

論文99-36T-3-11

재생 에너지를 특징으로하는 ER현가장치 연구

(A Study on ER Suspension System with Energy Generation)

金基先*, 金丞煥**

(Key Sun Kim and Seung Hwan Kim)

요 약

본 논문은 외부에서 공급받는 에너지 대신에 현가 시스템 자체에서 전기에너지를 발생시켜 전기유동(electro-rheological, 이후ER)유체를 제어하는 새로운 형태의 ER 진동 제어장치를 제안한다. 이를 위하여 에너지 재생 메커니즘을 개발하고 진동에너지를 재생 전기에너지로 환원하여 축적시켰으며, 상기에서 얻어진 저전압을 ER제어 할 수 있는 고전압(1KV-6KV)으로 승압시켜 ER 현가 장치에 적용하였다. 한편 제안된 장치의 성능 향상을 목적으로 재생 에너지의 충전장치, 고전압 발생장치, 전기제어장치, 신호감지장치를 설계하여 ER 현가 장치의 동특성 시험을 행하고 충격제어 능력을 평가하여 실용화 할 수 있는 기반을 구축하였다.

Abstract

This paper presents a new type of energy generative ER suspension system which does not require external power sources. This is accomplished by converting vibration energy(kinetic energy) into electrical energy. In order to undertake this, an appropriate size of the ER damper is manufactured by incorporating a mechanism which changes the linear motion of the ER damper to the rotary motion. This rotary motion is amplified by gears and activates a generator to produce the electrical energy. The efficiency of energy generation is evaluated and the level of damping force with generated power is also investigated. Then, the ER suspension system is applied to the quarter car model, and its vibration isolation is experimentally evaluated with respect to the piston speed.

I. 서 론

최근 첨단 기술의 하나로 소위 스마트재료 및 구조물(smart materials and structures:SMS)에 대한 연구가 활발히 진행중이다. SMS란 재료자체 혹은 현

존하는 구조재료와 결합한 것으로서 센싱, 액츄에이팅, 제어, 학습(learning), 계산 등의 능력을 보유한 것을 말하고, 재료의 기계적 및 물리적 성질이 외부의 전압, 열 혹은 빛 등에 의해 감지 및 제어되며 그 반응속도는 천분의 1초 이하로 매우 빠르다.^{[1]-[12]} 따라서 SMS는 하중 또는 예측하기 힘든 외·내부의 환경조건 변화에 대해 재료자체 고유의 지능으로 유효 적절히 대처할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 지금까지 알려진 SMS 부류에 속하는 것으로서는 형상기억합금, ER유체, 압전필름 및 광섬유 등이 있다. 본 논문에서는 이들 중 잠재적 응용가치가 가장 큰 것으로 인식되는 ER유체를 자동차 현가장치에 적용시키고자 한다. 현가장치는 승용차 주행시 노면의 굴곡으로 인하여 발

* 正會員, 國立天安工業大學 機械科

(Chonan National Technical College)

** 正會員, 國立天安工業大學 電子科

(Chonan National Technical College)

* 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제연구비에 의하여 연구되었음

接受日字: 1999年1月20日, 수정완료일: 1999年3月3日

생되는 가진이 차체에 전달되는 것을 완화시키는 장치다. 기존 현가 장치는 스프링과 댐퍼 만으로 구성되어 댐핑력이 가변 되지 않으나, 본 ER 현가 장치는 빠른 응답속도와 폭넓고 연속적으로 제어할 수 있는 특성이 있다. 현가장치에 전자제어장치를 응용하여 기계장치에 적용하는 연구가 진행되고 있으며, 이 장치의 중요 기술로는, ER 현가장치의 댐핑력을 생성하기 위해 고전압장치가 부가되어야 한다.^[3] 현재 사용되고 있는 고전압장치는 일반적으로 외부 전기공급장치 혹은 배터리와 같은 외부 전원으로 동작한다. 이는 외부로부터 에너지의 공급 없이는 동작시키지 못함을 의미한다. 본 연구는 유용하게 사용되지 못하는 에너지를 전기에너지로 재생시켜 외부의 전원 공급 없이 이를 이용하기 위한 ER댐퍼를 제안한다. 기존의 수동식 현가 장치에서 재생 에너지를 얻기 위한 연구가 몇몇 학자들에 의하여 수행되었으나, 주로 수치적 해석이나 기초실험에 불과하였으며, 실제로 이 에너지를 이용한 메커니즘은 이루어지지 않았다.^[4]

