

Development of Simulator for High-Speed Elevator System

柳 炯 旻* · 金 成 焮* · 薛 承 基** · 權 泰 碩* · 金 棋 洙* · 沈 映 錫* · 石 起 龍*
 (Hyung-Min Ryu · Sung-Jun Kim · Seung-Ki Sul · Tae-Seok Kwon · Ki-Su Kim ·
 Young-Seok Shim · Ki-Riong Seok)

Abstract - This paper describes the dynamic load simulator for high-speed elevator system, which can emulate 3-mass system as well as equivalent 1-mass system. In order to implement the equivalent inertia of entire elevator system, the conventional simulators have generally utilized the mechanical inertia(flywheel) with large radius, which makes the entire system large and heavy. In addition, the mechanical inertia should be replaced each time in order to test another elevator system. In this paper, the dynamic load simulation methods using electrical inertia are presented so that the volume and weight of simulator system are greatly reduced and the adjustment of inertia value can be achieved easily by software. Experimental results show the feasibility of this simulator system.

Key Words : Elevator, Electrical Inertia, Dynamic Load Simulator, 3-Mass System.

1. 서 론

일반적으로 엘리베이터 제조 회사들은 개발 엘리베이터 시스템을 시험하기 위한 테스트 타워를 보유하고 있다. 이곳에서는 엘리베이터 시스템이 설치될 실제 환경과 유사한 조건 하에서 전동기 구동 시스템뿐만 아니라 각종 통신 및 기계 시스템을 시험한다. 전동기 구동 시스템의 경우 탑승 인원에 따른 부하 시험, 연속 운전을 통한 온도 시험, 그리고 기계 시스템의 진동 특성을 고려한 제반 제어기의 성능 시험 등이 수행된다. 이러한 과정을 통해 시스템의 신뢰성이 검증되며 승객 수송용 엘리베이터의 경우 특히 안전성이 중요하기 때문에 제품 출하전 상당 기간의 검증이 요구된다.

이와는 별도로 전동기 구동 시스템의 다양한 부하 및 운전 거리 조건에 대한 시험을 수행하기 위해서 일반적으로 시뮬레이터를 사용하는데 이는 전체 엘리베이터 시스템을 등가 1 관성계로 모델링하여 근사적으로 구현된다. 테스트 타워의 경우 탑승 인원에 따른 부하 변동을 구현하기 위해서는 매번 그에 상응하는 중량체로의 교체가 요구되며 유한한 타워 높이로 인해 운행 거리에 제약이 받는다. 기존의 시뮬레이터는 그림 1의 (a)와 같이 시험 대상 구동용 전동기, 탑승 인원에 따른 중력 방향의 부하를 구현하기 위한 직류 전동기, 그리고 전체 시스템의 등가 관성에 해당하는 기계적인 관성체 (Flywheel)로 구성되어 있다. 이 기계적인 관성체는 승강기

(Car), 카운터웨이트(Counterweight), 각종 시브(Sheave) 및 로프(Rope)의 관성을 전동기축에 대해 환산하여 등가적으로 구현되므로 그 직경과 질량이 매우 커서 시뮬레이터의 부피 및 무게의 증가를 초래한다. 또한, 다양한 기종의 시스템을 시험하기 위해서는 매번 그에 상응하는 관성체로의 교체가 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 기존의 기계적인 관성체 대신 전기적으로 관성을 구현하여 그림 1의 (b)와 같이 시뮬레이터의 부피 및 무게를 크게 감소시키고 간단한 소프트웨어적인 조작만으로 다양한 기종에 대한 부하 시험을 가능케 하였다.

2. 본 론

2.1 고속 엘리베이터 시스템

일반적인 고속 엘리베이터 시스템의 대략적인 기계 구조는 그림 2와 같다. 권상기(Traction Machine)는 최상층의 기계실

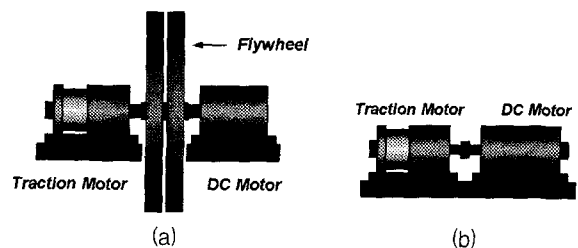


그림 1 시뮬레이터 시스템의 기계적인 구조 :

