

예견퍼지 제어논리를 기반으로 하는 엘리베이터 군제어기의 연구

최 돈, 박희철, 박지현, 우광방
연세대학교 전기공학과

A Study of Predictive Fuzzy Control Logic-based Elevator Group Controller

Don Choi, Ji Hyun Park, Hee Chul Park, Kwang Bang Woo
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract

An elevator group supervisory control logic is investigated to supervise multiple elevators, ensuring their efficient operations. In this paper, a predictive fuzzy control logic of group elevator system is developed for coping with multiple control objects and uncertainty of system state. Simulation of this control logic shows considerable improvements of system performance by the reduction of average waiting time and long wait rate.

I. 서론

빌딩의 규모가 대형화, 고층화되어감에 따라 엘리베이터 시스템의 성능향상 연구가 활발히 추진되고있다. 엘리베이터시스템의 성능향상은 모든 이용자들이 현재층에서 목적층까지 최대한 신속하게 이동할 수 있도록 서비스향상을 목적으로 하며 엘리베이터의 고속화를 위한 기구적 개선과 효율성 높은 운영방안 수립을 위한 제어논리의 개선으로 분류된다. 하나의 층장에 복수개의 엘리베이터가 부속되는 엘리베이터 군시스템에서 군관리 제어기(group supervisory controller)는 각 엘리베이터의 상호협조적인 운행으로 이용자들의 대기시간을 극소화시키도록 설계되어야만 한다. 이를 위하여서는 각 층장에서의 서비스 요구인 Hall Call을 적절한 엘리베이터로 할당하여 주는 군관리 제어방안 수립이 필수적이며 이 제어의 결과가 시스템의 효율 및 성능에 큰 영향을 줄 수 있다. 발생하는 Hall Call에 대하여, 군관리 제어기가 주변상황을 참조하여 최적의 엘리베이터로 서비스를 분배하여 줌에 따라 중복된 서비스나 비효율적인 운행상황의 발생이 방지되어 시스템의 운행능력이 향상된다[1][3].

초기의 엘리베이터 군관리 제어기는 relay sequence를 이용하여 Up/Down-peak, Off-peak등의 시간대에 따른 단순한 패턴에 따라 운행을 결정하였으나 전자관련기술의 발달로 IC, 마이크로프로세서등을 이용한 다양한 논리 및 산술연산이 가능하게 되어 소정의 평가항목을 이용해 서비스 엘리베이터를 결정하도록 발전되어 왔다. 그러나 고정된 평가항목만을 사용하는 종래의 제어방식에서는 상호경합, 상반하는 복수개의 평가항목을 선형적으로 결합할 수 없으며 수시로 변화하는 다양한 교통상황을 포괄적으로 다룰 수 없게되어 효율성이 저하된다.

퍼지제어는 인간의 의사결정 체계에서의 애매성을 자연언어적으로 처리하여, 복수개의 제어규칙으로부터 추론을 통한

제어명령을 결정하는 방식으로 전통적인 정량적 기법이 적한 치 않은 많은 시스템에서 각광을 받고 있다. 현재의 시스템 실입력을 사용하여 시스템의 평가와 제어를 수행하는 퍼지제어[4]와는 달리 예견퍼지 제어는 실시간 시뮬레이션을 통하여 가(假)선택된 제어명령에 대한 제어결과를 예견하고 이를 평가, 퍼지 추론하여 최종 제어명령을 결정한다[5][6]. 본 연구에서는 예견퍼지 제어논리를 사용하여 시스템의 불확실한 상태변화와 애매한 평가구조를 처리함으로써 군관리 제어논리의 개선을 도모하고 시뮬레이션을 통하여 개선된 결과를 보이고자 한다.

II. 엘리베이터 군관리 제어시스템

II-1. 엘리베이터 군관리 제어시스템

엘리베이터 시스템에서 이용자의 요구는 Hall Call과 Car Call로 구성된다. Hall Call은 각 층의 층장에서 이용자가 엘리베이터 사용의사를 등록하는 호출로 상향 Hall Call과 하향 Hall Call의 두종류가 있다. Car Call은 일단 엘리베이터에 승차한 이용자에게 의하여 발생하는 목적층을 포함한 호출이 된다. 엘리베이터 군관리 제어시스템의 일반적인 구성은 그림 1과 같다. Car 제어기는 엘리베이터의 출발, 가속, 정지, 문의 개폐등의 동작들에 대하여 구동부를 제어하며 운행결정에 필요한 각 Car의 상태(위치, 방향, 등록된 Car Call등)를 군관리 제어기로 전달하여 준다. 군관리 제어기는 각 Car 제어기로 부터 얻어진 정보와 층장들로 부터의 Hall Call을 취합하여 발생된 Hall Call에 대한 서비스 엘리베이터를 결정하고 각 Car 제어기로 제어명령을 전달한다.

