

외란관측기와 신경 회로망을 이용한 자동문 시스템의 안전성 개선

劉永東^{*}, 李敎範[†], 洪錫敎^{**}

Safety Improvement of an Automatic Door System Using a Disturbance Observer and Neural Network

Young-Dong Yoo, Kyo-Beum Lee, and Suk-Kyo Hong

요 약

편리성 및 방법의 용도로 사용이 늘어나고 있는 일반 자동문에서 출입자의 충돌이나 끼임 사고 같은 안전사고가 발생하고 있다. 본 논문은 출입문으로 사용되고 있는 자동문의 안전성 개선에 관한 것으로, 기존의 외부 안전 센서들을 보완하는 방법을 제안하고자 한다. 자동문 모델링을 통해 외란 관측기를 설계하고, 신경 회로망을 설계하여 관측된 외란과 신경 회로망의 출력의 오차를 비교하는 알고리즘을 제시한다. 제안된 기법의 타당성과 유효성을 실험을 통해 증명한다. 본 논문에서 제안한 방법으로 자동문의 안전성을 높여줄 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

This paper proposes an automatic door system which improves the safety of conventional automatic door systems by complementing the external safety sensors. Disturbance observer using the model of automatic door system and neural network is designed. The proposed algorithm compares the observed disturbance with the output of neural network. Experimental results are presented to illustrate the feasibility of the proposed control strategy. The proposed strategy is expected to improve the safety of an automatic door system.

Key Words : Automatic door system, Disturbance observer, Neural network, Safety improvement

1. 서 론

슬라이딩 자동문(이하 자동문이라고 함)은 대형 유통매장, 병원, 음식점, 관공서 등의 각종 건물에서는 고객을 위한 편의를 제공하기 위해서 출입문으로 이용하고, 공동주택에서는 출입문 및 외부 출입을 통제하는 방법의 편리성 등의 이유로 도어시설로 광범위하게

사용되고 있다. 또한, 자동문이 열손실도 방지해 결과적으로 에너지 절약에도 긍정적인 역할을 해내고 있다. 그러나 자동문을 이용하던 중 문에 충돌하거나 끼임 등으로 인하여 얼굴이나 손·발에 부상을 입는 등 안전사고를 당하는 사례가 증가하는 추세이다. 자동문에 사고를 당한 경위를 살펴보면 자동문이 닫히면서 손이나 발이 끼여 다치는 경우, 자동문이 열린 상태에서 다른 사람이 따라 들어가다 문이 닫히면서 부딪혀 다치는 경우로 이 두 가지 유형이 사고의 대부분을 차지한다^[1].

이러한 안전사고로 인하여 설치된 자동문은 그에 상응하는 안전장치를 가지고 있는데, 자동문 양옆의 도어 주행부나 자동문 상단 중앙부에 설치하여 출입하

[†]교신저자 : 정회원, 아주대 전자공학부 부교수

E-mail : kyl@ajou.ac.kr

^{*}정회원, 아주대 전자공학과 박사과정

^{**}정회원, 아주대 전자공학부 교수

접수일자 : 2010. 8. 9

1차 심사 : 2010. 9. 2

심사완료 : 2010. 9. 7

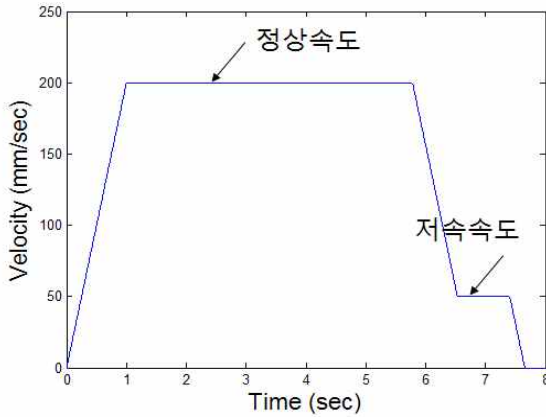


그림 1 속도 프로파일
Fig. 1 Velocity profile

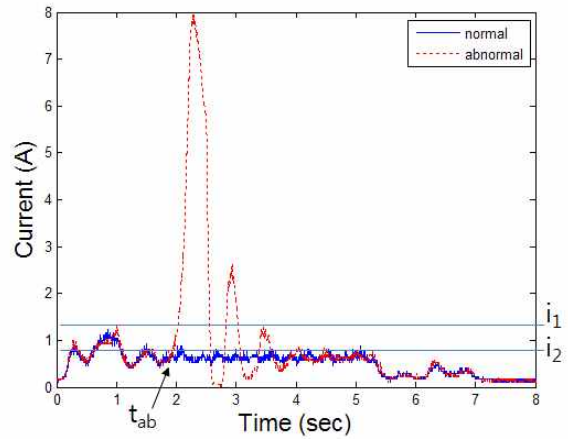


그림 2 모터 전류 파형
Fig. 2 Motor Current Waveform

는 사람을 감지하는 방법을 이용하며, 이러한 감지 센서로는 적외선 센서, 열전도 센서 및 초음파 센서 등이 이용되고 있으며 그에 대한 연구가 진행되고 있다.^{[2][3][4]} 이러한 것들은 설치 시 센서의 수와 설치하는 방법에 의해서, 출입하는 사람들을 감지할 수 없는 영역, 사각지대가 존재하여 안전사고가 발생한다. 또한, 센서비용으로 인해, 안전센서가 설치되어 있지 않는 곳도 존재한다.

