

온도 감지 센서가 구비된 도어 자동 개폐기 구동용 액추에이터 시스템의 동작 특성 해석

김양호 \* · 손웅태  
단국대학교 대학원

Operating Characteristics of Actuator System for Automatic Door Operated by Temperature Detecting Sensor

Y. H. Kim \* · W. T. Son  
Graduate School of Dankook University

**Abstract** -This paper deals with the characteristics analysis and experiments of operating actuator for automatic door operated by fire detecting sensor. The dynamic characteristics of operating actuator system are analyzed on the structure of the operating actuator model. Simulation and experimental result have been performed for the verification of the proposed system and dynamic characteristics applied to a actuator by electromechanical energy conversion theory.

The experimental result have been compared with proposed theoretical predictions. In this experimental result represented the temperature T1 and T2 which remarks T1 is a circumstance of operating actuator system, and T2 is a fire detecting sensor part.

1. 서 론

최근 산업 현장에서 자동화가 가속화되면서 소규모 직선형 운동과 신속한 응답이 필요한 시스템에서 유압(또는 공압식) 피스톤과 병행하거나 대체하기 위하여 선형 액추에이터(Linear Actuator)가 시도되고 있다. [1-3]

또한 산업 자동화, 사무 자동화 및 로봇 산업과 같은 분야의 직선운동 시스템에 응용하기 위한 영구자석기에 대한 연구 개발도 늘어 가는 추세이다. 이러한 전자기력을 이용한 직선형 왕복 액추에이터는 가동체의 재질에 따라 가동 코일형, 가동 철심형, 가동 자석형 등으로 구분되는데 성능이 각각 다르므로 응용분야에 따라 적당한 종류를 선정해야 한다. 특히 가동철심형은 리드선이 없고 가동자의 구조가 단순하고 튼튼하여 유지 보수나 제작비등에서 매우 유리한 장점을 가지고 있다.[4]

본 논문에서는 선형 액추에이터를 응용하여 온도 감지 센서가 구비된 도어 자동 개폐기 모델을 제안하고 그 동작 특성을 해석하고 실험한 결과 본 연구는 이 분야의 참고 자료로 활용될 수 있음을 확인하였다.

2. 제안한 도어용 액추에이터 시스템의 동작 특성식

2.1 액추에이터 시스템의 모델링

그림 1과 같은 솔레노이드 액추에이터 시스템에 작용하는 힘은 식 (1), (2)와 같이 관성력, 제동력, 탄성력, 전자기력이 평형을 이룬다.[5]

$$F_i + F_f + F_s = F_e \tag{1}$$

여기서  $\begin{cases} F_i : \text{관성력} \\ F_f : \text{제동력} \\ F_s : \text{탄성력} \\ F_e : \text{전자력} \end{cases}$

이고,

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + k_s(x_0 \pm x) = F_e \tag{2}$$

여기서  $\begin{cases} m : \text{플런저의 질량} \\ D : \text{감쇄계수} \\ k_s : \text{스프링상수} \\ x : \text{스프링의 변위} \\ x_0 : \text{스프링의 자유위치} \end{cases}$

이다. 솔레노이드 액추에이터의 등가 회로는 다음과 같다.

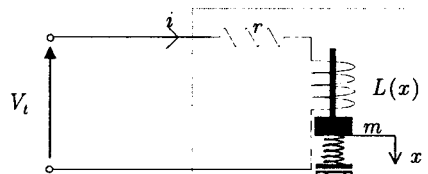


그림 1. 솔레노이드 액추에이터의 등가 회로  
Fig. 1. Equivalent circuit of Solenoid Actuator

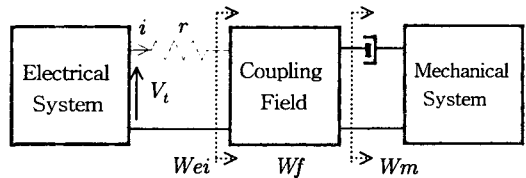
그림 1과 같은 액추에이터의 회로방정식은 인덕턴스가 변위 x 에 따라 변화하므로 식 (3)과 같다.

$$V_t = r i + \frac{d[L(x) \cdot i]}{dt} \tag{3a}$$

$$\frac{d[L(x) \cdot i]}{dt} = i \frac{dL(x)}{dx} \frac{dx}{dt} + L(x) \frac{di}{dt} \tag{3b}$$

여기서  $\begin{cases} V_t : \text{순시전압} \\ r : \text{저항} \\ L : \text{인덕턴스} \\ i : \text{전류} \end{cases}$

이다. 식 (1), (2)에서 전자력  $F_e$  는 그림 2와 같은 전자계 에너지 변환 모델에서 에너지 변환의 모체인 결합계(Coupling Field)에서 결합계의 손실을 무시하고 구하면 식 (4), (5)와 같다.[6]



$\begin{cases} Wei : \text{결합계의 전기적 입력에너지} \\ Wf : \text{결합계의 저장에너지} \\ Wm : \text{결합계의 기계적 출력에너지} \end{cases}$

그림 2 전자기계 에너지 변환 모델  
Fig. 2 Electro-mechanical Energy Conversion Model

$$dWei = dWf + dWm \quad (4a)$$

$$\begin{cases} dWf = \frac{1}{2} i d\lambda \\ dWm = f dx \\ \lambda = Li \end{cases}$$

여기서

$$dWei = (V_i - ir) i dt = id\lambda \quad (4b)$$

이고

$$\frac{dWm}{dx} = \frac{(dWei - dWf)}{dx} = \frac{1}{2} \frac{dL(x)}{dx} i^2 \quad (5)$$

이다.

