

차량용 보조발판의 센서리스 직류전동기 위치 제어

이동희[†]

Sensorless Position Control of DC Motor for the Auxiliary Scaffolding

Dong-Hee Lee[†]

Abstract

This paper presents the sensorless position control of an auxiliary scaffolding step system for vehicles using DC motors. The designed auxiliary scaffolding step has a mechanical protector at the stop position. At this position, the scaffolding is forcibly stopped by the mechanical protector, and the motor current is dramatically increased to the stall current of the DC motor, thereby increasing the electrical damage. In this study, the estimated back EMF- and current model-based observers are proposed to estimate the motor speed and stop position. A simple V/F acceleration voltage pattern is used to operate the auxiliary scaffolding system. The estimated moving position is adopted to determine the stop position of the DC motor with the load current state. The operating current of the DC motor can be reduced by the estimated moving position and V/F acceleration pattern. At the stop position, the proposed sensorless position controller can smoothly stop the DC motor with the estimated moving position and reduced load current without any mechanical and electrical stress from the stall current from the mechanical protector. The proposed control scheme is verified by the comparison of simulations and experiments.

Key words: DC motor, Sensorless control, V/F control, Auxiliary scaffolding

1. 서 론

직류 전동기는 간단한 구조와 높은 제어성 및 고효율 특성으로 다양한 응용에서 널리 사용되었지만, 브러시의 마모로 인한 유지 보수의 문제와 정류자판에서 발생하는 전기적 노이즈로 인하여 브러시를 사용하지 않는 전동기에 비해 그 사용이 점점 감소하고 있다^{[1],[2]}. 하지만, 영구자석 직류전동기는 배터리의 전압을 사용하는 저전압 소형 응용분야에서 브러시를 사용하지 않는 유도 전동기(IM, Induction Motor)나 BLDC(Brushless DC) 전동기에 비해서 가격이 매우 저렴하며, 전동기의 구동 회로가 매우 단순하여, 차량용 및 배터리를 사용하는 휴대용 장치에 다양한 형태로 활용되고 있다^{[3]-[5]}.

직류 전동기는 토크 발생 구조가 기구적으로 고정되

어 있으므로, 전동기의 전류 제어만으로 토크를 직접 제어 할 수 있는 장점이 있으며, 간단한 션트(Shunt) 저항으로 연속적인 전류 검출이 가능하므로, 속도 및 위치 센서를 사용하지 않는 차량의 윈도우(Window), 와이퍼(Wiper) 구동용으로 매우 적합하다. 최근에는 레저용 차량에 대한 사용자의 요구가 증가하고 있으며, 이러한 레저용 차량의 편의장치로 차량에 적합한 전동 보조 발판에 직류 전동기를 활용한 자동 보조 발판이 적용되고 있다.

레저용 차량의 보조 발판은 도어(Door)의 열림 신호와 닫힘 신호를 통해서 자동으로 발판이 자동으로 폴딩(Folding) 되도록 설계되어 있고, 일반적으로 차량의 외부에 장착되기 때문에 외부환경에 영향을 받기 쉬운 위치 센서를 사용하지 않는 구조로 설계된다. 기존의 보조 발판의 경우, 2개의 릴레이(Relay)를 사용하여 도어의 신호에 따라 정방향 및 역방향 전압을 단순 인가하고, 정지위치에서 기구적으로 전동기의 속도가 감소하여 높은 부하를 받게되는 점을 이용하여, 상전류가 크게 증가하는 시점에서 정지 위치를 결정하여 정지 시키는 방식을 적용하고 있다. 이때, 실제 상전류는 기동상태에서 높은 전류가 인가되며, 정지 위치에서도 일정시간 이상

Paper number: TKPE-2019-24-6-1

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†] Corresponding author: leedh@ks.ac.kr, Dept. of Mechatronics Engineering, Kyungshung University

Tel: +82-51-663-4693 Fax: +82-51-626-4773

Manuscript received Jun. 24, 2019; revised Aug. 23, 2019; accepted Aug. 31, 2019

과전류를 검출한 후 정지하게 되므로, 전동기와 제어기 부품 및 기계적인 부품에 가해지는 스트레스로 인하여 시스템의 수명이 크게 감소하는 문제가 발생하게 된다. 또한, 릴레이의 온오프 시점이 결국 전동기에 최대 전류가 인가된 시점에서 발생하게 되므로, 릴레이의 접촉부에서 발생하는 아크(Arc)로 인하여 릴레이 수명이 단축되고, 이로 인한 잦은 고장이 발생하게 된다.

