

# 엘리베이터 시뮬레이터를 이용한 로프 진동 실험

## Experiments on Rope Vibrations using a Small-Scale Elevator Simulator

양동호 † · kwak문규 † · 김기영\* · 백종대\*

Dong-ho Yang, Moon K. Kwak, Ki-young Kim and Jong-dae Baek

**Key Words** : Rope Vibrations(로프 진동), Elevator(엘리베이터), Vibration Experiment(진동실험)

### ABSTRACT

The elevator rope is easy to oscillate and continue vibrating because the rope structure is flexible and inner damping is small. The vibration of elevator rope is caused by the building vibration excited by external disturbances such as winds and earthquake. This paper is concerned with the experimental verification of the elevator rope vibrations using a small-scale simulator. The elevator rope vibration coupled with the building vibration was modelled using the energy method in the previous study. In this study, the natural frequencies of the elevator rope were computed using the theoretical model and compared to experimental results. Also, the time-responses of the rope vibration during the cage motion were measured by laser sensors and compared to the theoretical predictions. Experimental results are in good agreement with theoretical predictions.

### 1. 서 론

뉴욕 맨해튼 록펠러 센터, 상하이의 진마오 타워, 도쿄의 스카이트리, 아랍에미레이트의 버즈두바이등은 그 도시를 대표하는 초고층 빌딩이다. 이러한 초고층 빌딩들은 도시의 랜드마크로 자리 잡아 도시의 위상과 경쟁력을 높이는 매개체 역할을 하고 있다. 현재 초고층 빌딩으로 기록되고 있는 타이페이 101 타워의 경우에는 2004년 준공 이후 약 300만명이 다녀갔을 정도로 관광 명소가 되었다. 이와 같은 문제로 현재 한국을 비롯하여 전 세계적으로 활발히 진행 중이거나 이미 완공된 초고층 빌딩 프로젝트들에 국내의 기업들이 활발히 참여하고 있다. 국내에서는 지난해 말 기준으로 우리나라에서 50층 이상 초고층 빌딩은 모두 87개이다. 부산이 25개로 가장 많고 서울에 18개가 있다. 100층이 넘는 건물은 아직 없다.

현재 최고층은 부산 해운대의 ‘두산 위브 더제니스’로 80층 아파트이다. 하지만 2020년까지 건설예정중인 상암 DMC의 서울라이트타워와 현재 건설중인 잠실의 롯데프리미엄 타워가 국내에서 가장 높은 초고층 빌딩이 될 예정이다. 롯데프리미엄 타워가 완공되면 지상 123층, 높이 555m 세계 일곱번째 고층 빌딩이 된다. 이에 따라 국내외의 엘리베이터 업체들은 초고층화에 따른 엘리베이터의 효율적인 운영, 관리, 승차감, 안전 기술, 수송 방법등에 관한 많은 신기술들을 연구 개발하고 있으며 동시에 랜드마크로서의 상징성을 고려한 고급화도 추진하고 있다. 이와 같이 엘리베이터를 다루고 있는 엔지니어는 여러 형태의 진동 문제에 직면하게 된다. 엘리베이터 진동은 다양한 원인으로부터 발생하는데, 가이드레일(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. 사실상 엘리베이터 로프의 진동은 로프 자체의 구조적인 변경이 어려워 저감시키기가 매우 어려운 문제이다. 로프 자체가 매우 유연한 구조물이고, 내부 감쇠 또한 매우 작기 때문에 엘리베이터 로프의 진동이 쉽게 발생할 수 있고 오래

† 교신저자; 정회원, 동국대학교 기계로봇에너지공학과  
E-mail : kwakm@dongguk.edu  
Tel : (02) 2260-3705, Fax : (02) 2260-9379  
‡ 발표자; 동국대학교 기계공학과  
\* (주) 현대엘리베이터