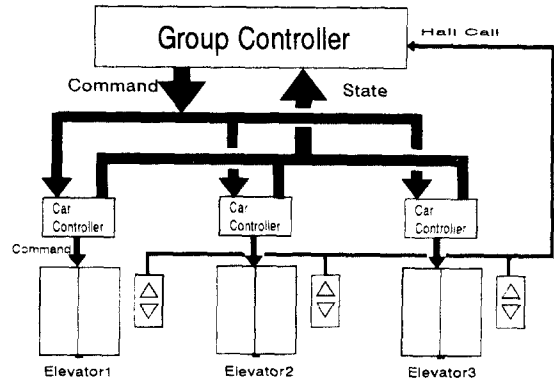


그림 1 일반적인 엘리베이터 군관리 제어시스템의 구성

전체적인 시스템의 효율적인 운영이 이루어지도록 등록된 Hall Call에 대한 서비스 엘리베이터를 결정하기 위하여서는 현재의 각 엘리베이터의 방향, 배치, 할당될 Hall Call의 위치 및 방향, 이전에 할당된 Hall Call들의 분포 및 대기시간, 각 엘리베이터의 Car Call등의 주변상황들의 종합적으로 고려되어야만 한다. 그러나 다음과 같은 문제점들이 서비스 엘리베이터의 선정을 어렵게 한다.

첫째, 지금 등록되어 서비스를 요구하는 Hall Call과 이미 서비스 엘리베이터를 할당받은 Hall Call의 대기시간 사이에 애매한 Trade-off 관계가 존재한다는 것이다. 예로써, 두대의 엘리베이터로 구성된 시스템을 가정하여 보자. 그림 2와 같이 현재 Car의 위치가 1호기는 3층, 2호기는 1층이며, 1호기는 i층에서 발생한 상향 Hall Call을 할당받아 있다고 하자. 이 경우, $3 < j < i$ 인 j층에서 상향 Hall Call이 발생한다면 i층과 j층의 Hall Call 대기시간은 경합관계에 놓이게 된다. i층의 Hall Call을 가능한 신속히 서비스하기 위하여서는 j층의 Hall Call은 2호기로 할당되어야만 한다. 그러나 j층의 Hall Call대기시간은 1호기에 의한 서비스가 이루어질 때 가장 짧게 된다. 이 경우 i층 Hall Call의 대기시간은 j층 서비스 시간만큼 증가하게 된다. i층과 j층의 대기시간은 특정한 우선순위가 없는 만큼 j층 Hall Call을 어느 엘리베이터에 할당하는가를 결정하는 데는 애매한 판단기준이 따르게 된다.

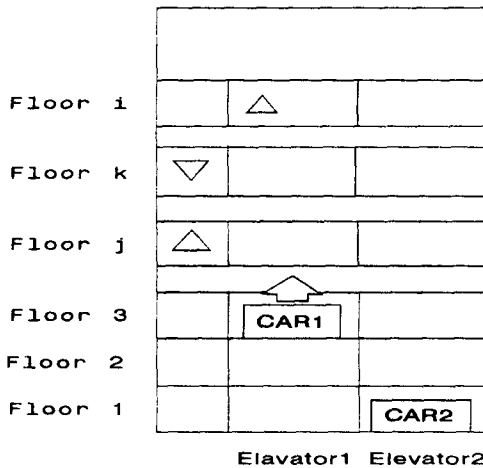


그림 2 엘리베이터 운영의 간단한 예

둘째, 이용자의 운용요구 즉 Hall Call은 서비스 요구층과 방향의 정보만을 제어기에 전달하여 줄 뿐으로 엘리베이터내의 Car Call을 등록하기전까지는 이용자의 목적층을 알 수 없다. 따라서 등록된 Hall Call의 정확한 대기시간 예측이 실제적으로 불가능하여 서비스 엘리베이터의 결정이 어렵게 된다. 예로써 그림 2에서 $3 < k \leq i$ 인 k층에 하향 Hall Call이 발생한 경우, i층의 Hall Call에 의해 파생될 Car Call이 비교적 짧은 주행거리를 갖는다면 1호기가 i층 Hall Call과 그로 인해 파생되는 Car Call을 서비스하고 방향을 전환하여 k층의 Hall Call을 서비스하는 것이 k층 대기시간을 짧게 한다. 반면에 i층에서 발생하는 Car Call에 의한 주행거리가 비교적 길어지면 2호기가 k층 Hall Call을 서비스하는 것이 k층 대기시간을 최소화 하게된다. k층 Hall Call의 서비스 엘리베이터를 결정하는 시점에서는 i층에서 발생하게될 Car Call의 목적층을 알 수 없으므로 제어명령 결정에 불확실성이 포함된다.

위의 단순한 운영예에서 알 수 있듯이 엘리베이터의 운영 성능 향상을 위한 최적서비스 엘리베이터의 선정은 단순히

발생된 Hall Call의 대기시간만으로 결정될 수 없으며 엘리베이터의 배치가 현재 할당된 작업량과 같은 주변상황과 새로운 Hall Call과 이미 등록된 Hall Call의 대기시간을 종합적으로 평가하여 결정되어야 한다. 그러나 이러한 평가는 불확실한 요소위에서 수행되어야만 하고 Trade-off 관계에 있는 여러 평가항목들간의 선택구조에는 애매함이 존재하게 된다. 따라서 예측의 오차와 애매한 평가항목을 갖는 엘리베이터 군관리 시스템에서는 단일한 평가항목을 고정적으로 평가하는 기존의 군관리 제어방식보다는 시스템의 상태와 제어의 결과를 예견하고 퍼지추론을 통하여 선택의 애매성을 해결하는 예견퍼지 제어방식이 효과적이다.