외부에 장착하는 안전센서와 달리, 자동문 시스템으로부터 사고를 감지할 수 있다. 일반적으로 자동문 시스템에는 위치를 판별하는 엔코더와 속도를 감지하는 타코제너레이터 등이 구성되어진다^[5]. 엔코더와 타코제너레이터를 통해서 충돌이나 끼임 발생시, 목표치와 현재치의 발생 에러를 통해서 감지할 수 있는데, 이러한 방법으로는 자동문 제어기의 성능에 따라서 일정한 결과를 얻기는 쉽지 않다. 일반적인 감지 방법으로는 모델을 기반을 두는 고장(fault)·진단 방법을 이용하는 것이다^[6]. 또한, 모델링을 통해 얻은 상태방정식을 이용하여 외란관측기를 설계하는 방법이 있다^{[7][8]}. 관측된 외란을 이용하여 임계값을 설정하여 그 이상 발생한 외란을 충돌이나 끼임이 발생함으로 보는 것으로 이용가능하다. 이러한 방법들은 자동문 시스템이 타이밍벨트 구동방식으로 구성되어져 있어, 정확한 시스템 모델의 표현이 어려워 임계값을 설정하기가 쉽지 않다. 불확실한 시스템과 비선형 시스템 모델에 대한 방법으로 신경회로망을 이용하는 방법이 있다^{[9]-[12]}.

일반적으로 자동문은 그림 1과 같이 출입자 통행에 적합한 정해진 속도 프로파일을 따라서 열림과 닫힘 동작을 한다. 출입자의 안전을 위해서 속도 프로파일의 구성은 가속구간, 정상속도의 등속구간, 저속속도로

움겨지는 감속구간, 저속속도의 등속구간, 정지까지의 감속구간으로 구성되며, 정상속도 구간과 저속속도 구간으로 이루어진다.

그림 2는 그림 1의 속도 프로파일로 동작시킨 자동문 시스템의 정상적 경우와 충돌이 발생한 경우의 전동기 전류에 대한 파형이다. 그림 2에서 전류값 i_1 는 정상적인 동작 중에서 발생된 최대 전류값이며, 전류값 i_2 는 충돌이나 끼임이 발생한 경우인 시간 t_{ab} 에서의 전류값이다.

일반적으로 전류값 i_1 은 정상속도로 올라가는 가속 구간에서 가장 큰 값을 가지게 되며, 이 값으로 충돌 및 끼임을 판별할 수 있다. 만약, 전류값 i_1 으로 판별 기준을 정할 경우, 시간 t_{ab} 에서 충돌이나 끼임이 발생했다고 가정하면, 전류값 비교에 의해서 지연된 시간에 감지하게 된다. 일반적으로 PID 제어기를 사용한 자동문이라면 충돌이 발생해도 감지를 위한 임계값이 높게 설정되어지므로, 감지하지 못하고 전동기에 흐르는 전류값이 전류값 i_1 이상으로 증가해야 하는, 즉, 누적된 에러에 의해 입력값이 증가하게 되므로, 결과적으로 충돌된 출입자에게 더 큰 위험을 준다. 이러한 문제를 극복하기 위해서는 속도 프로파일에 따른 정확한 전류값에 대한 임계값 정보를 알고, 대응해야 하는데, 이것은 자동문의 동적 모델이 주어지면 가능하다.

본 논문에서는 자동문 시스템 모델을 제시한다. 제시된 모델을 통해서 모델화되지 않은 동역학 및 작업 시 부하의 변화로 인해 발생하는 외란 등을 관측하는 외란관측기를 설계하고, 관측된 외란을 제한된 신경회로망을 통해서 학습시켜, 자동문 동작 시 발생된 외란과 차이를 감지한다. 외란과 차이를 이용해 자동문

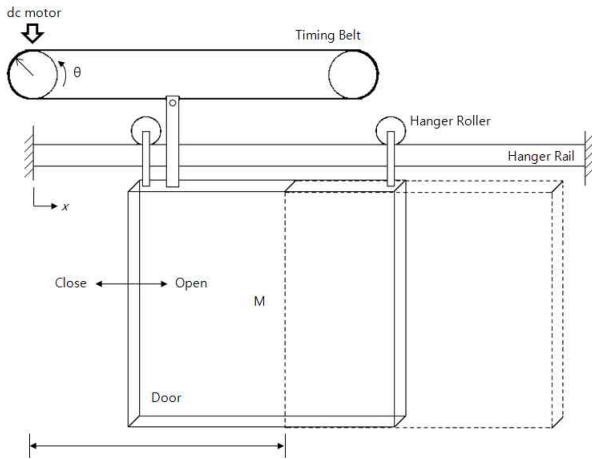


그림 3 자동문의 기계구조 및 구동 시스템
Fig. 3 Mechanical structure and drive system of automatic door

시스템의 충돌 및 끼임 고장을 검출하는 방법을 제시한다. 제한한 시스템의 가능성과 우수성을 보이기 위해, 실제 측정된 전류와 외란을 함께 비교하여 검증한다.

2. 자동문 시스템의 모델링

일반적으로 자동문은 그림 3과 같이 슬라이딩(미닫이) 자동문 구조이다. 동력 전달방식은 타이밍 벨트방식으로 설치 운영되며, 직류전동기로 구동된다.

자동문 시스템의 수학적 모델은 풀리의 마찰 및 관성, 벨트의 질량을 무시하며, 벨트구동은 벨트의 선형탄성 범위에서 동작하는 것으로 가정하였다. 자동문의 무게는 설치장소마다 달라지므로 발생하는 토크 T_i 를 미지의 부하로 설정하고, 행어 롤러와 행어 레일 사이에 발생하는 마찰토크 T_f 는 알 수 없는 부하로 설정하였다. 또한, 외란 등은 T_d 로 설정하여 모터측 부하 토크 T_L 에 반영하였다. 여기서 J 는 모터와 기어의 관성을 합한 것이며, B 는 모터와 기어 축의 쿨롱마찰을 합한 것이다. 감속기어비 G 는 11.875이다.

