반능동 서스펜션용 MR D 댐퍼의 자기회로 설계

Magnetic ircuit Design of MR D Damper for emi- ctive uspension

*박재우[1], 김진욱[1], #정영대[2]
*J. W. Park[1], J. W. Kim[1] , #Y. D. Jung(ydjung@ynu.ac.kr)[2]
[1] 경남정보대학 기계자동차산업계열, [2]영남대학교 기계공학부

Key words : Magneto-Rheological Fluid, Magnetic Circuit Design, Yield Shear Stress, Pole Piece Width(PPW), Apparent Viscosity

1. 서론

최근까지 자동차용 충격흡수기(shock absorber)의 개념은 감쇠성능을 조절하기 위하여 적정 오리피스(orifice)를 뚫어놓고 각종 스프링으로 속도에 따라 순간 단면적을 어떻게 조절할까에 모든 초점이 모아졌다. 그러므로 해당 차량에 적합한 감쇠성능을 튜닝 하는데 많은 시간이 소요되었다. 하지만 본 연구의 MR유체를 이용한 댐퍼는 일정 환상 오리피스는 항상 뚫어져 있고, 이를 통과하는 유체의 겉보기 점도가 인가되는 전류에 따라 솔레노이드에서 발생되는 자기장의 세기 때문에 순간순간 변화하여 원하는 감쇠성능을 얻는 것이다. 그 동안 감쇠성능을 조절하기 위해 사용되었던 밸브나 각종 스프링 그리고 부가적인 부품은 이제 필요 없게 되었다.

MR유체를 이용한 댐퍼가 갖는 또 하나의 큰 장점은 10ms 정도의 빠른 응답특성이다. 그러므로 구조가 간단하고 빠른 응답특성으로 인해 반능동 서스펜션(semi-active suspension)의 새로운 대안으로 부각되고 있다.

그리하여 본 연구에서는 자기장을 이용하는 자동차용 MR CDC 댐퍼를 설계하기 위해 자로역할을 하는 솔레노이드 코어(core)와 플럭스 링(flux ring)을 통한 자기회로 설계절차에 대해 새로운 방안을 제시하고자 한다. 또한 그러한 설계절차에 따른 환상 오리피스와 폴피스폭(이하 PPW: pole piece width)의 치수 변화 그리고 MR 유체의 밀도 변화에 따른 자기이력곡선상의 작용점과 자기포화에 대해 고찰하고 주어진 치수 범위 내에서 최적의 피스톤 헤드를 설계 하고자 한다.

2. 감쇠력 가변형 댐퍼

일반적으로 MR CDC 댐퍼는 단일튜브형(Mono Tube Type)으로 만들어야 점성유동에 따른 체적보상을 빠른 속도로 할 수 있다. 그러나 스트럿형(Strut Type)일 경우 스프링 시트나 너클 브래킷 등과 같은 각종 브래킷을 바깥쪽 튜브(Outer Tube)의 외벽에 용접을 해야 하는 문제에 직면한다. 단일튜브이기 때문에 용접에 의해 발생된 변형은 피스톤 밸브의 원활한 운동을 저해한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 카트리지형으로 제작함으로써 해결하였다. 즉, 단일튜브형으로 MR CDC 댐퍼를 만든 다음 바깥쪽 튜브 어셈블리에 넣고 밀봉하면 스트럿형의 MR CDC 댐퍼를 완성할 수 있다.

3. 자기회로설계

솔레노이드에 전류가 인가되면 암페어의 오른손법칙에 따라 자기장이 형성된다. 이때 형성되는 자기장의 폐회로에서 자로역할을 하는 부분은 솔레노이드 코어와 플럭스 링이다. 그러므로 자로역할을 하는 부품은 강자성체가 되어야 한다. 그리고 자로역할을 하는 부품이외에는 자기 플럭스가 빠져나가지 않도록 비자성체로 구성해야 한다. 체결이나 지지를 위해 어느 정도의 강도가 요구될 경우에는 그에 준하는 비자성체 부품을 선정해야 한다. 자로 역할을 하는 솔리드 부품의 자기특성은 WALKER LDJ사의 AMH-15에서 측정하였으며, MR 유체는 진동시료 자력계(VSM)에서 자기이력곡선을 측정하였다.

Fig. 1에 나타낸 B-H 곡선을 살펴보면, 솔레노이드 코어는 1.51T에서 포화(magnetization)되고, 플럭스 링은 자계 강도가 2000(A/m) 정도까지는 인가된 자계강도에 대해 자속밀도(B)가 급격한 선형구간을 형성하지만, 약 1.3T에서 포화되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 피스톤 밸브 설계시 이러한 포화범위를 넘지 않고 선형구간에 작용점이 위치하도록 해야 한다.

MR 유체의 B-H 측정은 물질 내에서 자화력에 의한 자기유도 B가 두 성분으로 나누어진다. 즉 공간에서 유도되는 성분 H와 물질의 자기화(magnetization)에 의한 성분 M으로 이루어진다.

$$B = H + 4\pi M \qquad (1)$$

여기서 M을 자화강도라 하며 B와 동일한 단위를 가진다.