따라서 본 논문에서는 전기 에너지를 사용하지 않는 기계 시스템에도 작동하는 ER 현가장치를 개발하는데 그 목적이 있으며, 이를 위하여 에너지 재생 메커니즘을 개발하여 쓸모 없는 에너지를 재생에너지로 변환하여 ER댐퍼에 적용시켰고, 그 결과를 실험을 통해 확인하였다. 먼저 bond graph method로 해석하여 설계 후 이를 근거로 ER댐퍼를 제작하였다. 이를 제어하기 위해서 재생에너지를 저장하기 위한 충전장치와, 고전압 발생장치, 전기제어장치, 신호감지장치를 설계하여 시스템 성능을 계속하였다. 실험방법은 재생된 전원은 전압 변환기, 증폭기에 의하여 고전압의 에너지로 변환하여 이를 ER댐퍼에 입력시켜 댐핑 결과를 평가하였다. 이 평가를 위해 개발한 제어기는 제어시기를 마이크로 컨트롤러가 추정된 시기를 찾아 단순제어와 ON-OFF 제어를 수행토록 하여, 전기 재생 효율, 전기장 강도 및 댐핑력 변화 등을 실험하고, 1/4CAR 모델로 동특성 성능시험을 한 후, 고찰·분석하였다.

II. ER유체의 조성

ER 유체는 일반적으로 비전도성 액체 속에 전도성이 강한 입자들을 분산시킨 콜로이드 용액이며, ER 효과를 정의하면 전기장의 부하에 따라 유체의 항복전

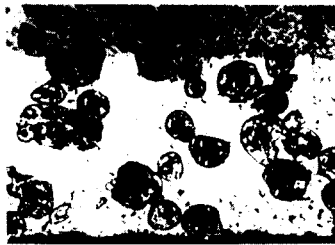
단응력이 변화하는 현상이다. 이러한 현상은 1949년 실리카를 입자로 한 유체의 점성이 전기장 부하에 따라 변화되었음을 처음 발표한 Winslow에 의해 알려졌다. 그 후 많은 연구자들에 의해 여러 ER 유체의 조성방법, 메커니즘 및 응용성에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다.^{[5] [6]} 이러한 ER 유체 특성이 그림 1에 나타나 있으며, 전기장 무부하시 유체중의 입자가 양극 또는 음극으로 자유로이 운동을 하는 Newtonian 유체 상태에서 전기장 부하시에는 유체 중에 분산된 입자가 체인형 구조를 형성, 항복 응력 전까지는 유체 유동을 보이지 않다가 항복 응력과 같아지면서 흐름이 시작되는 Bingham 유체 상태로 변화하게 된다. 다시 말하여 그림 1의 아래 그림에서 보는 바와 같이 외부에서는 가해지는 전단력에 대해 그 운동 방향에 대한 저항성을 갖게 된다. 입자의 종류로는 전분, 셀룰로이드, 실리카 등으로부터 전유으로 합성된 입자에 이르기까지 많은 종류가 사용되고 있다. 이렇게 전기장 무부하시의 등방향(isotropic)성질에서 전기장 부하시의 이방향(anisotropic)성질로서의 상변화는 가역적으로 이루어지고 필요한 전기장의 크기는 약 $1\sim 5kV \cdot mm$ (유체 두께)이나 전류 밀도(current density)가 약 $10\mu A/cm^2$ 이상이기 때문에 요구 전력은 매우 낮다. 한편, 대부분의 ER 유체의 경우 상변화를 위한 반응 시간은 $1\sim 5ms$ 정도로 알려져 있다.

Bingham 유체 성질에서 도출된 ER 유체의 전단 거동식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

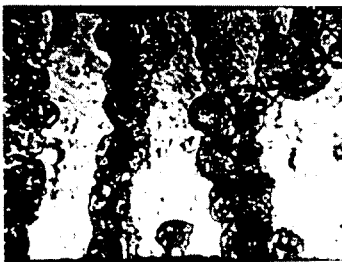
$$\tau = \tau_y + \eta \dot{\gamma}, \quad \tau_y = \alpha E x \quad (1)$$

여기서 τ 는 유체의 전단 응력을 나타내고 η 는 유체의 점성계수이며, $\dot{\gamma}$ 는 전단비(shear rate)를 나타낸다. 그리고 τ_y 는 유체의 항복전단응력을 표현하는 것으로 전기장(E)의 증가와 더불어 αE 의 함수 관계로 알려져 있다. 식 (1)에서 보는 바와 같이 전기장 무부하시에는 ER 효과가 없어지므로 유체의 점성력에 의한 전단력만을 발생시키지만 전기장이 가해진 경우에는 이에 따른 추가적인 전단력 τ_y 가 발생되어 전체 전단력을 증가시키며 임의로 변경 가능한 힘이다. ER 유체의 전단 거동식 (1)에서 상수 α 와 x 값은 고체 입자 농도와 전기장 크기에 대한 ER 유체의 고유 특성 치로서 실험을 통해 구할 수 있으며, 이러한 관계에 따라 전기장으로 인한 전단 응력의 증가 및 전체 항복 응력 크기 등을 예측할 수 있다. 본 연구에서는

