

# Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘을 이용한 엘리베이터 군 제어 시뮬레이션

최승민\*(성균관대 대학원 기계공학부), 김훈모(성균관대 기계공학부)

## A Simulation of Elevator Group Controller using Adaptive Dual Fuzzy Algorithm

S. M. Choi\*(Mech. Eng. Dept., SKKU), H. M. Kim(Mech. Eng. Dept., SKKU)

### ABSTRACT

In this paper, the development of a new group controller for high-speed elevator is carried out utilizing approach of an adaptive dual fuzzy logic. A goals of control are the minimization of waiting time, mean-waiting time and long-waiting time in a high building. when a new hall call is generated, adaptive dual fuzzy controller evaluate traffic pattern and change appropriately the membership function of fuzzy rule base. Control for co-operation among elevators in group control algorithm are essential, and the most critical control function in group controller is a effective and proper hall call assignment of elevators. The group elevator system utilizing adaptive dual fuzzy control reveals a great deal of improvement on its performance.

**Key Words :** Elevator (엘리베이터), Group control (군 제어), Fuzzy logic (퍼지 논리), Adaptive dual fuzzy control (적응식 2중 퍼지 제어)

### 1. 서론

빌딩의 고층화, 대형화와 더불어 엘리베이터(car)의 고속화와 함께 건물에서 이동하는 사람들의 숫자가 많아짐에 따라 복수대의 엘리베이터를 효과적으로 운전하고 승객의 편의를 위한 군 관리 방식이 매우 중요하다. 본 논문에서는 기존의 제어 논리를 개선하여 엘리베이터 시스템의 성능을 향상시키고자 한다. 초기의 엘리베이터 군 제어에서는 Normal, Down-peak, Up-peak 교통양식 등의 시간대에 따른 단순한 패턴에 따라 운행이 결정되었다. 기존의 군 제어 방식은 대체로 마이크로 프로세서를 이용하여 예측된 각 승강호출의 대기시간들만을 이용하여 수행되었다. T.Tobita등[1]이 이러한 방식을 사용하였다. 그러나, 고정된 평가 항목만을 사용하는 군 제어 방식들은 한가지 평가항목만을 최소화하는 것을 목적으로 하여 상호보상 관계인 제어목적들을 종합적으로 평가할 수 없다. 고층의 사무용 건물에서의 교통 요구는 저층에서 고층으로의 요구 혹은 고층에서 저층으로의 요구가 주로 나타나거나, 혼합되어 나타나는 경우가 많은데 군 제어 시스템의 문제를 이러

한 특별한 교통요구 패턴에 맞도록 간소화 시켜, 이론적인 방법을 도입한 연구도 이루어 졌다. D.L.Pepyne등[2,3]은 특히 상향 교통 요구 패턴(up-peak traffic pattern)에 대해 연구하였다.

W.L.Chan등[4,5]은 상향 교통 요구와 하향 교통 상황에 대해서 각 엘리베이터에 할당된 Zone을 교통량 요구의 변화에 따라서 동적으로 변화시키는 동적(dynamic) Zoning 방법을 제안하였다. 이러한 Zoning 혹은 동적 Zoning 방법은 층수가 아주 높은 건물에서 출근 시간과 같은 특수한 교통 상황에서는 필수적이지만 층수가 아주 높지 않은 건물에서는 오히려 그 효과가 크게 나타나지 않을 수도 있으며, 백화점과 같은 층간의 이동이 많은 건물에서는 적용하기가 힘들다.

퍼지 로직을 처음 엘리베이터 시스템에 구현한 것은 미쓰비시 회사였다[6]. 현재의 대부분의 일본 엘리베이터 제조회사는 군 제어에 퍼지로직을 사용한다. 승강장 요구가 있을 때마다 적절한 규칙(rule)이 If-then 규칙에 의해 선택된다. 퍼지룰을 엘리베이터 군 제어에 적용한 이유는 군 제어 목적의 다양성, 엘리베이터 시스템의 불확실성 때문이다. 퍼지룰을

사용한 군 제어기의 특징은 속련가가 제어의 룰을 결정하고, 이러한 룰은 설치시에 고정된다는 것이다. 숙련된 엔지니어의 경험적 지식에 의해 제어기는 엘리베이터의 불확실성과 비선형성등을 잘 관리할 수 있다 하지만 퍼지룰의 단점은 퍼지 멤버쉽 함수의 조절이 어렵고, 새로운 룰을 개발하여 변형하기에 많은 노력이 필요하다는 것이다. 퍼지나 신경망을 적용한 많은 연구에서 군 제어 시스템이 적용되는 현장의 사양의 변화에 대해서 설계를 새롭게 변경해야 하는 단점들을 드러내어왔다.