본 논문에서는 직류 전동기의 추정 역기전력과 간단한 전류모델 기반 관측기를 통해서 전동기의 속도와 위치를 추정하고 이를 통해서 보조발판의 정지위치를 제어하는 방식을 제안하고 있다. 제안된 방식에서는 정지 위치에서의 과부하 전류 검출 방식이 가지는 전기 및 기계적 스트레스를 저감하기 위해서, 센서리스 방식과 부하전류 검출방식을 동시에 사용하는 방식을 제안한다. 전동기의 속도와 보조발판의 이동위치는 추정 역기전력을 이용한 전류모델 기반 관측기에 의해 추정하고, 정지 위치 부근에서 기계적 부하가 증가하는 것을 부하전류를 감지하여 보조발판을 정지하는 방식을 적용하였다. 제안된 방식에서는 별도의 위치 및 속도 센서를 사용하지 않고, 추정전류와 실제 전류의 오차로부터, 추정된 역기전력으로 연산된 추정속도를 전류모델 기반 관측기를 통해서 보정하여 추정속도를 연산하게 되며, 과전류 검출 방식이 가지는 전기 및 기계적인 스트레스 없이 안정적인 위치 제어가 가능한 장점이 있다.

제안된 방식은 시뮬레이션과 실제 제작된 실험 장치에서 반복 실험을 수행하였으며, 시뮬레이션과 실험에서 제안된 방식의 적용 가능성을 보이고 있다.

2. 차량용 보조 발판 장치의 구조 및 동작

그림 1과 그림 2는 차량용 보조 발판 장치의 기계적인 구조 및 기존의 제어 방법을 나타내고 있다. 그림 1에서 기어드(Geared) 직류 전동기는 크랭크 축(Crank Shaft)을 회전시키고, 크랭크 축의 상단부에 있는 보조 발판이 크랭크 축의 회전에 따라 펼쳐지거나 접혀지는 동작을 하게 되며, 크랭크 축은 보조 발판의 지지대에 기계적으로 걸려서 정지하게 되는 구조로 설계 된다.

그림 2에서 ω_{max} 와 ω_m 은 영구자석 직류 전동기의 최대 속도와 운전속도를 나타내며, t_{on} , t_{off} 및 t_{dr} 은 릴레이의 턴-온, 턴-오프 및 릴레이 지연시간을 나타내고, t_{stop} 은 보조발판이 완전히 동작하여 기계적으로 정지된 시점의 시간을 나타내고 있다. 또한, t_{df} 는 제어기에서 보조발판이 정지위치에서 과부하 전류를 감지하여 정지 명령을 내리기까지의 시간을 나타내고 있다.

I_{stall} 은 적용된 직류 전동기의 정지구속 전류를 나타내며, I_{max} 는 제어기에서 과속전류를 감지하기 위한 설정 최대 전류를 나타낸다. 즉, 제어기에서는 부하전류가 I_{max} 이상 t_{df} 시간동안 지속될 때, 기계적으로 정지되었

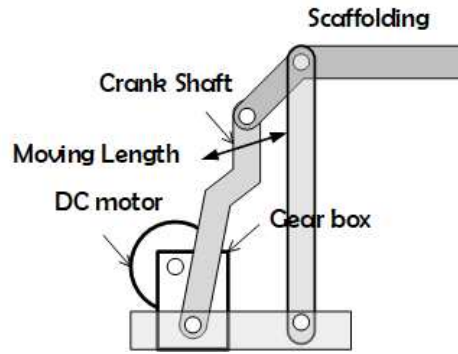


Fig. 1. Configurations of the auxiliary scaffolding system.

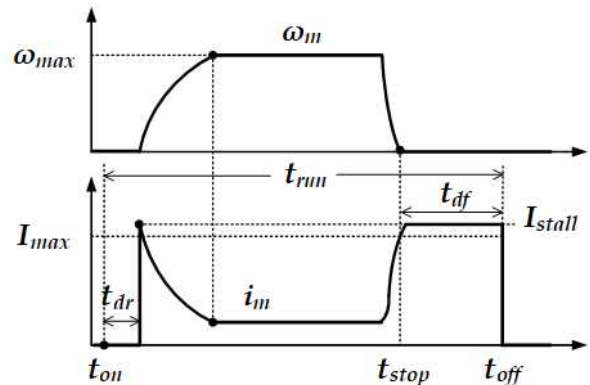


Fig. 2. Operating characteristics of the conventional system.

다고 판단하여 정지 동작을 수행하게 된다. 릴레이의 동작 시점은 t_{on} 에서 시작되지만, 릴레이의 접점 지연 시간 t_{dr} 이후에 직류 전동기에 전압이 공급되며, 이때 정지 상태에서 최대 전류가 전동기에 인가되고 이로 인해 전동기가 가속된다. 별도의 속도 제어 없이 최대 전압이 인가되므로, 전동기의 기동전류는 최대전류로 상승하였다가 전동기의 속도에 따라 감소하게 되고, 최대 속도로 동작하게 된다. 기계적인 정지 위치에서 전동기의 부하는 급격히 상승하게 되고, 전동기의 속도는 급격히 정지 속도로 떨어지게 되며, 이에 따라 전동기의 전류는 구속 전류 상태로 유지된다. 이때, 제어기는 t_{df} 시간동안 구속전류를 검출하여 기구적인 정지위치로 판단하여 정지 신호를 발생하게 된다. 일반적으로 정지위치를 판단하는 시간은 200~400[ms] 정도이며, 이 시간동안 전동기와 기계장치는 최대의 전기적 및 기계적 스트레스를 받게 된다. 또한 릴레이의 접점도 최대 전류에서 턴-온과 턴-오프 동작이 반복되게 되므로, 이로 인한 접점의 손상이 매우 심해지는 문제가 발생한다.

