

엘리베이터 군관리 시스템을 위한 예견퍼지 제어 알고리즘에 관한 연구

論文
43~4~13

A Study on Predictive Fuzzy Control Algorithm for Elevator Group Supervisory System

崔 燉*·朴 熙 哲*·禹 廣 芳**

(Don Choi·Hee-Chul Park·Kang-Bang Woo)

Abstract—In this study, a predictive fuzzy control algorithm to supervise the elevator system with plural cars is developed and its performance is evaluated. The proposed algorithm is based on fuzzy inference system to cope with multiple control objects and uncertainty of system state. The control objects are represented as linguistic predictive fuzzy rules and simplified reasoning method is utilized as a fuzzy inference method. Real-time simulation is performed with respect to all possible modes of control, and the resultant controls are predicted. The predicted results are then utilized as the control inputs of the fuzzy rules. The feasibility of the proposed control algorithm is evaluated by graphic simulator on computer. Finally, the results of graphic simulation is compared with those of a conventional group control algorithm.

Key Words : Predictive Fuzzy Control, Elevator Group Supervisory System, Group Control, Simplified Reasoning Method, Real-time Simulation, Multi-Object Control

1. 서 론

대형, 고층화되어가는 건물에서의 엘리베이터 시스템 성능향상을 위한 노력은 엘리베이터의 고속화를 위한 기구적 개선과 효율성 높은 운영 방안 수립을 위한 제어논리의 개선으로 분류되며, 이는 모든 이용자들이 현재층에서 목적층까지 최대한 신속하게 이동할 수 있도록 서비스 개선을 목적으로 한다.

하나의 승장에 복수개의 엘리베이터가 부속되는 엘리베이터 군관리 시스템(elevator group supervisory system)[1]에서 제어기(group controller)는 효율적 운영방안을 바탕으로 엘리베이터들간의 상호협조적 행동을 통하여 이용자들의 대기시간과 장대기발생을 극소화시키는 작업을

담당한다. 이를 위하여서는 각 승장에서의 서비스 요구인 승장호출(hall call)을 적절한 엘리베이터로 할당하여 주는 제어방안 수립이 필수적이며, 이 제어의 결과가 시스템의 효율 및 성능에 큰 영향을 준다[2][3]. 따라서, 제어기는 증복된 서비스나 비효율적인 운행상황의 발생이 방지되도록 주변상황을 참조하여 등록된 승장호출을 서비스할 엘리베이터를 설정하여야 한다.

초기의 엘리베이터 제어기는 up-peak, down-peak, off-peak 등의 시간대에 따른 단순한 패턴에 따라 행동을 결정하였다. 그러나 집적회로, 마이크로프로세서등의 전자관련기술의 발달로 제어기내에서 다양한 논리 및 산술연산이 가능하게 됨에 따라, 등록된 승장호출의 서비스 엘리베이터 결정에 주변상황을 고려하여 산출된 평가항목을 이용하도록 제어기법은 발전되어왔다. 그러나 고정된 평가항목만을 사용하는 종래의 제어방식에는 상호경합, 상반하는 복수개의 제어목적을 종합적으로 평가할 수 없으며 수시로 변화하는 다양한 교통상황을 포괄적으로 다

*正 會 員 : 延世大 大 學 院 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

**正 會 員 : 延世大 工 大 電 氣 工 學 科 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1993年 8月 15日

1 次 修 正 : 1994年 2月 15日

를 수 없으므로 고도의 효율성을 보장할 수 없게 된다.

퍼지제어는 인간의 의사결정 체제에서의 애매성을 자연언어적으로 처리하여, 복수개의 제어규칙으로부터 추론을 통한 제어명령을 결정하는 방식으로 전통적인 정량적 기법이 적합치않은 많은 시스템에서 각광을 받고 있다. 예컨대 퍼지 제어는, 현재 시스템의 측정가능한 값들을 퍼지규칙의 제어입력으로 사용하는 일반적인 퍼지제어 [4]와는 달리, 가능한 모든 제어명령에 대한 제어결과를 실시간내에 예견하고 예견된 제어결과 중 필요한 피평가량을 퍼지규칙을 통하여 평가, 추론하여 최종 제어명령을 선택한다[5][6].

본 논문에서는 예견퍼지 제어방식을 사용하여 시스템의 불확실한 상태변화와 애매한 선택구조에 대처할 수 있는 군제어 알고리즘을 개발하고, 시뮬레이션을 통하여 개선된결과를 보이고자 한다. 본 논문에서 군제어의 목적은 이용자의 대기시간과 60초이상의 대기시간을 갖는 장대기의 발생을 최소화하여 엘리베이터 시스템의 효율을 극대화하는 것이다. 제안된 엘리베이터 군제어 알고리즘은 컴퓨터상에서 그래픽 시뮬레이션을 통하여 타당성이 검증되었고, 결과로 얻어진 대기시간과 장대기발생율을 기존의 제어방식중 본인대기시간 최소화당방식에서 나타나는 이용자의 평균대기시간과 장대기발생율과 비교하여 개선된 정도를 나타내었다.