$$L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a + k_e \omega_m = e_a \quad (1)$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B \omega_m + T_L = \tau_m = k_t i_a \quad (2)$$

$$T_L = \frac{1}{G} (T_i + T_f + T_d) \quad (3)$$

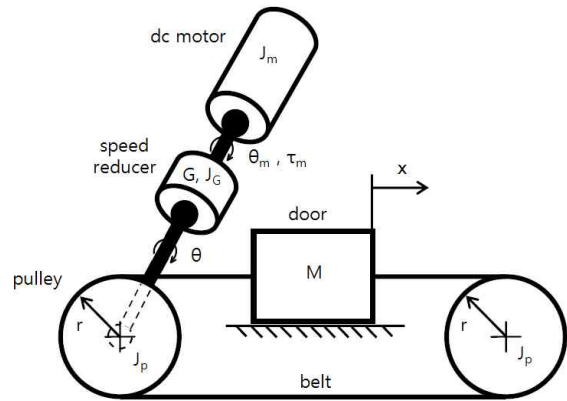


그림 4 벨트구동 자동문 모델
Fig. 4 An automatic door model of the belt drive

$$T_i = Mr\ddot{x} = Mr^2\ddot{\theta} = \frac{Mr^2}{G} \ddot{\theta}_m \quad (4)$$

$$T_f = \mu Mg \quad (5)$$

여기서

- θ_m : 모터의 회전각
- θ : 부하의 회전각
- ω_m : 모터의 회전각속도
- e_a : 모터의 입력
- i_a : 전기자전류
- M : 도어(door) 질량
- g : 중력가속도
- μ : 마찰토크상수
- T_d : 외란 토크
- R_a : 모터 전기자저항(=4.15 Ω)
- L_a : 모터 전기자인덕턴스(=0.00122 H)
- k_t : 모터 토크상수(=0.06101916 N·m/A)
- k_e : 모터 역기전력상수(=0.06101916 V·sec/rad)
- J : 모터측 회전자 관성모멘트(=0.5x10⁻⁵ kg·m²)
- B : 모터측 점성마찰계수(=0.2x10⁻⁴ N·m·sec/rad)
- G : 감속기어비(=11.875)
- r : 풀리 반지름(=2.2 cm)

상태변수 x 를 다음과 같이 정의하면

$$x = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [\theta_m \ \omega_m \ i_a]^T \quad (6)$$

식 (6)에서 첨가 T는 행렬의 Transpose이며, 자동문 시스템에 대한 상태방정식은 식 (7)과 같다.

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\frac{B}{J} & \frac{k_t}{J} \\ 0 & -\frac{k_c}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} u(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{J} \\ 0 \end{bmatrix} T_L(t) \quad (7)$$

$$T_L(t) = \frac{1}{G} \left(\frac{Mr^2}{G} \ddot{\theta}_m + \mu Mg + T_d \right) \quad (8)$$

$$y(t) = [1 \ 0 \ 0] x(t) \quad (9)$$

여기서 $x(t)$ 는 상태변수, $u(t)$ 는 제어 입력, $T_L(t)$ 는 외란으로 자동문의 관성토크, 마찰토크 및 미지의 외란의 합으로 정의한다. $y(t)$ 는 출력이다.

LQR 해석을 위하여 차 비용함수를 고려하면 다음 식 (10)과 같다.

$$J = \frac{1}{2} \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (10)$$

여기서 Q 는 양의 반한정(positive semi-definite) 대칭행렬인 상태가중행렬이고, R 은 양의 한정(positive definite) 대칭행렬인 제어가중행렬이다. 그러면, 케환 제어법칙은 다음과 같다.

$$u(t) = -Kx(t) \quad (11)$$

$$K = R^{-1} B^T P \quad (12)$$

여기서 K 는 제어이득 행렬이고, P 는 양의 반한정 대칭행렬이고 다음 Riccati식의 해이다.

$$PA + A^T P - P B R^{-1} B^T P + Q = 0 \quad (13)$$

식 (11)에서의 $u(t)$ 는 외란 $T_L(t)$ 를 고려하지 않은 제어 입력이다. 외란이 관측가능하다면 식 (14)처럼 새로운 제어입력을 표현할 수 있다.

$$u(t) = -Kx(t) - \eta \hat{T}_L(t), \quad \eta > 0 \quad (14)$$

3. 외란 관측기

외란 변화는 제어기의 제어 샘플링 주기에 비해 상당히 느므로 부하외란의 변화율은 0이라 볼 수 있다. 따라서 다음과 같이 외란을 상태변수로 도입한다.

$$\dot{T}_L = 0 \quad (15)$$

식 (7)-(9)으로부터 다음과 같은 확장된 상태방정식이 된다.

$$\dot{x}_a = A x_a + B u, \quad y = C x_a \quad (16)$$

$$\text{여기서, } A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{B}{J} & \frac{k_t}{J} & -\frac{1}{J} \\ 0 & -\frac{k_c}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0], \quad x_a = \begin{bmatrix} \theta_m \\ \omega_m \\ i_a \\ T_L \end{bmatrix}, \quad y = \theta_m, \quad u = e_a.$$

(A, C)가 관측가능하다고 가정하면, 식 (17)과 같이 외란이 포함된 전차원 관측기를 적용가능하다.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_m \\ \hat{\omega}_m \\ \hat{i}_a \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{B}{J} & \frac{k_t}{J} & -\frac{1}{J} \\ 0 & -\frac{k_c}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\theta}_m \\ \hat{\omega}_m \\ \hat{i}_a \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u + L \left(\theta_m - [1 \ 0 \ 0 \ 0] \begin{bmatrix} \hat{\theta}_m \\ \hat{\omega}_m \\ \hat{i}_a \\ \hat{T}_L \end{bmatrix} \right)$$

만약 관측기 근을 $s = \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 에 위치시키고 싶다면 관측기의 특성방정식 $\alpha(s)$ 는 다음과 같다.

$$\alpha(s) = (s - \beta_1)(s - \beta_2)(s - \beta_3)(s - \beta_4) \quad (18)$$

여기서 식 (17)의 L 는 관측기 이득행렬이며, Ackermann 공식을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$K = \alpha(A) \begin{bmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ CA^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

4. 제안하는 감지 기법

4.1 신경 회로망

본 논문에서는 오류 역전과 알고리즘을 이용하여 학

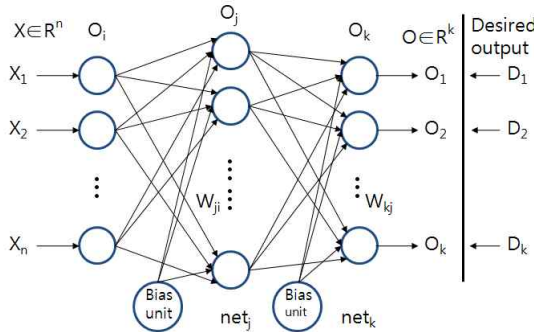


그림 5 신경 회로망 구조
Fig. 5 Structure of neural network

습하는 다층 신경망(Multi layered neural network)을 사용하며, 그 구조는 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성 되어진다.