ER 유체를 자체 조성하여 이들 유체의 Bingham 거동 실험을 수행하였다. 본 Bingham 거동 실험에 사용된 장치는 동축 실린더의 couette형으로 상용 viscometer인 HIKE 204로 실험하였으며, 그림 2은 전기장의 크기에 따른 ER 유체의 전단속도비와 전단 응력과의 관계를 그 실험으로 얻은 결과이다. 그림에서 보듯이 전기장의 크기가 증가할수록 ER 유체의 동일한 전단속도비에 대한 전단 응력의 크기가 증가하는 것을 알 수가 있으며, 일정한 전기장의 크기에 대하여 유동이 시작된 후에는 전단 응력과 전단 속도비와 크기가 전기장 무부하시의 경우와 유사한 비율로 증가함을 나타내고 있다. 따라서 결과가 양호함에 따라 조성된 이 ER를 댐퍼에 채워 성능시험을 수행하였다.



(a) no voltage applied



(b) 3kV/mm applied

그림 1. ER유체의 빙햄특성

Fig. 1. Bingham properties of ER fluid.

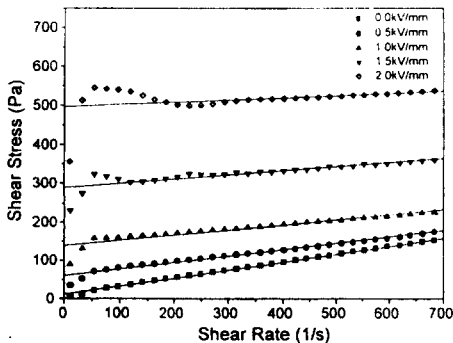


그림 2. 전기변화에따른 점도

Fig. 2. The shear stress vs. the shear rate.

Ⅲ. 성능시험 및 고찰

본 연구에서 제안한 에너지 재생 ER현가장치는 그림 3과 같으며 그 구성도는 그림 4와 같은 절차로 동작되도록 하였다.

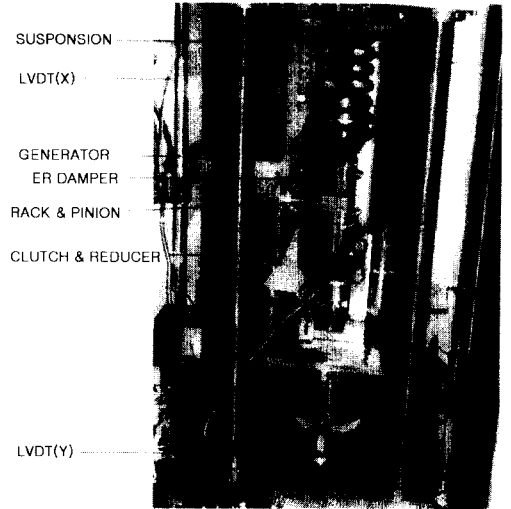


그림 3. 재생에너지 ER 현가장치

Fig. 3. Photo of energy regenerative ER suspension

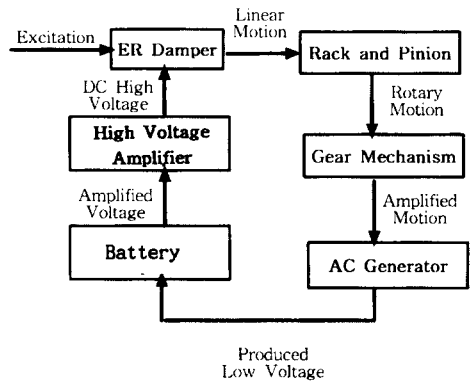


그림 4. 재생에너지 ER 현가장치 의 구성도

Fig. 4. Block-diagram of energy regenerative ER suspension.

외부의 가진에 의하여 발생되는 ER댐퍼의 직선 운동이 피니언 과 랙 기구에 의하여 회전운동으로 변환되고 그 회전 운동은 기어 증폭기와 한 방향 크러치를 사용하여 6배의 속도로 증가되어 제네레이터를 일정 방향으로 회전시킨다. 본 실험에는 소형의 AC 제네레이터를 사용하였고, 제네레이터에서 발생된 전기는 승압시켜 볼테지 레귤레이터 회로로 정류시켜 DC로

변환 축전기에 저장시켰다. DC 전압은 DD 변환기 고 전압을 발생 ER댐퍼에 공급한다. AC 제너레이터와 고전압장치의 주요 특징은 표 1과 같다.