II-2. 기존의 군관리 제어방식

기존의 엘리베이터 군관리 제어방식은 대기시간 최소 할당방식, 장대기시간 최소할당방식, 평균대기시간 최소할당방식등이 있다. 이 제어방식들은 모두 각각의 장단점을 가지고 있으며 이들 방식의 제어목적에 대한 평가항목들은 상반, 결합하는 관계를 가지므로 이들 평가함수를 선행적 결합으로 표현하기는 어렵다. 따라서 기존의 군관리 제어 시스템의 대부분은 이들 방식중 하나를 선택하여 사용하여 왔다. 각 제어방식들의 특성은 다음과 같다.

(1) 대기시간 최소할당방식

이 방식은 새로운 Hall Call이 등록되면 현재의 상태에서 그 Hall Call이 서비스될 때까지의 대기시간을 예측하여 예측대기시간이 가장 짧은 엘리베이터에게 Hall Call을 할당한다. 대기시간 최소화 평가함수 ϕ_{1n} 는 아래와 같다.

$$\phi_{1n} = \frac{F \cdot x}{v} + \left(\sum_m S_{nm} T \right) T_s \quad (1)$$

여기서, F는 현재층에서 새로운 Hall Call까지의 주행층수이며 x는 빌딩의 층간거리, v는 엘리베이터의 속도이다. m은 현재층에서 새로운 Hall Call까지의 층수이며, $S_{nm} T$ 는 T시점에서의 n호기의 상태인수로서 m층에 할당된 Hall Call이나 Car Call이 있다면 $S_{nm} T = 1$ 이고 그렇지 않다면 $S_{nm} T = 0$ 이다. T_s 는 엘리베이터가 하나의 Hall Call 혹은 Car Call을 서비스하기 위하여 한번 정지할때의 평균지연시간이다.

식(1)에서 얻은 평가함수치 ϕ_{1n} 이 최소인 n호기에 새로운 Hall Call을 할당한다.

$$U = \min_n (\phi_{1n}) \quad (2)$$

대기시간 최소 할당방식은 그 특성상 즉각적인 빠른 응답시간을 갖도록 요구되지만 그로인해 Hall Call 할당이 누락되어 장대기가 발생하기 쉽다.

(2) 평균 대기시간 최소할당방식

이 할당방식은 새로운 Hall Call을 가할당하여 이전에 예약된 모든 Hall Call의 증가 대기시간이 최소인 엘리베이터에게 할당한다. 평균대기시간 최소화 평가함수 ϕ_{2n} 은 아래와 같다.

$$\phi_{2n} = \sum_k (\tilde{T}_{nk} - T_{nk}) / A \quad (3)$$

여기서 k는 n호기에 할당된 모든 Hall Call들의 층수이며 T_{nk} 는 새로운 Hall Call을 n호기에 할당하기 이전의 k층 Hall Call의 대기시간 예측치, \tilde{T}_{nk} 는 새로운 Hall Call을 n

호기에 할당된 경우의 k층 Hall Call의 대기시간 예측치이다. A는 현재층과 새로운 Hall Call층간에 등록된 Hall Call의 총갯수이다. T_{nk} , \hat{T}_{nk} 는 아래의 식들에서 구할 수 있다.

$$T_{nk} = W_k T + \frac{(k-P_n T)x}{v} + (\sum S_{nm} T) T_s \quad (4)$$

$$\hat{T}_{nk} = W_k T + \frac{(k-P_n T)x}{v} + (\sum Q_{nm} T) T_s \quad (5)$$

$$Q_{nm} T = S_{nm} T \vee H_m T \quad (6)$$

$W_k T$ 는 k Hall Call의 발생시각부터 T시점까지의 대기시간이다. $H_m T$ 는 T시점에서 발생한 Hall Call이 발생인수로서 새로운 Hall Call이 m층이면 1, m층이 아니면 0이다. 식 (3)에서 얻은 평가함수치 ϕ_{2n} 가 최소인 n 엘리베이터에 새로운 Hall Call을 할당한다.

$$U = \min_n (\phi_{2n}) \quad (7)$$

평균 대기시간 최소 할당방식은 각 엘리베이터에 Hall Call들에 대한 대기시간을 균등히 배분할 수 있다는 장점이 있지만 빠른 응답시간을 갖기 어렵고 장대기가 발생할 여지가 있다.

(3) 장대기시간 최소할당방식

이 할당방식은 새로운 Hall Call을 가할당하여 이미 예약된 Hall Call의 장대기가 가장 적은 엘리베이터에게 Hall Call을 할당한다. 장대기시간 최소화 평가함수 ϕ_{3n} 은 아래와 같다.

$$\phi_{3n} = \max (T_{nk}) \quad (8)$$

$$U = \min_n (\phi_{3n}) \quad (9)$$

식 (8)은 Hall Call을 n엘리베이터에 할당할 경우 장대기 시간 연산을 나타내며 식(9)는 장대기를 최소화할 수 있는 엘리베이터에 Hall Call을 할당함을 의미한다.

장대기시간 최소 할당방식은 장대기의 발생을 최소화할 수는 있지만 빠른 응답시간을 갖기는 어렵다.

II. 예견퍼지를 이용한 엘리베이터의 군관리 제어논리

II-1. 예견퍼지제어

현재 상태의 Car Call과 Hall Call만을 고려하는 제어방식은 예약된 Hall Call에 의해 파생되는 Car Call로 인하여 예측대기시간과 실제 서비스시간과의 오차가 크게 발생한다. 이 예측오차를 줄이기 위하여 본 연구에서는 예약된 Hall Call에 의해 파생될 Car Call을 고려하여 각층의 정지 확률과 평균전환층을 계산하여 대기시간을 연산한다. 또한 고정된 평가함수만을 이용하여 할당 엘리베이터를 선정하는 방식에서 빌딩내의 다양한 교통상황을 포괄적으로 처리하지 못한다는 문제점을 Fuzzy 이론을 이용하여, 다수의 평가항목을 정성적으로 처리함으로써 해결하였다.

