

Adaptive Fuzzy 制御器를 利用한 Embedded 시스템 基盤의 技能性 高分子 驅動體의 多衆制御에 關한 研究

김태형*(성균관대 대학원 기계공학과), 김훈모(성균관대 기계공학과)

A Study on Multi-Vehicle Control of Electro Active Polymer Actuator based on
Embedded System using Adaptive Fuzzy Controller

T. H. Kim(Mech. Eng. Dept., SKKU), H. M. Kim(Mech. Eng. Dept., SKKU)

ABSTRACT

In case of environment requiring safety such as human body and requiring flexible shape, a conventional mechanical actuator system does not satisfy requirement. Therefore, in order to solve this problem, a research of various smart material such as EAP (Electro Active Polymer), EAC (Electro Active Ceramic) and SMA (Shape Memory Alloy) is in progress. Recently, the highest preferring material among various smart material is EP (Electrostrictive Polymer), because it has very fast response time, powerful force and large displacement. The previous researches have been studied properties of polymer and simple control, but present researches are studied a polymer actuator. An EP (Electrostrictive Polymer) actuator has properties which change variably as shape and environmental condition. Therefore, in order to coincide with a user's purpose, it is important not only to decide a shape of actuator and mechanical design but also to investigate a efficient controller.

In this paper, we constructed the control logic with an adaptive fuzzy algorithm which depends on the physical properties of EP that has a dielectric constant depending on time.

Key Words : Electrostrictive actuator (EP 구동체), Adaptive fuzzy control (적응 퍼지 제어), Embedded system (임베디드 시스템), Multi distribute control system (다중분산제어 시스템)

1. 서론

인체내부와 같은 안전성이 크게 요구되는 환경이나, 구동 System의 모양이 유연한 형태가 요구되는 환경 그리고, 특수한 목적에 맞은 환경에서 작업하는 구동체는 기존의 철이나 합금으로 된 시스템으로서는 그 작업에 안전성도 보장할 수 없고, 작업도 제한적으로 이루어질 수밖에 없는 실정이다. 이에 따른 문제점을 해결하기 위하여 EAP (Electro Active

Polymer), EAC (Electro Active Ceramic), SMA (Shape Memory Alloy) 등과 같은 여러 가지 재질의 Smart Material에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 다양한 Smart Material 중 현재 가장 각광 받고 있는 물질은 Electro Active Polymer이며, 그 중에서도 Electrostrictive Polymer(EP)이다. 그 이유는 EP가 다른 물질에 비하여 빠른 반응시간과 상대적으로 큰 변위와 힘을 갖는 장점 때문이다. 이전까지의 연구는 이러한 고분자 물질의 특성이나 단순한 단품제어

의 연구형태가 대부분이었지만 최근에는 이러한 기능성 물질로 이루어진 Actuator에 대한 연구가 더욱 활성화되고 있다. EP Actuator는 형태나 외부환경 조건이 변화함에 따라서 다양하게 그 특성이나 성능이 변화되는 재료 자체의 특징을 가지고 있다. 따라서 사용자의 목적에 가장 적합한 성능을 발휘할 수 있게 하기 위하여 구동체의 형상과 기구적인 형태를 결정하는 것과 효율성 높은 운영방안 수립을 위한 제어기에 관한 연구가 중요한 요소이다. [1]. 특히 제어기는 고속처리와 실시간 제어(real-time control)를 필요로 하기 때문에 Embedded Real-Time 시스템화가 중요한 요소로써 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서는 시간에 따라서 유전율이 변하는 EP의 물성에 따라서 Adaptive Fuzzy 알고리즘을 사용하여 구동체의 제어논리를 구성하고, 고속처리와 실시간성을 보장하기 위해서 Main-host system과 Sub-actuator system을 Embedded real-time system화하여 시스템의 제어성능을 향상시키고자 한다[2].