표 1. 구성요소 사양
Table 1. Specifications of the components.

| Component | Specifications |
|------------------------|---|
| A.C. Generator | Max. rotary speed : 7000rpm Matching outpower : 220 watt at 5000rpm |
| High Voltage Amplifier | Rated capacity : 60VA Amplification factor : 1:1000 PWM(Pulse width Modulation) Reference level (0 V - 5 V) Out voltage range (0 -5 KV) |
| A.C./D.C. Converter | Bridge diode model : SILITEK MUR 3509 Capacitor : 8000VDC, 0.1MF |

ER_댐퍼장치를 지원하는 전기제어 시스템은 그림 5와 같으며 각 부분에 대한 설계내용은 다음과 같다.

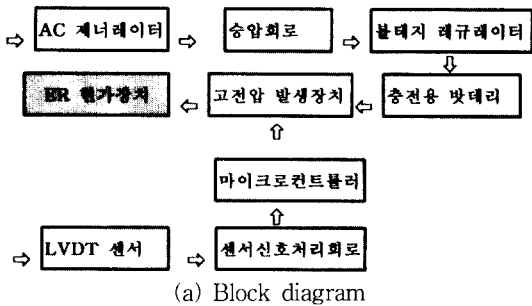


그림 5. 전기제어 시스템
Fig. 5. The electric control system.

◎ 충전장치

충전장치는 그림 5와 같이 AC 제너레이터, 승압변압기, 볼테지 레귤레이터, 충전용 배터리 회로로 구성하였다. ER댐퍼의 상하운동을 회전운동으로 바꾸어 강한 회전토크를 낼 수 있도록 가속기를 설계 제작하였으며, AC 제너레이터를 회전시켜 전기를 변환기로 승압 정류시킨 후, 재생에너지를 축전기에 충전시켰다. 이때 댐퍼기구 및 차체의 큰 운동 에너지를 효과적으로 이용하기 위해서는 상하운동보다는 회전 토크로 변환하는 방식이 재생에너지를 효과적으로 얻을 수 있기 때문에 회전 방식을 택하였다. 제너레이터는 전기자의 회전속도 변화에 따른 출력전류 특성이 제조방식 및 자기회로를 구성하기 위한 자성물질 재료의 투자율과 구조에 따라 각기 다르게 나타나며, 전기발생 효율도 다양하다. 따라서, 저속에서 발생하는 낮은 전압도 충전이 되도록 승압 변압기와 정전압을 위한 레귤레이터 회로를 구성하였으며, 축전기에 재생에너지를 저장케 하여 댐퍼에 필요한 에너지 부족 시 축전 에너지를 사용할 수 있도록 설계하였다.

◎ 고압 발생회로

고전압 발생장치는 DC 12.8 V 축전기 전압을 DC 5KV 로 변환 ER_댐퍼기구에 가하는 장치로 기준전압의 크기에 따라 출력전압의 크기를 결정하는 PWM 방식을 사용하였다. 본 과제에서는 기준전압을 DC 0 V~DC 5 V의 변화에 따라 1000배의 출력전압을 얻을 수 있도록 하였다.

◎ 센서 신호처리회로

X의 위치에 대한 정보는 LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 센서의 신호전압과, Y의 위치에 대한 정보는 또 다른 LVDT 센서의 신호전압으로 얻는다. 이때 기준위치를 중심으로 상의 위치는 정의전압을 발생하며, 하의 위치는 부의 전압이 LVDT 에서 발생한다. 발생전압은 마이크로 컨트롤러의 A/D 변환기가 정의 방향만을 처리할 수 있으므로 센서 발생신호는 버퍼와 반전 증폭기를 걸쳐 마이크로 컨트롤러에 입력시킨다.^[7] 마이크로 컴퓨터에서는 각 신호의 채널과 신호의 유무 및 크기의 변화율을 측정 후, 상대속도로 계산하여 부여된 제어조건에 따라 고압발생 시기를 결정하게된다. 본 시스템에서는 범용의 원칩 마이크로 컴퓨터로 정의 전압만을 처리할 수 있는 A/D 신호처리회로가 내장된 PIC16 C74를 사용 A/D 입력채널 4개를 사용하였다.^[8]

● 마이크로 컨트롤러

마이크로 컨트롤러는 위치정보를 분석 고전압 발생 시기를 정하게되며, 고전압 발생시기는 X, Y의 위치에 따라 시기가 결정되고 그 구체적인 사항은 Y의 위치의 변화를 주기 위해서는 유압장비에 의해 시스템을 가진 시키게 하였고 Y의 변화를 주게되고 가진에 의해 ER댐퍼가 작용하게되며 그에 따라 X가 진동하게 된다. 이때 각각의 LVDT 센서를 통해 위치정보를 알 수 있도록 구성하였다.

