통합 제어 시스템에서의 엘리베이터 위치 제어 성능 개선

류형민, 설승기
서울대학교 전기.컴퓨터공학부

Improvement of elevator position control performance in unified control system

Hyung-Min Ryu, Seung-Ki Sul
School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

Abstract - This paper addresses an elevator position control scheme in unified control system. Conventional systems have employed independent micro-processors for speed, car, and group control respectively and the car controller generates a velocity command by combining the time-based and distance-based velocity pattern. In this scheme, it is inevitable that an elevator creeps in the vicinity of target floor, or stops abruptly. The proposed control system employs only one high-performance micro-processor, which can execute the car and group control as well as the speed control. It simply generates the desired position trajectory based on time and on-line corrects a velocity pattern to make the position error be zero. Experimental results show the feasibility of the proposed control scheme.

1. 서 론

일반적으로 엘리베이터의 위치 제어 성능은 착상 시간과 승차감으로 평가된다. 승차감은 가속도의 변화량, 즉 저크(Jerk)의 크기에 반비례하므로 제한된 저크의 크기와 전동기 용량에 의해 착상 시간을 최소로 하는 최적의 운전 패턴은 그림 1과 같이 주어진다. 기존의 위치 제어 시스템은 속도 제어기와 카(Car) 제어기로 분리되어 각각 독립된 프로세서에 의해 처리된다. 속도 제어기는 시브(Sheave) 속도가 카 제어기에서 주어진 속도 지령을 추종하도록 인버터의 출력 전압 변조를 담당한다. 카 제어기의 속도 지령 발생부는 타이머(Timer)와 엘리베이터의 위치 정보로부터 각각 시간 기준과 거리 기준의 속도 패턴을 발생시킨다[1-2]. 이 때, 승차감 저하를 막기 위해 속도 패턴 절환시 속도 및 가속도의 연속성이 보장된다[3]. 하지만 실제로는 원하는 위치에서 패턴 절환이 이루어지기 위한 정확한 감속 개시점의 설정이 어렵기 때문에 목표 위치 부근에서 엘리베이터가 서행하거나 급정지하는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 기존의 속도 패턴 절환의 문제를 해결하고 빠른 정착상이 가능한 새로운 위치 제어 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 고성능 단일 프로세서를 기반으로 하는 통합 제어 시스템으로 시간 지연이 없는 속도 및 가속도의 전향 보상이 가능하다. 또한, 타이머를 사용하여 간단히 시간 기준 위치 패턴을 발생시키고 위치 오차가 영이 되도록 실시간으로 속도 패턴을 수정하여 빠른 정착상을 가능케 한다. 제안된 알고리즘은 실제 엘리베이터 타워에서 분당 180m급 엘리베이터를 대상으로 그 타당성이 검증되었다.

2. 본 론

2.1 기존의 방식

기존의 엘리베이터의 위치 제어 시스템은 그림 2와 같이 속도 제어기와 카 제어기의 두 부분으로 나뉘어져 있다. 각각 별도의 프로세서를 사용하며 데이터의 교환은 디지털 입출력 포트를 통해 이루어진다. 카 제어기는 홀 또는 승강기로부터 부름 신호가 주어질 때 처리 순서를 결정하며 위치 제어를 위한 속도 패턴을 발생시킨다. 속도 패턴 발생부는 목표 위치 부근까지는 단순히 시간 기준 저크 패턴을 두 번 적분하여 속도 패턴을 발생시키고 목표 위치 부근에 다다르면 정확한 착상을 위해 남은 거리가 영일 때 가속도 및 속도가 동시에 영이 되도록 남은 거리 기준 속도 패턴으로 절환한다.