2. 엘리베이터 군관리 시스템

2.1 엘리베이터 군관리 시스템

엘리베이터 시스템에서 이용자의 서비스 요구는 승강호출(hall call)과 차내호출(car call)로 구성된다. 승강호출은 각 층의 승장에서 이용자(passenger)가 엘리베이터 사용의사를 등록하는 호출로 상향승강호출과 하향승강호출의 두종류가 있다. 차내호출은 등록된 승강호출이 서비스됨에 따라 차량(car)에 승차한 이용자들에 의하여 발생하는 목적층을 포함한 이송요구가 된다. 엘리베이터 군관리 시스템의 일반적인 구성은 그림 1과 같다. 군관리 시스템에서 각 차량제어(car controller)는 그에 대응된 엘리베이터의 출발, 가속, 정지, 문의 개폐등의 동작들에 대하여 구동부를 제어하는 하위 제어기로서의 기능을 담당하며, 동시에 군제어기가 필요로하는 각 차량의 상태(위치, 방향, 등록된 차내호출, 만차,

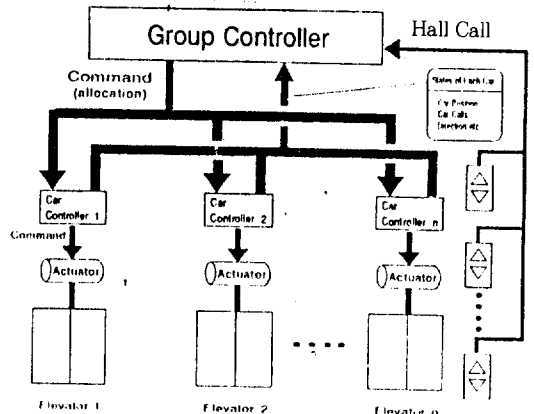


그림 1 엘리베이터 군관리 시스템의 구성

Fig. 1 Structure of elevator group supervisory system

고장발생여부등)에 관한 정보를 군제어기로 전달한다. 군제어기는 차량제어기들로부터 얻어진 정보와 각 승장에서 등록된 승강호출들을 취합하여 등록된 승강호출에 대한 서비스 엘리베이터를 결정하고, 선정된 엘리베이터의 차량제어기로 승강호출을 할당한다.

전체적인 시스템의 효율적인 운영이 이루어지도록 등록된 승강호출에 대한 서비스 엘리베이터를 결정하기 위하여서는 여러 주변상황들이 종합적으로 고려되어야만 한다. 그러나 다음과 같은 제어목적의 trade-off 관계와 시스템의 불확실한 상태변화가 서비스 엘리베이터의 선정을 어렵게 한다.

첫째, 새로이 등록되어 서비스를 요구하는 승강호출과 이미 서비스 엘리베이터를 할당받은

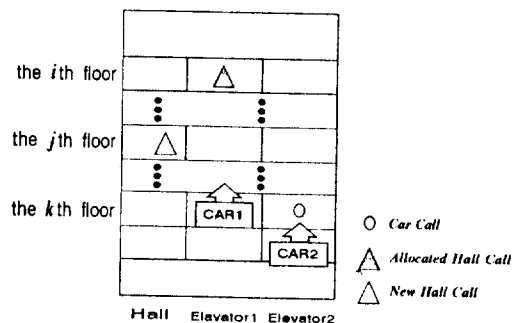


그림 2 엘리베이터의 운영

Fig. 2 Operation of elevators

승장호출의 대기시간 사이에 애매한 trade-off 관계가 존재한다는 것이다. 그림 2와 같이 두대의 엘리베이터로 구성된 시스템을 가정하여 보자. 그림 2와 같은 상황에서 j 층($k < j < i$)에서 상향승장호출에 새로이 발생한다면 i 층과 j 층의 승장호출 대기시간은 경합관계에 놓이게 된다. i 층 승장호출을 가장 신속히 서비스하기 위하여서는 j 층 승장호출은 2호기로 할당되어야만 하지만 j 층 승장호출의 대기시간은 1호기에 의한 서비스가 이루어 질때 최소가 된다. 따라서 j 층 승장호출을 어떠한 엘리베이터에 할당하는가를 결정하는 데는 애매한 판단이 따르게 된다.