(a) 기존의 방법, (b) 제안된 방법

Fig. 1 Comparison of load simulator systems :

(a) Conventional system, (b) proposed system

*正 會 員 : 서울대 工大 電氣 · 컴퓨터工學部 博士課程

**正 會 員 : 서울대 工大 電氣 · 컴퓨터工學部 教授

接受日字 : 2001年 08月 29日

最終完了 : 2001年 12月 24日

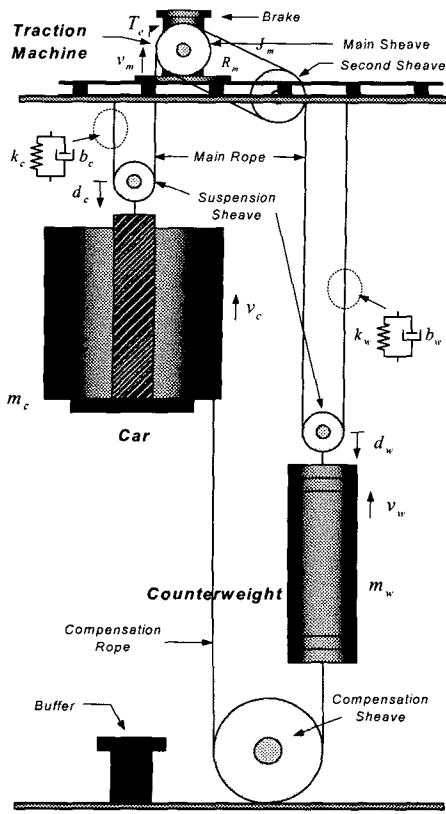


그림 2 고속 엘리베이터의 기계적인 구조
Fig. 2 Mechanical structure of high-speed elevator

에 위치하며 구동 전동기, 주 시브(Main Sheave), 그리고 브레이크 장치로 구성되어 있고, 카운터웨이트쪽에는 보조 시브(Second Sheave)가 위치해 있다. 승강기와 카운터웨이트는 움직 도르래를 통해 구동 전동기와 연결되고 승강기 위치에 따른 양쪽 로프의 무게 차이를 보상하기 위해 아래쪽에는 보상용 시브와 로프(Compensation Sheave and Rope)가 설치된다. 이러한 시스템에서 구동 전동기가 발생시키는 힘은 대략적으로 승강기와 카운터웨이트의 무게 차이에 해당하는 중력 방향의 힘과 승강기, 카운터웨이트, 그리고 각종 시브들을 구동 전동기축에 대해서 환산한 등가 관성을 가속하는데 필요한 힘의 합에 해당한다. 이와 같이 엘리베이터 시스템을 등가 1관성계로 근사하기 위해서는 로프의 탄성 계수가 무한대라는 가정이 필요하다. 그러나 실제로는 로프의 탄성 계수가 유한한 값을 갖기 때문에 승강기와 카운터웨이트는 각각 독립적인 관성체로 작용하고 일반적으로 수 Hz대의 공진 주파수가 존재한다. 이로 인해 승강기에 종진동이 발생하고 이를 억제하기 위해서는 속도 제어기의 응답성에 제약이 따른다. 속도 제어기의 응답성 저하는 위치 제어기의 성능을 떨어뜨리고 특히 승강기의 착상시에 지연 및 오차를 발생시킨다. 따라서, 속도 제어기의 응답성을 높게 설정하면서 종진동의 발생을 억제하기 위해서는 승강기의 가속도를 추정, 또는 직접 측정하여 궤환 보상(Feedback Compensation)하는 제어 기법을 일반적으로 사용한다[1-2].

2.2 등가 1관성계 시스템의 구현 방법

실제 엘리베이터 시스템을 등가 1관성계로 모델링하면 기계 방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T_e = J_{eq} \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad (1)$$

여기서, T_e 는 전동기의 구동 토크, J_{eq} 는 전체 시스템의 등가 관성, ω_m 은 전동기의 속도, 그리고 T_L 은 부하 토크에 해당하며 대부분 탑승 인원 에 따른 승강기와 카운터웨이트의 무게 차이에 의한 일정한 중력 방향 부하에 해당한다.