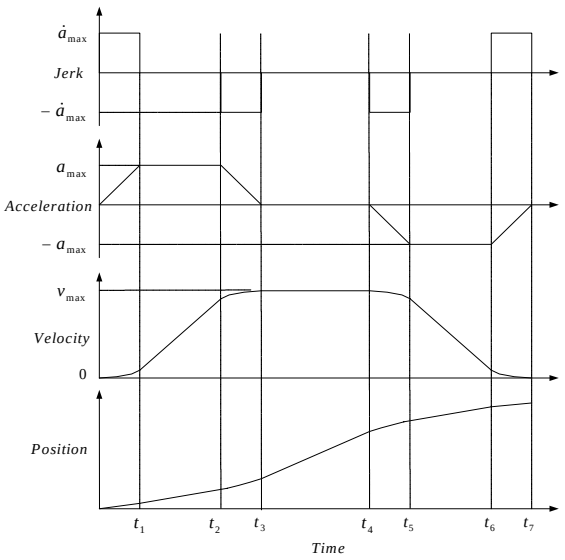


그림 1. 시간에 따른 최적의 저크, 가속도, 속도, 및 위치 패턴.

그림 3은 시간에 따른 저크, 가속도, 및 속도 패턴을 나타낸다. 시간 기준 속도 패턴은 시간 t_5까지 발생하며 감속 개시점 t_4는 남은 거리를 기준으로 설정된다. 남은 거리 기준 속도 패턴 발생은 위상 평면상에서 다음과 같이 설명될 수 있다(그림 4).

감속을 시작하여 최대 가속도 $a_{\max}$에 이르면 시간 t_5에서 속도 패턴은 남은 거리 S로부터 식 (1)과 같이 계산되며 시간 t_6까지 최대 가속도를 유지한다.

$$v_{S1}^{*} = \sqrt{2\,a_{\max}\left(S - S_{off}\right)}. \qquad (1)$$

이 때, 속도가 연속이 되기 위해서 남은 거리에 옵셋 거리 S_{off}이 주어진다. 시간 t_6까지 속도 패턴은 남은 거리에 대해 포물선 궤적을 그리며 접선이 원점을 지날 때 그 접선을 따라 식 (2)와 같이 남은 거리에 비례하는 속도 패턴을 발생시킨다.

$$v_{S2}^{*} = k\,S. \qquad (2)$$

이 때, 원점을 지나는 직선과의 접점에서 절환하는 이유는 가속도의 연속을 보장하기 위함이다. 위상 평면상

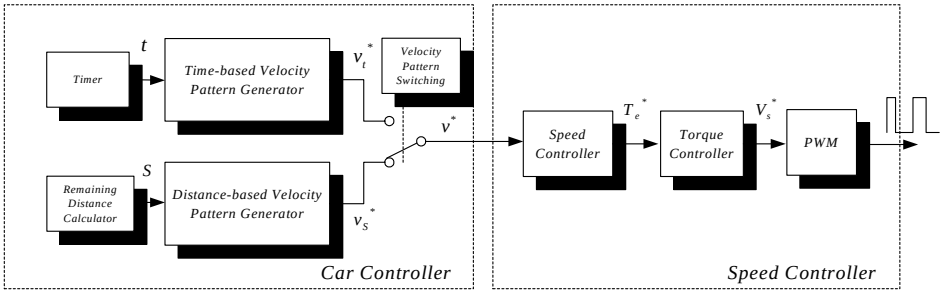


그림 2. 기존의 위치 제어 시스템 블록도.

에서 선형적인 관계는 시간축 상에서 지수 함수 형태를 나타내므로 이론적으로 남은 거리가 영이 되기 위해서는 무한대의 시간이 소요된다. 따라서, 실제로는 운전 가능한 최저 속도, 즉 정지 속도로 수렴하도록 패턴을 수정한다. 물론, 정지 시간 단축을 위해 지수 함수가 아닌 포물선 함수를 고려할 수 있으나 접선의 기울기 k는 위치 제어기의 비례 이득, 즉 제어 응답 주파수에 해당하므로 제어의 안정성을 유지하기 위해서는 속도 제어기의 응답 주파수보다 충분히 낮게 제한되어야 한다. 따라서, 정지 시간 단축을 위해 지수를 1/2에 가깝게 설정할 경우 목표 위치 부근에서 기울기가 무한대로 증가하므로 안정도 측면에서 불리하다.