MR 유체의 B-H 곡선을 살펴보면 히스테리시스(Hysteresis)가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 MR 유체 속 미립자의 단자구 크기가 작기(3-5㎛) 때문에 인가되는 자계의 방향에 따른 자극의 방향전환이 쉽게 이루어지기 때문이다.

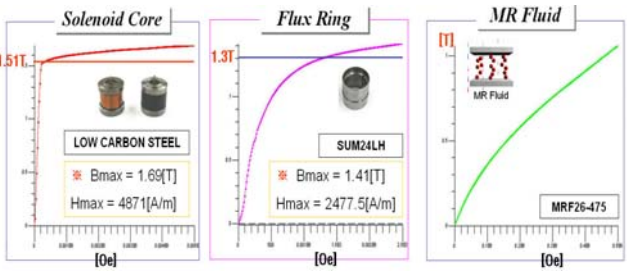

Fig. 1 B-H Curve of magnetic circuit components.

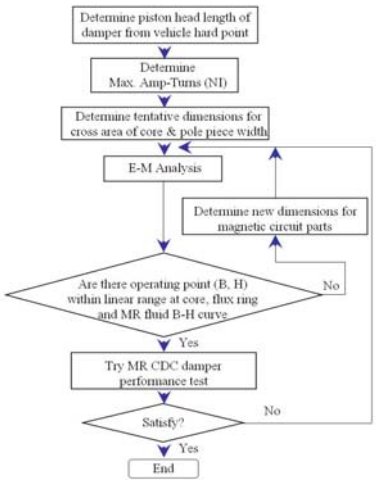

Fig. 2 Proposed magnetic circuit design procedure

일반적으로 자기회로를 설계하는 순서를 살펴보면, 첫째 MR 유체의 B-H 곡선에서 선형구간에 위치하도록 작용점(B_f, H_f)를 선택한다. 둘째, 자기 플럭스의 연속조건으로부터 자로 역할을 하는 솔레노이드 코어와 플럭스 링에서의 작용점(B_c, H_c)를 선택한다. 마지막으로 자기회로에 대한 Kirchhoff의 법칙으로부터 필요한 코일 감김수(Ampere-turns, NI)를 결정하여 솔레노이드를 설계할 것을 제안하고 있다. 그러나 자동차용 MR CDC 댐퍼에서는 그러한 자기회로 설계 절차가 매우 부족하다.

본 연구에서 제안하는 자기회로를 설계하는 순서를 Fig.2에 제시하였다. 우선 적용하려는 차량의 하드 포인트(hard point)

로부터 MR CDC 댐퍼의 피스톤 헤드 부분의 길이 범위가 결정되어진다. 다음으로 인가할 최대 전류의 세기와 저항 범위를 선정해야 한다. 그러면 결정된 코일 감김수 범위 내에서 솔레노이드 코어의 횡단면적과 폴피스폭을 임시적으로 결정한다.

그 다음은 전자기 해석(E-M analysis)을 통해 솔레노이드 코어와 플럭스 링에서 (B, H)의 작용점을 결정하는 것이다. 여기에는 세 가지가 동시에 만족되어야 한다. 첫째 정해진 치수 영역 내에서 낮은 코일저항으로 큰 전력이 형성되도록 솔레노이드를 설계해야 하며, 둘째 원하는 자속밀도의 크기를 형성할 수 있도록 코어 및 폴피스의 횡단면적을 선정해야 한다. 그리고 마지막으로 첫째와 둘째 조건을 만족시키면서 솔레노이드 코어와 플럭스 링의 B-H 곡선에서 해당 작용점이 각각 선형구간에 위치하도록 해야 한다.

전력은 코일 감김수(NI)로 결정되므로 코일 감김수가 많으면 좋지만, MR 유체가 높은 열에 영향을 받기 쉬우므로 정해진 치수 범위 내에서 감김수를 줄일 수 있도록 솔레노이드를 구성해야 한다. 또한 인가되는 전류가 잘 흐를 수 있도록 낮은 저항의 코일이 사용되어야 하고, 솔레노이드를 감싸고 있는 보빈(bobbin)은 열에 강한 플라스틱 재질로 사출 제작되어야 한다.

자기회로 설계의 목표는 적은 전력 공급으로 넓은 감쇠성능 범위를 가질 수 있도록 최적의 조건을 찾는 것이다.

4. 결과 및 검토

본 연구에서 제시한 설계절차에 따라 피스톤 헤드 부분의 자로 역할을 하는 솔레노이드 코어와 폴피스폭 그리고 플럭스 링을 설계하고자 한다. 우선 자동차용 MR CDC 댐퍼에서 이용할 수 있는 피스톤 헤드 길이 범위 내에서 최대 전력을 낼 수 있는 코일감김수(NI) 조건을 결정한다. 다음으로 피스톤 헤드의 기본 치수로부터 자기회로를 구성한다.

Fig. 3은 전자기장 해석 결과를 전체적으로 살펴본 그래프이다. 환상 오리피스 크기가 커지면 솔레노이드 코어와 플럭스 링 그리고 폴피스에서 자속밀도가 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 폴피스의 폭이 커지면 솔레노이드 코어와 플럭스 링에서는 자속밀도가 높아지지만, 환상 오리피스에서의 자속밀도는 그만큼 분산되므로 작아지는 것을 알 수 있다.