본 연구에서는 다양한 제어 목적을 만족시키기 위해 퍼지 논리를 사용하고, 기존의 룰베이스의 고정성에 따른 문제를 해결하고자 Adaptive Dual Fuzzy 제어기를 제안하고 엘리베이터 군 제어 시스템에 적용하여 다양한 교통 환경에 적용하도록 한다.

## 2. Adaptive Dual Fuzzy 제어 이론

일반적인 퍼지 제어기는 알려진 시스템, 즉 예측 가능한 시스템에서 발생하는 불확실하거나 애매한 정보를 입력 데이터로 처리하는 데에는 범용적으로 사용할 수 있다. 그러나, 예측 불가능한 상황 또는 입력 변수에 영향을 주는 파라미터가 존재하는 경우는 일반적인 퍼지 제어기로는 해결하기 어려운 문제점이 있다. 이러한 시스템에서는 조건에 따라 퍼지 룰 베이스를 변형하여 사용하는 메커니즘을 필요로 한다.

### 2.1 Adaptive Dual Fuzzy Controller

Fig. 1의 제어기의 구조에서 볼 수 있듯이 Adaptive Dual Fuzzy 제어기는 퍼지 제어부와 멤버쉽 함수의 계수를 변화시키는 적응 퍼지부의 2부분으로 구성된다.

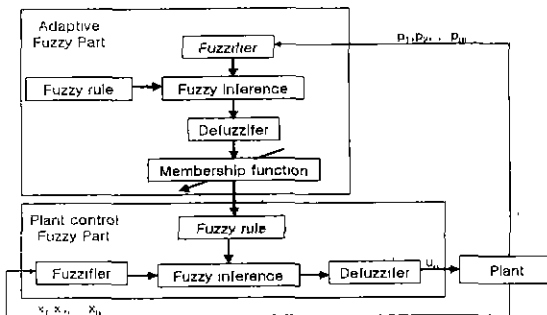


Fig. 1 Adaptive Dual Fuzzy Controller

퍼지 제어부로서의 시스템의 상태 입력을  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , 출력을  $u$ 라 하고 입력 변수에 영향을 주는 파라미터를  $p_1, p_2, \dots, p_m$ 으로 설정한다.

## 3. 시스템 구성

Fig.2는 엘리베이터 군제어 시스템의 구성도이다.

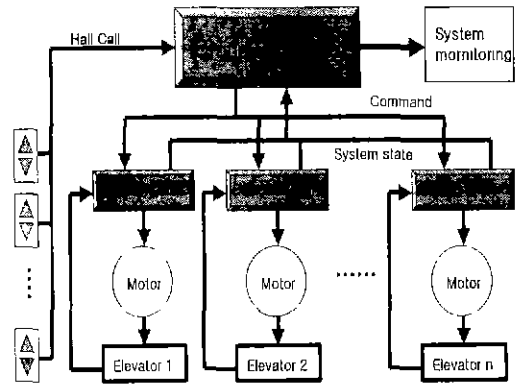


Fig 2 System Configuration

군 제어기는 각 호기 제어기(Car Controller)로부터 운행상의 필요정보를 취득하여 평가목표에 부합하는 최적의 엘리베이터에게 승강호출(Hall Call)을 할당한다. 승강호출에는 각 층에서 이용자가 엘리베이터 사용의사를 등록하는 호출로 상향 승강호출과 하향 승강호출의 두 종류가 있다. 모니터링 시스템은 군 제어기로부터 상태데이터를 입력받아 현재의 엘리베이터 상태를 화면출력하며 각종 운행데이터를 수집하고 저장한다. 그리고 사용자의 요구사항을 군 제어기에 전달함으로써 원하는 제어형태를 제공한다. 각 호기제어기는 실제 엘리베이터를 수행시키는 부분으로 엘리베이터의 출발, 가속속, 정지, 문개폐 등의 동작을 제어하며 운행결정에 필요한 호기의 상태를 군 제어기에 전달하여 준다. 군 제어기는 호기 제어기로부터 전달받은 상태 자료와 모니터링 시스템으로부터 전송된 관리자의 요구를 기반으로 등록된 승강호출에 최적의 할당호기를 결정하며 상태자료를 모니터링 시스템에 전달한다.