둘째, 승장호출은 서비스 요구층과 방향의 정보만을 나타내므로 여타 승장호출의 정확한 대기시간 예측이 불가능하다. 그림 2에서 j 층 승장호출이 1호기에 할당되는 경우를 가정하여 보자. 이경우, j 층 승장호출에 의해 파생되는 차내호출이 x 층($x \geq i$)에 발생한다면 i 층 승장호출의 대기시간은 단순히 현재위치로부터 i 층까지의 이동시간과 j 층 승장호출 서비스 시간의 합이 된다. 차내호출이 y 층($j < y < i$)에 발생한다면 i 층 승장호출의 대기시간은 y 층 차내호출을 서비스하는 시간만큼 추가로 증가하게 된다. 서비스 엘리베이터를 결정하는 시점에서는 j 층에서 발생하게 될 차내호출의 목적층을 알 수 없으므로 제어명령 결정에 불확실성이 포함되며 더우기 승장호출이 발생시키는 차내호출의 개수를 미리 알 수 없다는 점은 이러한 불확실성을 더욱 증가시킨다.

셋째, 현재상태에서의 엘리베이터의 운행에 의하여 그 시점이후 발생하는 승장호출의 대기시간이 영향을 받게 된다. 그림 2에서 2호기가 j 층 승장호출을 할당받아 이동을 시작하면 두대의 차량(car)은 인접한 위치에서 동일한 방향으로 진행되는 bunching 현상이 발생하게 된다. 만일 그후 1층에서 상향승장호출이 발생하는 경우, 1층 승장호출의 대기시간은 상당히 커지게된다.

위의 경우에서 알 수 있듯이 각 승장호출 대기시간 사이의 trade-off 관계, 필요한 시스템 정보의 부족, 할당된 승장호출의 상호작용등은 엘리베이터의 운행성능 향상을 위한 서비스 엘리베이터의 선정을 매우 어렵게 한다. 따라서 예측의 오차와 애매한 평가하는 기존의 제어방식 보다는 시스템의 상태변화와 제어의 결과를 예견하고 퍼지추론을 통하여 선택의 애매성을 해결하는 예견퍼지 제어방식이 효과적이 된다.

2.2 기존의 제어방식

기존의 엘리베이터 제어방식은 본인대기시간 최소화방식, 장대기시간 최소화방식, 평균대기시간 최소화방식등이 포함되며 기존의 군관리 시스템의 대부분은 이들 방식중 하나를 선택하여 사용하여 왔다. 대표적인 기존의 제어 방식과 그 특성은 다음과 같다.

(1) 본인대기시간 최소화방식

본인대기시간 최소화방식은 새로운 승장호출이 등록되면 현재의 상태에서 그 승장호출이 서비스될 대기시간을 예측하여 예측대기시간이 가장 짧은 엘리베이터에게 승장호출을 할당한다. 건물의 총층수가 F 층이고 N 대의 엘리베이터로 구성된 군관리 시스템에서 j 층에 새로운 승장호출이 발생한 경우, i 층에 있는 n 호기의 본인대기시간 최소화 평가함수 ϕ_n 은 식(1)과 같다.

$$\phi_n = f_{n_j} \cdot T_d + \left(\sum_m S_{nm} \right) \cdot T_s \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

여기서, f_{n_j} 는 n 호기가 현재층에서 j 층 승장호출을 서비스하기위한 주행층수이며 T_d 는 층간 평균주행시간, T_s 는 1개층 정지에 대한 평균지연시간이다. m 은 현재층에서 j 층 승장호출을 서비스하기까지의 제적상의 모든 층이며, S_{nm} 는 현시점에서 n 호기의 상태인수로서 n 호기가 m 층에 정지하여야 한다면 1이고 그렇지 않다면 0이다. j 층 승장호출을 할당하는 제어지령을 U 라 하면, 새로운 승장호출의 대기시간을 최소화하는 할당 명령은 다음과 같다.

$$\text{if } \phi_n = \min(\phi_{1j}, \phi_{2j}, \dots, \phi_{Nj}), \text{ then } U = n. \quad (2)$$

(2) 평균대기시간 최소화방식

평균대기시간 최소화방식은 새로운 승장호출을 가할당하여, 예약된 모든 승장호출의 대기시간 평균이 최소인 엘리베이터에게 이를 할당한다. 평균대기시간 최소화 평가함수 ϕ_n 은 식(3)과 같다.

$$\phi_n = \sum_k [T_{nk} \cdot \hat{}] / A_n \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (3)$$

여기서, k 는 새로운 j 층 승장호출을 포함하여 n 호기에 할당된 승장호출들이 존재하는 임의의 층이며, T_{nk}' 는 새로운 승장호출을 n 호기에 할당한 경우의 k 층 승장호출의 대기시간 예측치이다. A_n 은 n 호기에 등록되어진 승장호출의 총갯수이다. T_{nk}' 는 식(4), (5)에서 구할수 있다.

$$T_{nk}' = W_k + f_{nk} \cdot T_d + \left(\sum_m Q_{nm} \right) \cdot T_s \quad (4)$$

$$Q_{nm} = S_{nm} \vee H_m \quad (5)$$

여기서, W_k 는 k 층 승장호출의 현시점까지의 대기시간이다. m 은 현재층에서 k 층 승장호출을 서비스하기까지의 제적상의 모든 층이며, H_m 는 새로운 승장호출의 발생인수로서 $j=m$ 이면 1, $j \neq m$ 층이면 0이다. 새로운 승장호출을 할당하는 제어지령은 다음과 같다.

