MR댐퍼를 적용한 권선형 엘리베이터의 종진동 저감장치에 대한 연구

박우철*, 이현창*, 조석수*, 최신형**, 김일겸***
*강원대학교 삼척캠퍼스 자동차공학과
**강원대학교 삼척캠퍼스 제어계측공학과
***(주)강남필터
e-mail:wchpark@kangwon.ac.kr

Study on the Reducing Device for a Vertical Vibration of a Wound Type Elevator Featuring a MR Damper

Woo-Cheul Park*, Hyun-Chang Lee*, Suk-Su Cho*, Sin-Hyeong Choi**, Il-Gyoum Kim***
*Dept of Vehicle Eng., Kangwon National University
**Dept of Control and instrumentation Eng., Kangwon National University
***KangNam filter.Ltd

요 약

본 논문에서는 권선형 엘리베이터 시스템의 종방향의 운동을 표현할 수 있는 운동방정식을 도출한다. 기존의 권선형 엘리베이터 시스템의 종진동을 억제하기 위하여 MR유체를 특징으로 하는 댐퍼를 적용하고, MR댐퍼가 적용된 시스템의 운동방정식을 도출한다. 부하하는 자기장에 따른 엘리베이터 시스템의 종진동 저감의 변화를 관찰하였다.

1. 서론

승강기는 대부분의 건물에 설치되어 승객의 이동 및 화물의 운송을 목적으로 하는 수직 교통수단이다. 종전에는 단순히 편리하고 안전한 이동의 기능을 목적으로 하였지만 최근에는 단순한 이동기능 이외의 기능에 관심이 증가하고 있다.

일반적인 엘리베이터는 구동장치에 의한 구동력으로 카와 균형추를 승강 구동시키기 위해 한쪽 끝은 카와 연결되고 다른 한쪽 끝은 균형추에 연결된 메인로프가 구비되고 메인로프는 구동장치에 설치된 권상 로프 풀리 및 이와 간격을 두고 설치된 풀리에 감아 걸어져 구동장치의 정역회전으로 메인 로프를 감고 풀어서 카를 승강로 내에서 승강 구동시킬 수 있도록 되어 있다.

대부분의 엘리베이터는 승객이 이용하기 때문에 안전에 관한 많은 연구가 지속되고 있고, 더불어 진동 및 소음에 관한 연구가 계속되고 있다[1]. 또한, 건물이 고층화됨에 따른 엘리베이터의 고속화가 요구되고 있으며 에너지 절약과 원가절감의 관점에서 엘리베이터의 구조를 경량화 하는 추세다. 이러한 엘리베이터의 고속화와 경량화에 따라, 엘리베이터가 운행될 때 진동의 증가로 인한 엘리베이터 승차감의 저하는 엘리베이터 고속화의 큰 저해 요인이 되고 있다[2),3)].

본 연구에서는 엘리베이터의 운행 시 엘리베이터 카로 전달되는 수직방향의 진동을 억제하기 위하여 심블로드 스프링과 함께 병렬로 연결된 MR댐퍼를 장착시킨 진동저감장치를 제안하고 엘리베이터 시스템의 동적지배방정식을 도출하였다. MR댐퍼에 인가하는 전류 세기의 변화에 따른 엘리베이터 시스템의 응답특성의 변화에 대하여 고찰하였다.

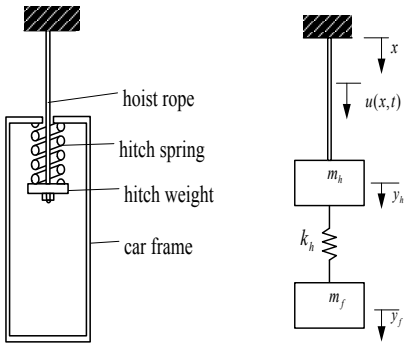
2. 엘리베이터의 모델링

2.1 일반적인 엘리베이터 구조

본 연구에서는 권상 로프 풀리의 회전에 의하여 발생하는 엘리베이터의 운전시 운동량의 변화에 의한 종방향 진동 특성을 다루고자 [그림 1]과 같이 간단하게 모델링 하였다.

일반적으로 엘리베이터의 구조는 권상기의 구동력을 전달하고 카의 무게를 지탱하여주는 호이스트 로프(hoist rope), 카 프레임(car frame), 그리고 카 프

레임과 호이스트 로프를 연결하는 히치(hitch)장치로 구성되어 있다. 따라서 일반적인 엘리베이터의 구조는 Fig. 1(b)와 같이 호이스트 로프와 2개의 집중 질량으로 구성할 수 있다.