각 층의 출력값은 다음과 같다. O_i 는 입력층의 출력 값, O_j 는 은닉층의 출력값, O_k 는 출력층의 출력값이다. 출력층을 계산하면 다음과 같다.

$$O_k = f_k^o(net_k) \quad (20)$$

$$net_k = \sum_j W_{kj} O_j + \theta_k \quad (21)$$

여기서, W_{kj} 는 j 번째 은닉층의 뉴런으로부터 k 번째 출력층의 뉴런간의 웨이트(weight)를 나타내며, θ_k 는 바이어스항(bias term)이다. f_k^o 는 k 번째 출력층의 활성화함수를 나타낸다. 마찬가지로 은닉층을 계산하면 다음과 같다.

$$O_j = f_j^h(net_j) \quad (22)$$

$$net_j = \sum_i W_{ji} O_i + \theta_j \quad (23)$$

W_{ji} 는 i 번째 입력층의 뉴런으로부터 j 번째 은닉층의 뉴런간의 웨이트를 나타내며, θ_j 는 바이어스항이다. f_j^h 는 j 번째 은닉층의 활성화함수를 나타낸다.

패턴 p 에 대한 오차의 제곱이 식(24)과 같을 때

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (D_{pk} - O_{pk})^2 \quad (24)$$

전체 패턴에 대한 자승 오차의 총합은

$$E = \sum_p E_p \quad (25)$$

이다. 학습은 W_{kj} , W_{ji} 의 연결강도를 조정하여 E 를 최소화하는 것이므로

$$W_{kj} = W_{kj} + \Delta W_{kj}, \quad \Delta W_{kj} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W_{kj}}, \quad \eta > 0 \quad (26)$$

$$W_{ji} = W_{ji} + \Delta W_{ji}, \quad \Delta W_{ji} = -\eta \frac{\partial E_p}{\partial W_{ji}}, \quad \eta > 0 \quad (27)$$

이다. 여기서 η 는 학습률이다. ΔW_{kj} , ΔW_{ji} 는 연쇄 규칙(chain rule)을 사용하여 다음과 같이 간단하게 쓸 수 있다.

[출력층]

$$\frac{\partial E_p}{\partial W_{kj}} = \frac{\partial E_p}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = -\delta_k \frac{\partial net_k}{\partial W_{kj}} = -\delta_k O_j \quad (28)$$

$$\delta_k = -\frac{\partial E_p}{\partial O_k} \frac{\partial O_k}{\partial net_k} = (D_k - O_k) f_k^{\prime o}(net_k) \quad (29)$$

[은닉층]

$$\frac{\partial E_p}{\partial W_{ji}} = \frac{\partial E_p}{\partial net_j} \frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} = -\delta_j \frac{\partial net_j}{\partial W_{ji}} = -\delta_j O_i \quad (30)$$

$$\delta_j = -\sum_k \frac{\partial E_p}{\partial net_k} \frac{\partial net_k}{\partial O_j} \frac{\partial O_j}{\partial net_j} = \sum_k \delta_k W_{kj} f_j^{\prime h}(net_j) \quad (31)$$

4.2 감지 기법

제한하는 신경망 회로를 학습시키기 위해서 그림 6과 같이 입력데이터를 저역통과 필터를 거친다. 여기서 i_a 는 모터에서 발생하는 전류를 의미하며, u 는 입력전압, \hat{T}_L 은 관측기에서 얻은 외란이다.

통과된 신호들은 그림 7에서 제한한 신경 회로망을 통해 입력 및 지령 출력으로 사용된다. 여기서 $r(k)$ 는

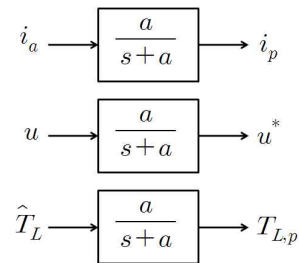


그림 6 저역 통과 시킨 학습 데이터 ($a > 0$)
Fig. 6 Low pass filtered training data ($a > 0$)

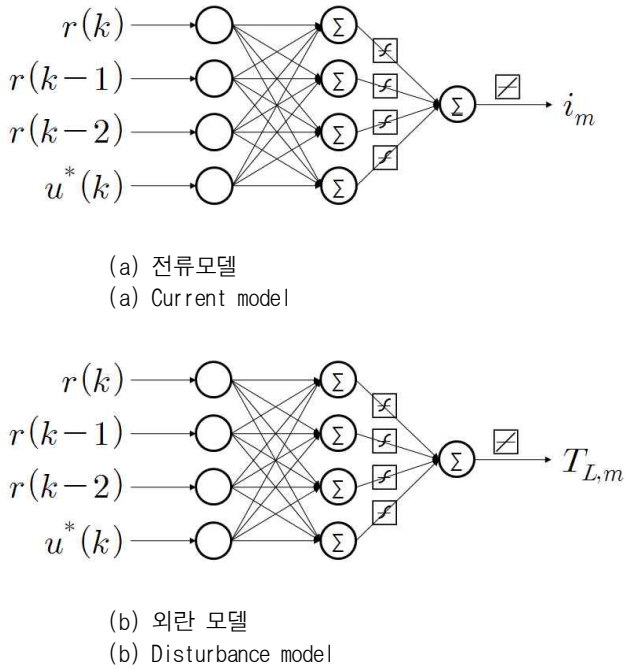


그림 7 제안된 알고리즘의 신경 회로망
Fig. 7 Neural network of the proposed algorithm

자동문의 위치 지령값이며, i_m 은 신경 회로망을 통해 만들어진 전류모델이며, $T_{L,m}$ 은 신경 회로망을 통해 만들어진 외란모델이다. 제안하는 신경 회로망은 4개의 뉴런을 가지는 은닉층으로 구성된다. 활성화함수는 은닉층에서는 하이퍼볼릭 탄젠트 함수를 사용하고, 출력층에서는 선형함수를 사용한다.