$$\text{if } \phi_{2n} = \min(\phi_{21}, \phi_{22}, \phi_{2N}), \text{ then } U = n. \quad (6)$$

(3) 장대기시간 최소 할당방식

이 할당방식은 새로운 승장호출을 가할당하여, 이미 예약된 승장호출의 대기시간의 최대값이 가장 적어지는 엘리베이터에게 승장호출을 할당한다. 장대기시간 최소화 평가함수 ϕ_{3n} 과 제어지령은 식(4)의 T_{nk}' 를 이용하여 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_{3n} = \max(T_{nk}') \quad (7)$$

$$\text{if } \phi_{3n} = \min(\phi_{31}, \phi_{32}, \phi_{3N}), \text{ then } U = n. \quad (8)$$

3. 예견퍼지를 이용한 엘리베이터 군제어

예견퍼지 제어방식은 1)대상 시스템에 대한 복수개 제어목적들을 퍼지제어규칙을 통하여 평가하는 퍼지이론과, 2)제어결과를 실시간에 예견 예측하는 실시간 시뮬레이션 기술을 유기적으로 결합하는 지능형 제어방식이다. 이 제어방식의 구조는, 시스템 상태의 관측치를 기본으로 하여 모든 가능한 제어지령에 대하여 실시간 시뮬레이션을 행함으로써, 제어의 결과와 제어목적으로서 관심이 높은 피평가량을 예측하고, 이에 의거하여 전문가의 경험을 바탕으로 작성된 퍼지규칙을 통한 다목적 평가를 하여 퍼지추론으로 최적의 제어지령을 결정하도록 한다.

예견퍼지 제어규칙을 일반적으로 나타내면 다

음과 같다.

$$\text{RULE } ij \text{ If } ((U \rightarrow c_j), x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_j) \text{ then } (U \rightarrow c_j) \text{ is } C_i \quad (9)$$

$$(j=1, \dots, n)$$

식 (9)에서 $c_j(j=1, \dots, n)$ 는 현시점에서 가능한 모든 제어명령들중 임의의 것이고, 현시점에서 제어지령을 c_j 로 가선택하여 예견된 x, y 의 값이 제어목적에 대한 피평가량이 된다. 따라서 실제 입력으로서 대상 시스템에 대한 평가지표의 상태를 평가하여 적용가능한 제어규칙을 이용하여 퍼지추론을 행함으로써 출력률 제산하는 Mamdani등[4]이 이용한 퍼지제어와는 다르다.

식(9)에서 나타난 예견퍼지 제어규칙을 엘리베이터 군제어에 사용되는 자연언어 규칙으로 고쳐 쓰면, "현재상태에서 제어지령 U 를 c_j 로 가선택하는 경우, 그 제어의 결과로 피평가량 x, y 가 예견되며, 이 가제어의 결과 x 가 A_i 이고 y 가 B_j 라면 제어지령으로서 c_j 를 선택하는 적합도는 C_i 이다"라 할 수 있다.

현재상태에서의 차내호출과 승장호출만을 고려하는 기존의 군제어방식들은 예약된 승장호출에 의해 파생되는 차내호출과 새로운 승장호출의 발생으로 인하여 예측대기시간과 실제 서비스시간과의 오차가 크게 발생할 수 있다. 또한 고정된 평가함수만을 이용함으로써 건물내의 다양한 교통상황을 포괄적으로 처리하지 못한다.

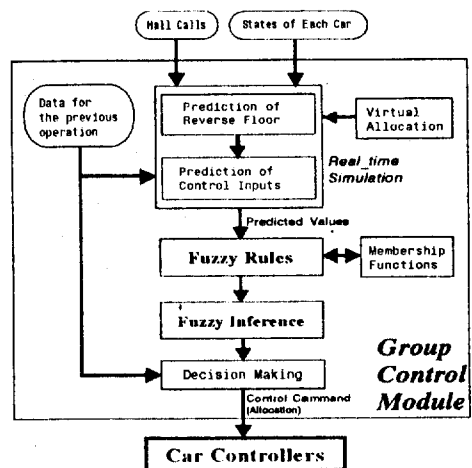


그림 3 군제어기의 블록 다이어그램

Fig. 3 Block diagram of group controller

본 논문에서는 예측오차를 줄이기 위하여 예약된 승강호출에 의해 파생될 차내호출을 고려한 각층이 정지확률과 예상전환층을 연산하여 본인대기시간, 타인대기시간, 예상 승강호출 대기시간차를 실시간내에 예측한다. 또한 교통량의 변화를 제어에 반영키 위하여 이 세가지 피평가량과 함께 현재의 교통수요량을 퍼지규칙의 입력으로 하였다. 본 논문에서 구성된 제어기의 블록 다이어그램은 그림 3과 같다.