예견퍼지 제어방식은 승려자의 운전을 1)대상 시스템 본래의 복수개 제어목적들을 퍼지추론을 통하여 평가하는 퍼지이론과, 2)제어결과를 실시간에 예견예측하는 실시간 시뮬레이션 기술을 유기적으로 결합하는 지능형 제어방식이다. 이 제어방식의 구조는, 시스템 상태치의 관측치를 기본으로 하

여 제어지령의 모든 후보치에 대해서 제어결과의 시뮬레이션을 수행함으로써, 제어목적으로서 관심이 높은 피평가량을 예측하고, 이에 의거하여 퍼지합수에 의한 다목적 평가를 하고, 그 평가치와 제어지식을 퍼지추론으로 처리하여 최적의 제어지령을 결정하도록 한다.

(1) 제어법칙의 정식화

예견퍼지 제어규칙을 일반적으로 나타내면,

$$\text{RULE } j: \text{ If } (u \text{ is } C_i \rightarrow x \text{ is } A_j \text{ and } y \text{ is } B_j) \quad (10) \\ \text{then } u \text{ is } C_i \quad (\text{for } i=1, \dots, n)$$

로 된다. $C_i(i=1, \dots, n)$ 는 현시점에서 가능한 모든 제어명령이 되고, 현시점에서 제어지령을 C_i 로 가(假)선택하여 관측된 x, y의 값이 제어목적에 대해 예견한 평가치표인 것이다. 따라서 실제입력으로서 대상 시스템에 대한 평가지표의 상태를 평가하여 적용가능한 제어규칙을 이용하여 퍼지추론을 행함으로써 출력을 계산하는 Mamdani등이 이용한 퍼지제어와는 다르다.

식(10)을 자연언어에 의한 규칙으로 고쳐 쓰면, "이 시점에서 제어규칙 R_j 를 선택하고 제어지령 u를 C_i 로 하는 경우, 평가지표 x가 A_j 이고, 평가지표 y가 B_j 라면 제어지령으로서 C_i 가 적당하다"라고 할 수 있다. 이러한 방식으로 각 제어규칙이 평가되고, 최적의 제어규칙이 선택된다.

(2) 제어지령 결정방법

여기서 제어를 결정하고 있는 시각을 t로 하고, 제어규칙 R_j 에 대해서 고려해 본다. 이 시각 t에 대해서 제어지령 'u is C_i '를 실행하는 경우에 피평가량의 x, y의 퍼지집합이 어떻게 결정될 것인가를 대상 시스템의 부분적지식에 기본을 두고 예측하여 그 제어결과로서 퍼지집합 $x(C_i:t)$, $y(C_i:t)$ 가 구해졌다고 한다. 시각 t에서의 제어규칙의 전제부 $P_{j|t}$ 는,

$$P_{j|t} = A_j \cap x(C_i:t) \times B_j \cap y(C_i:t) \quad (11)$$

에 의해 구해진다. 이 시각 t에서의 각 제어규칙 Rule j의 멤버십 함수의 최대치로부터 제어지령 C_i 의 만족도를 구할 수 있다.

이와 같이 해서 구한 각 제어지령의 만족도로부터 현재 시각 t에서 최적의 제어지령 C_0 를 구한다. 이 출력 제어지령 C_0 의 산출에 있어서는 가장 만족도가 높은 제어규칙 R_j 의 제어지령 C_i 를 그대로 이용하는 방법과 각 제어지령의 중심을 이용하는 방법등이 있고 적용대상에 대해 적절한 방법을 이용한다.

II-2. 예견 퍼지를 이용한 엘리베이터의 군관리 제어논리

엘리베이터 군관리 제어에서 제어대상은 각 엘리베이터이며 상태 측정치는 새로운 Hall Call, 각 엘리베이터의 Car Call, Car 위치, 이미 할당된 Hall Call등이다. 예측연산에서는 상태 측정치로부터 예약된 Hall Call에 의해 변화될 상태를 예측하여 엘리베이터에 대한 피평가량(본인대기시간, 타인대기시간)을 연산한다. 본인대기시간은 현재 발생한 Hall Call이 서비스되기까지의 예측시간이며 타인대기시간은 새로운 Hall Call이 발생한 경우 Hall Call 발생층 이후의 경로상에 있는, 이전에 할당된 Hall Call층에서 가장 긴 대기시간을 나타낸다. Fuzzy 목적평가에서는 예측연산된 피평가량을 제어지식에 기초하여 정량화한 membership 함수의 membership grade로 변환한다. Fuzzy 추론부는 각 평가치를 제어규칙에 입각하여 최대법으로 추론하여 최적의 엘리베이터를 지정하여 새로운 Hall Call을 최적 엘리베이터에게 할당한다.

새로운 Hall Call이 발생하면 현재의 상태에서 할당되어 있는 Hall Call에 의해 발생하게 될 Car Call도 예측 연산에 고려되어진다. 그러므로 새로운 Hall Call이 발생하면 이로 인하여 파생될 Car Call의 확률, 각 층의 정지 확률, 평균 전환층을 계산하여 본인 대기시간 T_0 , 타인 대기시간 T_1 을 구한다.