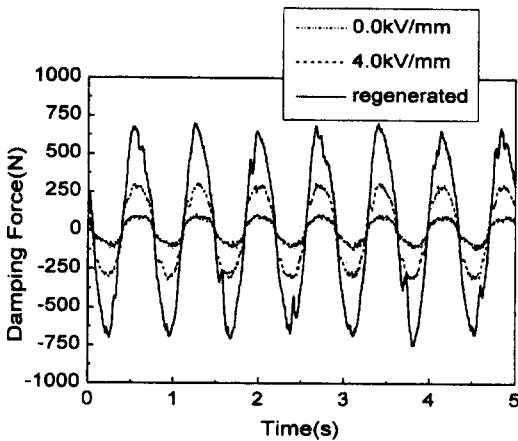


그림 6. 댐핑력의 시간 히스토리
Fig. 6. Damping force in time domain.

ER 댐퍼 시험은 공압장비에 의해 가해지는 진동을 LVDT 센서에서 측정하고 그때 발생하는 댐핑력을 로드셀에서 측정하여 계측한 결과로, 그림 6에서 댐핑력의 시간 히스토리를 볼 수 있으며 가해주는 고전압의 크기를 달리하였을 때 댐핑력이 증가함을 볼 수 있다.

● ER 현가 장치

본 연구에서 제안한 ER댐퍼는 실린더형의 구조로 그림 7에 도시되었다. 가진에 따른 피스톤 로드 (piston rod)의 상하 운동에 의해 ER유체의 유동이 발생되어 ER유체가 전극판 사이에 형성된 유로를 흐르게 되므로 유동저항이 발생된다. 따라서 유동저항으로 인하여 소요되는 힘이 댐핑력으로 작용한다. ER댐퍼의 환형 유로의 바깥쪽 실린더에는 (-)전원이, 안쪽 실린더에는 (+)전원이 연결되어 있어 ER유체에 전기장을 가하는 전극판으로 작동하게 된다. 전기장이 환형 유로에 형성되면 ER유체는 순간적으로 뉴토니안에서 빙햄 플라스틱 거동을 하게 된다.^[9] 즉 전기장이

부하 됨에 따라 ER유체의 전단응력이 발생하게 되어 환형 유로 내의 유동저항을 증가시키고, 이는 피스톤 상하의 압력차를 증가시키게 되어 피스톤의 상하운동에 소요되는 힘은 증가하게 된다. ER유체의 항복응력이 전기장의 강도에 따라 변화하므로 전기장 강도의 변화에 따라 ER댐퍼의 댐핑력 조절이 가능하게 된다. 하부의 가스 챔버는 피스톤 로드의 운동과 열팽창에 따른 유체 유동을 수용하는 어큐뮬레이터(accumulator)로 작동하게 되고 피스톤 로드의 부피보상과 급격한 압력 변화로 발생될 수 있는 기포 등의 영향을 방지하는 역할을 한다.

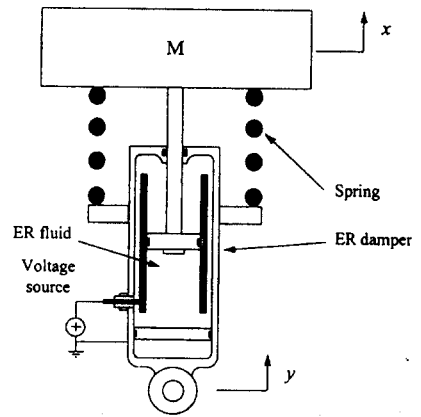


그림 7. ER댐퍼의 구조
Fig. 7. Configuration of the ER damper.

ER 댐퍼는 ER유체의 기계적 성질에 기초하여 설계 되었으며, 모델링과 수식은 bond graph method에 의하여 유도하였고 설계 파라메타는 댐핑력 해석에 의하여 결정 되었다. 그를 기반으로 전극길이 L=190mm, 전극 갭 h=0.75, 전극 너비 b=120.95mm로 설계 제작하였다. ER댐퍼의 가스 챔버는 질소가스로 초기압력을 10 bar로 충전하였다.

IV. 실험결과 및 고찰

그림 8은 재생 메커니즘이 작동하는 동안에 제너레이터 회전 속도의 변화에 따른 재생된 에너지의 전압을 나타내며, 보이는 바와 같이 전압과 회전속도와의 관계는 직선과 유사하게 나타났으나 다소 산발적인 이유는 간헐적 동력 전달시 관성력에 의한 회전운동 때문이다. 1500rpm에서 약 15V정도 얻었음을 볼 수 있다.

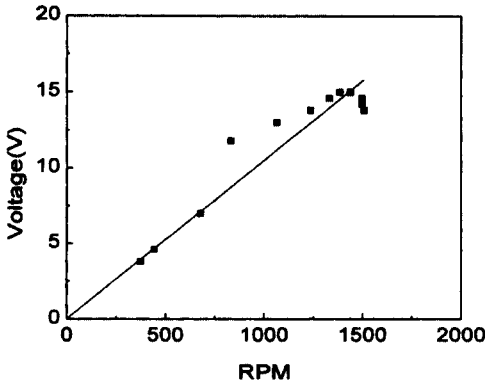


그림 8. 제네레타 회전수 대 재생 전압
Fig. 8. Electric voltage vs. rpm of the generator.