개별 Actuator의 기능적인 향상과 제어 성능 개선과 함께 하나의 Sub-actuator system에서 수행하여야 하는 작업의 증가에 따라서 여러 대의 sub-actuator가 작업을 동시에 수행하여야 하는 상황이 발생하게 되었다. 이에 따라 이를 효과적으로 관리하고 sub-system의 효율적인 작업 수행이 가능하도록 하는 제어방법이 매우 중요한 요소로 자리잡게 되었다. 여러 대의 sub-system을 둔 Main-host system의 관리 능력에는 한계가 있기 때문에 task를 효율적으로 분산해주는 다중제어 (Multi-Vehicle Control) 방식이 필요하게 되고, 이에 따라 효과적인 다중분산 제어를 위하여 Main-host system의 스케줄링에 대한 연구와 sub-actuator간의 데이터 교환, Main-host system과 sub-actuator system간의 데이터 교환 방법 그리고 데이터 통신 방법에 대한 연구를 필요로 한다. 따라서 본 논문에서는 fuzzy 알고리즘을 이용한 제어기와 Adaptive fuzzy 알고리즘을 이용한 제어기를 비교하고, 또한 EP Actuator의 효율적인 다중제어를 위한 스케줄링 방법과 교환 데이터 및 프로토콜 설계가 적용된 알고리즘을 개발하여 Simulation Program에 적용하고자 한다.

2. EP 구동체 제어 시스템

2.1 EP 구동체 시스템 Modeling

현재 만들어진 Actuator type은 볼을 감싸는 EP가 쌍으로 되어있어서 각각의 EP에 전압을 인가하면 전압이 인가되는 방향으로 변위가 발생하는 메커니즘을 가지고 있다. 따라서 이에 대한 모델링을 수행하기 위해서는 EP Modeling에 새로운 외력의 항이 추가되게 된다.

Fig. 1은 힘이 작용하는 모습을 나타내고 있다.

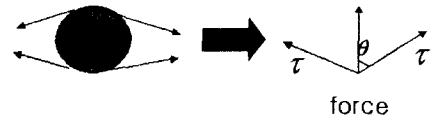


Fig. 1 Actuator단품에 작용하는 힘의 작용

따라서 외력은 식 (1)과 같다.

$$F = 2 \cos \theta \tau \quad \dots(1)$$

여기서, F는 가해지는 외력, θ 는 중심과 막과의 접선 각도, τ 는 장력이다. 이제 이 외력의 항을 EP 모델링에 추가를 시키면 식 (2)와 같은 linear time variant system의 식이 나오게 된다.

$$\frac{\partial w^2(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial w^2(x, y, t)}{\partial y^2} + f(t) = \frac{\gamma}{\tau(t)} \frac{\partial^2 w(x, y, t)}{\partial t^2} \quad \dots(2)$$

이 방정식을 풀게되면 결과적으로 식 (3)이 나오게 되고 이것이 단품 Actuator의 구동식이 된다.

$$w(x, y, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \sin \frac{n\pi x}{a} \sin \frac{m\pi y}{b} * \left\{ \hat{T}(0) \left(\sin \left(\epsilon \sqrt{\frac{W_{mn}^2}{\gamma}} \tau(t) \right) \frac{\gamma}{W_{mn}^2 \tau(t)} \right) + T(0) \left(\cos \left(\epsilon \sqrt{\frac{W_{mn}^2}{\gamma}} \tau(t) \right) \right) \right\} + \frac{1}{6\gamma} 2 \cos \theta (\tau(t))^{-3} \quad \dots(3)$$

Fig. 2는 전체적인 Actuator system을 나타낸다. 구동체는 단품이 3개가 한 조를 이루고 있으며, 총 5층으로 구성되어 있다.

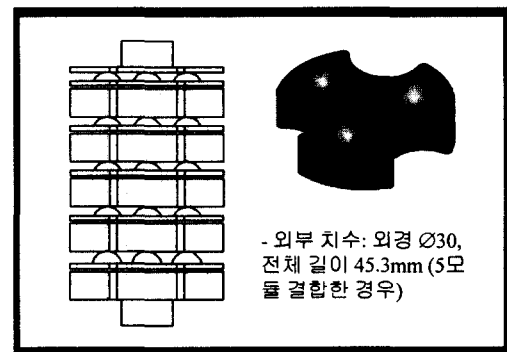


Fig. 2 Shape of Actuator

구동체의 변위와 속도는 식 (4), (5)와 같이 나타난다.

$$W = 5 \times w \dots(4)$$

$$v = W / \Delta t \dots(5)$$

여기서, W는 Actuator의 총 변위, w는 개별 단품의 변위, v는 actuator의 속도, Δt 는 임의의 Sampling 시간을 나타낸다.

2.2 Adaptive Fuzzy 제어기 설계

Fig. 3에서 보여 지듯이 Adaptive Fuzzy 제어기는 퍼지 제어부와 멤버쉽 함수의 계수를 변화시키는 적응 퍼지부로 구성된다.