새로운 Hall Call이 발생하였을 때, 이 Hall Call이 서비스 받기위한 각 엘리베이터의 위치와 방향에 따른 상태는 다음과 같이 크게 4가지 경우가 있다. 1)엘리베이터가 지정된 방향이 없이 정지하고 있는 경우, 2)이동하는 방향은 있으나 전환층이 없는 경우, 3)전환층이 한번 필요한 경우, 4)전환층이 2번 필요한 경우이다.

(1) 본인대기시간 예측연산

본인대기시간 T_0 는 새로운 Hall Call이 발생하여 서비스되기 까지의 예측시간이며 이는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_0 = F \cdot T_d + \left(\sum_k S_k \right) T_s \quad (12)$$

여기서 F는 현재층에서 새로운 Hall Call까지의 주행층수이며 T_d 는 층간 평균주행시간, 즉 1층을 주행하는데 소요되는 평균시간이며 T_s 는 1개층 정지에 대한 평균 지연시간이다.

정지 확률 S_k 는 k층에서 엘리베이터가 정지할 확률로서 기존의 방식과는 달리 0에서 1사이의 실수값이다. Car Call 또는 예약된 Hall Call이 있는 k층은 $S_k = 1$ 이다. 기타층의 정지확률 S_k 를 구하기 위하여 우선 Hall Call에 의한 탑승인이 한 사람인 경우에 각층의 Car Call 발생확률 P_k 를 구한다. P_k 는 시간대, 요일 별등으로 학습하여 결정할 수도 있고 경험에 의해 정의할 수도 있다. 각층의 인구와 Car Call의 발생빈도가 비례한다고 하면 N층의 빌딩에서 1층의 Hall Call에 의한 P_{1k} 는 다음과 같다.

$$D = \sum_{k=2}^N D_k \quad (13)$$

여기서 D : 기준층 위의 총인구
 D_k : k층의 인구

$$P_{1k} = \frac{D_k}{D} \quad (14)$$

$$\sum_{k=2}^N P_{1k} = 1 \quad (15)$$

빌딩의 인구 분포가 일정하다면

$$P_{1k} = \frac{1}{N-1} \quad (16)$$

따라서 i층의 예약 Hall Call에 의한 k층의 정지 확률 Q_{ik} 는

$$Q_{ik} = 1 - (1 - P_{1k})^M \quad (17)$$

M : 승차인원수

이다. 이 식은 예약된 한 Hall Call 층의 승차인원이 M인 경우의 정지확률이다.

예약된 모든 Hall Call에 의한 각층의 정지 확률 Q_k 는 식 (17)을 이용하여 모든 Hall Call에 대하여 Q_{ik} 를 구한 후 같은 층의 확률을 합한다.

$$Q_k = \begin{cases} 1 & (\text{if } \sum_i Q_{ik} > 1) \\ \sum_i Q_{ik} & (\text{if } \sum_i Q_{ik} \leq 1) \end{cases} \quad (18)$$

Hall Call의 상태 factor를 H_k , Car Call 상태의 factor를 C_k 로 나타내면 k층에 Car Call이 있으면 $C_k = 1$, Hall Call이 있으면 $H_k = 1$ 이 된다. 그러므로 각층의 정지 확률 S_k 는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_k = \max(H_k, C_k, Q_k) \quad (19)$$

이제 주행층수 F를 구하면 식(12)에 의해 본인 대기시간 T_0 를 구할 수 있다. 주행층수 F는 현재층에서 새로운 Hall Call 층까지의 이동층수 이므로 전환층이 없는 경우는 간단히 새로운 Hall Call층과 현재층의 차의 절대치이다. 그러나 현재층과 새로운 Hall Call층까지의 경로 사이에 엘리베이터의 방향전환이 있어야만 하는 경우에는 전환층을 알아야만 F를 구할 수 있다. 전환층이 있는 경우에 예약된 Hall Call이 없으면 간단히 Car Call의 최고층과 새로운 Hall Call층 중 상위층이 상전환층, Car Call의 최하층과 새로운 Hall Call층 중 하위층이 하전환층이 된다. 그러나 예약 Hall Call이 있는 경우에는 이 Hall Call에 의해 발생될 Car Call에 의해 전환층이 바뀌게 된다. 따라서 이 경우에는 평균전환층을 구하여야 한다. 평균전환층을 구하기 위하여 승차인원이 1명인 경우의 k층의 정지 확률 P_k 를 구한후 예약된 Hall Call 윗층 (a+1)에서 최고층까지의 전환층 확률 R_k 를 아래와 같이 구한다.

$$\begin{aligned} R_N &= 1 - (1 - P_N)^M \\ R_{N-1} &= (1 - P_N)^M - (1 - P_N - P_{N-1})^M \\ R_{N-2} &= (1 - P_N - P_{N-1})^M - (1 - P_N - P_{N-1} - P_{N-2})^M \\ &\vdots \\ R_{a+1} &= (1 - P_N - P_{N-1} - \dots - P_{a+2})^M - (1 - \dots - P_{a+1})^M \\ &= P_{a+1}^M \end{aligned} \quad (20)$$

윗식에서 R_{N-1} , 즉 N-1층에서 전환될 확률에서 $(1 - P_N)^M$ 은 N층에는 정지하지 않고 1 ... N-1층에 정지할 확률이며 $(1 - P_N - P_{N-1})^M$ 은 N, N-1층에는 정지하지 않고 1 ... N-2층에 정지할 확률이다.