다음과 같은 논리로 자동문의 충돌이나 끼임을 감지하게 된다. 여기서 i_{th} 는 모델 전류와 실제 전류의 차가의 선정된 임계값을 나타내며, T_{th} 는 모델 외란과 실제 관측된 외란의 차의 임계값을 나타낸다.

- 전류모델을 이용하는 경우:
IF $|i_m - i_p| > i_{th}$ **THEN** Abnormal
ELSE Normal
- 외란모델을 이용하는 경우:
IF $|T_{L,m} - T_{L,p}| > T_{th}$ **THEN** Abnormal
ELSE Normal

5. 전체 시스템 구성

제안한 자동문 제어기의 성능을 보이기 위하여 실험

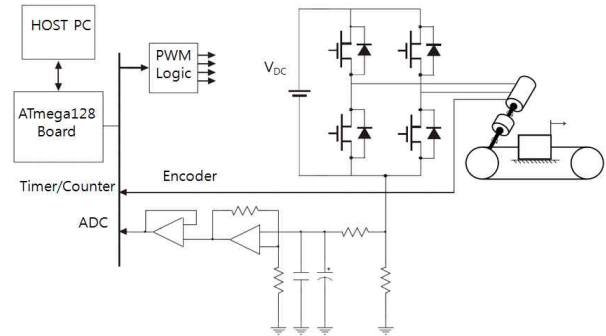


그림 8 실험 시스템 구성
Fig. 8 Configuration of experimental system

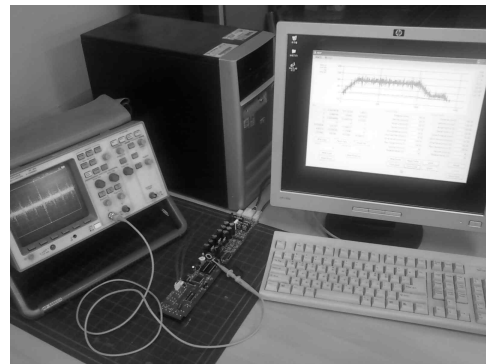


그림 9 자동문과 전체 구동시스템
Fig. 9 Automatic door and total driving system

을 수행하였다. 실험에는 90[W], DC 24[V], 관성계수는 0.5×10^{-5} [kg · m²], 128펄스의 엔코더가 부착된 DC 모터가 사용되었다. 실험에 사용된 전체 시스템의 블록도는 그림 8와 같다. Atmel사의 ATmega128을 탑재한 실험 시스템으로, DC 모터를 구동할 수 있는 PWM Logic부와 전력회로부, 모터의 현재위치를 발생시키는 엔코더부, 발생된 전류를 얻어오는 ADC로 나타난다. 실험에 사용된 자동문의 사양은 다음과 같다. 폭이 115 [cm], 높이가 210 [cm], 무게가 73 [kg]이다.