그림 1의 (b)와 같은 제안된 시뮬레이터 시스템의 기계 방정식은 다음과 같다.

$$T_e = J_0 \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad (2)$$

여기서, J_0 는 시뮬레이터 시스템의 관성이고 T_L 은 부하 토크로 마찰을 무시하면 부하측 직류 전동기의 구동 토크에 해당한다.

식 (1)과 식 (2)를 통해 실제 엘리베이터 시스템의 부하 상황을 구현하기 위해서는 직류 전동기는 다음 식과 같이 일정한 중력 방향의 부하 토크와 실제 엘리베이터 시스템의 등가 관성에서 시뮬레이터 시스템의 관성을 뺀 만큼의 관성을 가속하는데 필요한 토크를 발생시켜야 한다.

$$T_L = (J_{eq} - J_0) \frac{d\omega_m}{dt} + T_L \quad (3)$$

여기서, 두 번째 항의 중력 방향의 부하 토크는 탑승 인원 에 따른 승강기와 카운터웨이트의 무게 차이로부터 계산되며 전체 엘리베이터 시스템의 등가 관성 J_{eq} 도 탑승 인원 에

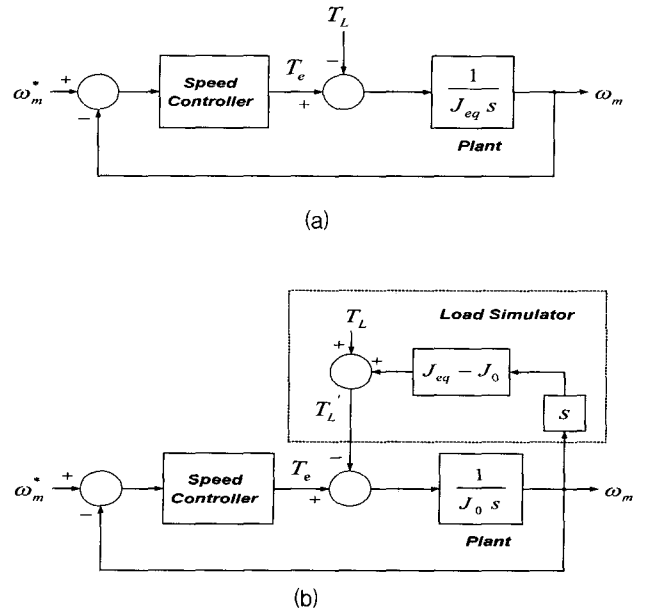


그림 3 등가 1관성계 시스템의 구현 방법 : (a) 기계적인 등가 관성체를 사용한 기존의 관성 부하의 구현 방법, (b) 전기적인 관성을 이용한 관성 부하의 구현 방법

Fig. 3 Implementation of equivalent 1-mass system : (a) Conventional method using mechanical inertia, (b) proposed method using electrical inertia

다른 승강기의 질량 변동을 고려하여 계산되어야 한다. 그림 3은 엘리베이터 시스템의 등가 관성을 구현하기 위한 방법으로 기존의 기계적인 관성체를 사용한 방법과 식 (3)과 같이 전기적으로 관성을 구현하는 방법에 대한 블록도를 보여준다.

식 (3)에서 첫 번째 항의 가속 토오크는 기존에는 기계적인 관성체에 의해 구현된 토오크로서 이를 전기적으로 구현하기 위해서는 전동기의 가속도 정보가 필요하다. 일반적으로 속도 정보를 얻기 위해 사용되는 광학식 엔코더의 펄스 신호로부터 가속도 정보를 얻는 방법에는 여러 가지가 있지만[3-5] 근본적으로 미분과 필터 개념이기 때문에 실제 가속도와 추정 가속도 사이의 지연 오차가 불가피하고 특히 엔코더의 유한한 펄스수로 인해 저속에서는 큰 오차가 발생한다. 따라서, 이 방법은 근본적으로 시뮬레이터의 응답성과 안정성 사이에 trade-off 관계가 존재한다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 다음절에서는 엘리베이터 시스템을 3관성계로 모델링하여 실제 부하 환경과 유사하며 응답성이 높고 보다 안정적인 구현 방법을 설명한다.

