

엘리베이터 로프-건물 연성 진동 모델링 연구

A study on Coupled Vibration model of Building and Elevator Rope

양동호* · 꺾문규†
Dong-Ho yang and Moon K. Kwak

1. 서 론

엘리베이터를 다루고 있는 엔지니어는 여러 형태의 진동 문제에 직면하게 된다. 엘리베이터 진동은 다양한 원인으로부터 발생하는데, 가이드 레일(Guide Rail)의 정렬 오류, 풀리(Pulley)와 시브(Sheave)의 편심, 전자 제어 시스템의 공진, 기어와 모터가 유발한 진동, 엘리베이터 로프의 진동 등을 원인으로 들 수 있다. 특히, 엘리베이터 로프의 진동으로 인해 승차감이 저하되는 것이 보고되었는데, 엘리베이터 주행 중 특정 위치, 대부분 상층부에서 급격한 진동이 일어난다고 알려져 있다. 사실상 엘리베이터 로프의 진동은 로프 자체의 구조적인 변화가 어려워 저감시키기가 매우 어려운 문제이다. 로프 자체가 매우 유연한 구조물이고, 내부 감쇠 또한 매우 작기 때문에 엘리베이터 로프의 진동이 쉽게 발생할 수 있고 오래 지속되기 때문이다. 엘리베이터 로프의 진동은 주 로프(Main Rope)나 보상 로프(Compensation Rope)의 진동으로 구분할 수 있다. 최근에는 건물이 초고층화되면서 지진이나 바람에 의해 유발되는 건물의 진동과 엘리베이터 로프의 공진 가능성이 커지고 있다. 건물이 높아지면 엘리베이터 로프의 길이가 길어지게 되고 엘리베이터 로프의 기본진동수는 낮아지게 된다. 이 경우 지진이나 바람에 의해 빌딩의 저차 고유진동수 모드가 가진 되고 다시 건물의 진동이 로프에 전달되어 로프에 과도한 진동이 일어날 수 있다. 로프의 과도한 진동으로 인해 승강구 장비들과 충돌하게 되어 손상을 입힐 수 있다. 이전 연구에서는 고정된 길이의 엘리베이터 로프에 대한 모델링 방법과 수치계산을 통해 얻어진 결과로

엘리베이터 로프의 기초적인 해석을 시도하였다. 이번 연구에서는 엘리베이터 로프와 건물의 연성 진동 모델링 방법을 연구하고 지반가진이 일어날 경우의 엘리베이터 로프와 건물의 진동 응답을 수치모델을 이용해 계산하였다.

2. 엘리베이터 로프-건물 연성 동적 모델링

Fig. 1 과 같이 엘리베이터-로프와 케이지 그리고 빌딩으로 이루어진 시스템을 고려 해 보자. 여기서 엘리베이터 케이지의 진동은 없으며, 오직 로프에 중력방향의 장력을 유발시키는 강체로 가정한다. 케이지와 빌딩의 질량은 m_c, m_b , 로프의 질량 밀도와 길이는 각각 ρ, L 이다. 횡방향 변위는 $w(x,t)$ 로 표시하였다

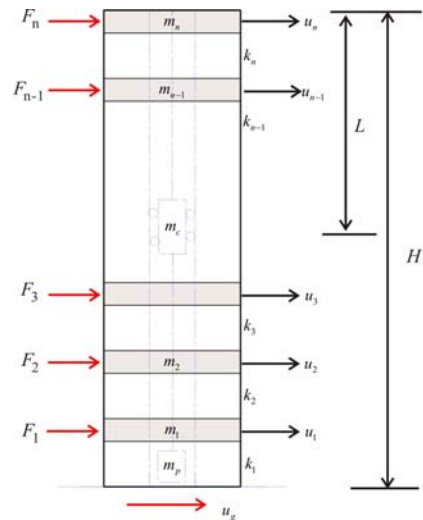


Fig. 1 Elevator rope model

이 시스템의 총 운동에너지와 총 위치에너지는 다음과 같이 표현된다.