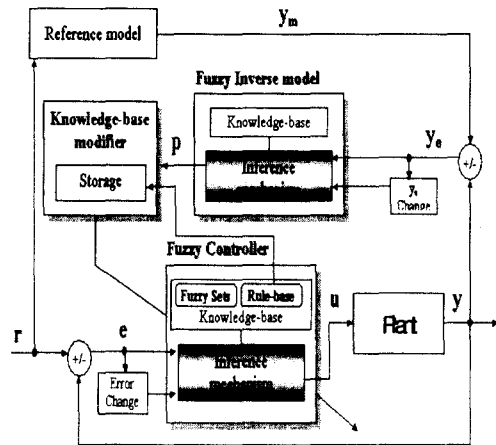


Fig. 3 Adaptive Fuzzy Controller

시스템의 입력은 전압이며 Fuzzy 제어기로 들어가는 입력값은 전압의 에러와 에러 변화율이고, 적응 퍼지부로 들어가는 입력값은 시간에 따른 EP 유전율의 압력 P의 변화와 그것의 변화율이다. Table. 1은 Fuzzy Rule Base를 나타내고, Table. 2는 Adaptive Rule Base를 나타낸다.

Table 1 Fuzzy Rule Base

e	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	0	NS	ZO	PS	PB
NS	NB	NS	ZO	PS	PB
ZO	NS	ZO	PS	PB	PB
PS	NS	ZO	PS	PB	PB
PB	ZO	ZO	PB	PB	PB

Table 2 Adaptive Rule Base

e	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	0	NS	ZO	PS	PB
NS	0	NS	ZO	PS	PB
ZO	0	ZO	PS	PB	PB
PS	NS	ZO	PS	PB	PB
PB	ZO	ZO	PB	PB	PB

2.3 분산 제어 시스템 Modeling

효율적인 다중분산제어를 위하여 본 연구에서 사용할 시스템은 각각의 sub-system의 개별 작업 수행 능력도 보장하고, Main-host system의 감시도 필요하며, 실시간 통신을 통하여 정보의 교환도 이루어져야 하므로 중앙 집중식 직렬 제어 시스템을 기반으로 하지만 Main-host system의 감시 기능을 최소화하고 sub-system에 최대의 자유도를 주는 제어 시스템으로 구성하였다. 이에 따라서 Main-host system과 sub-system과의 역할 분담을 수행하였는데 먼저 Main-host system의 주요 임무는 다음과 같다.

- 1) 전체 sub-system 운행 계획 생성 / 스케줄링
- 2) sub-system의 중복 회피 여부 판단
- 3) 각 sub-system에 작업 명령을 하달
- 4) sub-system간의 작업 명령 교환 여부 판별
- 5) 전체 구동체의 호출 및 비상정지

이와 같은 임무에 따라서 Main-host system은 전체적인 sub-system의 감시를 수행하지만 sub-system의 움직임에 대한 간단한 제어만을 수행하기 때문에 system의 부하를 최소화 할 수 있고, 동시에 상대적으로 많은 수의 sub-system을 운영할 수 있게 된다. 다음으로 sub-system의 주요 임무는 다음과 같다.

- 1) 주행 경로 생성
- 2) 부과 작업 수행 기능
- 3) 환경에 능동적으로 대응하는 자율 주행 기능
- 4) 다른 sub-system과의 조우 시 Main-host system 호출 기능

이와 같이 sub-system도 단지 자신의 움직임에 대한 제어와 하달된 명령만을 수행하면 되므로 전체적인 움직임에 대한 고려를 따로 할 필요가 없고, 다른 sub-system과의 연관 관계도 고려할 필요성이 없기 때문에 하부 자율 주행 system의 부하도 상당히 줄어들게 된다. Fig. 4에 전체적인 system 개념도를 나타내었다.