2.3.3 관성계 시스템의 구현 방법

로프의 탄성 및 댐핑 계수가 실제로는 유한한 값을 가지므로 권상기, 승강기, 그리고 카운터웨이트를 각각 독립적인 관성체로 모델링하면 그림 2의 엘리베이터 기계 시스템은 다음과 같은 운동 방정식으로 나타낼 수 있다. 단, 로프의 무게는 무시하고 로프와 시브 사이의 미끄러짐은 없다고 가정한다.

$$\dot{d}_c = -v_c + v_m \tag{4}$$

$$\dot{d}_w = -v_w - v_m \tag{5}$$

$$m_c \dot{v}_c = k_c d_c + b_c \dot{d}_c - m_c g \tag{6}$$

$$m_w \dot{v}_w = k_w d_w + b_w \dot{d}_w - m_w g \tag{7}$$

$$J_m \dot{\omega}_m = T_c - 0.5 \cdot R_m (k_c \dot{d}_c + b_c \dot{d}_c - k_w \dot{d}_w - b_w \dot{d}_w) \tag{8}$$

$$v_m = 0.5 \cdot R_m \omega_m \tag{9}$$

- d_c : 승강기측 로프의 변위 [m]
- d_w : 카운터웨이트측 로프의 변위 [m]
- v_c : 승강기의 속도 [m/sec]
- v_w : 카운터웨이트의 속도 [m/sec]
- v_m : 전동기의 속도 [m/sec]
- T_c : 전동기의 구동 토오크 [nt-m]
- k_c : 승강기측 로프의 탄성 계수 [nt/m]
- k_w : 카운터웨이트측 로프의 탄성 계수 [nt/m]
- b_c : 승강기측 로프의 댐핑 계수 [nt-sec/m]
- b_w : 카운터웨이트측 로프의 댐핑 계수 [nt-sec/m]
- m_c : 승강기의 질량 [kg]
- m_w : 카운터웨이트의 질량 [kg]
- R_m : 주 시브의 반경 [m]

- 전동기측의 등가 관성(전동기 회전자, 주 시브, 브레이크용 디스크, 그리고 보조 시브의 전동기 측에 대한 환산값의 합) J_m : [kg-m²]
- 중력 가속도 g : [m/sec²]

식 (4)와 식 (5)는 로프 길이의 증가량을 속도에 관해 나타낸 식이고 식 (6)과 식 (7)은 각각 승강기와 카운터웨이트에서 본 운동 방정식이다. 식 (8)은 전동기의 회전 운동에 대한 운동 방정식이며 식 (9)는 전동기의 회전 속도와 움직 도르레를 고려한 선속도 사이의 관계를 나타낸 식이다.

식 (4~9)로부터 엘리베이터 시스템은 다음과 같은 상태 변수 방정식(State-Variable Description)으로 표현될 수 있다.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}u + \mathbf{W} \tag{10}$$

여기서, 상태 변수와 입력 변수는 식 (11)과 같이 정의되고 \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{W} 는 식 (12)와 같다.

$$\mathbf{x} = [d_c \quad d_w \quad v_c \quad v_w \quad v_m]^T, \quad u = T_c \tag{11}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ \frac{k_c}{m_c} & 0 & \frac{-b_c}{m_c} & 0 & \frac{b_c}{m_c} \\ 0 & \frac{k_w}{m_w} & 0 & \frac{-b_w}{m_w} & \frac{-b_w}{m_w} \\ \frac{-k_c R_m^2}{4 \cdot J_m} & \frac{k_w R_m^2}{4 \cdot J_m} & \frac{b_c R_m^2}{4 \cdot J_m} & \frac{-b_w R_m^2}{4 \cdot J_m} & \frac{-(b_c + b_w) R_m^2}{4 \cdot J_m} \end{bmatrix}, \tag{12}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{R_m}{2 \cdot J_m} \end{bmatrix}^T, \quad \mathbf{W} = [0 \quad 0 \quad -g \quad -g \quad 0]^T$$

출력 변수, 즉 측정 신호를 전동기의 속도로 놓으면 출력 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$y = \mathbf{C}\mathbf{x}, \quad \mathbf{C} = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1] \tag{13}$$

식 (10~12)의 상태 변수 방정식과 식 (9)로부터 전동기의 구동 토오크는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_c = J_m \frac{d\omega_m}{dt} + 0.5 \cdot R_m (k_c d_c - k_w d_w - b_c v_c + b_w v_w + (b_c + b_w) v_m) \tag{14}$$