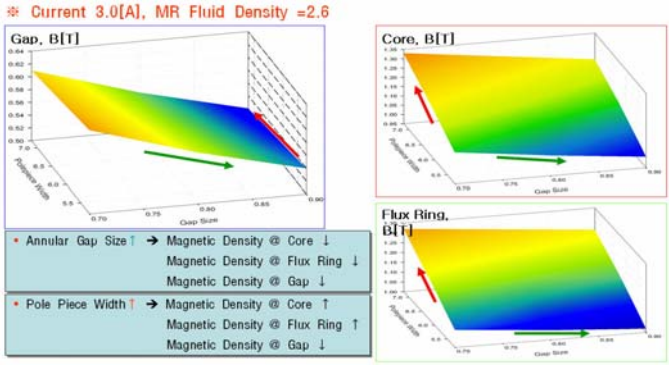

Fig. 3 Electro-Magnetic analysis results.

폴피스폭은 6.8㎜에서 결정되었으며, 환상 오리피스는 요구되는 감쇠력의 범위에 따라 0.8에서 0.9㎜정도까지 사용하도록 설계되었다. Fig. 4는 제안된 자기회로 설계절차를 따라 제작된 자동차용 MR CDC 댐퍼의 성능을 평가한 결과이다. 0A부터 3A까지 전류를 증분 시켜가면서 감쇠력의 증분상태와 범위를 살펴본 것이다. 전자기장 해석에서도 어느 정도 예견되었지만, 3A까지는 포화가 일어나지 않고 감쇠력이 선형 증분 하는 것을 확인할 수 있다.

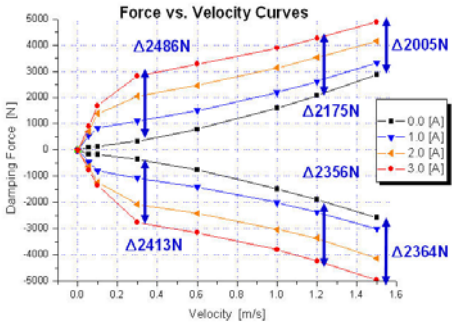

Fig. 4 Damping performance test result of MR CDC Damper.

. 결론

본 연구를 통해 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 전자기장 해석을 통한 수정된 자동차용 MR CDC 댐퍼의 자기회로 설계절차를 제안하였다. 자기회로의 설계 목표는 적은 전력공급으로 넓은 감쇠성능 범위를 가질 수 있도록 조건을 찾는 것이다.

2) 자기회로 설계절차에 따라 자로역할을 하는 솔레노이드 코어와 플럭스 링 그리고 MR유체의 B-H 곡선에서 작용점이 선형구간에 위치하도록 하는 것이 MR CDC 댐퍼에서 자기포화를 막을 수 있는 방법임을 알 수 있었다.

3) 전자기 회로에서 환상 오리피스 크기가 커지면 솔레노이드 코어와 플럭스 링 그리고 폴피스에서 자속밀도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

4) 폴피스의 폭이 커지면 솔레노이드 코어와 플럭스 링에서는 자속밀도가 높아지지만, 폴피스에서는 그만큼 분산되므로 환상 오리피스에서 자속밀도가 낮아지는 것을 알 수 있었다.

5) MR 유체는 순철계통의 미립자를 사용하는데, 단자구의 크기가 작아 B-H 곡선에서 히스테리시스를 거의 형성하지 않는 장점이 있다. 입자의 크기가 크면 클수록 자계강도는 커지만 유체를 만들었을 때 침강에 기인한 성능저하를 초래할 우려가 있다. 그러므로 넓은 감쇠성능 범위를 얻기 위해서는 어느 정도 입자 크기가 커야하지만, 분산 안정성 측면도 고려해야 하므로 MR CDC 댐퍼의 사용 용도에 따라 적합한 MR유체를 선정해야 한다.

후기

The authors would like to thank Dr J. D. Carlson and Prof. Norman Wereley for their help in MR Fluid supply through Lord and shear stress measuring of MR fluid.

참고문헌

1. Lord Materials Division, "Magnetic Circuit Design," Lord Corporation Tech. Library, Engineering Note, November, 1999.
2. Lord Materials Division, "MR Valve Configurations," Lord Corporation Tech. Library, Engineering Note, June, 2001.
3. Lord Materials Division, "Designing with MR Fluids," Lord Corporation Tech. Library, Engineering Note, December, 1999.
4. David K. Cheng, "Fundamentals of Engineering Electromagnetics," 213~221, Engineering Note, December, 1993.
5. 고재귀, 송재만, 자성물리학의 기초와 응용, 숭실대학교 출판부, 2001.
6. 윤석창, 전기자기학, 교우사, 1999.
7. W.H. Li, H.Du and N.Q. Guo, "Finite Element Analysis and Simulation Evaluation of a Magnetorheological Valve," Int. J. Adv. Manuf. Technol, 438~445, 21, 2003