이와 같은 일종의 개루프에서 폐루프 방식으로의 속도 패턴 절환 방식의 문제점은 다음과 같이 설명된다. 시간 t_6에서 제한된 저크를 넘지 않도록 옵셋 거리를 설정한 후 감속 개시점에서의 남은 거리를 계산하면 실제로는 제한된 속도 제어기의 응답성으로 인해 속도 오차가 발생하여 식 (1)에서 옵셋 거리가 예상치보다 낮게 설정된다. 따라서, 식 (2)에서 기울기 k가 증가하므로 저크가 제한치를 초과하게 되고 승강기는 급정지하게 된다(그림 4에서 *I*의 경우). 이를 막기 위해, 감속 개시점에서의 남은 거리에 속도 제어기의 응답 주파수에 반비례하는 옵셋을 더하는데 실제로는 급정지를 막기 위해 충분히 큰 값을 더하므로 대부분 식 (1)에서 옵셋 거리가 예상치보다 크게 설정되어 정지 위치 부근에서 서행하게 된다(그림 4에서 *II*의 경우).

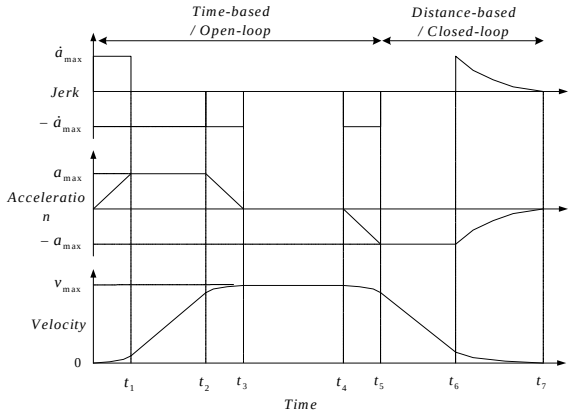


그림 3. 기존 방식에 의한 저크, 가속도, 및 속도 패턴.

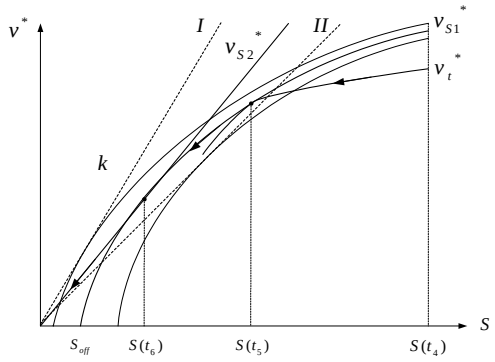


그림 4. 위상 평면상의 속도 패턴의 궤적.

2.2 제안된 방식

제안된 제어 시스템은 고속 대용량의 DSP를 사용하여 기존에는 별도의 프로세서에 의해 처리되었던 속도 제어기, 카 제어기, 및 그룹 제어기를 모두 통합하였다. 제어 알고리즘은 기존의 속도 패턴 절환의 문제점을 극복하기 위해 전 구간에서 폐루프 제어기로 동작하도록 그림 5와 같이 시간 기준 위치 패턴 발생부와 위치 제어부로 구성된다. 시간 기준 위치 패턴은 주어진 운행 거리에 따라 미리 정해진 저크 패턴으로부터 간단한 적분 계산을 통해 얻어진다. 위치 제어부는 측정된 승강기의 위치와 시브 속도를 각각 궤환 보상하는 일반적인 직렬 P-PI 제어 구조이며 속도 및 가속도 패턴을 시간 지연 없이 전향 보상할 수 있다. 여기서, 시브 반경은 선 속도(가속도)를 회전 속도(가속도)로 변환하기 위해 사용되는데 일반적으로 오차가 ±1% 미만이므로 시브 반경 오차로 인한 외란은 무시할 수 있다. 또한, 시스템의 등가 관성이 가속도의 전향 보상항에 포함되는데 그 오차는 최대 탑승객의 절반에 해당되는 관성만큼으로 통상 ±10% 미만이다.