제안된 시뮬레이터 시스템이 식 (14)를 구현하기 위해서는 시뮬레이터 시스템의 기계 방정식인 식 (2)와의 비교를 통해 직류 전동기는 다음과 같은 토오크를 발생시켜야 함을 알 수 있다.

$$T_c = (J_m - J_0) \frac{d\omega_m}{dt} + 0.5 \cdot R_m (k_c d_c - k_w d_w - b_c v_c + b_w v_w + (b_c + b_w) v_m) \tag{15}$$

식 (15)를 보면 등가 1관성계 시스템과 마찬가지로 3관성계 시스템의 경우도 전동기의 가속도 정보를 요구한다. 하지만 이 경우에 시뮬레이터가 전기적으로 구현해야 하는 관성은 식 (3)과 달리 승강기와 카운터웨이트를 제외한 전동기측만의 등가 관성 J_m 에서 시뮬레이터 시스템의 관성 J_0 을 뺀 만큼에 해당된다. 따라서, 식 (3)과 달리 식 (15)의 첫 번째 항은 두 번째 항에 비해 상대적으로 값이 매우 작으므로 추정 가속도의 지연 및 오차에 의한 영향이 작다. 두 번째 항

은 상태 변수 방정식으로부터 식 (16)과 같이 측정된 전동기 속도의 적분을 통해 계산된 상태 변수들의 선형 조합이다.

$$\begin{aligned} d_c &= \int (-v_c + v_m) dt, \\ d_w &= \int (-v_w - v_m) dt, \\ v_c &= \int \left(\frac{k_c}{m_c} d_c - \frac{b_c}{m_c} v_c + \frac{b_c}{m_c} v_m - g \right) dt, \\ v_w &= \int \left(\frac{k_w}{m_w} d_w - \frac{b_w}{m_w} v_w - \frac{b_w}{m_w} v_m - g \right) dt. \end{aligned} \quad (16)$$

결과적으로 등가 1관성계 시스템과 달리 3관성계 시스템을 통한 구현 방법은 대부분 전동기 속도의 적분을 통해 구현되므로 속도의 미분 정보에 의존하는 등가 1관성계 시스템에 의한 구현 방법에 비해 보다 안정적이고 빠른 응답성을 얻을 수 있다.

직류 전동기의 토오크 지령값을 생성하기 위한 실제 디지털 방식에서의 구현은 다음 순서로 진행된다.

1. 탑승 인원으로부터 승강기의 질량 m_c 를 계산한다.
2. 상태 변수의 초기값을 중력 가속도를 고려하여 다음과 같이 설정한다.

$$d_c[0] = \frac{m_w}{k_c} \cdot g, \quad d_w[0] = \frac{m_w}{k_w} \cdot g, \quad v_c[0] = v_w[0] = v_m[0] = 0. \quad (17)$$

3. 광학식 엔코더의 펄스 신호로부터 M/T 방식을 통해 전동기의 회전 속도를 계산하고 식 (9)를 통해 선속도 $v_m[k]$ 를 구한다.
4. 다음과 같이 적분을 통해 나머지 상태 변수를 계산한다.

여기서, T_s 는 속도 샘플링 주기를 나타낸다.

$$\begin{aligned} d_c[k] &= d_c[k-1] + T_s \cdot (-v_c[k-1] + v_m[k]), \\ d_w[k] &= d_w[k-1] + T_s \cdot (-v_w[k-1] - v_m[k]), \\ v_c[k] &= v_c[k-1] + T_s \cdot \left(\frac{k_c}{m_c} d_c[k] - \frac{b_c}{m_c} v_c[k-1] + \frac{b_c}{m_c} v_m[k] - g \right), \\ v_w[k] &= v_w[k-1] + T_s \cdot \left(\frac{k_w}{m_w} d_w[k] - \frac{b_w}{m_w} v_w[k-1] - \frac{b_w}{m_w} v_m[k] - g \right). \end{aligned} \quad (18)$$

5. 전동기의 가속도 $\alpha_m[k]$ 를 계산한다.
6. 위 4, 5번 결과로부터 다음 식 (19)와 같이 토오크 지령값을 생성한다.