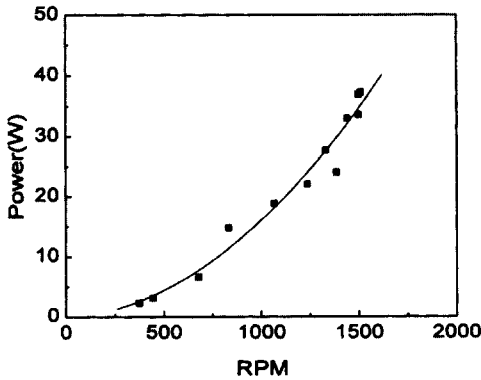


그림 9. 재생 에너지
Fig. 9. Regenerated power.

그림 9는 피스톤 속도를 0.13m/s로 일정하게 유지 하며 왕복운동 했을 때, 피스톤의 진폭에 따른 재생된 에너지의 전력을 나타내며, 여기에서 재생된 전력은 피스톤 진폭에 비례하고 있다. 따라서 재생된 에너지의 양이 그림 9에 보였으며, 1500rpm의 제네레타 속도에서 약 40W정도의 전기 에너지를 얻었다. 승용 차용 ER댐퍼가 20W정도의 전력에서 작동하는 것을 고려하면, 결국 제안된 시스템으로부터 얻은 재생 에너지원의 량은 ER댐퍼를 작동시키기에 충분한 수준임을 알 수 있다.

그림 10는 재생 에너지로 얻어진 고전압을 ER댐퍼에 공급하여 시험한 결과이며 ER댐퍼의 피스톤 속도 변화에 따른 댐핑력을 나타낸다. 여기에서 ER댐퍼의 가진은 $\pm 20\text{mm}$ 으로 일정한 진폭으로 운동하도록 하였으며 속도를 0.4Hz에서부터 3.0Hz까지의 진폭변화를 주어 실험한 결과이다. 제안한 재생에너지 시스템의 효과를 관찰하기 위해서 전기장을 공급하지 않은

경우의 댐핑력과 재생에너지를 사용하여 얻은 댐핑력을 비교하였으며 그 결과 피스톤 속도가 증가함에 따라서 댐핑력이 증가함을 관찰하였다. 특히, 이 두 경우의 댐핑력 차이폭(bandwidth)은 피스톤 속도의 증가에 따라 크게 벌어짐을 알 수 있다. 그 이유는 속도 증가에 따라 재생에너지의 증가로 댐퍼 내에 있는 ER 유체에 더 높은 고전압을 공급하기 때문이다. 그림에서 피스톤 펌프 속도가 0.3m/s일 때 무 부하 전기장일 경우 댐핑력이 150N이던 것이 재생에너지 메커니즘을 적용하였을 경우 약 700N으로 증가되어 550N의 댐핑력 차이 폭을 형성하였으며, 이 폭은 전기장의 크기를 조절함에 따라 현가 장치의 안전성을 제어할 수 있는 영역의 폭을 의미한다. 따라서 제안된 재생 에너지 시스템에서 얻은 에너지로 ER댐퍼를 충분히 제어할 수 있다는 가능성을 보였다.

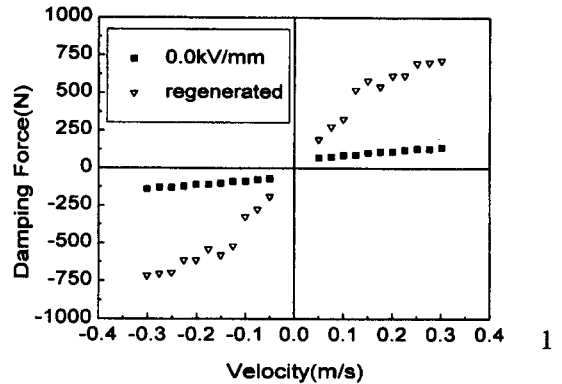


그림 10. 피스톤속도 변화에 따른 댐핑력
Fig. 10. Damping force vs. piston velocity.

한편 ER댐퍼가 적용된 현가장치의 진동절연특성을 고찰하기 위하여 그림 7과 같은 실험 장치를 구성하였다. 본 실험에서는 스프링에 걸리는 부하의 중량을 275kg으로 하였고, 강성계수가 18,620N/m인 코일 스프링을 사용하였다. 이 수치는 실제 소형승용차의 1/4 차량의 모델과 유사하다.