새로운 승강호출이 발생하였을 때, 이 승강호출이 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 필요없는 경우, 3)전환층이 1번 필요한 경우, 4)전환층이 2번 필요한 경우이다. 예견퍼지 제어를 위하여 다음과 같은 연산이 행하여지게 된다. 여기서 전환층이란 차량의 진행방향이 전환되는 층을 의미한다. 전환층에는 차량의 진행방향이 상향에서 하향으로 전환되는 상전환층과 그 반대경우인 하전환층의 두가지 유형이 있다. 건물이 F층이고 엘리베이터가 N대인 시스템에서, j층에 새로운 승강호출이 발생한 경우, i층에 있는 n호기의 피평가량 예측연산과 예견퍼지 제어알고리즘에 따른 승강호출할당은 다음과 같다.

3.1 전환층 예측연산

엘리베이터의 위치와 방향에 따라 전환층의 예측이 필요한 경우, n호기에 예약된 승강호출이 없으면 간단히 차내호출의 최고층과 새로운 승강호출층중 상위층이 상전환층, 차내호출의 최하층과 새로운 승강호출층중 하위층이 하전환층이 된다. 그러나 이미 할당된 승강호출이 있는 경우에는 이 승강호출에 의해 발생될 차내호출에 의한 전환층 예측이 필요로 된다.

예측전환층중 상전환층을 구하기 위하여서는 등록되어있는 k층(k>i) 상향승강호출에 의한 m층(m>k)의 차내호출 발생확률 P_{km}을 구하여야만 한다. p_{km}은 건물의 상주인구와 용도에 따라 미리 지정하여 줄 수도 있고 운행된 자료에 의하여 산출할 수도 있다. 본 논문에서는 P_{km}을 이전의 운행된 자료에 따라 결정되도록 하였으며 그 정의는 식 (10)과 같다.

$$P_{km} = \frac{NC_m}{NC_T} \tag{10}$$

NC_m : m층에서 발생하였던 차내호출의 총수
 NC_T : k층~최고층 사이에서 발생하였던 차내호출의 총수

그러면 k+1층에서 최고층까지의 k층 승강호출에 의한 각 층의 차내호출 발생확률은 다음식에 의하여 구하여진다.

$$\begin{aligned} R_{kF} &= 1 - (1 - P_{kF})^M \\ R_{k(F-1)} &= (1 - P_{kF})^M - (1 - P_{kF} - P_{k(F-1)})^M \\ R_{k(F-2)} &= (1 - P_{kF} - P_{k(F-1)})^M - (1 - P_{kF} - P_{k(F-1)} \\ &\quad - P_{k(F-2)})^M \tag{11} \\ &\cdot \quad \cdot \\ &\cdot \quad \cdot \\ &\cdot \quad \cdot \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{k(k+1)} &= (1 - P_{kF} - P_{k(F-1)} - \dots - P_{k(k+2)})^M \\ &\quad - (1 - \dots - P_{k(k+1)})^M \\ &= P_{k+1}^M \end{aligned}$$

여기서 R_{km}은 k층 승강호출에 의한 m층의 차내호출 발생확률을 의미하고, M은 k층에서의 예측 승차인원이다.

이미 할당된 모든 상향승강호출에 의한 m층의 상전환층 확률 R_m은

$$R_m = \sum_k R_{km} \quad (i+1 \leq m \leq F) \tag{12}$$

이다. 따라서 n호기에 할당된 차내호출 혹은 승강호출의 최상층이 R_i인 경우, 예상 상전환층 R은

$$R = \begin{cases} \sum_{i+1}^F R_{m \cdot m} & (\text{if } \sum_{i+1}^F R_{m \cdot m} > R_i) \\ R_i & (\text{if } \sum_{i+1}^F R_{m \cdot m} \leq R_i) \end{cases} \tag{13}$$

이다. 마찬가지로 방법으로 예상 하전환층을 구할 수 있다.

3.2 본인대기시간 예측연산

본인대기시간 T_{on}은 새로이 발생한 승강호출이 n호기에 할당되었을 때, 그 승강호출이 서비스되

기 위하여 소요되는 대기시간의 예측치이며 이는 아래의 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{0n} = f_{nj} \cdot T_d + (\sum_m C_{nm}) \cdot T_s \quad (14)$$

여기서 f_{nj} 는 새로운 승강호출을 n 호기로 가할당 하였을 때, n 호기의 현재층에서 새로운 승강호출까지의 주행층수이며 T_d 는 층간평균주행시간, T_s 는 1개층 정지에 대한 평균지연시간이다. 정지확률 C_{nm} 은 m 층에서 n 호기가 정지할 확률로서 기존의 방식에서의 S_{nm} 과는 달리 0에서 1사이의 실수치이다.