2.3 실험 결과

제안된 방식의 검증을 위해 실제 엘리베이터 시험 타워에서 분당 180m급 엘리베이터를 대상으로 실험을 수행하였다. 자세한 시스템 사양은 표 1과 같다. CPU는 고속 대용량의 DSP TMS320VC33을 사용하였고 전류 제어 주기는 100 [usec], 위치 및 속도 제어 주기는 2 [msec]이다. 24극 영구 자석형 동기 전동기의 속도 제어를 위해 8096 [ppr]의 절대 위치 엔코더가 사용되었

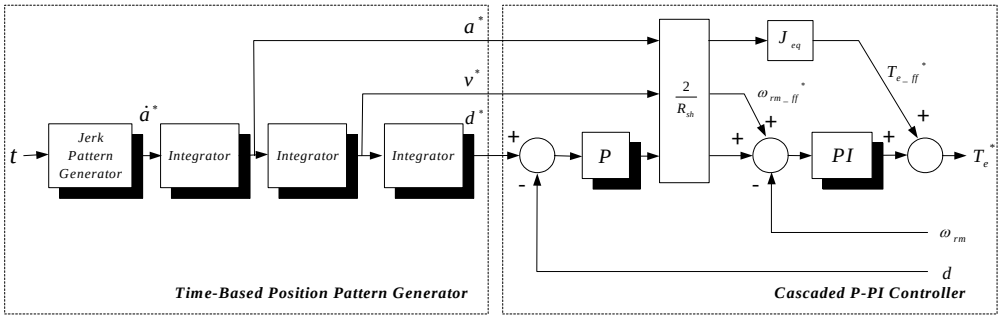


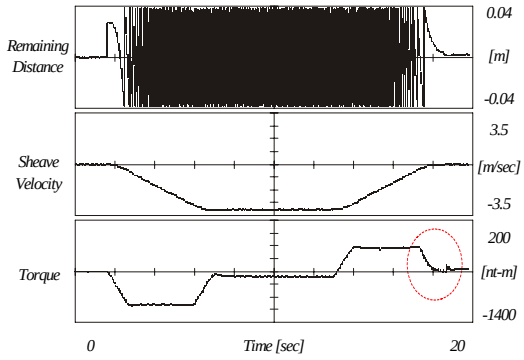
그림 5. 제안된 위치 제어 방식의 블록도.

고 승강기의 위치 측정을 위한 1024 [ppr]의 증분형 엔코더가 가버너(Governor) 시브에 부착되어 있다.

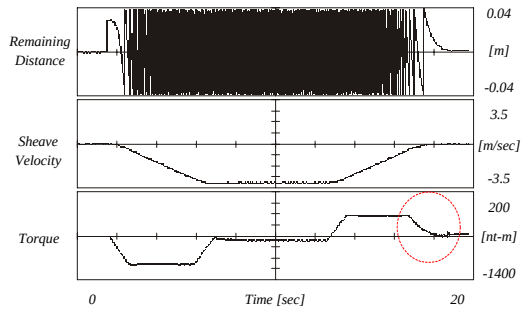
그림 6과 그림 7은 각각 기존의 방식과 제안된 방식으로 빈 승강기를 11층에서 3층까지 최대 속도로 하강 운전했을 때의 결과 파형이다. 그림 6에서 (a)는 속도 오차로 인해 옵셋 거리가 예상치보다 작게 설정되어 급정지하는 경우이고 (b)는 급정지를 막기 위해 계산치보다 감속 개시점에서의 남은 거리를 크게 설정한 경우로 가속도 및 속도가 지수적으로 감소하므로 착상 시간이 길어졌다. 제안된 방식의 경우는 그림 7의 위치 오차의 파형을 보면 전 구간에서 위치 오차가 10mm 이내로 유지되며 목표 위치 부근에서 서행이나 급정지 없는 정착상이 가능함을 알 수 있다. 또한, 그림 8의 측정된 승강기의 가속도 파형을 보면 제안된 방식은 시간 지연 없는 가속도 및 속도의 전향 보상이 가능하므로 기존의 방식과 달리 가속도에 오버슈트가 발생하지 않아 승차감이 개선됨을 알 수 있다.

표 1. 엘리베이터 시스템 사양.