ER 현가장치의 동특성은 주파수 영역에서의 전달률로 고찰하였다. 그림 11에서 전달률은 질량 변위의 RMS(root-mean-square) 값을 가진변위의 RMS 값으로 나누어서 구하였다. 가진 변위와 질량 변위는 각각 LVDT에서 나온 신호를 A/D 변환기를 사용하여 저장하였다. 가진 변위는 $\pm 15\text{mm}$ 의 진폭을 갖는 정현파로 0.4-3Hz까지 증가시켰고, 전기장 세기는 0-3kV/mm를 공급하였다.

그림 11는 전기장 증가에 따른 현가시스템의 진동 절연특성을 나타내는 변위전달률을 나타낸 것이며 전기장 무부하시 1.35Hz에서 공진이 나타났고, 이때의 전달률은 2.7이다. 그러나 전기장이 부하됨에 따라 공진 주파수 근처에서 전달률이 줄어들어 절연성능이 향상되는 것을 볼 수 있다. 부하되는 전기장이 ER유체의 항복응력을 발생시켜 댐퍼 내 유로에서의 유체저항을 증가시키게 되고, 댐퍼의 댐핑력이 증가되어 전달률이 감소되는 것이다. 또한, 전기장 강도가 증가할수록 ER유체의 항복응력이 증가되어 공진 주파수에서 전달률이 더 감소하는 것을 볼 수 있다. 그러나 1.7Hz 이상의 주파수 대역에서는 전기장 무부하시 보다 전달률이 오히려 증가되게 되고 절연성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 특히 3.0kV/mm의 전기장 부하시, 1.5kV/mm의 경우보다 공진 주파수는 더욱 높은 주파수 대역으로 이동했으며, 비교적 높은 주파수 대역에서 전달률이 점점 악화됨을 볼 수 있다. 이는 일반적으로 알려져 있듯이, 공진 주파수 이후의 비교적 높은 주파수 영역에서는 낮은 댐핑이 더 좋은 성능을 나타내기 때문이다. 특이할 만한 것은 공진 주파수가 전기장 강도 증가에 따라 높아진다는 것이다. 이는 전기장 강도에 따라 댐핑과 강성이 증가하기 때문으로, 일반적으로 ER유체를 적용한 시스템은 전기장 강도에 따라 강성과 댐핑이 동시에 변화되며, 시스템의 공진 주파수는 증가된다.

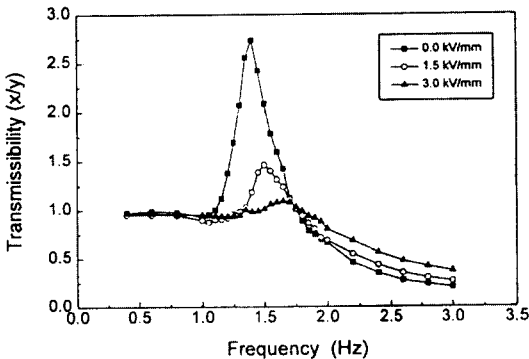


그림 11. 가진주파수에 따른 전달률
Fig. 11. Transmissibility with respect to electric field.

다음으로 본 연구에서는 제어기의 적용에 따른 ER 현가 장치의 진동제어 성능시험을 고찰하기 위해 on-off 제어를 실시하였다. on-off 제어기는 매우 단

순하고 시스템 적용에 드는 비용이 적어 산업현장에서 부분적인 제어 시스템에 널리 이용되고 있다. 본 연구에서는 다음과 같이 시스템 질량의 속도성분에 따라 제어 전기장을 결정하였다.

$$E = \begin{cases} 3.0 \text{ kV/mm} & \text{for } \dot{x} > 0 \\ 0.0 \text{ kV/mm} & \text{for } \dot{x} \leq 0 \end{cases}$$

일반적으로 승용차에 적용되는 댐퍼의 경우, 리바운드 운동일 경우의 댐핑력이 자운스 운동일 경우보다 크게 하는데, on-off 제어기는 이와 유사하게 동작한다. 즉, ER 현가장치의 스프링 질량이 위쪽방향으로 운동할 때, 수식 E에 의해 결정된 제어전기장이 공급되도록 설정하였다.

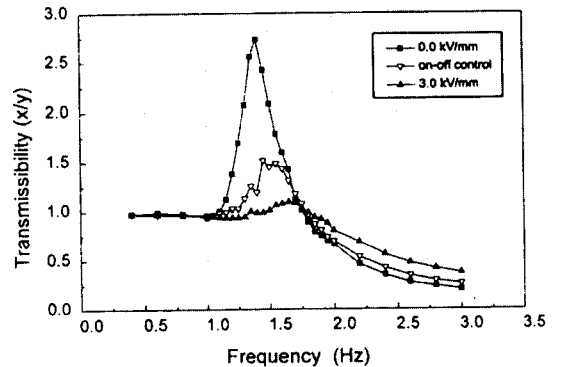


그림 12. ON-OFF 제어기를 사용한 전달률
Fig. 12. Transmissibility with respect to electric field

