韓國精密工學會 2000年度 秋季學術大會論文集 pp.144~147 KSPE 00F034

반능동 현가장치의 ANFIS 지능제어

이육형(부산대 대학원), 박명관(부산대 기계공학부),

ANFIS Intelligence Control of a Semi-Active Suspension System

Yuk Hyung Lee(Graduate School, Pusan Univ.), Myeong Kwan Park(Pusan Univ.)

ABSTRACT

In this paper, ANFIS intelligence control of a semi-active suspension system is investigated. The strength of the ER damper is controlled by a high voltage power supply. This paper deals with a two-degree-of-freedom suspension using the damper with ERF for a quarter vehicle system. The control law for semi-active suspensions modeled in this study is developed using passive and ANFIS control method. Computer simulation results show that the semi-active suspension with ERF damper has good performances of ride quality.

Key Words : Electro-Rheological Fluid(ER 유체), ANFIS(Adaptive Neuro Fuzzy Inference System), ER damper(ER 댐퍼), Semi-Active Suspension(반능동 현가장치)

1. 서론

자동차는 현대인들의 다양한 욕구에 충족되기 위해 더욱더 복잡해지고 정밀한 제어가 요구된다. 그 중에서 현가장치는 자동차가 주행시 노면 불규칙성 외란에 대한 진동을 흡수하여 운전자로 하여금 승차감을 좋게 하고 안정성 확보차원에서 매우 중요하다. 현가장치는 제어입력에 따라 크게 댐퍼(SHOCK ABSORBER)내부의 오리피스가 고정되어 감쇠력을 내는 수동 현가장치와 비례제어밸브등을 통한 가변오리피스를 조절하여 감쇠력을 발생시키는 반능동 현가장치 및 외부동력으로 바로 감쇠력을 발생시켜주는 능동현가장치로 구분된다. 종래의 대부분의 연구에서의 댐퍼는 오일(OIL)또는 가스(GAS)를 매체로 하는 감쇠력 제어를 수행하였다. 이는 기계적 매카니즘 또는 전자제어시스템으로 이루어져 있기 때문에 성능향상을 위해서는 그 구조가 매우 복잡하고 작동시 마찰이나 마모등으로 소음이 발생되는 원인이 된다. 이와같은 문제들을 해결할수 있는 새로운 시스템을 실현하기 위해서는 종래의 성능을 뛰어넘는 새로운 기능재료를 이용한 액튜에이터의 개발이 필요하다.일반적으로 지능유체로 알려져 있는 전기점성유체(이하 ER유체라 칭함)는 부하되는 전기장의 강도에 따라 그 역학적 특성이 변하는 유체를 총칭하는 것으로, 일반적으로 비전도성 유체 속에 강한 전도성 입자를 분산시킨 콜로이드 용액이다. ER유체는 외부에서 가해지는 전단력에 대해 전기장 부하시 ER 유체는 저항을 갖는다. 그러므로 외부 조건에 따라 ER유체에 부하되는 전기장의 크기만을 변화시키면 연속적인 제어가 가능하다. 따라서 본 연구에서는 차량에 쓰일 수 있는 ER유체 댐퍼[5-7]를 1/4차량 모델에서 ANFIS 지능제어기법을 이용하여 제어 성능을 향상시키고자 한다.

2. 서스펜션 모델

Fig. 1은 현가장치의 모델링을 위해 4분주 차량 2자유도 모델을 제시하였다. 반능동[1] 현가 시스템의 운동방정식은 다음과 같다.

$$m_s\ddot{z}_s = -k_s(z_s - z_u) - f_d$$

$$m_u\ddot{z}_u = k_s(z_s - z_u) - k_t(z_u - z_r) + f_d \quad (1)$$

여기서, z_s은 차체의 변위, z_u은 바퀴의 변위 z_r은 지면으로부터 들어오는 입력 변위이고 f_d는 ER 댐퍼 감쇠력이다.

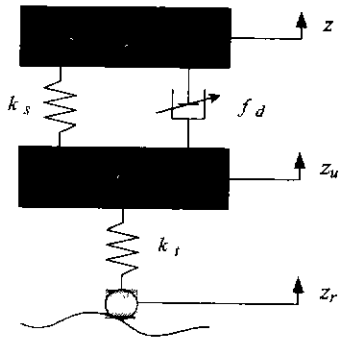

Fig. 1 1/4 차량 모델

2.1 ER 유체

액체의 유동 특성이 외부전기장으로 인해 유체의 겉보기 점탄성이 변화하는 현상을ER(Electro rheological) 효과라고 하며, 그 와 같은 성질을 나타내는 유체를 ER유체라고 부른다[2]. 일반적인 ER유체는 실리카등의 미립자를 절연유에 분산시킨 유체가 점성이 변화게 되는 입자계 ER유체이며, 전기장 부하시 입자간의 전기 분극 현상으로써 입자 자체가 사슬구조를 가지게 되고, 또한 전기장이 가해짐에 따라 유체의 전단응력이 변화되는 것으로 전기장 무 부하시에는 유체입자가 양극 또는 음극으로 자유로이 운동하는 뉴토니안(Newtonian)유체 상태이지만 전기장 부하시에는 유체 중에 분산된 입자가 체인형 구조를 형성하여 유체가 항복응력을 갖는 빙햄유체[3]와 같이 거동하며 외관상 점성 등의 역학적 성질이 수 ms이내 빠른 응답과 가역적인 성질로 변한다.