주행층수 f_{nj} 는 현재위치 i 층에서 새로운 승강호출 발생층까지의 이동층수이므로 전환층이 필요없는 경우, 간단히 새로운 승강호출층과 현재층의 차의 절대치이다. 그러나 현재층과 새로운 승강호출층까지의 경로에 엘리베이터의 방향전환이 있어야만 하는 경우에는 주행층수 f_{nj} 에 전환층을 고려하여야만 한다. 예측연산에 전환층이 1회 필요한 경우의 주행층수 f_{nj} 는 현재층에서 전환층 R 까지의 층수와 전환층에서 새로운 승강호출층까지의 층수를 더한 값이 되며, 전환층이 2회 필요한 경우의 f_{nj} 는 현재층에서 전환층 R 까지의 층수와 상전환층과 하전환층간의 층수, 그리고 전환층에서 새로운 승강호출층까지의 층수를 더한 값이 된다.

기타층의 정지확률 C_{nm} 를 구하기 위하여 우선 k 층 승강호출에 의한 m 층의 정지 확률 Q_{km} 을 다음과 같이 구한다.

$$Q_{km} = 1 - (1 - P_{km}')^M \quad (15)$$

이다. 여기서 P_{km}' 는 식(10)의 P_{km} 와 비슷한 의미를 갖으나 전환층이 연산되어 있으므로 식(16)과 같이 된다.

$$P_{km}' = \frac{NC_m'}{NC_T'} \quad (16)$$

NC_m' : m 층에서 발생하였던 차내호출의 총수
 NC_T' : k 층~전환층 사이에서 발생하였던 차내호출의 총수

n 호기에 예약된 모든 승강호출에 의한 각층의 정지확률 Q_m 은 식(15)를 이용하여 모든 승강호출에 대하여 Q_{km} 를 구한 후 같은 층의 확률을 합한다.

$$Q_m = \begin{cases} 1 & (\text{if } \sum_k Q_{km} > 1) \\ \sum_k Q_{km} & (\text{if } \sum_k Q_{km} \leq 1) \end{cases} \quad (17)$$

그러면 각층의 정지확률은 C_{nm} 은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{nm} = \max(Q_m, S_{nm}) \quad (18)$$

예상전환층에 의하여 얻어진 f_{nj} 와 식(18)에서 얻어진 C_{nm} 을 식(14)에 적용하면 새로운 승강호출의 본인대기시간의 예측치를 구할 수 있다.

3.3 타인 대기시간 예측연산

타인 대기시간 T_{in} 은 새로운 승강호출이 n 호기로 가할당된 경우, 이미 n 호기로 할당되었던 승강호출의 예측대기시간중에서 가장 긴 대기시간을 나타내며 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{in} = \max_k [W_k + f_{nk} \cdot T_d + (\sum_m S_{nm}) \cdot T_s] \quad (19)$$

식(19)에서 k 는 n 호기에 승강호출이 할당되어 있는 임의의 층이며, W_k 는 k 층 승강호출의 발생시각부터 현시점까지의 대기시간이며, f_{nk} 는 새로운 승강호출의 가할당을 포함한 k 층 승강호출까지의 주행층수이다. m 은 현재 i 층에서 k 층 승강호출을 서비스하기까지의 제적상의 모든 층이다. 만약 n 호기에 미리 할당된 승강호출이 없으면 T_{in} 은 0이다.

3.4 예상승강호출 대기시간차 예측연산

예상승강호출 대기시간차는 T_{2n} 은 새로운 승강호출이 n 호기로 가할당된 경우, 소속된 엘리베이터들이 가상된 a 층 승강호출을 서비스하는 예측시간의 최대차이다. 새로운 승강호출이 n 호기에 가할당된 상태에서 p 호기가 가상 승강호출을 서비스하는 예측시간이 T_{nna} 라 하면 T_{2n} 은 식(20)으로 구해진다. T_{2n} 이 크면 bunching 현상발생이 억제된다. 본 논문에서는 가장 사용요구가 많은 기준층을 대상으로 T_{2n} 을 추정하였다.

$$T_{2n} = \max_{x, y} (T_{nxa} - T_{nya}) \quad (x=1, 2, \dots, N \text{ and } y=1, 2, \dots, N) \quad (20)$$

3.5 퍼지 규칙(fuzzy rules)과 서비스 엘리베이터의 선정

예측연산에서 연산된 피평가량들은 언어변수를 이용하여 정성적으로 표현된 퍼지제어규칙을 통하여 각 엘리베이터의 서비스적합도를 구하도록 한다. 본 논문에서는 현상태의 교통량을 군제어에 반영하기 위하여 현재 등록되어진 승강호출의 총수를 엘리베이터의 대수로 나눈 s 라는 인수를 퍼지규칙의 입력변수로 추가하였다. 각 규칙에서 얻어진 적합도는 퍼지추론을 통하여 각 엘리베이터의 최종적합도를 구하도록 하며, 최고의 적합도를 갖는 엘리베이터를 서비스 엘리베이터로 선정하여 승강호출을 할당한다.