3. 제안된 센서리스 위치 제어 방식

3.1 직류 전동기의 모델링

기구물의 위치제어에는 위치 및 속도 센서를 사용하는 것이 가장 신뢰성이 높은 제어 성능을 보장할 수 있

으나, 외부 환경 및 기구의 설치 환경에 따라 별도의 센서를 사용하지 못하는 경우에는 센서리스 제어 방식이 대안으로 적용될 수 있다^{[6],[7]}.

직류 전동기의 경우 역기전력이 전동기의 속도에 비례하는 특성이 있으므로, 역기전력 검출로 비교적 쉽게 전동기의 속도 추정이 가능하다^{[8],[9]}. 하지만, 역기전력의 검출을 위해서는 턴-오프 구간에서 전동기의 상권선 전압을 검출하기 위한 아날로그 회로가 필요하며, 역기전력 상수의 오차에 따라 추정 속도에 오차가 발생하게 된다. 직류 전동기의 동작은 인가되는 전압에 따른 전압 방정식과 발생하는 토크에 따른 운동 방정식으로 설명될 수 있으며, 전동기 파라미터를 고려한 순시 전압 방정식과 운동방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$V_m = R_m \cdot i_m + L_m \frac{di_m}{dt} + K_e \cdot \omega_m \quad (1)$$

$$T_m = K_t \cdot i_m = J_m \cdot \frac{d\omega_m}{dt} + B_m \cdot \omega_m + T_L \quad (2)$$

이때, V_m 과 i_m 은 전동기의 인가전압 및 권선 전류를 나타낸다. 또한, R_m 및 L_m 은 직류 전동기의 상권선 저항 및 인덕턴스를 나타내며, K_e 와 K_t 는 역기전력 상수 및 토크 상수이다. J_m 과 B_m 은 전동기가 부착된 시스템의 관성계수 및 마찰계수를 나타내고 있으며, ω_m 은 전동기의 속도이다. T_L 은 부하 토크로 제안된 시스템에서는 기구적인 마찰 및 정지위치에서의 정지 마찰 부하를 의미한다.

직류 전동기의 상태 방정식은 식 (1)과 식 (2)의 전압 방정식 및 운동 방정식으로부터 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{i}_m \\ \dot{\omega}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_m}{L_m} & -\frac{K_e}{L_m} \\ \frac{K_t}{J_m} & -\frac{B_m}{J_m} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_m \\ \omega_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_m \\ -T_L \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 직류 전동기의 속도 추정을 위해서는 부하 토크 T_L 에 대한 관측기가 설계 되어야 하므로, 실제 관측기는 이중 관측기가 되어 연산이 복잡해지고, 관측기의 제어 이득에 따라 추정속도가 실제 속도에 수렴하지 않을 수도 있다.

제안된 시스템에서는 실제 전동기의 운전 속도는 정밀하게 제어될 필요가 없고, 정지위치에서 안정적으로 정지하는 것이 매우 중요하게 되므로, 센서리스로 추정된 속도를 통해 피드백 속도 제어를 수행하지 않는 것이 기존의 센서리스 제어와 매우 차이가 난다. 따라서, 본 논문에서는 차량의 도어 신호로부터 구동시간 t_{run} 동안에 정지위치에 도달하여, 전기 및 기계적인

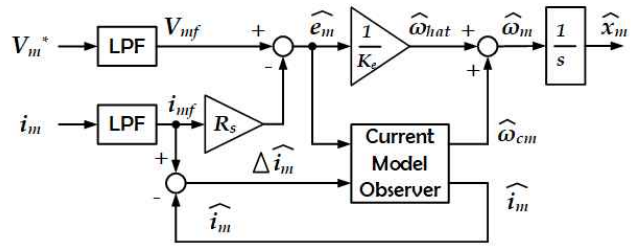


Fig. 3. Sensorless speed and position estimation.

스트레스가 없이 전동기가 정지할 수 있도록 추정역기전력과 간단한 전류모델 기반 관측기를 이용한 센서리스 속도 및 위치 추정과 V/F 기반의 센서리스 위치 제어 방식을 제안한다.

3.2 제안된 센서리스 위치 제어 방식

본 논문에서는 차량용 보조발판의 위치 제어를 위해서, V/F 기반의 운전 패턴을 이용하여, 직류 전동기를 기동하고, 전류모델 기반의 관측기로부터 센서리스 추정속도와 추정위치를 결정하여, 전동기가 정지 위치에서 안정적으로 정지하도록 제어하는 방법을 제안한다. 적용하는 보조발판 시스템은 동작신호로부터, 빠른 속도로 결정위치에서 정지하여야 하므로, 센서리스 추정속도로부터 속도제어를 하지 않고, 가속과 감속구간을 제외하고는 최대 속도로 운전하도록 설계하며, 운전구간에서 추정속도는 전동기의 동작에 따른 위치만을 추정하는데 사용하게 되므로, 센서리스 동작의 안정성이 매우 높다.