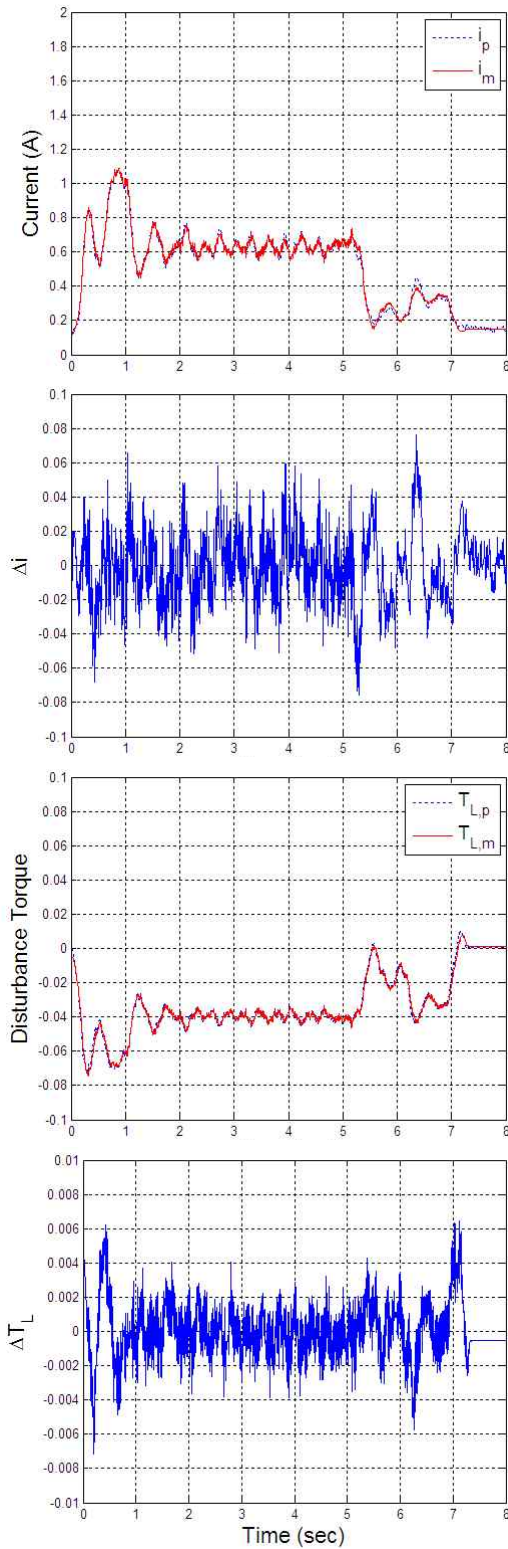


그림 10 정상동작
Fig. 10 Experimental waveform of normal operation

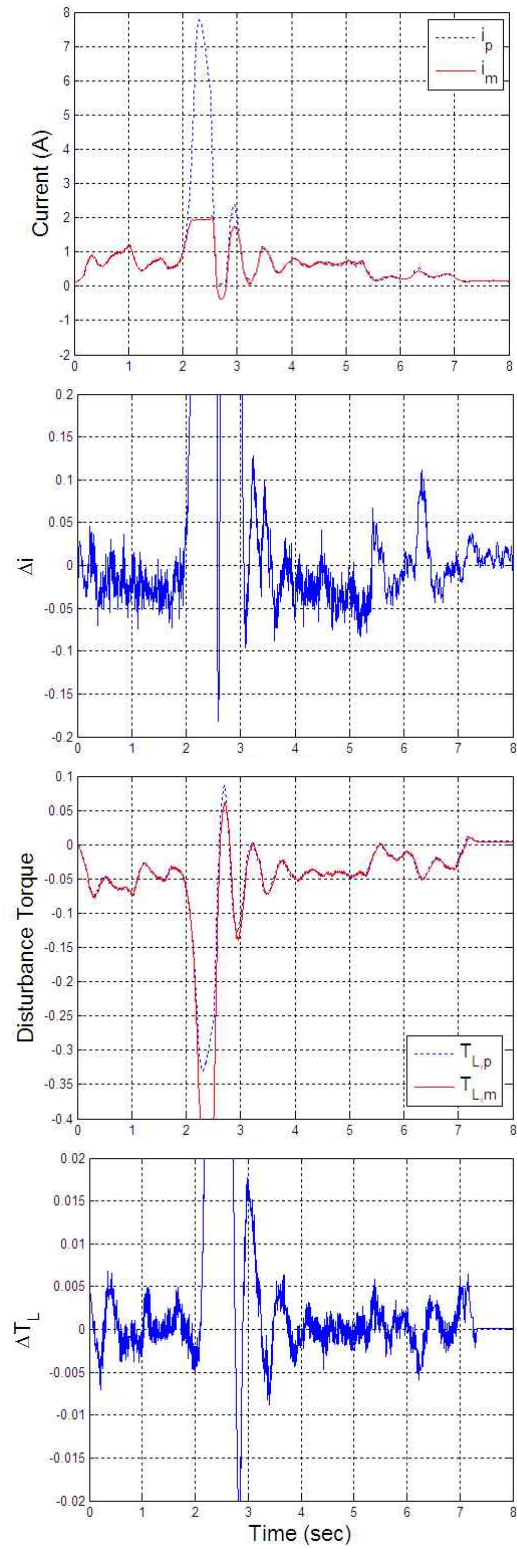


그림 11 발생된 신호 (30 cm 지점)
Fig. 11 Experimental waveform of generated signal at 30cm

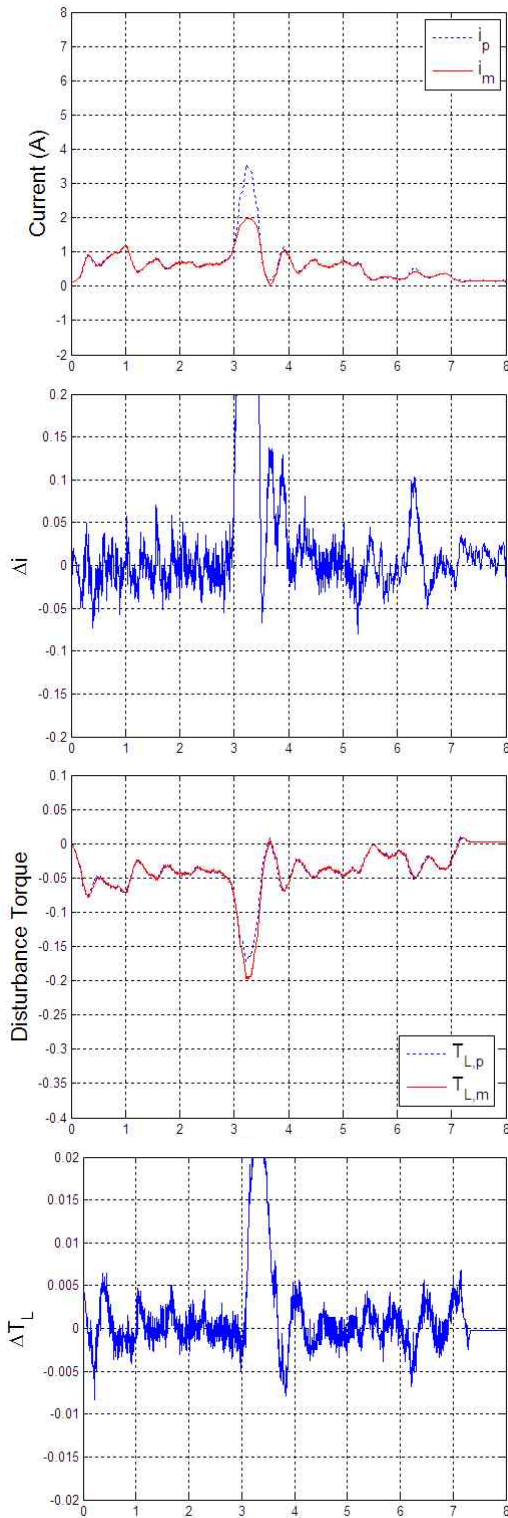


그림 12 발생된 신호 (50 cm 지점)
 Fig. 12 Experimental waveform of generated signal at 50cm