제어규칙은 전문가의 지식에 기반을 두고 그 목적에 따라 다양하게 변화될 수 있으며 본 논문에서 새로운 승강호출 할당을 위한 제어방안은 아래와 같다.

규칙1. 새로운 승강호출을 n 호기에 할당한 경우,
 T_{0n} 이 매우 짧고 교통량이 적으면
 새로운 승강호출을 n 호기에 할당하는 적합도는 PB이다.

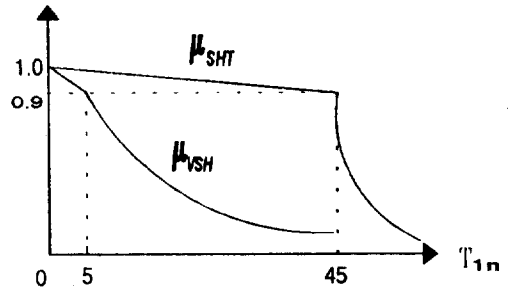
규칙2. 새로운 승강호출을 n 호기에 할당한 경우,
 T_{1n} 이 길지않고 T_{0n} 이 짧으면
 새로운 승강호출을 n 호기에 할당하는 적합도는 PS이다.

규칙3. 새로운 승강호출을 n 호기에 할당한 경우,
 T_{2n} 이 길고 교통량이 많으면
 새로운 승강호출을 n 호기에 할당하는 적합도는 PM이다.

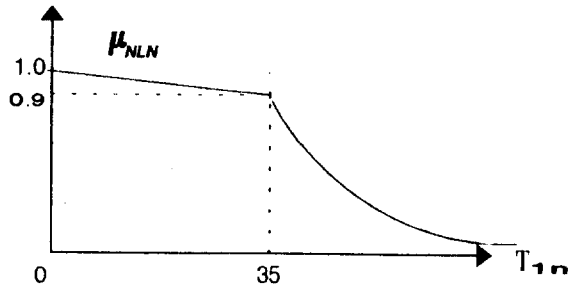
본 논문에서는 본인대기시간 T_{0n} 에 대한 언어변수를 VSH(very short)과 SHT(short) 두가지로 하고, 타인대기시간 T_{1n} 에 대한 언어변수를 NLN(not long), 예상 승강호출 대기시간차 T_{2n} 의 언어변수를 LNG(long)라 하였다. 교통량 인수 s 에 대하여서는 MANY와 FEW의 두가지로 하였다. 상기 제어방안을 예견퍼지 제어규칙으로 나타내면 아래와 같다.

(R_{1n}) IF((U→n), T_{0n} is VSH and s is FEW)
 THEN(U→n) is PB.

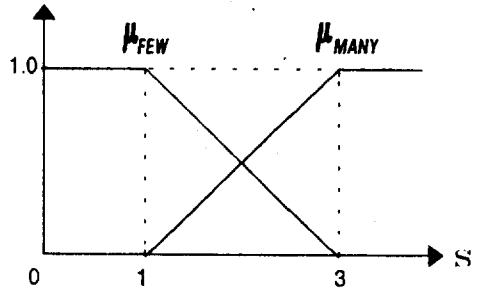
(R_{2n}) IF((U→n), T_{1n} is NLN and T_{0n} is SHT)



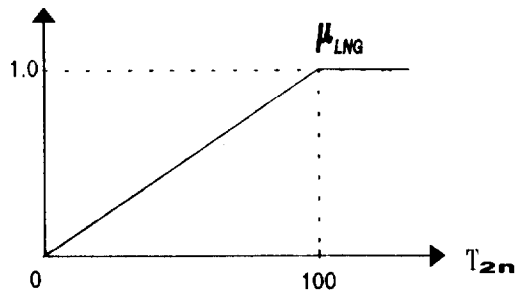
(a) T_{0n} 의 멤버쉽
 (a) membership of T_{0n}



(b) T_{1n} 의 멤버쉽
 (b) membership is T_{1n}



(c) T_{2n} 의 멤버쉽
 (c) membership of T_{2n}



(d) s 의 멤버쉽
 (d) membership of s

그림 4 제어입력변수의 멤버쉽

Fig. 4 Membership of control input variables

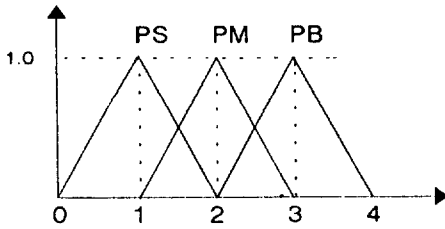


그림 5 출력변수의 멤버쉽
Fig. 5 Membership of output variables

THEN(U→n) is PS.

(R_{3n}) IF((U→n), T_{2n} is LNG and s is MANY)
 THEN(U→n) is PM.