직류전동기의 경우, 전동기의 속도는 역기전력에 직접 비례하기 때문에 역기전력의 검출을 통해서 속도를 추정할 수 있지만, 실제 정밀한 역기전력을 검출하기 매우 어렵고, 역기전력 상수에 오차가 발생할 수 있으므로, 추정 역기전력으로부터 전류 모델기반의 적응관측기를 통해 속도와 위치를 추정한다.

그림 3은 본 논문에서 적용한 센서리스 속도 및 위치 추정 블록도를 나타내고 있다. 그림 3에서 직류 전동기에서 정상상태에서 인덕턴스 성분에 의한 전압강하를 무시하면, 추정 역기전력은 다음과 같이 계산된다.

$$\hat{e}_m = V_{mf} - R_m \cdot i_{mf} \quad (4)$$

단, V_{mf} 및 i_{mf} 는 직류전동기의 전압 및 전류의 필터링 된 값을 나타내며, 실제 시스템에서 스위칭 노이즈 영향을 감소하기 위해 1kHz 대역의 차단주파수를 가지는 저역통과 필터를 사용하였다.

추정된 역기전력 \hat{e}_m 으로부터 추정속도 $\hat{\omega}_{hat}$ 은 역기전력 상수를 나누어 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{\omega}_{hat} = \frac{\hat{e}_m}{K_e} \quad (5)$$

하지만, 역기전력 상수 K_e 가 실제 전동기의 역기전력 상수와 오차를 가지거나, 지령전압과 실제 전압의 오차에 의해 실제 속도 ω_m 과 추정속도 $\hat{\omega}_{hat}$ 에는 오차가 발생하게 된다. 이를 보상하기 위해서 전류모델 기반 관측기를 적용하였다. 관측기에서 직류 전동기의 추정전류 \hat{i}_m 은 추정 역기전력 \hat{e}_m 으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$d\hat{i}_m = \frac{1}{L_m} \cdot \left(V_{mf} - R_m \cdot \hat{i}_{m(k-1)} - \hat{e}_m \right) \cdot dt \quad (6)$$

$$\hat{i}_{m(k)} = \hat{i}_{m(k-1)} + d\hat{i}_m \quad (7)$$

직류 전동기의 센서리스 속도 추정을 위한 전류 모델과 실제 전류의 차이는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta\hat{i}_m = i_{mf} - \hat{i}_m \quad (8)$$

모델의 전류와 실제 전류와의 오차를 통해 보상속도 $\hat{\omega}_{cm}$ 는 다음과 같이 연산된다.

$$\hat{\omega}_{cm} = \frac{1}{K_e} \cdot \left(G_p \cdot \Delta\hat{i}_m + G_i \cdot \int \Delta\hat{i}_m \cdot dt \right) \quad (9)$$

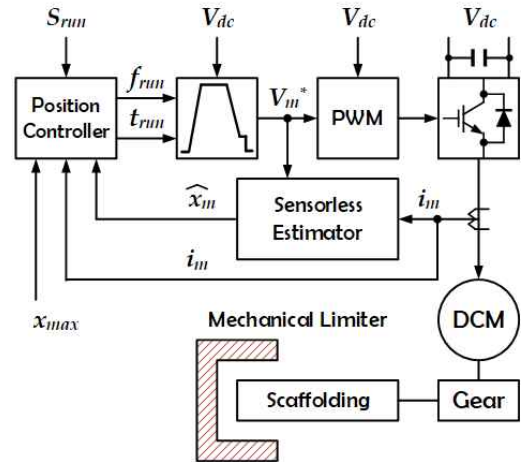
단, G_p 및 G_i 는 적응관측기의 이득을 나타내고 있다.

$$\hat{\omega}_m = \hat{\omega}_{hat} + \hat{\omega}_{cm} \quad (10)$$

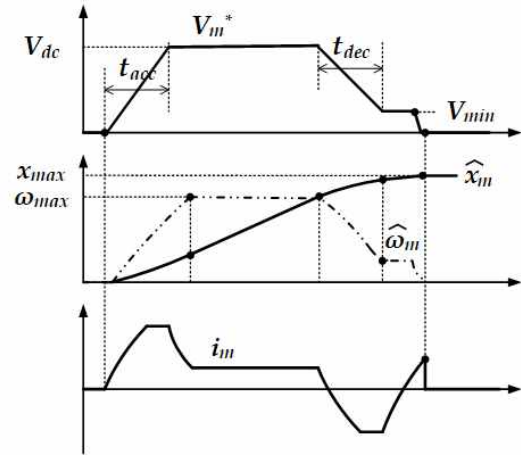
$$\hat{x}_m = \int \hat{\omega}_m \cdot dt \quad (11)$$

실제 센서리스 제어는 빠른 동적 시스템에서 추정속도가 실제속도를 추정하지 못하는 경우에 발산이 발생하게 되므로, 제어이득을 높게 설정하기가 매우 어렵다. 하지만, 추정속도를 통해 직접 속도제어를 하지 않는 경우에는 전동기의 속도를 매우 안정적으로 추정할 수 있는 장점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 시스템에 적합한 동작 패턴을 결정하여 V/F 기반의 지령전압으로 가속과 감속을 하며, 센서리스 알고리즘으로 추정된 속도와 위치로부터, 정지위치 부근에서 상전류의 크기를 검출하여 정지위치를 결정하는 방식을 제안한다.