### 3.1 승강장 요구 응답 시간(Hall Call Response Time : $T_r$ )

승강장 요구 응답 시간( $T_r$ )을 정확히 계산하기 위해서는 엘리베이터의 상태정보를 모두 고려해서 모델링을 해야한다. 엘리베이터의 위치 및 움직임(속도와 방향등)과 함께, 할당된 승강장 요구, 승강기 내부요구, 그리고 미래에 추가의 입력요구가 있거나 원래 있던 요구가 취소되는 경우에 실제의  $T_r$ 은 예측된 값보다 더 길어지거나 짧아질 수 있다.

$T_r$ 을 계산할 때, 우선적으로 고려되는 것은 승강장 요구가 발생한 층까지 움직여야 하는 거리(D)와

그 승강장 요구까지 이동하면서 겪게 되는 멈춤 횟수(S)이다. 또한 D와 S뿐만이 아니라, 엘리베이터가 서비스하기 위해서 어떤층에 멈추었을 때, 승객의 타고 내림으로 인해 지연되는 시간, 엘리베이터 문의 열고 닫히는 시간도 함께 포함된다.

$$D = (F_n - F_i) \cdot x \quad (1)$$

$$S = C_{is} + H_{is} - (C_{is} \cap H_{is}) \quad (2)$$

$$T_s = T_d + P_i \cdot T_M + P_o \cdot T_{pu} \quad (3)$$

여기서,  $F_n$ 은 새로운 Hall Call이 발생한 층이고  $x$ 는 층간 거리이다.  $T_s$ 는 승강기가 요구에 대해 멈추 있을때의 지연 시간이고  $T_d$ 는 Door의 개폐시간,  $T_{pl}$ 은 승객 1인이 타는데 걸리는 시간이고,  $T_{pu}$ 는 승객 1인이 내리는데 걸리는 시간이다. 또한  $P_i$ 는 승강기로 유입되는 승객의 수이고  $P_o$ 는 승강기를 내리는 승객의 수이다.

위의 모든 항목들을 고려해 승강장 요구응답 시간을 구해보면,

$$T_n(e) = \frac{(F_n - F_i) \cdot x}{V} + S + (T_d + P_i \cdot T_M + P_o \cdot T_{pu}) \quad (4)$$

로 표현 가능하며, 이 값이 새로운 호출까지 엘리베이터의 도달 시간이다.

그리고, 본 논문에서는 각 엘리베이터에 할당되는 작업량이 평균화되는 방향으로 제어어를 행하기 위해 평균 대기시간( $T_m$ )을, 그리고 승객의 승강기를 기다림에 따른 초조감을 고려해서 장대기 시간( $T_l$ )도 엘리베이터를 할당하는데 필요한 평가량으로 선정한다

#### 4. Adaptive Dual Fuzzy제어기 설정

본 논문에서는 대기시간( $T_r$ ), 평균 대기시간( $T_m$ ), 장대기 시간( $T_l$ ) 함수로 두고 이들 계산된 값에 따라 엘리베이터 각 호기의 평가값이 계산되어 가장 평가값이 높은 엘리베이터가 최종 선정된다.

엘리베이터의 최적의 호기 선정을 위한 2개의 퍼지 제어 규칙을 다음과 같이 표현된다.

rule 1) If  $T_r$  is VB and  $T_m$  is BG then  $\Psi_1$  is VS

rule 2) If  $T_r$  is VB and  $T_l$  is BG then  $\Psi_2$  is VS

본 연구에서는 대기 시간과 평균 대기시간의 각 호기별 적합도를 나타내는 제어 규칙이 25개이고 대기 시간과 장 대기 시간의 각 호기별 적합도를 나타내는 제어 규칙도 역시 25개이다.