만약에 예약 Hall Call의 상층에 있는 Car Call의 최고층 t가 상전환층이 된다면 그확률은

$$R_t = \sum_{a+1}^t R_k \quad (a+1 < t < N) \quad (21)$$

이다. 따라서 평균 전환층 R은

$$R = \sum R_k \cdot K \quad (22)$$

이다. 그러므로 전환층이 있는 경우의 주행층수 F는 현재층에서 전환층 R까지의 층수에 R층에서 새로운 Hall Call층까지의 층수를 더한 값이된다. 이제 전환층이 있는 경우의 본인 대기시간 T_0 를 식(12)에서 구할 수 있다. 이 경우에 정지 확률 S_k 의 합 $\sum S_k$ 는 전환층까지가 아니며 최고층 즉 N층까지 그리고 최고층에서 새로운 Hall Call층까지의 정지확률의 합이다.

(2) 타인 대기시간 T_1 의 예측연산

타인 대기시간 T_1 은 새로운 Hall Call이 발생한 경우 새로운 Hall Call층 이후의 경로에 이전에 할당된 Hall Call 층에서 가장 긴 대기시간을 나타내며 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_1 = \max [W_m + F_m T_d + \left(\sum_k S_k \right) T_s] \quad (23)$$

윗식에서 W_m 은 예약된 m층 Hall Call의 경과시간이며 F_m 은

새로운 Hall Call의 가할당을 포함한 m층 Hall Call까지의 주행층수이다. m Hall Call까지의 주행경로내에 전환층이 있는 경우에서 식(22)을 이용하여 전환층을 구하여 F_m 을 얻는다. 새로운 Hall Call의 가할당을 포함하여 모든 Hall Call에 의한 각층의 정지확률 Q_k 를 식(18)에 의해 같은 방법으로 구한후 m층 Hall Call까지의 정지확률 S_k 를 식(19)에 의해 구한다. 만약 예약된 Hall Call이 없으면 $T_1 = 0$ 이 된다.

(3) Fuzzy 목적평가및 추론

Fuzzy 목적평가부에서는 예측연산부에서 계산된 피평가량을 정성적으로 표현하기위한 언어적 변수와 이 언어적 변수의 membership 함수를 이용하여 평가치를 구한다. Fuzzy 추론부에서는 목적평가부에서 구한 각 엘리베이터의 평가치 즉 적합도 중 최고의 적합도를 가지는 엘리베이터를 결정하여 제어지령을 내린다. 목적평가를 위하여 제어규칙이 필요하며 제어규칙은 전문가의 지식에 기반을 두고 그 목적에 따라 다양하게 변화될 수 있다. 본 연구에서 새로운 Hall Call 할당을 위한 제어규칙은 아래와 같다.

규칙 1) n호기에 할당하여 T_0 가 매우 짧고 T_1 이 이에 대해 비교적 길지 않으면, n호기에 할당한다.

규칙 2) n호기에 할당하여 T_1 이 짧고 T_0 가 이에 대해 비교적 짧으면, n호기에 할당한다.

본인 대기시간 T_0 에 대한 언어적 변수를 VSH(Very Short), RSH(Relatively Short) 두가지로 하고 타인 대기시간 T_1 에 대한 언어적 변수도 SHT(Short), RNL(Relatively Not long) 두가지로 잡는다. 여기서 RSH, RNL은 각각 SHT 와 VSH에 대한 상관 함수로 나타낸다. 위의 규칙을 예견 Fuzzy 제어규칙으로 나타내면 아래와 같다.

(R_{1n}) IF (U is n -> T_0 is VSH and T_1 is RNL)
THEN (U is n)

(R_{2n}) IF (U is n -> T_1 is SHT and T_1 is RSH)
THEN (U is n)

위의 언어적 변수를 나타내기 위하여 함수 $A(\cdot)$ 를 아래와 같이 정의한다.

$$A(t, a, \beta) = \begin{cases} 1 & (t \leq a) \\ \beta / (t - a + \beta) & (t > a) \end{cases} \quad (24)$$

위의 4개의 언어적 변수에 대한 각각의 membership 함수를 아래와 같이 정의하였다.

$$\mu_{VSH}(T_0) = A(T_0, 5, 5) \quad (25)$$

$$\mu_{SHT}(T_1) = A(T_1, 15, 10) \quad (26)$$

$$\mu_{RNL}(T_1, \mu_{VSH}(T_0)) = A(T_1, 50, 5) \times \mu_{VSH}(T_0) \quad (27)$$

$$\mu_{RSH}(T_0, \mu_{SHT}(T_1)) = A(T_0, 10, 20) \times \mu_{SHT}(T_1) \quad (28)$$

T_0, T_1 이 각각 t_0, t_1 인 경우의 규칙i에 대한 n호기의 만족도 W_{1n} 은 다음과 같다.

$$W_{1n} = \min(\mu_{VSH}(T_0), \mu_{RNL}(T_1, \mu_{VSH}(T_0))) \quad (29)$$

$$W_{2n} = \min(\mu_{SHT}(T_1), \mu_{RSH}(T_0, \mu_{SHT}(T_1))) \quad (30)$$

n호기의 적합도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_n = \max(W_{1n}, W_{2n}) \quad (31)$$

n대의 엘리베이터에 대하여 W_n 을 구한후 최고치를 가지는 호기에 제어지령을 내린다. 제어지령 U는 다음과 같다.