그림 4는 본 논문에서 제안된 센서리스 위치제어 시스템의 제어블록도 및 동작 패턴을 나타내고 있다. 그림 4에서 S_{run} 은 도어 신호로 결정되는 정·역 방향의 동작 신호를 나타내며, x_{max} 는 기구적으로 결정되어 있는 정지위치까지의 이동 거리를 나타낸다. 제안된 위치 제어기에서 f_{run} 은 도어 신호인 S_{run} 으로부터 결정되는 1, 0 및 -1의 정역방향과 정지 지령을 나타내는 플래그 신호이며, 동작신호는 도어의 개폐신호 S_{run} 으로부터 1 또는 -1로 동작 신호를 발생하며, 추정된 위치 \hat{x}_m 과 최대 정지위치 x_{max} 를 비교하고, 부하 전류 i_m 의 크기



(a) Proposed sensorless position controller



(b) Operating characteristics of the proposed method

Fig. 4. Proposed V/F based sensorless position control scheme.

에 따라 정지 신호 0을 발생하게 된다. t_{run} 은 전동기의 동작 시간을 나타낸다. 전압지령 발생기에서는 f_{run} 과 t_{run} 의 상태에 따라서, 가속시간 t_{acc} 와 감속시간 t_{dec} 에 따라 지령 전압 V_m^* 을 발생시키고, 감속시간이 후에는 최저전압 V_{min} 을 발생시키게 된다.

전동기는 지령전압에 따라 PWM(Pulse Width Modulation)을 통해서 실제 전압을 인가하게 되고, 제안된 센서리스 추정기에서 지령전압과 상전류로부터, 추정위치 \hat{x}_m 을 추정하게 된다. 제안된 위치 제어기는 추정위치 \hat{x}_m 이 정지위치 x_{max} 와의 오차가 15% 이내에서 상전류 i_m 의 상태를 검출하여, 부하가 증가하는 것을 감지하여 동작 신호 f_{run} 을 영으로 만들어 정지하게 된다. 이때 부하 상태를 감지하는 전류는 실제 가속 상태 전류 정도에 해당하여, 전기적 및 기계적 스트레스를 증가시키지 않는 범위에서 결정하게 된다.

그림 4에서 도어의 개폐신호 S_{run} 에 따라 동작시간 t_{run} 은 0에서부터 실시간으로 증가하게 되며, 가속시간 t_{acc} 는 0.2초 동안 최대지령전압으로 선형적으로 상승시

TABLE I
SPECIFICATIONS OF THE DC MOTOR

Parameter	Value	Parameter	Value
Voltage	24 [V]	Power	35 W
Max. Speed	3,000[rpm]	Max. Torque	0.11 [Nm]
Resistance	2.2 [Ω]	Inductance	2.2 [mH]

키게 되며, 등속시간은 0.65초를 유지하게 된다. 이후, 감속하여 지령전압이 8[V]에서 유지 전압이 유지되도록 하며, 이 유지 구간에서 추정위치와 전류의 크기 및 방향을 판단하여 전류의 방향이 부하에 대해서 반대방향으로 되고, 2[A]를 초과하게 되면 정지 상태로 판단하여 정지하게 된다. 감속 시간을 고려한 유지시간동안 추정위치 \hat{x}_m 이 지령위치 $x_{m\max}$ 의 오차 범위 내에 도달하지 못하거나, 동작전류의 역전이 발생하지 않게 되면 에러 동작으로 판단하게 된다.

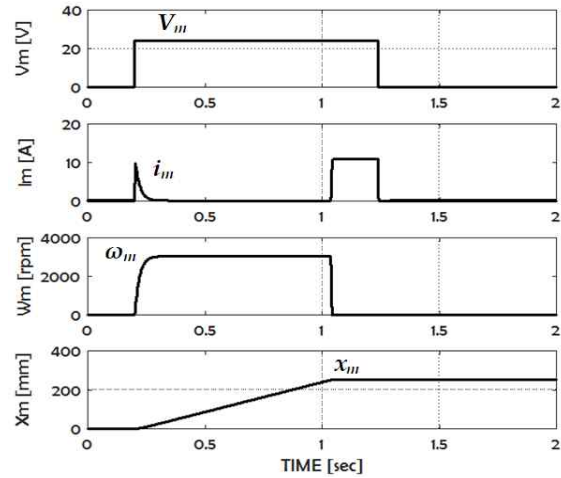
4. 시뮬레이션 및 실험결과

제안된 위치 제어 방식의 성능을 검증하기 위해서 시뮬레이션 및 실험을 진행하였다. 표 1은 구동 전동기의 정격을 나타내고 있다.