SMPM Machine	Value [unit]
Power	22 [kW]
Speed	273 [r/min]
Torque	756 [nt-m]
Line-to-line voltage	361 [V]
Current	40.9 [A]
Number of poles	24
Inverter and Controller	
PWM converter/inverter	30 [kVA], IGBT
CPU	DSP TMS320VC33
Control cycle time	100 [usec]
Switching frequency	5 [kHz]
Utility line-to-line voltage	380 [V]
DC-link voltage	660 [V]
Mechanical System	
Maximum velocity	180 [m/min]
Maximum acceleration	0.7 [m/sec^2]
Main sheave radius	0.21 [m]
Maximum load	1150 [kg], 17 [persons]
Mass of car	2025 [kg]
Mass of counterweight	2400 [kg]

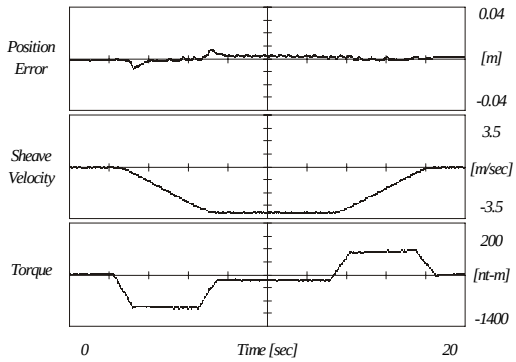


(a)

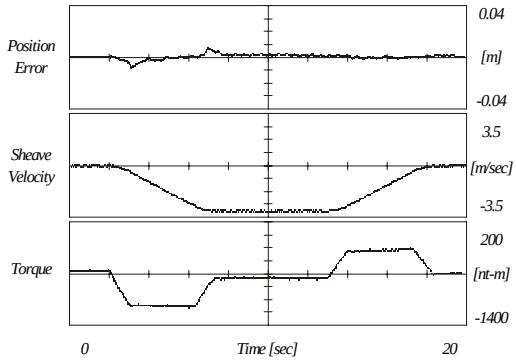


(b)

그림 6. 기존의 방식. (a) 급정지로 인한 승차감 저하, (b) 서행으로 인한 착상 지연.



(a)



(b)

그림 7. 제안된 방식. (a) 시스템 등가 관성을 맞게 설정한 경우, (b) +20%만큼 잘못 설정한 경우.

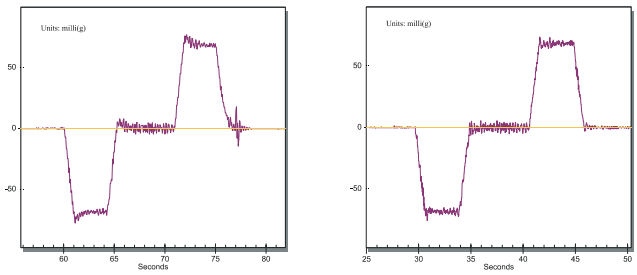


그림 8. 측정된 승강기의 가속도. (a) 기존의 방식, (b) 제안된 방식.

3. 결 론

본 논문에서는 기존의 속도 패턴 절환에 의한 엘리베이터 위치 제어 방식의 한계를 지적하고 고성능의 DSP를 사용하여 통합 제어 시스템을 구축함으로써 일반적인 서보 시스템의 위치 제어 방식을 적용하였다. 결과적으로 기존의 방식에서는 불가피했던 정지 위치 부근에서의 서행 또는 급정지, 가속도의 오버슈트에 의한 승차감 저하 문제가 해결되었다. 또한, 제안된 알고리즘은 기존의 속도 패턴 절환 방식에 비해 구현이 간단하며 감속 개시점의 조정과 같은 별도의 현장 작업이 불필요하다.

[참 고 문 헌]

[1] Alan L. Husson, "Speed Pattern Generator for an Elevator Car," U.S. Patent, No. 4,470,482, Sep. 11, 1984.

[2] Walter L. Williams, Donald G. McPherson, and Arnold Mendelsahn, "Dynamically Generated Adaptive Elevator Velocity Profile", U.S. Patent, No. 4,751,984, Jun. 21, 1988.

[3] K.S. Kim, C.H. Park, K.H. Kang, and G.S. Han, "Velocity Pattern Generation for the Position Control of Elevator," Trans. of the Korean Institute of Power Electronics, pp.616-623, Vol.4, No.6, December, 1999.