$$U = \max_n(W_n) \quad (32)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

IV-1. 군관리 제어의 그래픽 시뮬레이션 및 결과

본 연구에서 제안된 예견퍼지형 군관리 제어논리의 동작과 성능평가를 위하여 그래픽 시뮬레이터를 IBM PC 계열 컴퓨터에서 구현하였다. 그림 3은 시뮬레이터의 동작화면이다. 시뮬레이터의 화면에서 좌측 화면은 엘리베이터의 운행 상태를 나타내주고 우측 상변의 윈도우는 각 엘리베이터의 현재위치, 방향, 예약된 Hall Call, Car Call을 나타내며 우측 하변의 윈도우는 현재 등록된 Hall Call과 최근에 서비스된 Hall Call중 10개에 대한 정보로 서비스 엘리베이터, Hall Call층, 방향, 예측대기시간, 서비스시간을 나타낸다. 이 시뮬레이터상에서 엘리베이터의 수는 1~8 대까지 층수는 10~30층까지 임의로 설정할 수 있다. Hall Call의 발생은 지정된 자료화일을 시간에 따라 읽어들이도록 하였다. Car Call의 등록은 Hall Call이 서비스되는 시점에서 랜덤하게 발생한다.

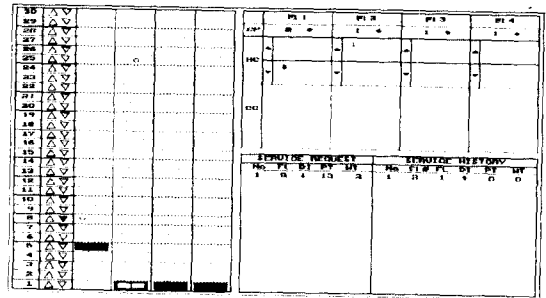


그림 3 그래픽 시뮬레이터 화면

본 연구에서는 예견퍼지 제어논리를 이용한 엘리베이터 군관리 제어시스템의 할당 알고리즘의 성능평가를 위하여, 가장 일반적으로 사용되는 대기시간 최소화할당방식과 그래픽 시뮬레이터상에서 비교하였다. 비교대상인 대기시간 최소화할당방식에서도 예측오차를 최소화하기 위한 예측연산을 포함시켰으며, 성능평가 시뮬레이션에서 엘리베이터 대수는 4대이고 주행속도는 120m/min이며 빌딩의 높이는 30층, 층간거리는 3m로 설정하였다.

Hall Call 입력은 무작위로 작성된 자료화일을 두 제어방식에 동일하게 적용시켜 50개의 Hall Call이 3분5초 사이에 발생토록 하였으며, 공정한 평가를 위하여 각각 3회씩 시뮬레이션을 수행하여 성능평가를 행하였다.

대기시간 최소화할당방식과 예견퍼지 할당방식에 대한 시뮬레이션 결과로 50개의 입력 Hall Call에 대한 서비스 시간인 표 1에 나타나있다.

IV-2. 결과고찰

표 2는 제어방식에 따른 이용자의 대기시간에 따른 분포를 나타낸 것이다. 표 2에서 알 수 있듯이 교통량이 적은 경우 대기시간 최소화방식은 10초이내의 짧은 대기시간을 갖는 이용자의 발생빈도가 매우 높았으나 Hall Call의 누적으로 대기시간이 60초 이상인 장대기 발생이 많았다. 예견퍼지 제어방식에서는 10초 이내의 대기시간을 갖는 이용자는 대기시간 최소화방식에 비하여 적었으나 교통량의 분산으로 고른 서비스가 이루어져 장대기가 거의 발생하지 않았다.

이용자들의 평균대기시간과 장대기 발생횟수가 표 3에 나타나 있다. 이용자당 평균대기시간 평균대기시간은 대기시간 최소화방식의 경우 26.18초, 예견퍼지 제어방식의 경우 각각 24.93초로 4.78%의 서비스 효율향상 효과를 나타내었다. 장대기발생에 있어서 대기시간 최소화방식의 경우 총 18회, 예

견퍼지 제어방식의 경우 총 6회로 66.7%의 효율향상 효과를 나타내었다.