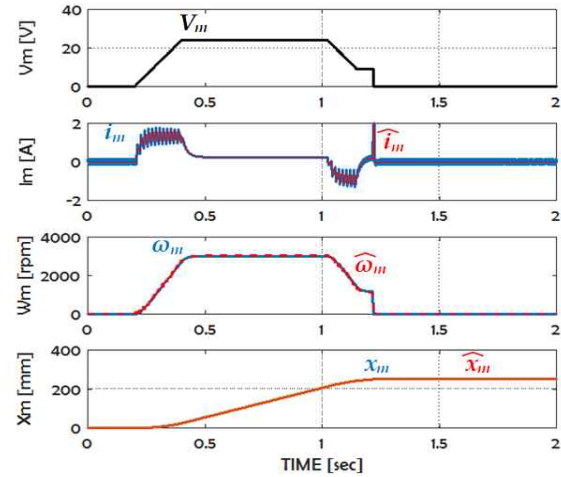
제안된 방식의 검증을 위해 16비트 컨트롤러인 dsPIC33FJ32MC804(Microchip사)를 이용하여 제어를 설계하고, 그 성능을 검증하였다. 전류는 셉트 저항과 증폭회로를 사용하여 10bit 내부 ADC(Analog-Digital Converter)를 사용하여 검출하였고, 스위칭 주파수는 20kHz로 설계하였다.

그림 5는 기존 방식의 동작 상태와 제안된 방식의 동작 상태의 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 기존의 방식에서는 전 전압이 정지 상태에서 인가되어 구속전류가 바로 전동기에서 흐르게 되며, 정지 상태에서는 정지 위치를 검출하기 위한 구속전류 상태를 일정 시간 유지하게 된다. 설계된 보조 발판에서 구속전류는 최대 11[A] 까지 유지된다. 그림 5(b)의 제안된 방식에서는 0.2[sec]의 가속 시간동안 V/f 방식의 구동전압이 인가되며, 최대 기동전류는 2[A] 이하로 되며, 제안된 센서리스 알고리즘에서 추정전류 \hat{i}_m 및 추정속도 $\hat{\omega}_m$ 이 실제 전류와 실제 속도를 잘 추정하고 있음을 보이고 있다. 따라서, 제안된 방식에서 정지 위치에 도달해서, 전류의 크기가 구속전류에 도달하지 않고도 정확하게 정지하고 있음을 보이고 있다.

그림 6은 실험 환경을 나타내고 있다. 제어기는 2개의 보조 발판을 동작할 수 있도록 설계되었으며, 실험에는 하나의 보조 발판에 대해서 실험을 수행하였다. 기어드 직류 전동기가 보조발판의 구동부를 구동하여 보조발판이 접히거나 퍼지게 되며, 정지 위치에서는 기계적으로 정지하도록 설계되었다.



(a) Conventional operating method



(b) Proposed operating method

Fig. 5. Compared simulation results.

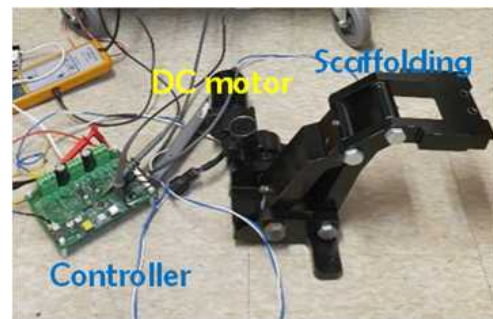
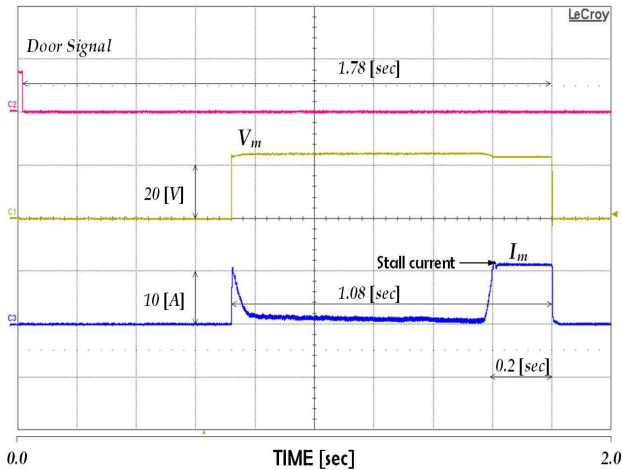
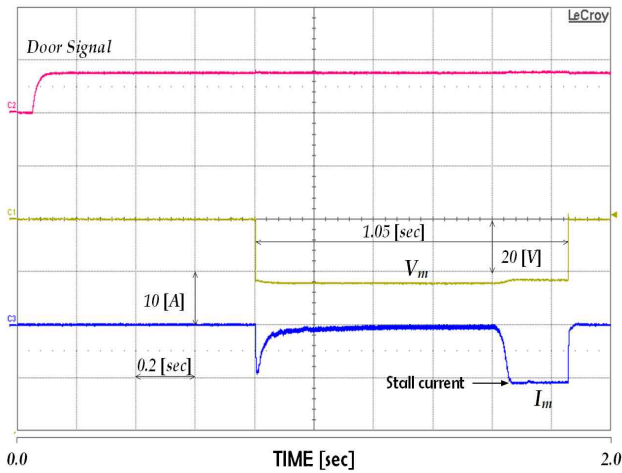


Fig. 6. Experimental configurations.