$$T_l^*[k] = (J_m - J_o) \cdot \alpha_m[k] + 0.5 \cdot R_m (k_c d_c[k] - k_w d_w[k] - b_c v_c[k] + b_w v_w[k] + (b_c + b_w) v_m[k]). \quad (19)$$

제안된 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 로프의 탄성 계수와 댐핑 계수를 설정해야 한다. 로프의 특성을 실제와 비슷한 값으로 설정하기 위해서는 엘리베이터를 정지시킨 상태에서 승강기에 충격을 가한 후 승강기의 진동 파형을 관측하여 로프의 탄성 계수와 댐핑 계수를 계산한다. 엘리베이터를 정지시킨 상태에서 충격을 가하면 시브의 속도는 영이므로 식 (6)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_c \ddot{d}_c + b_c \dot{d}_c + k_c d_c - m_c g = 0. \quad (20)$$

식 (20)으로부터 고유 진동 주파수 ω_n 와 감쇠비 ξ 는 다음과 같다.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k_c}{m_c}}, \quad \xi = \frac{b_c}{2 \cdot \omega_n m_c}. \quad (21)$$

따라서 k_c 와 b_c 는 측정된 ω_n 과 ξ 로부터 다음과 같이

구할 수 있다.

$$k_c = m_c \omega_n^2, \quad b_c = 2 \cdot m_c \xi \omega_n. \quad (22)$$

실제로는 로프의 특성이 승강기 위치에 따른 로프 길이의 변화에 따라 달라지므로 보다 정확한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 최고층, 중간층, 최저층에서 각각 탄성 계수와 댐핑 계수를 측정된 다음 보간하여 승강기 위치에 따라 연속적으로 변화시키는 방법을 사용한다.

2.4 실험

2.4.1 시뮬레이터 시스템의 구성

시험 대상 고속 엘리베이터 시스템은 무기어식(Gearless) 직접 구동 방식으로 정격 속도가 240m/min이고 탑승 인원은 최대 24명이다. 그림 4는 시뮬레이터 기계 시스템의 외형을 보여준다. 시험 대상 구동 전동기는 다극수 방식(24극)의 40kW 표면부착형 영구자석 동기 전동기(Surface-Mounted Permanent-Magnet Synchronous Motor)이고 그 사양은 표 1과 같다. 부하측 시뮬레이터로는 75kW의 타여자 방식의 직류 전동기가 사용되었다. 실제 토오크를 측정하기 위해 두 전동기 사이에 토오크 센서가 장착되어 있고 속도 정보를 얻기 위해 동기기와 직류기측에 각각 8096ppr, 10000ppr의 엔코

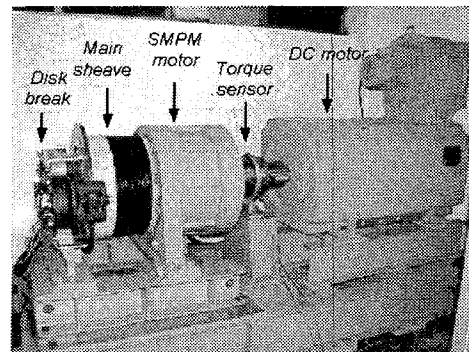


그림 4 시뮬레이터 기계 시스템의 외형
Fig. 4 Appearance of load simulator system using DC machine

표 1 표면부착형 영구자석 동기 전동기의 사양
Table 1 Specifications of traction motor

RATINGS	
Power	40 kW
Torque	1399 nt-m
Speed	273 r/min
Voltage	315 Vrms
Current	88.1 Arms
Efficiency	94.7 %
PF	88.0 %
PARAMETERS	
Pole	24
Rs	0.0681 Ohm
Ls	2.85 mH
Kemf	977.30 Vrms/krpm
Jm	5.01 kg-m ²

더가 부착되어 있다. 속도 계산은 M/T 방식을 사용하였고 저속에서 안정된 제어를 수행하기 위해 엔코더 신호를 4채배하여 사용하였다.

전기적인 구동 장치로는 동기 전동기와 직류 전동기에 동일하게 400A/1200V급 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)를 사용한 PWM 인버터, PWM 컨버터, 그리고 TMS320VC33 DSP를 사용한 제어 보드가 사용되었다. 전원 전압은 선간 440Vrms이고 직류단 전압은 700V로 일정하게 승압 제어된다. 두 개의 구동 장치가 모두 회생 운전이 가능하므로 전원 측에서의 소비 전력은 시스템의 전기적, 기계적 손실에만 해당한다. 직류 전동기의 인버터는 그림 5와 같이 구성되어 있다. 전기자측은 full-bridge를 사용하여 4상운전이 가능하고 여자측은 한 개의 bridge중 위쪽 소자는 chopper로 아래쪽 소자는 free-wheeling diode로 사용하였다.