3. 제어기 설계

3.1 스카이훅 감쇠 제어기

능동/반능동 현가 장치에서 많이 쓰이는 스카이 훅 모델은 Karnopp[4]에 의해서 제안되었으며, 최적 제어 이론에 근거하여 노면 외란에 의한 차체의 가속도를 줄이기 위하여 가상적인 기준면(reference frame)에 감쇠기를 설치하는 방법이다. Fig. 2는 스카이 훅 모델을 표시한 것이다. 수학적인 모델링은 다음과 같다.

$$f_{sky} = C_{sky} \cdot \dot{z}_s + C_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) \quad (2)$$

스카이훅 이론에 의한 감쇠력를 구해 보면 다음과 같다.

$$f_d = C_{\min}(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + sgn(\dot{z}_s - \dot{z}_u)C_{ER} \times V_d$$

$$f_d = f_{sky} = C_{sky} \times \dot{z}_s + (\dot{z}_s - \dot{z}_u) \quad (3)$$

여기서, Cmin은 전기장을 가하지 않은 상태시 계수, C_{ER}은 ER 댐퍼 실험에서 구한 계수이다. ER 댐퍼에 인가되는 전기장의 세기는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_d = \frac{C_{sky}\dot{z}_s + C_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) - Cmin(\dot{z}_s - \dot{z}_u)}{sgn(\dot{z}_s - \dot{z}_u)C_{ER}} \quad (4)$$

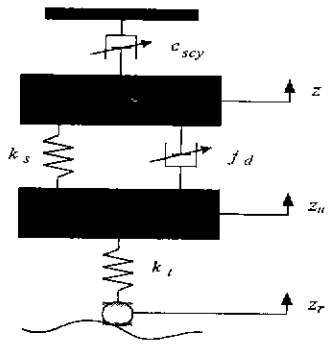

Fig. 2 1/4 차량모델의 스카이훅 제어

3.2 ANFIS 지능제어

본 연구에서 ANFIS[8-11] 지능제어를 이용하여 반능동 현가장치를 제어할려고 한다. 실제적으로 퍼지 제어기를 설계할 때는 전문가적인 관점에서 룰들을 결정해야 시스템의 출력이 사용자가 요구하는 대로 나오는 특징이 있었다. 이와같이 퍼지 제어기가 가지는 이러한 문제점들을 ANFIS시스템을 이용하여 퍼지 제어기의 룰들을 학습하면서 최적화 한다. 그리고 최적화된 룰을 가진 퍼지콘트롤러를 이용하여 ER댐퍼가 설치되어진 서스펜션 모델을 제어할려고 한다. Fig. 3 ANFIS 지능제어의 구조를 나타낸 그림이다.

그리고 앞에서 제시한 1/4차량의 현가장치를 제어하기 위해 퍼지콘트롤러의 두 입력변수로는 $\dot{z}_s$, $\dot{z}_s - \dot{z}_u$를 사용한다. 퍼지콘트롤러의 두 입

력변수는 일반적인 반능동 현가장치제어인 스카이훅 모델제어 이다. 결국 입력은 차체 속도 및 상대속도가 된다. Fig. 4은 입력과 출력의 관계를 Fig.5는 입력 멤버쉽함수를 나타내었다. $\dot{z}_s$, $\dot{z}_s - \dot{z}_u$의 멤버쉽 함수는 5가지의 언어로 표현되고 . 출력은 ER댐퍼에 걸리는 밸브 전압이 된다. Fig. 6는 3차원 입력과 출력의 그래프이다.