그림 7은 기존 방식의 도어 신호에 따른 전동기 인가 전압과 전류를 측정 한 실험결과를 나타내고 있다. 실제 전동기의 속도는 회전부가 내부 기어로 연결되어 측정하기 어려우며, 전류의 크기 및 동작을 통해 시뮬레이션 결과와 비교할 수 있다. 실험결과에서 기동시간 및 정지 상태에서의 구속 전류에 대한 실제 상태를 보이고 있으며, 시뮬레이션 결과와 매우 유사하게 나타나고 있음을 보이고 있다.



(a) Unfolding process

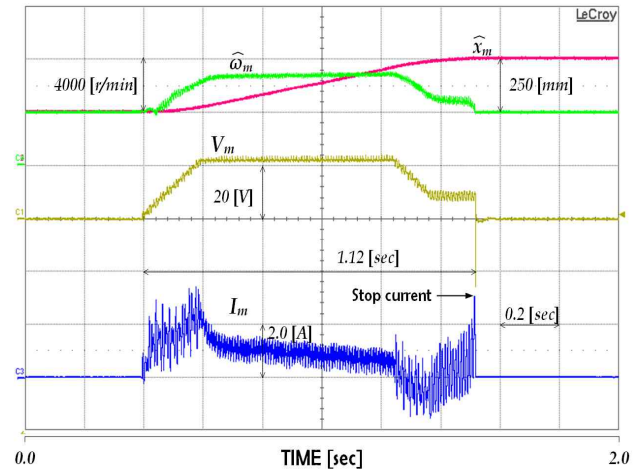


(b) Folding process

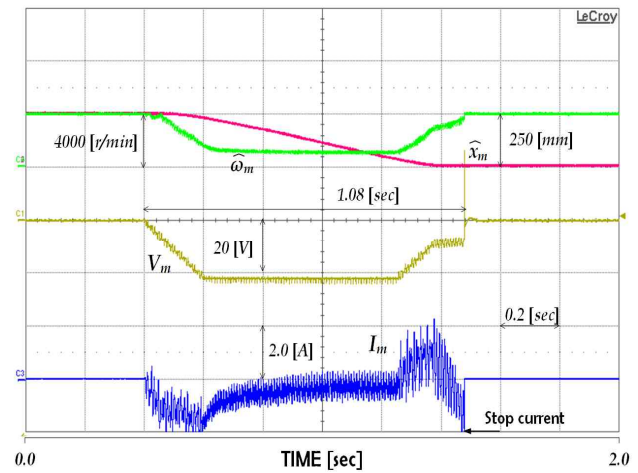
Fig. 7. Experimental results of the conventional method.

그림 8은 제안된 방식에서의 실험 결과를 보이고 있다. 실험에서 실제 속도는 측정이 어려우므로, 내부에서 연산된 추정속도와 추정위치를 DAC(Digital to Analog Converter)를 통해서 모니터링 하였다. 그림 8에서 전동기에 인가된 전압과 전류는 시뮬레이션 결과와 매우 유사하게 나타나고 있으며, 추정 속도 및 추정위치도 안정적으로 추정되고 있음을 보이고 있다. 또한 추정속도와 추정 위치를 통해서 기동상태와 정지 위치에서 과전류 없이 2[A] 이내에서 안정적으로 동작되고 있다.

그림 9는 제안된 방식에서 보조발판의 외부에 장애물로 인하여 부하가 크게 걸린 경우의 실험결과를 나타내고 있으며, 장애물로 인한 정상동작이 되지 않을 때, 추정된 속도가 정상속도에 이르지 못하며, 이로 인해서 추정위치의 오차가 크게 발생하게 되고 이를 통해 과부하 없이 안정적으로 오류를 검출하여 정지 시키고 있음을 보이고 있다. 따라서, 제안된 방식에서는 강제적으로 기구를 동작시키지 않고, 기구물에 걸린 부하 상태를 고려하여 고장 상태를 진단할 수 있음을 보이고 있다.



