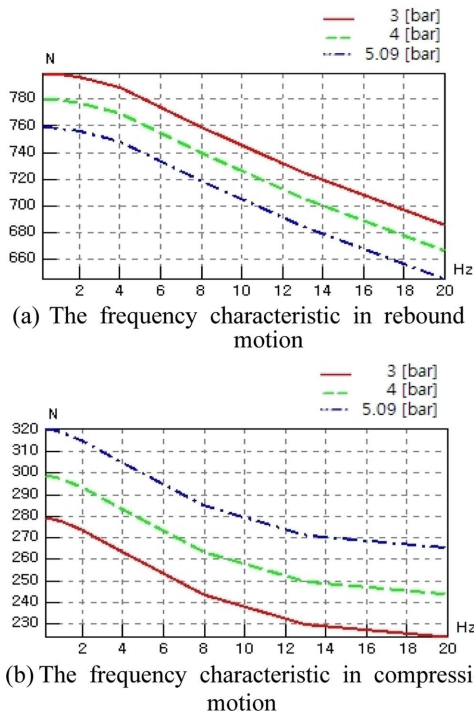


Fig. 10. The frequency characteristic according to the gas pressure.

가며 해석을 하였을 때 그린 주파수 특성 그래프이다. 가스 충전 압력이 속업소버의 신장방향으로 작용하기 때문에 가스압력이 높아질수록 신장방향 가진력은 작아지고 압축방향 가진력은 커지게 된다. 0.2 Hz에 걸리는 가진력의 크기를 100%로 볼 때 20 Hz일 때 작용하는 가진력의 크기와 비교를 해보면 다음과 같다. 질소가스 충전압력 5.09 bar를 기준으로 신장 시 20 Hz 미소변위 행정에서 14.91%의 가진력 감소가 이루어지고, 압축 할 때는 17.23%의 가진력 감소가 이루어진다. 20 Hz에서 0.4 mm라는 아주 작은 변위에도 상대적으로 큰 가진력이 걸리므로 운전자는 미세진동을 그대로 몸으로 느끼게 되며, 이러한 부분이 수동형 댐퍼의 한계라고 할 수 있다. 현재 이러한 한계를 극

복하기 위해 주파수가 높아지고 행정거리가 감소하는 고주파 미세진동을 감지하여 가진력을 조절해주는 순수 기계식 주파수 감응형 속업소버가 개발된 상태이다.

4. 결 론

본 논문에서는 속업소버 설계변수의 물리적인 의미를 파악했다. 압력특성을 좌우하는 슬릿과 디스크, 홀을 다뤘으며 다종의 슬릿과 디스크를 조합하여 사용하였을 때의 압력특성 변화를 분석했다. 또한 질소가스 유무에 따른 락 현상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 구현하였으며, 질소가스 충전 압력에 다른 주파수특성 분석을 했다.

추후 주파수 감응형 속업소버를 면밀히 분석하는 후속연구를 수행 할 예정이다.

References

- [1] Lee, C. T., Kwak, D. H., Jung, B. H., and Lee, J. K., "A Study on the Nonlinear Dynamic Modeling and Analysis of Damping Force Characteristics of Automotive Shock Absorber," Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 1, pp. 104-111, 2003.
- [2] Han, H. S., Seo, J. W., Rho, G. S., Heo, S. J., and Kim, K. H., "Dynamic Modeling of Automotive Shock Absorbers Using Simple Nonlinear Models," Transactions of KSAE, Vol. 11, No. 5, pp. 156-162, 2013.
- [3] Lee, K. H. and Jeong, H. S., "Hydropneumatic Modeling and Dynamic Characteristic Analysis of a Heavy Truck Semi-active Cabin Air Suspension System," Transactions of KSAE, Vol. 19, No. 2, pp. 57-65, 2011.
- [4] Park, J. W., Lee, D. L., and Beak, W. K., "Damping Performance Analysis for an Electronically Controlled Shock Absorber," Transactions of KSAE, Vol. 9, No. 2, pp. 192-201, 2001.
- [5] Yoon, Y. H., Jang, J. S., and Choi, M. G., "A Study on the Analysis and Development of Proportional Pressure Control Valve for Vehicle Active Suspension System via Hydraulics Actuator," Transactions of KSAE, Vol. 8, No. 6, pp. 111-121, 2000.