(a) schematic diagram (b) model

[그림 1] 일반적인 엘리베이터 시스템과 모델링

시스템의 응답을 지배하는 방정식들은 다음과 같다. 메인 로프에 대해서는

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \left(\frac{E}{\rho}\right)\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \qquad (1)$$

히치 질량(hitch mass)에 대해서는

$$m_h \ddot{y}_h + k_h(y_h - y_f) + EA\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{x=l} = 0 \qquad (2)$$

그리고 카 프레임 질량에 대해서는

$$m_f \ddot{y}_f + k_h(y_f - y_h) = 0 \qquad (3)$$

이들 방정식에서 $u(x,t)$는 로프의 탄성변위이고, E는 호이스트 로프의 탄성계수(Young's modulus), A는 로프의 단면적, ρ는 로프의 체적밀도(volume density)이다. y_h와 y_f는 각각 히치 질량 m_h의 수직변위와 카 프레임 질량의 수직변위이다. k_h는 히치 스프링의 스프링 상수(hitch spring constant)이다. 엘리베이터 시스템에서 히치 질량은 반드시 호이스트 로프의 하단에 단단히 고정되어야 한다. 즉, $u(l,t) = y_h(t)$의 경계 조건을 반드시 만족하여야 한다.

시스템의 응답을 단순조화운동이라고 가정 한다면, 즉 $u(x,t) = \overline{u}(x)e^{j\omega t}$, $y_h(t) = \overline{y_h}e^{j\omega t}$ $y_f(t) = \overline{y_f}e^{j\omega t}$라 쓸 수 있다. 그러면 로프의 운동방정식 (1)은 다음과 같이 된다.

$$u'' + k^2 u = 0 \qquad (4)$$

여기서 $k^2 = \omega^2/c^2$이고, $c^2 = \sqrt{(E/\rho)}$이다. 이를 이용하여 식(2)와 식(3)을 정리하면

$$m_h \ddot{y}_h + k_h(y_h - y_f) + EAky_h \cot kl = 0 \qquad (7)$$

$$m_f \ddot{y}_f + k_h(y_h - y_h) = 0$$

만일 $k_h = 0$이고, $m_h = 0$이라면 호이스트 로프만 있는 경우, 즉 $\cot kl = 0$인 경우에 해당된다.

만일, 로프의 무게를 무시한다면 즉, ρ=0 이라고 한다면 k는 0에 가까운 값이 되며, 따라서, $k\cot(kl) \simeq 1/l$ 이 된다. 그러면 호이스트 로프의 스프링 상수는 EA/l가 되며, 일반적인 엘리베이터 시스템의 로프는 단일의 스프링 상수를 갖는 시스템으로 간주할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 엘리베이터 시스템을 Fig.3과 같이 호이스트 로프를 스프링으로 고려하여 시스템으로 모델링하였다.

2.2 MR댐퍼가 적용된 엘리베이터

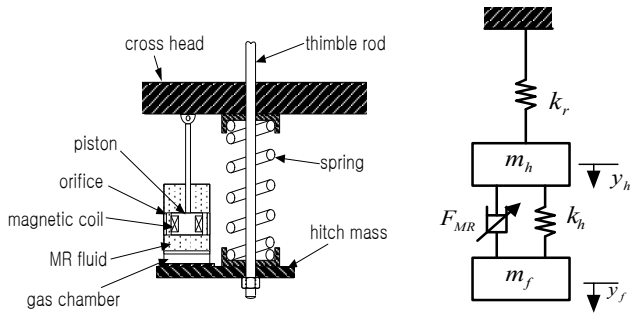
본 연구에서는 엘리베이터의 진동을 저감시키기 위하여 [그림 2]와 같은 엘리베이터 시스템을 고려하였다. 그림에 나타난 바와 같이 호이스트 스프링과 각 질량들의 운동에너지를 조절하기 위한 MR댐퍼를 호이스트 스프링과 병렬로 배치하였다. MR댐퍼를 적용함에 따른 엘리베이터 시스템의 동적 거동을 살펴보기 위하여 승객이나 화물을 싣는 공간은 제외하였다.

MR댐퍼가 적용된 엘리베이터 시스템의 지배하는 방정식은 다음과 같다.

$$m_h \ddot{y}_h + c(\dot{y}_h - \dot{y}_f) - k_r - F_{mr} = F \qquad (9)$$

$$m_f \ddot{y}_f + c(\dot{y}_f - \dot{y}_h) + k_h(y_h - y_h) + F_{mr} = 0$$

여기서 F는 호이스트 로프를 통하여 엘리베이터 시스템에 전달되는 외부 가진을 나타내며, F_{mr}은전류 인가에 의하여 MR댐퍼로 발생되는 감쇠력을 나타낸다. 전류를 인가하지 않은 경우에는 일반적인 댐퍼와 같이 c만의 감쇠계수에 의하여 시스템에 감쇠력을 발생시키지만, 전류를 인가하면 MR유체의 항복응력의 증가에 따라 별도의 감쇠력을 나타나게 된다.



(a) Schematic diagram (b) model

[그림 2] MR 댐퍼를 적용하여 제안한 엘리베이터 댐퍼 시스템과 모델링

4. 실험장치 및 실험방법

엘리베이터 시스템의 동특성을 파악하기 위한 실험 방법에는 자유낙하에 의한 방법과 충격 햄머에 의한 방법이 일반적으로 사용된다. 실제 엘리베이터 시스템과 같이 시스템 상부에 권상용 모터를 설치하여 운전하기에는 설치 공간 등의 제약 때문에 본 연구에서는 자유낙하에 의한 방법으로 실험하였다.