지속되기 때문이다. 엘리베이터의 로프 진동은 외란(바람과 지진)에 의한 건물의 진동에 연성되어 나타난다. 바람의 의한 건물의 영향은 건물 설계 시 풍동 실험 등을 통해 바람에 의한 영향을 최소화하여 최적화된 형태나 위치를 선정할 수 있지만 지진에 의한 영향은 이러한 방법을 사용할 수 없기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 부분에서 활발히 연구되어지고 있다. 지진은 일반적으로 P 파와 S 파로 나누어진다. P 파(Primary Wave)는 매질의 입자가 진동하는 방향과 파동의 진행방향이 같은 종파이며 S 파(Secondary Wave)는 매질의 입자가 파동의 진행방향과 수직으로 진동하는 횡파이다. P 파와 S 파는 초고층 건물에 커다란 영향을 주지 않는다. 초고층 건물에 치명적으로 작용하는 지진은 장주기 지지파로 지표 부근의 점이 세로 방향으로 긴 타원을 그리듯이 진동하는 장파이며, 지진파 가운데에서 가장 속도가 느리지만 진폭은 가장 커서 대부분은 큰 지진피해는 장주기 지진파에 의하여 발생한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 사전에 방지하기 위한 대책으로써, 엘리베이터 로프와 건물의 연성 모델링에 대한 연구를 수행하였다. 이전 연구<sup>(1,2)</sup>에서는 엘리베이터 로프와 건물의 연성 진동 모델링 방법을 연구하고 지반가진이 일어날 경우 엘리베이터 로프와 건물의 진동 응답을 수치모델을 이용해 계산하는 연구를 수행하였다. 또한 수치모델의 타당성을 입증하기 위해서 소형 시뮬레이터를 제작하였다. 본 연구에서는 제작된 소형 시뮬레이터를 이용해 건물 및 로프의 응답특성을 실험적으로 조사하였다.

## 2. 엘리베이터 로프-건물 연성 시뮬레이터

Fig.1 은 엘리베이터 로프와 건물의 동적 응답 특성 실험을 수행하기 위한 소형 시뮬레이터를 보여 주고 있다. 건물의 지반을 가진하기 위해서 Mistubishi 사<sup>(3)</sup>의 AC Servo Motor 와 4000PPR Encoder 를 이용하여 PID 제어를 수행하였다. 또한 엘리베이터의 케이지의 이동을 위해서 디엔지 위드사<sup>(4)</sup>의 DC Motor 와 512PPR Encoder 를 이용하여 PID 제어를 수행하였다. 건물의 진동은 소형시뮬레이터의 상부에 부착하여 Micro Epsilon 사<sup>(5)</sup>의 ILD-2220-20 모델의 레이저 센서를 이용하여 계측하고, 각층의 로프에 대한 변위는 MEL 사<sup>(6)</sup>의 M3 모델의 레이저 센서를 이용하여 계측하였다. M3 모델은 출력이 전류로 나오

기 때문에 본 연구에서는 전류를 전압으로 바꾸어 주는 회로를 사용하여 계측하였다.

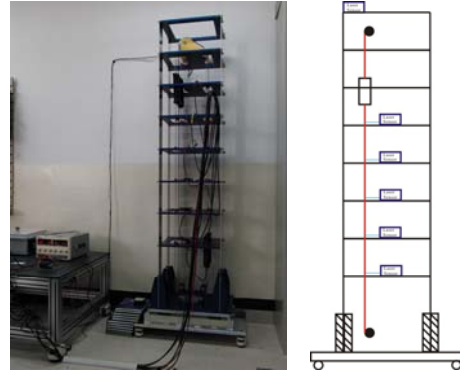


Fig.1 Experimental Set-up for Small-Scale Simulator

## 3. 고유 진동수 비교

본 연구에서는 수치해석 결과와 실험 결과를 비교하기 위해 첫 번째로 케이지의 위치에 따른 보상 로프의 고유진동수를 확인하였다. 실험결과는 케이지를 2 층부터 6 층까지 이동시키면서 로프의 자유 진동 변위를 계측하였다. 계측된 변위는 FFT 하여 로프의 1 차 고유진동수를 확인하였다. Fig.2 는 케이지의 위치에 따른 로프의 고유진동수의 실험결과와 이론결과를 보여주고 있다. Fig.2 에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 이론 모델과 실험결과의 1 차 고유진동수가 유사하다는 것을 확인 할 수 있다.