그림 12는 on-off 제어기를 적용하였을 때, 가진 주파수에 따른 전달률을 측정해본 것이다. 제어신호에 사용된 속도 성분은 변위신호를 수치 미분한 것으로, 이 때 발생된 잡음은 디지털 필터(digital filter)를 통하여 제거하였다. 또한 실험조건은 전기장에 따른 동특성 실험의 경우와 동일하다. 그림에서 공진 영역인 1.4Hz에서 전기장 무부하시 보다 크게 전달률이 감소함을 알 수 있다. 또한 1.8Hz이상의 영역에서는 전기장 강도를 3.0kV/mm로 일정하게 공급한 경우보다 on-off제어한 전달률이 향상됨을 볼 수 있었으며, 특히 일정한 전기장을 부하 하였을 경우 발생되던 공진 이후의 주파수 영역에서의 성능 악화가 발생되지 않았고, 공진영역에서 전기장 무 부하시의 성능보다 더 좋은 전달률이 나타남을 보여 우수한 성능이 확인 되었다.

V. 결 론

이 논문에서는 무 동력 기계장치에 적용가능한 ER 현가장치를 개발할 목적으로, 전기충전장치, 고전압장치, 진동제어전자장치, ER 현가장치, 재생에너지 변환장치 등으로 구성된 전기제어 시스템을 설계하여 그 성능을 시험하였다. 외부 가진으로부터 발생하는 직선운동을 랙과 피니언을 통해서 회전운동을 변화시키고 기어 메커니즘을 통해서 회전속도를 증폭시켰다. 실험결과, 제너레이터에서 생성된 재생 에너지는 댐핑력을 제어시킬 수 있는 충분한 전기장의 크기임을 확인하였다. 이것은 외부의 에너지 공급 없이도 재생에너지만으로 ER현가장치의 제어 가능성을 확인하였다. 마지막으로 감지장치의 신호를 바탕으로 적절한 제어를 통해 고전압장치를 구동 현가장치에 적용한 결과 설계된 ER 현가장치의 성능에대한 효용성을 입증하였으며, 향후 연구될 재생 에너지 메커니즘을 ER현가 장치에 적용시키기 위한 기반을 구축하였다.

참 고 문 헌

[1] S. Morishita, "Adaptive Vibration Control System with Controllable Dynamic Damper", J. JSME, Vol. 58, pp. 1748-1754, 1991
 [2] 김기선, 박우철, 최승복, 정재천, "전기유동유체

의 역학적 특성고찰 및 진동 제어 응용", 한국유변학회, 제 6권 1호, pp. 20~29, 1994

[3] M. Sturk, X. M. Wu and J. Y. Wong, "Development and Evaluation of a High Voltage Supply Unit for Electrorheological Fluid Dampers", Vehicle System Dynamics, Vol. 24, pp. 101-121, 1995.
 [4] Y. Suda, T. Shiiba, "Characteristics of Energy Regenerative Damper", Proceedings of the 6th Asia-Pacific Vibration Conference, pp. 137-142. 1995.
 [5] 김기선, 최영태, 최승복, 정재천, 전영식, "전기유동유체를 이용한 엔진마운트 모델구성과 성능해석", 한국자동차공학회논문집, 제 2권, 제 3호, pp. 62-74, 1994
 [6] 김기선, 정달도, 이효정, 최승복, 정재천, "전기유동유체를이용한 실린더형밸브의 특성고찰", 한국정밀공학지회지, 7월, pp. 148-159, 1994
 [7] DAVID F. STOUT, Handbook of operational amplifier circuit design, McGraw-Hill, 4-(1-20), 1976.
 [8] Microchip Technology Inc., Embedded control handbook, 2-59, 1994.
 [9] 김기선, 장유진, 최승복, 정재천, 서문석, 여문수, "승용차용 연속가변 ER댐퍼의 성능연구", 한국자동차공학회 논문집, 제 3권 6호, pp. 69-77, 1995

저 자 소 개



金基先(正會員)
 1954년 12월 27일생
 1980년 인하대학교 기계공학과 졸업.
 1982년 동 대학원(석사). 1994년 동 대학원(공학박사). 1992년 기계제작 기술사. 1982년 ~ 1986년 만도기계 주식회사 기계개발팀 과장. 1986년 ~ 1994년 인천기능대학 전산응용기계과 교수. 1994년 ~ 현재 천안공업대학 기계과 조교수. 주관심분야는 ER 유체응용분야, 기계개발분야



金 丞 煥(正會員)
 1955년 4월 5일생
 1980년 광운대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 동 대학원(공학석사). 1991년 동 대학원(공학박사). 1991년 한국통신기산업(주) 수석연구원. 1991년 ~ 현재 천안공업대학 전자과 부교수. 주관심분야는 신경망회로, 전력전자, 전자회로설계, 마이크로컨트롤러응용설계