이로부터 나온 Priority1( $\Psi_1$ )과 2( $\Psi_2$ )를 이용하여 각 호기의 평가값( $\Phi$ )을 구한다. 그리고, 모든 엘리베이터 중 평가값이 가장 큰 호기를 최종 선정호기(U)로 선정한다.

$$\Phi(i) = \Psi_1(i) + \Psi_2(i) + \lambda(i) \quad (15)$$

$$U = \text{Max}[\Phi(i)] \quad (16)$$

여기서,  $\lambda$ 는 각 호기의 Car Call의 상황을 분석하여 새로운 Hall Call과 일치하는 Car Call이 있을 경우 그 엘리베이터에 가중치를 부여한다. 그리고, 새로운 Hall Call과 가까운 층에 Car Call이 있더라도 가능하면 그 엘리베이터를 할당하기 위해 가중치를 부여한다.

Fig. 3은 Adaptive Dual 퍼지 제어기를 사용한 엘리베이터 군제어 시스템의 전체 Block Diagram을 나타내고 있다.

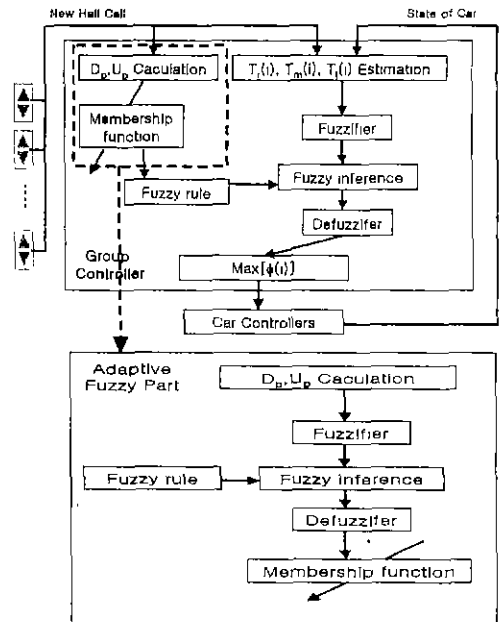


Fig. 3 Block Diagram

#### 5. 결론

본 연구에서 제안된 Adaptive dual 퍼지 알고리즘의 효율성을 검증하기 위하여 엘리베이터 군 제어 시뮬레이터를 개발하여 실험을 수행하였다. Hall Call, Car Call 발생은 기존의 운행방식과의 비교를 위해 동일한 Call의 발생이 필요하므로 약 15 ~ 20 분간의 임의의 발생 데이터를 DB로 저장하여 시뮬레이터가 지정된 시간에 이 데이터에 반응하도록 시뮬레이션을 수행시켰다. Call 발생 데이터는 처음에는 Normal Traffic이 발생하고 점차 Up-peak Traffic이 약 5분간 발생한 후 다시 Normal Traffic이 발생한 후 약 5분간 Down-peak Traffic이 발생하도록 구성하였다. 일반적인 운행 효율의 판단으로 장대기의 발생과 승강장 요구의 평균응답시간이 사용되므로 본 논문에서도 이를 사용하여 각 군 제어방식을 비교한

다 전체적인 결과가 Table. 1에 나타나 있다.

	장대기 발생	최대대기 시간	대기시간 총합	평균대기 시간
대기시간 최소화방식	38회	160초	5952초	37.2초
평균대기시간 최소화방식	40회	150초	5982초	37.3초
장대기시간 최소화방식	34회	142초	6102초	38.1초
Fuzzy	33회	150초	5630초	34.9초
Adaptive Dual Fuzzy	29회	154초	4984초	31.1초

Table. 1 Simulation Result

장 대기 발생(60초로 설정)은 기존의 방법중에는 장대기 시간 최소화방식이 34회로 좋은 결과를 나타냈고 퍼지가 조금 더 향상된 결과를 보였다. 본 연구에서 제안한 Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘 방식은 29회로 가장 좋은 성능을 나타내었는데, 이는 전체적으로 모든 교통 상황에 적절하게 엘리베이터를 할당함으로써 나타난 결과로 판단된다. 약 20분 동안의 승강장 요구중에 가장 오래 기다린 최대대기 시간은 타 방식에 비해 조금 크게 나왔는데, 일반적으로 이런 큰 대기시간이 나오는 이유는 할당할 당시는 가장 적절한 엘리베이터였지만 할당 후에 새로운 Hall Call이나 Car Call의 발생으로 그 승강장까지의 시간의 지연으로 나타나는 결과로서 주로 Up-peak나 Down-peak시에 많이 발생하게 된다. Adaptive Dual Fuzzy 알고리즘도 미래의 불확실한 요구까지 만족시키는 것은 무리가 따른다. 이 최대 대기 시간은 모든 군 제어 알고리즘이 유사한 결과가 나타났다.