표 2는 전체 엘리베이터 시스템과 시뮬레이터 시스템의 관성값을 나타내며 그 차이가 대략 6배이다. 따라서, 직류 전동기는 자기 관성의 5배에 해당하는 관성을 전기적으로 구현해야 한다. 가속도 정보에 대한 의존도를 살펴보면, 식 (3)의 $(J_w - J_o)$ 가 186.19 kg-m²인데 반해 식 (15)의 $(J_m - J_o)$ 은 2.19 kg-m²에 불과하므로 3관성계 시스템을 통한 구현 방법이 등가 1관성계 시스템을 통한 구현 방법에 비해 추정 가속도의 지연 및 오차에 대한 영향이 약 1.2%로 매우 작음을 알 수 있다.

2.4.2 실험 결과

그림 6은 등가 1관성계 시스템으로 구현하였을 때 가속 구간에서의 전동기 속도, 토크 지령치, 토크 궤환치, 그리고 가속도의 파형을 나타낸다. 시험 조건은 최대 정원 탑승 시 최대 가속도로 최대 속도까지 가속하는 상승 운전에 해당된다. 이 때, 속도 제어기의 응답 주파수는 2.5Hz이고 가속도를 얻기 위한 2차 저주파 통과 필터의 cut-off 주파수는 100Hz로 속도 제어기의 응답 주파수에 비해 충분히 높게 설정되었다. 참고적으로 실제 속도 제어기의 응답 주파수는 시스템의 수 Hz대의 공진 주파수를 피하기 위해 대개 1Hz미만으로 설정된다. 그림 7은 동일한 조건하에서 3관성계 시스템으로 구현한 경우 전동기 속도, 토크 지령치, 토크 궤환치, 그리고 승강기의 가속도를 나타낸다.

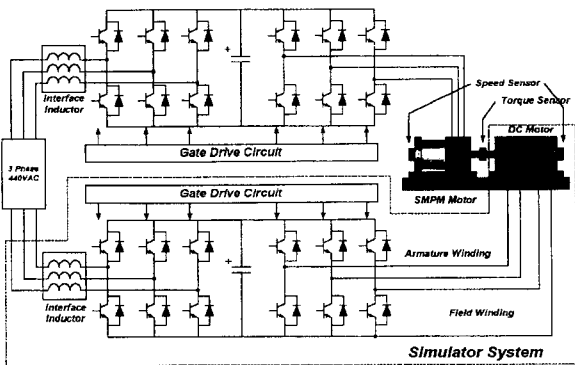


그림 5 시뮬레이터 시스템의 파워부 회로도
Fig. 5 Power circuit diagram of simulator system

표 2 엘리베이터 및 시뮬레이터 시스템의 관성

Table 2 Inertia values of elevator system and simulator system

Elevator System	223.6 kg-m ²
Main Sheave	19.6 kg-m ²
Second Sheave	20.0 kg-m ²
Car and Counterweight	184.0 kg-m ²
Simulator System	37.41 kg-m ²
SMPM Motor and Sheave	19.6 kg-m ²
DC Motor	17.7 kg-m ²
Torque Sensor	0.11 kg-m ²

실험 결과, 등가 1관성계 시스템으로의 구현 방식은 유한한 엔코더 펄스수로 인해 저속에서 추정 가속도의 오차가 크게 발생하여 출발 및 정지 시에 다소 불안정한 특성을 나타내었다. 반면에 3관성계 시스템으로의 구현 방식은 가속도 정보에 대한 의존도가 낮으므로 안정된 저속 운전 특성을 보였다.