(a) Unfolding process



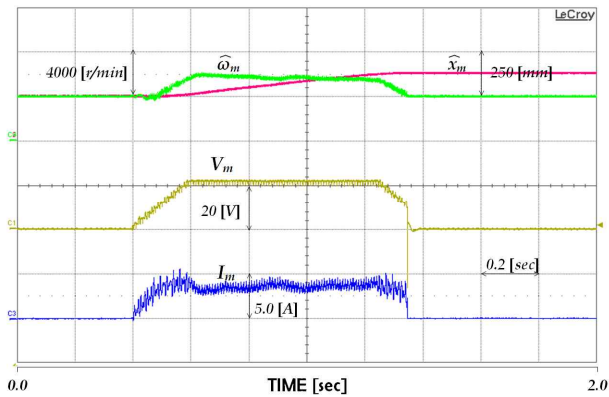
(b) Folding process

Fig. 8. Experimental results of the proposed method(Normal state).

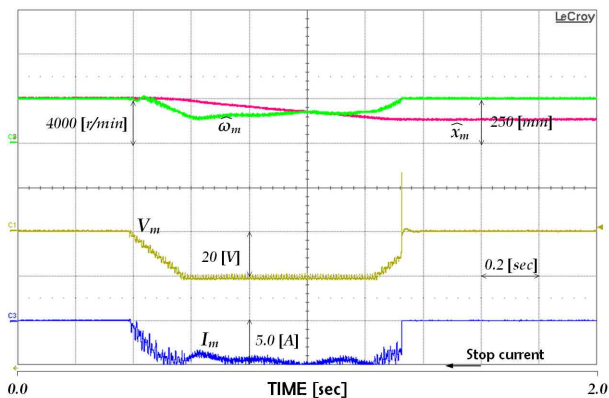
5. 결 론

본 논문에서는 차량용 보조 발판의 정지위치 제어를 위해서, 추정역기전력과 전류모델 기반의 관측기를 적용하여 속도 및 위치를 추정하고, V/F 기반의 전압 패턴을 통해서, 추정된 위치가 정지위치에 도달할 때, 상전류의 부하 상태를 검출하여 정지시키는 제어 방식을 제안하였다. 제안된 방식은 기존의 과부하 검출 방식의 정지위치 결정 방식에 비하여, 전동기 및 기구부에 인가되는 충격과 스트레스를 저감할 수 있다. 추정속도를 통해 직접적으로 센서리스 속도제어 루틴을 적용하지 않으므로, 안정적인 위치 추정이 가능하며, 기동과 정지 상태에서 가속 패턴에 의해서 부드러운 기동과 정지가 가능하므로, 시스템의 안정성과 신뢰성을 높일 수 있다.

제안된 방식의 시뮬레이션과 실험에서, 전동기에 인가되는 전류는 과부하 상태 없이 안정적으로 정지위치에서 정지하게 되며, 과부하 및 장애물에 대한 예리 감지가 가능한 것을 확인할 수 있었다.



(a) Unfolding process



(b) Folding process

Fig. 9. Fault detection in the proposed method.

이 논문은 2019학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음

References

- [1] V. S. Ernesto, S. Joseph, and G. G. Jaime, "A novel method for sensorless speed detection of brushed DC motors," *Applied Science*, Vol. 7, No. 14, pp. 1–15, 2017.
- [2] S. R. Bowes, A. Sevinc, and D. Holiday, "New natural observer applied to speed-sensorless DC servo and induction motors," *IEEE Trans. on Ind. Electron.*, Vol. 51, pp. 1025–1032, 2004.
- [3] P. Radcliffe and D. Kumar, "Sensorless speed measurement for brushed DC motors," *Power Electronics IET*, Vol. 8, No. 11, pp. 2223–2228, 2015.
- [4] J. Scott, J. McLeish, and W. H. Round, "Speed control with low armature loss for very small sensorless brushed DC motors," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 56, pp. 1223–1229, 2009.
- [5] K. Saurav and R. Potluri, "Sensorless speed control of a permanent magnet DC motor by compensating the plant nonlinearities," in *2013 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, pp. 1–4, May 2013.
- [6] M. Ghosh, S. Ghosh, P. K. Saha, and G. K. Panda, "Sensorless speed estimation of permanent magnet DC brushed motor considering the effect of armature teeth - slots and commutation," *Power Electronics IET*, Vol. 10, No. 12, pp. 1550–1555, 2017.
- [7] A. Kawamura, M. Tachibana, S. Yamate, and S. Kawamura, "Encoderless robot motion control using vision sensor and back electromotive force," in *2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1609–1615, Sep. 2014.
- [8] B. Li, B. Shi, D. Liu, H. Xing, and G. Tang, "Research on sensorless control of brushless DC motor for aircraft air conditioning compressor," in *2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, pp. 1580–1584, 2018.
- [9] S. Lu, Y. Qin, J. Hang, B. Zhang, and Q. Wang, "Adaptively estimating rotation speed from DC motor current ripple for order tracking and fault diagnosis," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 68, No. 3, pp. 741–753, Mar. 2019.



이동희(李東熙)

1970년 11월 11일생. 1996년 부산대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년~2005년 OTIS-LG 서보 R&D 선임연구원. 2005년~현재 경성대 메카트로닉스 공학과 교수. 당 학회 JPE 편집위원 및 총무이사.