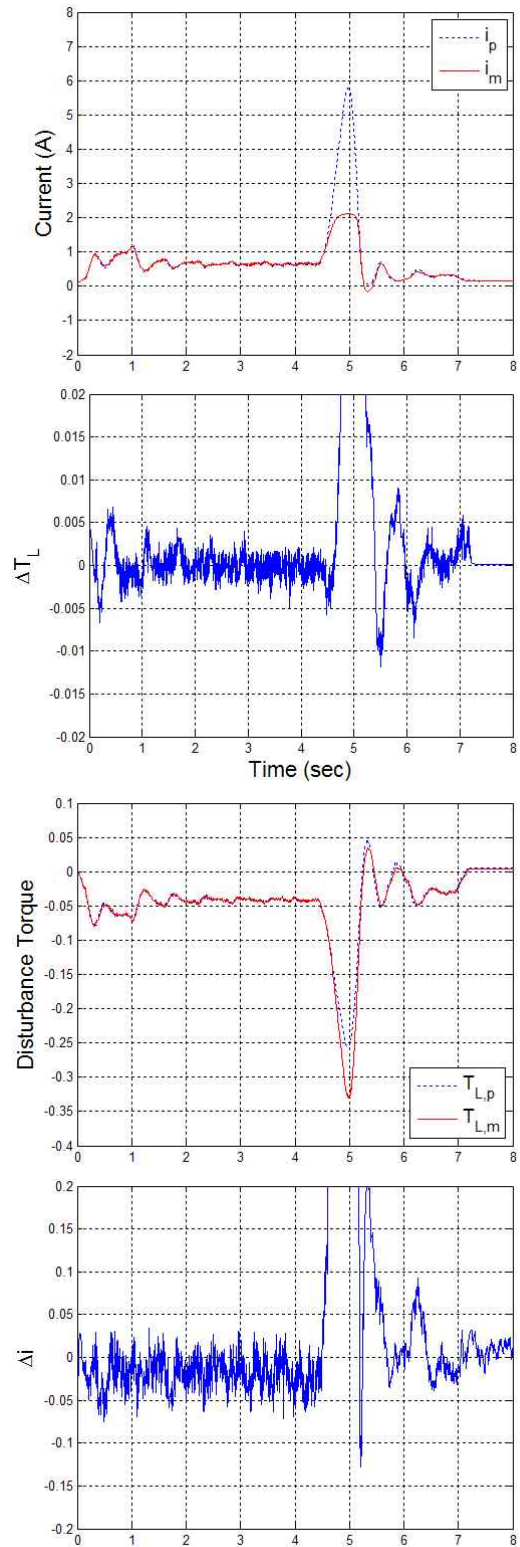


그림 13 발생된 신호 (80 cm 지점)
 Fig. 13 Experimental waveform of generated signal at 80cm

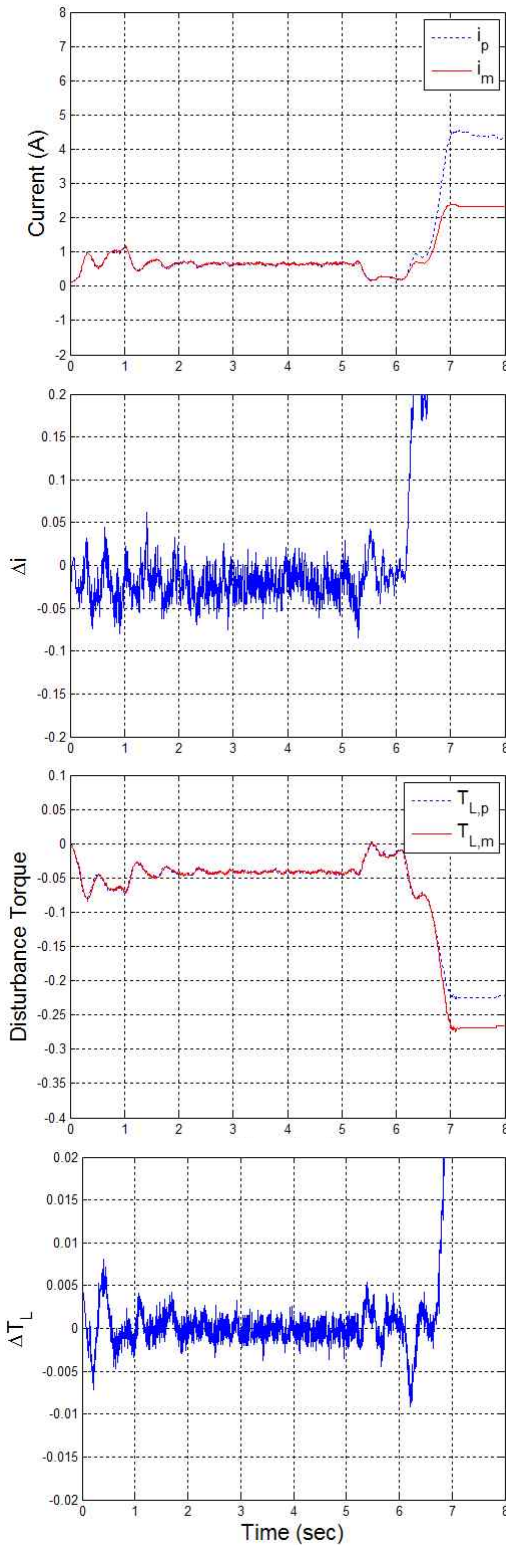


그림 14 발생된 신호 (105 cm 지점)
Fig. 14 Experimental waveform of generated signal at 105cm

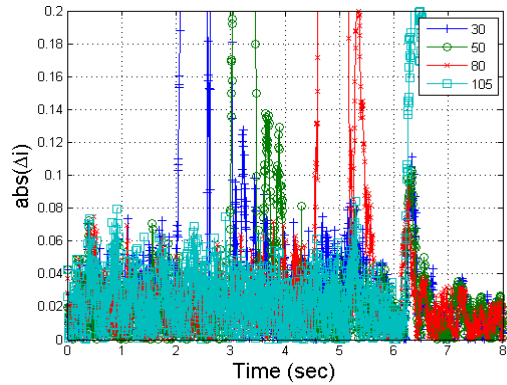


그림 15 $|\Delta i|$ 파형
Fig. 15 Experimental waveform of $|\Delta i|$

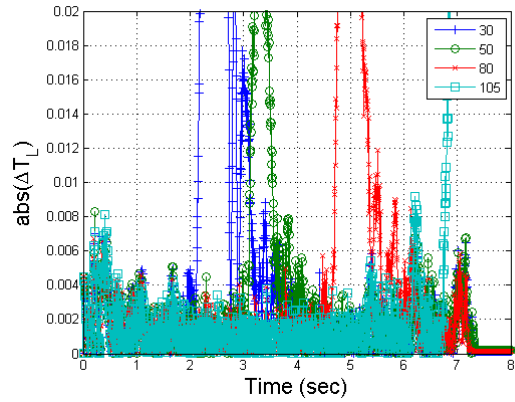


그림 16 $|\Delta T_L|$ 파형
Fig. 16 Experimental Waveform of $|\Delta T_L|$

6. 실험 결과

그림 1에서 제시한 속도 프로파일에 따라 실제 자동문에 닫힘(close) 동작에 적용하였다. 총 이동거리는 1100[mm]이며, 그 중에서 저속 속도가 시작하는 구간의 길이는 50[mm]이다. 정상속도는 0.2[m/s], 저속속도는 0.05[m/s]이며, 모든 가속도는 0.2[m/s²], 감속도는 0.2[m/s²]이다.