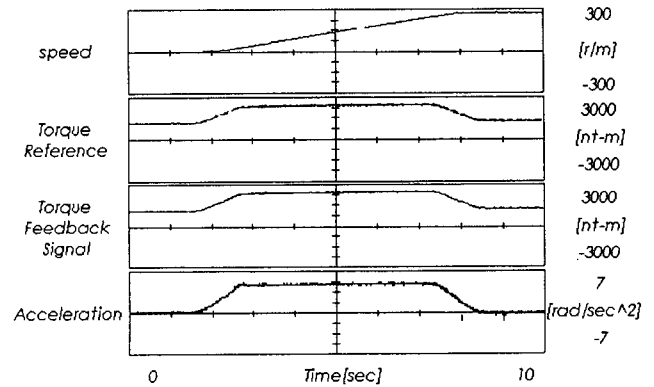


그림 6 등가 1관성계 시스템의 구현
Fig. 6 Load simulation result using equivalent 1-mass system modeling

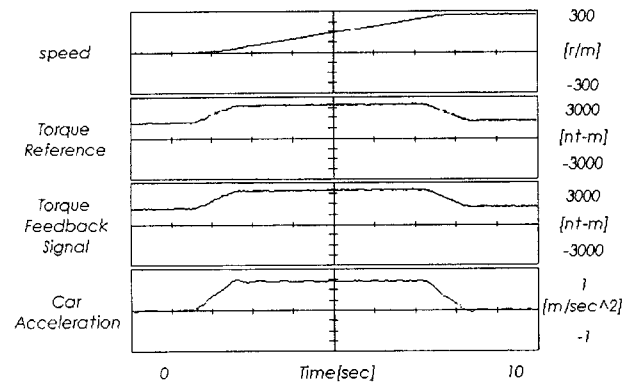


그림 7 3관성계 시스템의 구현
Fig. 7 Load simulation result using 3-mass system modeling

3. 결 론

본 논문은 고속 엘리베이터용 시뮬레이터 시스템 개발에 관한 내용으로 기존의 기계적인 관성체를 사용하는 방식 대신 전기적으로 관성을 구현하는 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 시뮬레이터 시스템을 소형화, 경량화할 수 있으며 다양한 기종을 소프트웨어의 조작만으로 손쉽게 구현할 수 있다는 장점을 지닌다.

참 고 문 헌

- [1] Jun-Koo Kang and Seung-Ki Sul, "Vertical vibration control of elevator using estimated car acceleration feedback compensation," IEEE Trans. IE, vol.47, pp.91-99, Feb. 2000.
- [2] Young-Min Lee, Jun-Koo Kang, and Seung-Ki Sul, "Acceleration feedback control strategy for improving riding quality of elevator system," IEEE IAS Conf. REC., pp.1375-1379, 1999.
- [3] Peter B. Schmidt, "Acceleration feedback implemented through the utilization of an observer as applied to a robotic manipulator," Dissertation, Dep. of Electrical and Computer Engineering, Univ. of Wisconsin-Madison, 1991.
- [4] G. P. Hancke and C. F. T. Viljoen, "The microprocessor measurement of low values of rotational speed and acceleration," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol.39, pp.1014-1017, Dec. 1990.
- [5] Sami Valiviita and Seppo J. Ovaska, "Delayless acceleration measurement method for elevator control," IEEE Trans. IE, vol.45, pp.364-366, April 1998.

저 자 소 개



류형민(柳炯旻)

1975년 3월 11일생. 1997년 서울대학교 공대 전기공학부 졸업(학사). 2000년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 전기·컴퓨터공학부 박사 과정.



김성준(金成竣)

1970년 11월 28일생. 1994년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~1999년 현대정공 기술연구소 주임연구원. 1999년~현재 서울대학교 제어계측신기술연구센터 주임연구원.



실승기(薛承基)

1958년 3월 25일생. 1980년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(박사). 1986년~1988년 University of Wisconsin-Madison 연구원. 1989년~1990년 LG 산전 책임연구원. 1991년~현재 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 교수.



권태석(權泰碩)

1973년 2월 22일생. 1995년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 주임연구원.



김기수(金棋洙)

1968년 10월 5일생. 1993년 건국대학교 전기공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년~1998년 효성중공업 자동화 사업부 근무. 2000년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 주임연구원.



심영석(沈映錫)

1959년 11월 22일생. 1988년 인하대학교 전기공학과 졸업(학사). 1988년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 책임연구원.



석기룡(石起龍)

1951년 6월 15일생. 1975년 서울대학교 전기공학과 졸업(학사). 1985년~현재 현대엘리베이터 기술연구소 연구소장.