### 2.2 솔레노이드 액추에이터의 동작 특성식

그림 1과 같은 솔레노이드 액추에이터의 동작 특성식은 식 (1)~(5)로부터 다음과 같다.[7]

$$\frac{d}{dt}[L(x) \cdot i] + Ri = V_i \quad (6a)$$

$$L(x) \frac{di}{dt} + Ri = V_i - i \frac{dL(x)}{dx} \frac{dx}{dt} \quad (6b)$$

이다. 여기서 스프링의 자유 위치  $x_0$  를 가지는 액추에이터 가동자의 운동 방정식은 식 (2)와 같이

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + k_s(x_0 \pm x) = F_e \quad (7)$$

여기서 전자석의 전자기력  $F_e$  는 식 (5)에서

$$F_e = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad (8)$$

이며, 가동자의 운동 방정식은

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + D \frac{dx}{dt} + k_s x = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(x)}{dx} \quad (9)$$

가 된다.

### 2.3 제안한 자동 도어용 시스템의 구성도

본 논문에서 제안된 자동 도어용 시스템의 구성도를 나타내면 다음 그림과 같다.

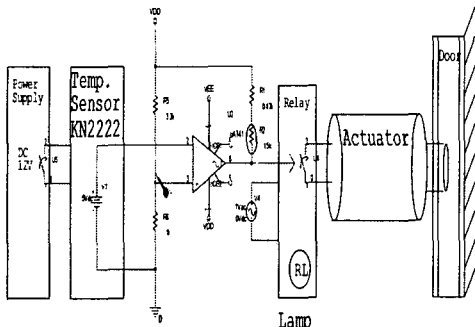


그림 3. 제안된 자동 도어용 시스템의 구성도  
Fig. 3. Proposed Operating Actuator System .

## 3. 온도 변화에 따른 실험 결과

### 3.1 액추에이터와 온도 감지부의 제원

제안된 시스템에 사용된 액추에이터와 온도 감지부의 사양을 나타내면 다음과 같다.

표 1. 액추에이터부의 사양

Table 1. Specifications of Actuator Part.

항 목	수치 [단위]	비 고
전 원 ( V )	AC 220[V]	권선부
저 항 ( r )	325.9 [Ω]	권선부
인덕턴스 ( L )	305.2[mH]	권선부
가동자 ( m )	31[g]	가동자

표 2. 온도 감지부의 사양

Table 2. Specifications of Temp. Sensing Part.

항 목	수치 [단위]	비 고
공급 전원	DC 12 [ V ]	Fine-Suntronix
온도 센서	KN2222	LM35D
OP. Amp.	uA 741	IC type

### 3.2 온도 감지부의 시뮬레이션 및 실험결과 고찰

온도 감지부의 입출력 회로는 다음과 같다.

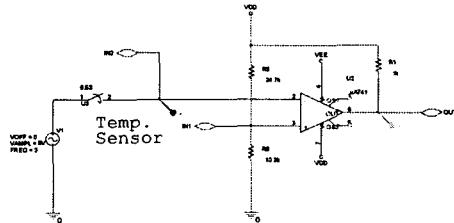


그림4. 온도 감지부의 입출력 회로 그림  
Fig 4. Schematic of temp. detection part

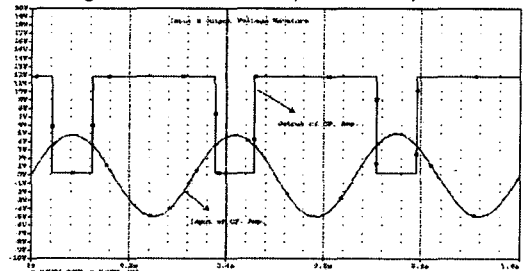


그림5. 전압 변화에 따른 동작 그래프(계산값)  
Fig 5. Simulation result of varying voltage.

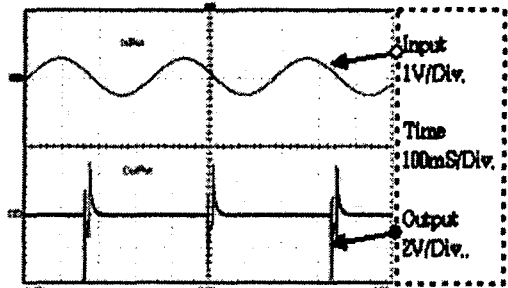


그림6. 전압 변화에 따른 출력 파형 (실험값)  
Fig 6. Experimental waveform of varying voltage.