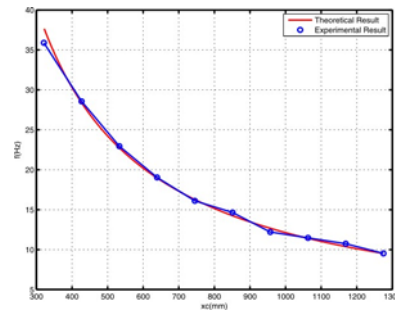


Fig.2 Comparison for 1<sup>st</sup> Natural Frequency

## 4. 실험 결과

빌딩과 엘리베이터의 연성 모델을 확인하기 위해서 첫 번째로 케이지가 6 층에 위치할 경우에 대

하여 건물과 로프의 진동응답을 분석하였다.

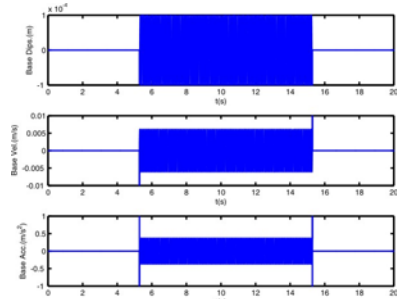


Fig.3 Time History of Building Base Displacement on the 6<sup>th</sup> Floor of Cage Location

Fig.3 는 건물의 지반 변위를 보여주고 있다. 위의 그림에서 보는 바와 같이 약 5초후 부터 15초까지 건물의 2 차 고유진동수인 9.703Hz 로 지반을 가진시킨후 정지 하였다.

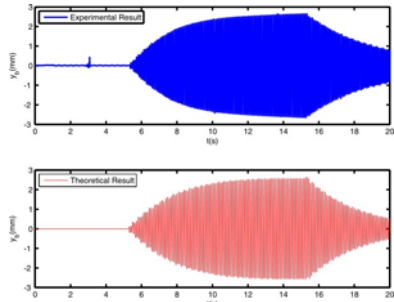


Fig.4 Time History of Building Displacement on the 6<sup>th</sup> Cage Location

Fig.4 는 건물 지반이 Fig.3 과 같이 가진 될 경우에 대한 빌딩 상부의 변위를 보여 주고 있다. Fig.4 의 파란색 선은 실험 결과를 보여주고 있고, 빨간색 선은 이론 수치해석 결과를 보여주고 있다. 위 그림에서 보는 바와 같이 실험결과와 수치해석 결과가 유사함을 보여주고 있다.

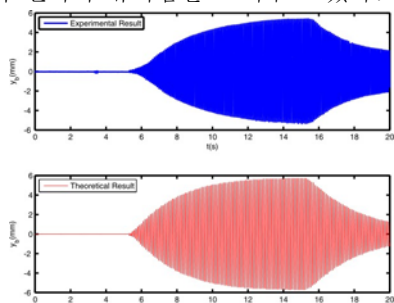


Fig.5 Time History of Rope Displacement on the 6<sup>th</sup> Cage Location

Fig.5 는 로프의 동적응답을 보여주고 있다. Fig.4 , Fig.5 에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제안한 빌딩-로프의 연성 모델 수치해석 결과와 실험 결과가 유사함을 보여주고 있다. 하지만 엘리베이터는 정지해 있는 구조물이 아니기 때문에 본 연구에서는 케이지가 움직이는 경우에 대해서 수치해석 결과와 실험 결과를 비교 하였다. Fig.6 은 건물의 지반 변위를 보여주고 있다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 약 3초후 부터 26초까지 건물의 2 차 고유진동수인 9.703Hz 로 지반을 가진시킨후 정지 하였다.

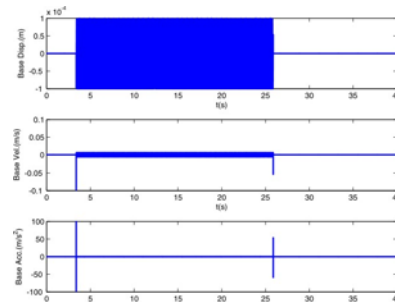


Fig.6 Time History of Building Base Displacement on the Cage traveling

Fig. 7 은 케이지의 변위를 보여주고 있다. 보는 바와 같이 지반 가진이 일어난 후 약 10 초 후에 케이지를 상층부(6 층)에서 하층부(2 층)로 이동하여 건물과 로프의 응답특성을 계측 하였다.