평균 대기시간을 살펴보면, Table. 1에 나타나듯이 Adaptive Dual Fuzzy 방식이 31.1초로 월등한 결과를 보인다.

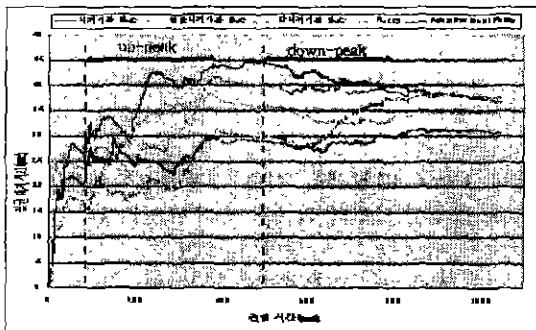


Fig. 4 Mean Response Time on a Hall Call

Fig. 4는 시뮬레이션 시작시부터 평균 대기시간의 추이를 나타내고 있다. Up-peak시는 평균 대기시간 최소화 방식이 좋은 결과를 나타내었지만 Down-peak시에 갑자기 가파르게 증가하는 현상을

보였다. 다른 군 제어 방식들은 Up-peak시에 평균 대기시간이 급속도로 늘어났다 Down-peak시에 어느 정도 안정되어가는 현상을 볼 수 있다. 이에 반해 Adaptive Dual Fuzzy 방식은 전체적으로 평균 대기시간이 안정화 되어 있는 것을 볼 수 있었으며, 이러한 결과는 결론적으로 승객들의 대기 시간을 타 방식들에 비해 Up-peak와 Down-peak시 모두 줄였다는 것을 의미한다.

이상에서 기존의 군 제어 방식들은 특정한 교통 환경시나 정해진 제어 목적을 만족시키는데는 좋은 결과를 낼 수 있었으나 모든 경우를 고려할 때 Adaptive Dual Fuzzy 제어방식이 유연하고 효과적으로 엘리베이터를 할당했다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 기존의 군 제어 방식의 단점인 다양한 제어 목적의 만족과, 변화하는 교통 환경에의 적응에 대한 문제를 극복하고자 Adaptive Dual Fuzzy 제어를 제안하여 시뮬레이션을 수행한 결과 향상된 결과를 나타냄을 볼 수 있었다.

(2) 교통 패턴의 인식에 대한 문제를 승강장 호출과 동시에 분석할 수 있는 새로운 방법을 제시하였고 이를 시뮬레이션에 적용하여 보았다

(3) 실제 엘리베이터와 유사하게 동작하는 시뮬레이터를 개발하였고, 이를 통해 제안한 군 제어기의 성능을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. T.Tobita, A.Fujino, H.Inaba, K.Yoneda, and T.Ueshinma, "Elevator Characterized Group Supervisory System", IECON, pp. 1972-1976, 1991.9.
2. D.L.Pepyne and C.G.Cassandras, "Optimal Dispatching Control For Elevator Systems During Uppeak traffic," Proceedings of the 35th IEEE CDC, Kobe, Japan, 1996.
3. D.L.Pepyne and C.G.Cassandras, "Optimal Dispatching Control For Elevator Systems During Uppeak traffic," to appear IEEE Trans. on Control System Technology, 1998.
4. W.L.Chan and A.T.P. So, "Dynamic Zoning in Elevator Traffic Control," Elevator Technology 6, IAEE, pp.132-140, 1995.
5. W.L.Chan and A.T.P. So, "Comprehensive Dynamic Zoning Algorithms," Elevator World, pp.99-109, September, 1997
6. Y.Umeda, K.Uetani, H.Ujihara, and S.Tsujii, "Fuzzy Theory and Intelligent Options," Elevator World, July, 1989.