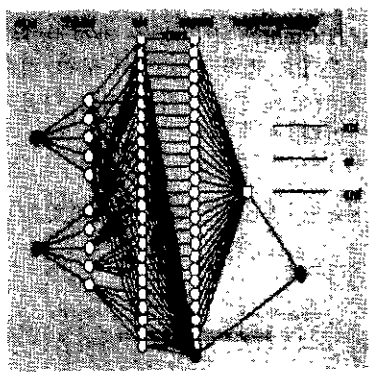

Fig. 3 ANFIS의 구조

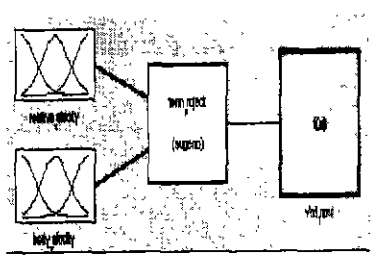

Fig. 4 입력과 출력 룰

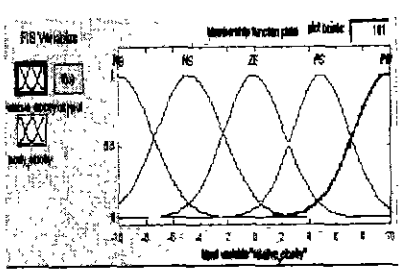

Fig. 5 입력치의 멤버쉽 함수

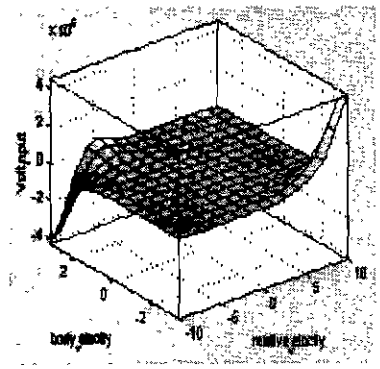

Fig 6 3차원 입력과 출력

4. 시뮬레이션

자동차 현가장치의 성능을 향상시키기 위해서 가장 이상적이며, 실제 차량에 적용하고 있는 제어기는 스카이훅 제어기를 많이 사용하고 있다. 따라서 스카이훅 제어기를 통한 들어오는 입력 데이타를 ANFIS를 이용해 수동과 ANFIS지능제어와 성능을 비교 한다. Fig. 7은 범퍼의 노면 외란을 나타내었다. 노면와란은 높이 10cm의 돌기를 타고넘는 외란이다. Fig. 8은 범퍼 입력에 대한 ANFIS지능제어와 수동제어기의 결과이다.

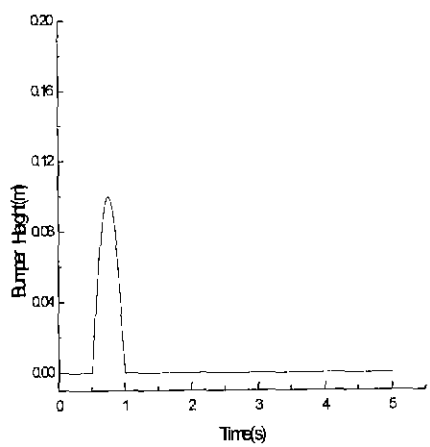

Fig. 7 노면 입력

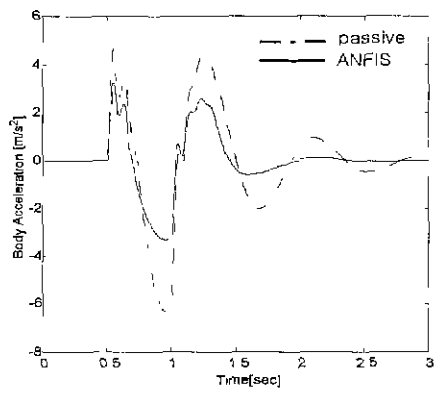

Fig. 8 범퍼입력에 대한 차체의 가속도

5. 결론

본 연구에서는 ER유체를 이용한 ER댐퍼를 반능동 서스펜션에 적용하였다. 자동차에 가장 이상적 제어기인 스카이훅에 대해서 ANFIS 지능제어 퍼지 룰이 잘 적용되며, ANFIS 지능제어 기법을 차량서스펜션에 적용하여 제어한 결과 수동 현가장치 보다 매우 진동감쇠효과가 나타남을 알았다.

참고문헌

1. X. M. Wu, J. Y. Wong, M. Sturk, D. L. Russell., "Simulation and Experimental Study of A Semi-Active Suspension with An Electrorheological Damper," ,Proc. 4th Int. Conf. on ER Fluids, World Scientific, pp. 568-586, 1994.

2. Winslow, W. M., "Induced Vibration Suspensions," Journal of Applied Physics, vol. 20, pp.1137-1140, 1949.

3. M. Nakano and T. Yonekawa, Trans. of JSME., Series B, vol. 61, no. 166, 1995.

4. Karnopp, D, C., M. J. Crosby, and R. A. Harwood,"Vibration control using semi-active force generators," ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 96, no. 2, pp.619-626, 1974.

5. 이육형, 박명관, "ERF댐퍼를 이용한 스카이훅 제어" 한국정밀공학회 추계학술대회논문집(I), pp. 475-478, 1999.

6. Masami NAKANO, Takuya YONEKAWA., "Active Damper Using Electrorheological Suspension and Its Application to Vibration Isolation Control," , JSME, vol. 62, no.593, pp33～40, 1996.

7. N. k. Petek., "An Electronically Controlled Shock Absorber Using Electroheological Fluid," SAE 920275, 1992.

8. J. -S. Roger Jang and Ned Gulley, Fuzzy Logic TOOLBOX For Use with MATLAB, The Mathworks, Inc., pp. 2.24-52, 2.97-98., January 1995.

9. Earl Cox, "Fuzzy fundamentals," IEEE Spectrum, pp58-61, October 1992.

10. Timothy J. Ross, Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill, pp. 483-490, 1995.

11. Stephen Welstead, Neural Network and Fuzzy Logic Applications in c/c++, John Wylie & Sons, pp.396-399, 1994.