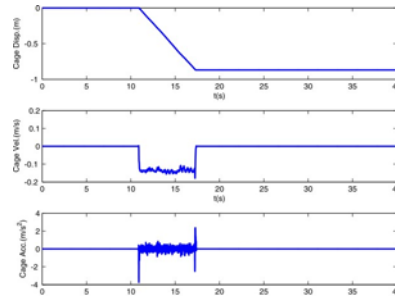


Fig.7 Time History of Cage Displacement

Fig.4 와 Fig.5 는 빌딩 상부와, 로프의 변위를 각각 보여 주고 있다. 2,3,4,5 층의 레이저 센서는 케이지가 이동함에 따라 보상로프에서 메인로프를 계측하게 된다. 본 연구에서는 보상로프의 변위를 계측하기 위해 1 층에 위치한 레이저 변위 센서만 사용하였다. 실험 결과 본 연구에서 제안

한 수치해석 결과와, 소형 시뮬레이터의 결과가 유사함을 보여주고 있다.

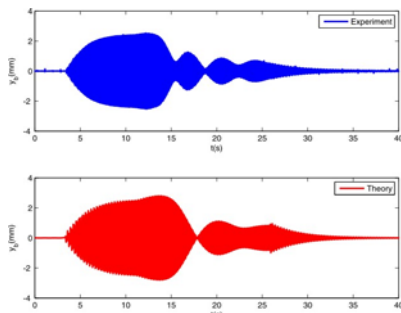


Fig.8 Time History of Building Displacement

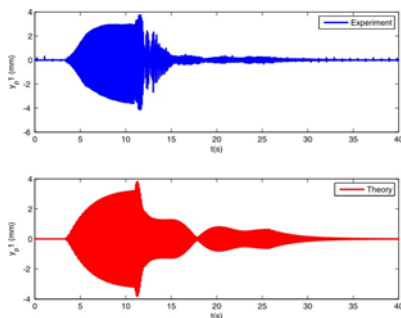


Fig.9 Rope Displacement measured of 1<sup>st</sup> Floor

## 5. 결 론

본 연구에서는 소형 시뮬레이터를 제작하여 엘리베이터-로프와 건물간의 연성 진동을 이론적인 모델과 실험적 모델로 조사하였다. 제작된 소형 시뮬레이터를 이용하여 건물과 로프의 동적 응답을 계측하였다. 첫번째로 케이지의 위치에 따른 로프의 고유진동수의 변화를 분석하였다. 분석 결과 본 연구에서 제안한 모델의 수치해석 결과와 소형 시뮬레이터의 실험적인 결과가 유사함을 보여주었다. 두번째로 케이지가 상층부에 위치할 경우 빌딩과 로프의 동적응답을 비교 하였다. 비교 결과 본 연구에서 제안한 이론 모델이 소형 시뮬레이터의 실험결과와 유사함을 보여주었다. 세번째로 케이지가 상층부에서 하층부로 이동할 경우에 대한 동적응답을 비교 하였다. 케이지가 이동할 경우에 대해서도 수치해석결과와 실험결과가 유사함을 보여 주었다. 실험

결과와의 비교를 통해 이론 모델이 타당함을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 (주)현대엘리베이터에서 지원한 과제로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- (1) Yang, D.H. and Kwak, M.K., 2013, A study on Coupled Vibration model of Building and Elevator Rope, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 825 ~826.
- (2) Yang, D.H. and Kwak, M.K., 2014, Development of Experimental Setup for Coupled Vibration of Elevator Rope-Building, Proceedings of the KSNVE Annual Fall Conference, pp. 205~206.
- (3) <http://www.mitsubishielectric.com>
- (4) <http://www.dnj.co.kr>
- (5) <http://www.micro-epsilon.com>
- (6) <http://www.melsensor.de>