† 교신저자; 동국대학교 기계로봇에너지공학과

E-mail : kwakm@dgu.edu

Tel : (02) 2260 - 3705

* 동국대학교 기계공학과

$$\begin{aligned}
T = & \frac{1}{2} (I_{n1} \dot{u}_g + \dot{u}_b)^T M_b (I_{n1} \dot{u}_g + \dot{u}_b) \\
& + \frac{1}{2} m_c \left[(\dot{u}_g + \dot{u}_c)^2 + V^2 \right] \\
& + \frac{1}{2} \bar{m}_m L_m V^2 + \frac{1}{2} \int_0^{L_m} \left(\dot{u}_g + \dot{u}_m + \dot{w}_m + V \frac{\partial w_m}{\partial x} \right)^2 \bar{m}_m dx_m \quad (1) \\
& + \frac{1}{2} \int_0^{L_p} \left(\dot{u}_g + \dot{u}_p + \dot{w}_p - V \frac{\partial w_p}{\partial x} \right)^2 \bar{m}_p dx_p
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V = & \int_0^{L_m} P_m \varepsilon_m dx_m \\
& + \int_0^{L_p} P_p \varepsilon_p dx_p \quad (2) \\
& + \frac{1}{2} u^T K_b u
\end{aligned}$$

식(1)과 식(2)의 운동에너지와 위치에너지를 해밀턴 원리를 이용해 운동방정식을 유도하였다.

3. 수치 계산

수치계산 예제로 케이지가 상부에서 하부로 하행할 경우를 고려하였다.

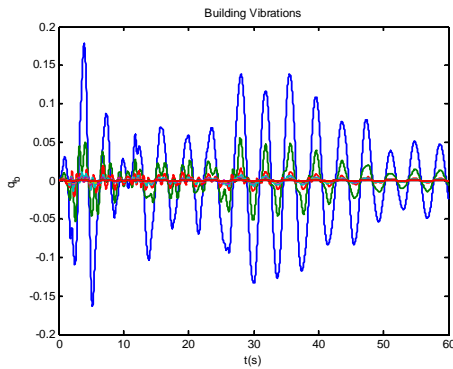


Fig. 2. Building Vibration

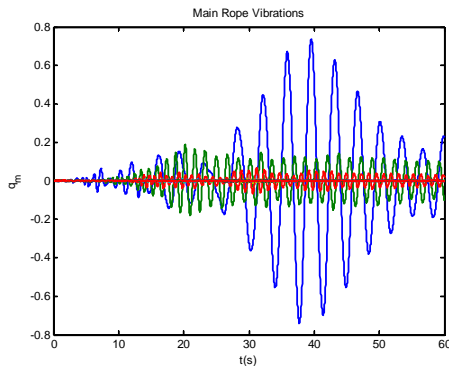


Fig. 3. Main Rope Vibration

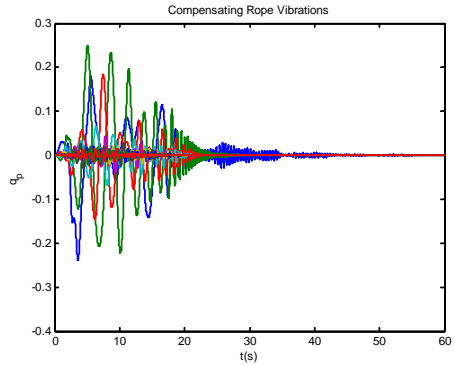


Fig. 4. Compensation Rope Vibration

Fig. 2 는 EI Centro 지진 데이터를 이용하여 지반가진이 발생할 경우에 대한 빌딩의 진동을 보여주고 있고, Fig. 3 은 메인 로프의 진동을 보여주고 있다. 수치해석 결과에서 보는 바와 같이 케이지가 하행할수록 메인 로프의 진폭이 커지는 것을 알 수 있다. Fig. 4 은 보상로프의 진동을 보여주고 있으며 메인 로프와 반면에 진폭이 초기에 크다가 점점 작아짐을 알 수 있다.

결 론

본 연구에서는 지반 가진이 일어날 경우에 대한 로프와 건물의 연성 진동모델을 유도하고 수치계산을 통해 로프의 동적 응답을 조사하였다. 길이가 긴 엘리베이터 로프의 경우 건물의 진동과 공진이 일어날수 있는 가능성이 커질 수 있다. 엘리베이터가 상부에서 하부로 하행할 경우에는 메인 로프의 진동이 크게 일어나고, 상부에서 하부로 상행할 때에는 보상 로프의 진동이 크게 일어나는 것을 수치계산을 통해 확인하였다. 차후 연구로 실제 빌딩 모델을 제작하여 이론모델의 타당성을 입증 할 예정이다.

후 기

본 연구는 (주)현대엘리베이터에서 지원한 과제로 수행되었습니다.