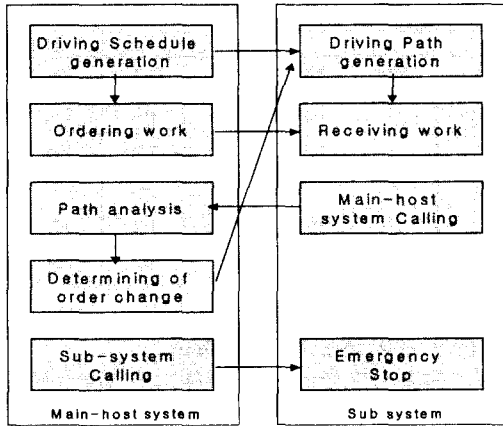


Fig. 4 Schematic Diagram of Whole System

3. 시뮬레이션 결과

3.1 Actuator 시뮬레이션

단품 Actuator는 제어기의 성능을 비교하기 위하여 임의의 주기적인 Reference 입력을 주고 제어기를 통해서 출력되는 결과 값이 얼마나 빠르게 근접한 값으로 접근해 가는지를 비교하였다. 처음에 시뮬레이션을 수행한 결과는 두 방식 모두가 reference 입력을 초기에는 잘 추정하다가 시간이 흐른 후에는 추정이 잘 되지 않는 결과를 보였다. 이를 반복 수행한 결과를 토대로 Adaptive rule의 수정을 거쳐서 시간이 지나도 reference 입력을 안정적으로 추정하는 알고리즘을 찾아낼 수 있었다. Fig. 5와 6은 Fuzzy 와 Adaptive Fuzzy 제어를 사용했을 경우에 출력되는 변위의 결과를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보듯이 시간이 지나서 계속 진행 될 경우 유전율의 변화로 인하여 Fuzzy 제어기는 주기적인 reference 입력의 추정이 잘 안 되는 현상을 볼 수 있었다. 이상의 시뮬레이션 결과를 토대로 Adaptive Fuzzy 제어 방식이 시스템에 가장 적합한 방법이라는 것을 알 수 있었다.

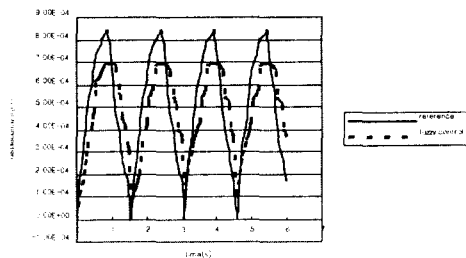


Fig. 4.10 Graph of Fuzzy Control (Displacement)

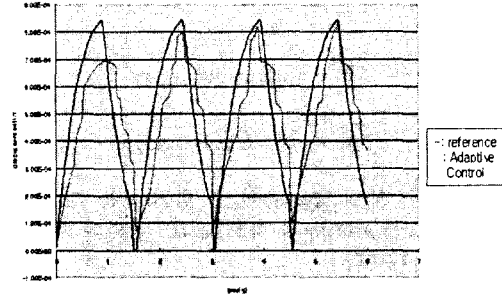


Fig. 4.11 Graph of Adaptive Fuzzy Control (Displacement)

4. 결론

본 논문에서는 기능성 고분자 구동체를 시스템을 효과적으로 제어하고 또, 여러 기를 다중 제어하였을 경우에 효율적인 관리를 위하여 현재 까지 다음과 같은 연구를 수행하였다. (1) 새로운 EP Actuator 형태의 개발 및 시스템 모델링을 수행하였다.

(2) 시간과 외부 환경의 영향에 강인하도록 Actuator 시스템 제어를 위하여 Adaptive Fuzzy 알고리즘을 개발하고 이를 적용한 시뮬레이터를 개발하여 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

향후 연구 방향으로는 속도와 다중제어 시뮬레이터를 개발하고 실험을 통하여 검증하며 보다 효율적인 분산 제어 방법을 찾는 것이다.

참고문헌

1. Yoseph Bar-Cohen, "Electroactive Polymer Actuators ac Artificial Muscles," SPIE Press, Washington USA, 2001.
2. Hermann Kopetz, "Real Time Systems-Desing Principles for Distributed Embedded Applications," Kluwer academic publishers, Boston USA, 1997.
3. M. Zhenyi, J. I. Scheinbeim, J. W. Lee, and B. A. Newman, "High field electrostrictive response of polymers." Journal of Polymer Sciences, Part B-Polymer Physics, Vol.32, pp.2721-2731, 1994.
4. Y.Shkel and D. Klingenberg, "Material parameters for electrostriction," Journal of Aplied Physics, Vol.80(8), pp.4566-4572, 1996.
5. Lynne E. Parker, "ALLIANCE: An Architecture for Fault Tolerant Multirobot Cooperation," IEEE Transactions on Journal of Robotics and Automation, Vol.14, NO.2, pp.220-228, 1998.