정상적인 자동문 동작시, 수집한 데이터를 해당 전류와 관측된 외란을 학습·테스트한 결과는 그림 10과 같다. 제안한 전류모델과 외란모델이 테스트시에도 잘 적용되는 것을 보여준다. 여기서 Δi 는 i_p 와 i_m 의 차를 나타내며, ΔT_L 는 $T_{L,p}$ 와 $T_{L,m}$ 의 차를 나타낸다.

그림 10을 보면, 정상적인 경우, $-0.1 < \Delta i < 0.1$, $-0.01 < \Delta T_L < 0.01$ 이므로, i_{th} 는 0.1, T_{th} 는 0.01로 설정할 수 있다.

닫힘 동작시 출입자의 충돌이 임의 지점에서 발생되

어질 수 있으므로, 단함 시작시의 위치를 0으로 하여 30[cm], 50[cm], 80[cm], 105[cm] 지점에서 자동문 충돌시험을 하였다.

그림 11부터 그림 14는 해당 충돌 관련 그림이다. 임계값 i_{th} 와 T_{th} 의 설정이 적절함을 알 수 있다. 그림 15는 $|\Delta i|$ 의 값을 보여주며 임계값 i_{th} 가 적절함을 나타낸다. 그림 16은 $|\Delta T|$ 의 값을 보여주며 T_{th} 가 적절함을 나타낸다. 전류모델을 가진 신경 회로망과 같이 외란모델을 가진 신경 회로망이 정상적으로 동작함을 알 수 있다.

7. 결 론

본 논문은 외란 관측기와 신경 회로망을 이용하여 출입자의 충돌이나 끼임을 감지하는 방법을 제안하였다. 전류모델과 외란모델 신경 회로망의 타당함을 실험을 통하여 보였다. 기존 자동문에서는 외부에 장착하는 안전 센서로만 자동문에서의 끼임이나 충돌을 감지할 수 있었으나, 본 논문에서는 안전 센서없이 외란 관측기로부터 얻은 추정 외란과 동역학(dynamic) 관련 상태변수(state)들을 신경 회로망에 학습시킴으로 자동문 동작의 비정상적인 경우를 감지하게 되어, 안전 사고를 예측 할 수 있게 되었다. 본 논문에서 제안한 방법과 안전 센서를 함께 사용한다면 자동문의 안전성은 개선될 것이다.

이 논문은 2009년도 아주대학교 교내연구비 지원(20094720)에 의하여 이루어졌음.

참 고 문 헌

[1] 한국소비자원, “슬라이딩 자동문 안전실태 조사”, 2007. 11.
 [2] 송동혁, 장병건, “초음파센서를 이용한 지능형 자동문시스템 개발”, *조명·전기설비학회논문지*, 제23권, 제6호, pp. 31-39, 2009. 6.
 [3] 대한민국 등록특허 2004403470000, 2008
 [4] 대한민국 공개특허 1020100046868, 2010
 [5] 한국산업표준(KS), 자동문 개폐 장치의 시험 방법, KS F 2633, 2007.
 [6] R. Isermann, “Model-based fault-detection and diagnosis - status and applications”, *Annual Reviews in Control*, Vol. 29, No. 1, pp. 71-85, 2005, May.
 [7] 이교범, 송중호, 최익, 유지운, “확장 루엔버거 관측기를 이용한 전동기의 저속 성능 향상”, *전력전자학회 논문*

지, 제9권, 제3호, pp. 231-239, 2004. 6.

[8] 고종선, 이태훈, “외란관측기와 파라미터 보상기를 이용한 PMSM의 정밀위치제어”, *전력전자학회 논문지*, 제9권, 제1호, pp. 42-49, 2004. 2.
 [9] 고종선, 진달복, 이태훈, “신경망 외란관측기와 파라미터 보상기를 이용한 PMSM의 정밀 위치제어”, *전기학회논문지*, 제53B권, 제3호, pp. 188-195, 2004. 3.
 [10] X. Q. Liu, H. Y. Zhang, J. Liu, and J. Yang, “Fault detection and diagnosis of permanent -magnet DC motor based on parameter estimation and neural network”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 47, No. 5, pp. 1021-1030. 2000. 10.
 [11] K. B. Lee and F. Blaabjerg, “Improved Sensorless Vector Control for Induction Motor Drives Fed by Matrix Converter Using Nonlinear Modeling and Disturbance Observer”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 21, No. 1, pp. 52-59, 2006, Mar.
 [12] 이은실, 박기우, 이교범, “입력 전원 외란 상황에서의 신경회로망 기반 전류 보상기를 이용한 매트릭스 컨버터의 출력 전류 개선”, *전력전자학회 논문지*, Vol. 15, No. 3, pp. 199-206, 2010. 6.

저 자 소 개

유영동(劉永東)

1968년 12월 10일생. 1991년 아주대 제어계측공학과 졸업. 1993년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자공학과 박사과정.



이교범(李敎範)

1972년 6월 30일생. 1997년 아주대 공대 전자공학부 졸업. 1999년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2003년 고려대 전기공학과 졸업(공학). 2003년~2006년 The Institute of Energy Technology, Aalborg University in Denmark. 2006년~2007년 전북대 전자정보공학부 조교수. 2007년~현재 아주대 전자공학부 부교수. 당 학회 JPE 편집위원.



홍석교(洪錫敎)

1948년 8월 23일생. 1971년 서울대 전기공학과 졸업. 1973년 동 대학원 졸업(석사). 1981년 동 대학원 졸업(공학). 1976년~현재 아주대 전자공학부 교수.