### 3.3 제안한 시스템의 동작 실험

제안된 액추에이터와 온도 감지부의 동작 상태를 측정하기 위한 실험장치의 구성은 다음과 같다.



그림 7 자동 도어 액추에이터 시스템의 실험 사진  
Fig 7. Experimental Photograph of Actuator System

위 그림 7로부터 얻은 실험 결과는 아래 표 3과 같다.

표 3. 동작상태와 시간에 따른 온도 변화  
Table 3. Experimental result of temperature on the variable time and operating condition

측정 부위 \ 온도	초기 온도 [°C]	동작 온도 [°C]	최종 온도 [°C]	비고
T1(주변 온도)	24.4	24.3	24.4	
T2(온도 감지부)	26.5	74.3	25.9	
T2-T1	+2.1	+50.0	+1.5	

표 3에 나타난 바와 같이 도어용 자동 액추에이터의 온도 T1(주변 온도)에 대하여 T2(온도 감지부)가 상승함에 따라 그림 5와 그림 6과 같이 동작함을 알 수 있다.

### 4. 제안한 시스템의 실험 결과

표 3의 결과를 온도 측정 장비(TECPEL 322)로 측정한 온도 변화에 따른 동작 그래프는 아래 그림 8과 같다.

Experimental Operating Graph  
T1, T2

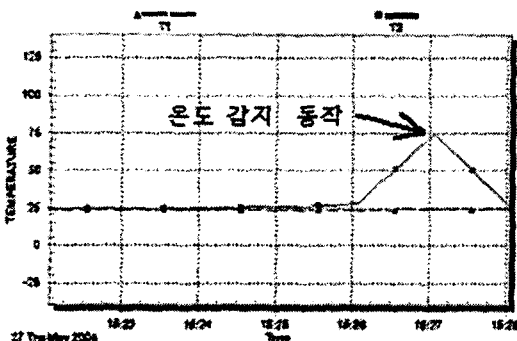


그림 8. 온도 변화에 따른 동작 그래프  
Fig 8. Experimental result of varying temperature

결과 주위온도(T1)에 대하여 동작온도(T2)에서 자동으로 동작되는 도어용 액추에이터에 적용 가능함을 확인할 수 있었다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 선형 액추에이터를 응용하여 온도 감지 센서가 구비된 도어 자동 개폐기 모델을 제안하여 동작 특성을 해석하고 실험하였다. 구성된 액추에이터 시스템의 동작해석을 위해서 온도 센서 회로부분은 OrCAD를 활용하였고, 온도 감지부와 동작용 액추에이터부를 실제로 결합하여 감지부의 온도를 변화시킨 후 그 동작 상태를 분석하였다. 그 결과 주위온도(T1)에 대하여 온도 감지부(T2)에서 자동으로 동작되는 도어용 액추에이터에 적용 가능함을 확인할 수 있었으며 시뮬레이션 결과와 실험결과도 비교적 일치하였다. 이 결과를 바탕으로 온도 감지 센서로 동작되는 자동 도어 개폐기 구동용 액추에이터 시스템이 참고 자료로 활용될 수 있음을 확인하였다.

#### 【참 고 문 헌】

- 1) 염상준, 임기채, 김덕현, 강규홍, 홍정표, 김규락, "인버터특성을 고려한 리니어 진동 액추에이터의 동특성 해석", 2000년도 전기학회 하계학술 논문지, pp 897., 2000
- 2) 장석명, 정상섭, 권철, 문석준, 정태영, "기동자 위치에 따른 기동 코일형 LOA 의 인덕턴스 변화와 Push/Pull 효과", 2000년도 전기학회 하계학술 논문지, pp. 900., 2000
- 3) 안창희, "전자 오일 펌프 시스템의 수차 해석", (기초 전력 공학 공동 연구소) 1995.
- 4) 장석명, 최장영, 정상섭, 이성호, 조한욱, "왕복운동 리니어 액추에이터의 가동자 형태에 따른 전자기적 특성해석 및 비교", 전기학회 논문지 제 53-B권 4호, pp 213-223, 2004
- 5) 김영선, 이준호, 이복용, 이기식, "유한요소법과 운동 방정식의 결합에 의한 운동체의 특성 해석", 한국 자기 학회지, 제 6권 5호, pp. 281-286., 1996
- 6) P.S. BIMEHRA, "Generalized Circuit Theory of Electrical Machines", pp.399-420, 1975
- 7) Janusz Z, "Simulation of a Solenoid Actuator for a Device for Investigating Dynamic Air Permeability Through Flat Textile Products " FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe April/June, Vol.11, No. 2(41), 2003