전체 엘리베이터 시스템을 지지하기 위한 구조물은 제작의 수월성을 위하여 알루미늄 프로파일을 사용하였다. 호이스트 로프의 한쪽 끝은 히치 질량에 고정하였으며, 로프의 다른 끝쪽은 프레임에 고정하였다. 실험에 사용된 MR댐퍼는 Load사의 마찰 댐퍼(friction damper, RD-1097-01)를 사용하였다.

히치 질량과 카 프레임의 동적 거동을 살펴보기 위하여 각각의 질량에 가속도 센서(Ono Sokki, NP3120)를 부착하였다. MR 엔진마운트의 솔레노이드에 자기장을 인가하기 위한 전류 증폭기(LORD사, RD-3002-03)를 사용하였다. 또한 가속도 센서로부터의 신호를 측정하기 위하여 동적신호분석기(Dynamic signalC and ACE FET Analyzer, Date Physics Crop)를 통하여 신호변환을 거쳐 컴퓨터 기억장치에 저장하였다.

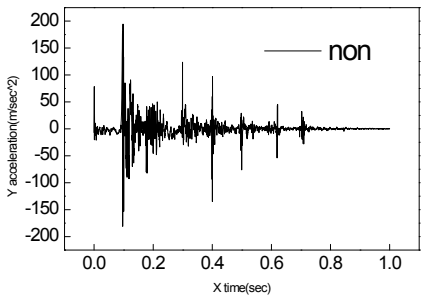
[표 1] 엘리베이터 시스템의 시스템 변수들

hitch mass(m_h)	0.14 kg
car frame mass(m_f)	0.48 kg
hitch spring constant	800 N/mm
weight	0.13 kg

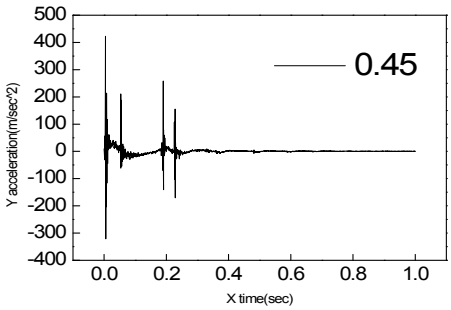
엘리베이터의 프레임이 자유낙하였을 때 발생되는 히치 질량과 카 프레임 질량에서 발생하는 가속도의 변화를 관찰하여 MR댐퍼의 적용 가능성에 대하여 살펴보았다. MR댐퍼의 특성이 엘리베이터 시스템에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 MR댐퍼에 전류를 인가하지 않은 경우와 0.45A, 0.64A의 전류를 인가한 경우로 구별하여 실험을 하였다. 또한, 엘리베이터에 가해지는 하중의 영향을 고려하기 위하여 자유낙하 거리를 2가지로 달리 하여 실험을 하였다.

5. 결과 및 고찰

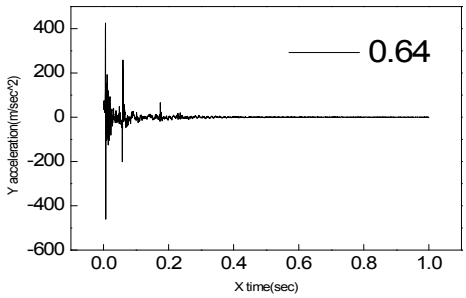
[그림 3]은 히치 질량의 가속도 변화를 나타낸 것이다. 카 프레임의 경우와 마찬가지로 공급하는 전류의 세기에 따라 히치 질량의 가속도 변화가 크게 변화하여 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이와 같이 히치 질량의 운동이 빠른 시간에 감소된다면 로프의 장력의 변화를 줄일 수 있고, 호이스트 로프의 장력이 일정하게 유지된다면, 엘리베이터 카를 운전하기 위한 권상 시브의 마모가 줄어들게 되며, 운전에 필요한 모터부의 내구성이 향상되고 제어에 필요한 전력소모도 줄어들게 될 것으로 생각된다.



(a) 전류를 부하하지 않은 경우



(b) 0.45A 부하



(c) 0.64A 부하

[그림 3] 부하하는 전류량에 따른 히치 질량의 가속도 변화

참고문헌

[1] R. M. CHI AND H. T. SHU, "Longitudinal Vibration Of A Hoist Rope Coupled With The Vertical Vibration Of An Elevator Car", *Journal of Sound and Vibration*, Vol.148(1), pp154~159, 1991

[2] Kmura, H., Ito, H., Nakagawa, T.,"Vibration analysis of elevator rope(2nd report, forced vibration of rope with damping)", *Transactions of the JSME Series C*, Vol.2(717), pp. 1440 -1445., 2009

[3] Yoshiaki YAMAZAKI, Masao TOMISAWA, Hiroki ITAKURA and Kazuo TOKUI, "Developing a Device for Measuring the tension of Elevators", *JSAME C*, Vol.63, No.612, pp.111~116, 1997