표 1 Hall Call의 서비스 시간

| 각 Hall Call의 대기시간 (단위 : 초) | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----------|----|----|
| 대기시간 최소할당방식 | | | 예견퍼지 할당방식 | | |
| 1회 | 2회 | 3회 | 1회 | 2회 | 3회 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 6 |
| 4 | 4 | 3 | 5 | 5 | 7 |
| 4 | 4 | 4 | 7 | 7 | 7 |
| 5 | 4 | 4 | 8 | 8 | 8 |
| 5 | 5 | 5 | 8 | 7 | 8 |
| 5 | 5 | 5 | 8 | 8 | 9 |
| 6 | 6 | 5 | 8 | 9 | 10 |
| 6 | 6 | 6 | 8 | 11 | 11 |
| 7 | 7 | 7 | 9 | 12 | 11 |
| 7 | 7 | 7 | 13 | 12 | 12 |
| 7 | 8 | 7 | 13 | 13 | 13 |
| 8 | 8 | 7 | 14 | 13 | 14 |
| 8 | 8 | 8 | 15 | 17 | 17 |
| 8 | 9 | 9 | 15 | 17 | 17 |
| 9 | 9 | 9 | 16 | 18 | 18 |
| 11 | 10 | 10 | 20 | 18 | 18 |
| 11 | 12 | 10 | 21 | 18 | 20 |
| 16 | 12 | 11 | 21 | 19 | 21 |
| 18 | 13 | 16 | 22 | 20 | 23 |
| 18 | 16 | 16 | 23 | 21 | 23 |
| 19 | 18 | 18 | 23 | 22 | 24 |
| 20 | 19 | 19 | 23 | 23 | 24 |
| 22 | 20 | 20 | 24 | 24 | 24 |
| 23 | 21 | 22 | 26 | 24 | 28 |
| 29 | 30 | 22 | 27 | 24 | 29 |
| 31 | 31 | 22 | 29 | 28 | 29 |
| 34 | 34 | 22 | 30 | 30 | 30 |
| 34 | 34 | 26 | 35 | 32 | 32 |
| 34 | 35 | 29 | 35 | 33 | 33 |
| 35 | 36 | 31 | 36 | 33 | 34 |
| 40 | 36 | 34 | 37 | 34 | 38 |
| 43 | 40 | 34 | 38 | 38 | 38 |
| 50 | 41 | 35 | 38 | 38 | 39 |
| 52 | 43 | 37 | 43 | 38 | 39 |
| 52 | 43 | 42 | 44 | 39 | 39 |
| 59 | 43 | 43 | 44 | 42 | 42 |
| 60 | 52 | 43 | 45 | 46 | 46 |
| 72 | 53 | 49 | 45 | 46 | 46 |
| 74 | 61 | 52 | 51 | 51 | 51 |
| 77 | 66 | 57 | 52 | 52 | 52 |
| 84 | 72 | 60 | 53 | 52 | 52 |
| 92 | 93 | 72 | 58 | 52 | 56 |
| 96 | 97 | 85 | 68 | 70 | 75 |
| 131 | 129 | 130 | 71 | 83 | 88 |

표 2 Hall Call의 대기시간 분포

| 대기시간 (초) | 서비스된 이용자수 (명) | | | | | | | |
|----------|---------------|----|----|----|-----------|----|----|----|
| | 대기시간 최소할당방식 | | | | 예견퍼지 할당방식 | | | |
| | 1회 | 2회 | 3회 | 계 | 1회 | 2회 | 3회 | 계 |
| 0 - 9 | 21 | 21 | 21 | 62 | 15 | 13 | 12 | 40 |
| 10 - 19 | 6 | 7 | 7 | 20 | 6 | 11 | 10 | 28 |
| 20 - 29 | 4 | 2 | 7 | 13 | 11 | 8 | 10 | 29 |
| 30 - 39 | 5 | 7 | 5 | 17 | 7 | 9 | 9 | 25 |
| 40 - 49 | 2 | 5 | 4 | 11 | 5 | 3 | 3 | 11 |
| 50 - 59 | 4 | 2 | 2 | 8 | 4 | 4 | 4 | 12 |
| 60 - 69 | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 70 - 79 | 3 | 1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 80 - 89 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| 90 - 99 | 2 | 2 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 -109 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 110 -119 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 120 -129 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 130 -139 | 1 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |

표 3 평균대기시간과 장대기발생 횟수

| | 대기시간최소 할당 방식 | 예견 퍼지 제어 방식 |
|--------|--------------|-------------|
| 평균대기시간 | 26.18 Sec. | 24.93 Sec. |
| 장대기 발생 | 18 회 | 6 회 |

V. 결론

본 연구에서는 합리적이고 효율적인 엘리베이터 군시스템의 지능형 제어기 설계를 목적으로 전문가의 경험적 지식과 퍼지 추론을 유기적으로 결합한 예견 퍼지 제어논리가 개발되고 평가되었다. 개발된 예견퍼지 제어논리는 시스템의 상태예측연산, 가선택된 제어결과를 연산하는 실시간 시뮬레이션 그리고 이에따라 최적의 제어결과를 설정하는 퍼지추론이 포함된다.

개발된 제어논리의 성능평가를 위하여 시스템 동작을 모사하는 그래픽 시뮬레이터가 개발되었고, 이를 통한 기존의 제어방식(대기시간 최소할당 방식)과 예견퍼지 제어방식의 성능비교가 이루어졌다. 그 결과로, 예견퍼지 제어방식은 짧은 서비스 시간이 많이 발생하는 것은 물론 장대기가 거의 발생하지 않아 대기시간 최소방식에 비하여 균형잡힌 서비스 능력을 나타내었다.

참고문헌

- Ganthan K. H. Pang and Biswajit Nandy, "Intelligent Scheduling of a Group Elevators", PROC. IEEE Int. Symp. Intelligent Control, pp. 144-149, 1989.
- T.Tobita, A.Fujino, H.Inaba, K.Yoneda, and T.Ueshinma, "An Elevator Characterized Group Supervisory System", IECON '91, pp.1972-1976, 1991.9..
- Hitoshi Aoki and Kenji Sasaki, "Group Supervisory Control System Assisted by Artificial Intelligence", Elevator World, 1990.2.
- Mandani, E.H., "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant", Proc. of IEEE 121-122, pp.1585-1588, 1974.
- S. Yasunobu and T. Hasegawa "Automatic Train Operation System by Predictive Fuzzy Control", System Control, 28, 10, pp.605-613, 1984
- S. Yasunobu and T. Hasegawa, "Evaluation of An Automatic Container Crane Operation System based on Predictive Fuzzy Control", Control Theory Adv. Tech., vol.2, no.3, pp.419-432, 1986