위의 전진부 입력변수의 멤버쉽함수를 나타내기 위하여 함수 A(), B()를 다음 식(21), (22)와 같이 정의하였다.

$$A(t, \alpha, \beta) = \begin{cases} 1-0.1t & (t \leq \alpha) \\ 0.9\beta / (t-\alpha+\beta) & (t > \alpha) \end{cases} \quad (21)$$

$$B(t, \alpha, \beta) = \begin{cases} 0 & (x \leq \alpha) \\ (t-\alpha) / (\beta-\alpha) & (\alpha < x < \beta) \\ 1 & (x \geq \beta) \end{cases} \quad (22)$$

그러면, 본 논문에서 사용된 각 전진부 언어변수의 멤버쉽은 식(23)~(28)과 같이 정의되며 그 형태는 그림 4와 같다. 퍼지규칙의 출력변수를 위한 멤버쉽은 그림 5와 같다.

$$\mu_{VSH}(T_{0n}) = A(T_{0n}, 5, 30) \quad (23)$$

$$\mu_{SHT}(T_{0n}) = A(T_{0n}, 45, 15) \quad (24)$$

$$\mu_{NLN}(T_{1n}) = A(T_{1n}, 35, 30) \quad (25)$$

$$\mu_{LNG}(T_{2n}) = B(T_{2n}, 0, 100) \quad (26)$$

$$\mu_{MANY}(s) = B(s, 1, 3) \quad (27)$$

$$\mu_{FEW}(s) = 1 - B(s, 1, 3) \quad (28)$$

그러면, 각 규칙에서 얻어진 적합도를 퍼지추론함으로써 새로운 승강호출을 서비스하기 위한 n호기의 최종 적합도 ω_n 을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 퍼지추론의 방법으로 간략추론법을 사용하였다. 이제, 최종 적합도 ω_n 가 최대인 엘리베이터가 새로운 승강호출의 서비스 엘리베이터가 되도록 제어지령을 확정하여 해당 차량제어기에 할당명령을 내린다. 이는 다음식과 같다.

if $\omega_n = \max(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_N)$ (29)
 then U is n.

3.6 재할당

예측할 수 없는 시스템의 상태변화나 예측의 오차로 말미암아 최초의 서비스 엘리베이터 선정시에 비하여 할당된 승강호출들의 적합도가 변화되는 경우, 이를 무시하면 시스템의 성능에 크게 악영향을 미칠 수 있다. 따라서 시스템이 예측한 대로 운행되고 있는가를 계속적으로 감시하고, 상태변화가 발행하는 경우 이에 따라 선정된 서비스 엘리베이터를 바꾸어줄 필요가 있게 된다. 재할당은 이미 등록되어진 승강호출을 새로 등록된 승강호출로 간주하고 본인대기시간 연산에 승강호출 등록시부터 현시점까지의 대기시간을 더하여 준 후 앞의 군제어과정을 반복하여 수행함으로써 변화되는 적합도를 감시하고 이를 제어에 반영하는 작업이다.

4. 시뮬레이션 결과 및 고찰

4.1 그래픽 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안된 예견퍼지 군제어 알고리즘의 동작과 성능평가를 위하여 그래픽 시뮬레이션을 IBM PC상에서 C를 상요하여 구현하였다. 그림 6는 시뮬레이터의 동작화면이다. 이 시뮬레이터는 엘리베이터의 수를 1~8대, 층수는 5~35층까지 임의로 설정할 수 있다. 승강호출의 발생은 키보드를 통하여 입력하는 방식과 지정된 자료화일을 시산에 따라 읽어들이는 방식이 모두 가능하도록 하였다.

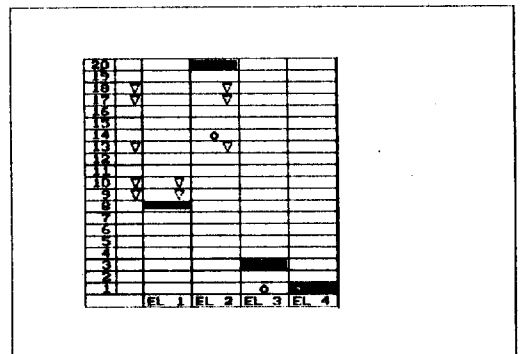
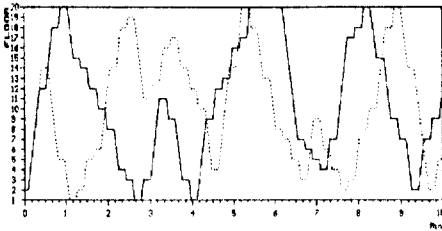
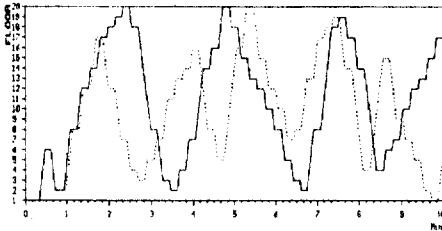


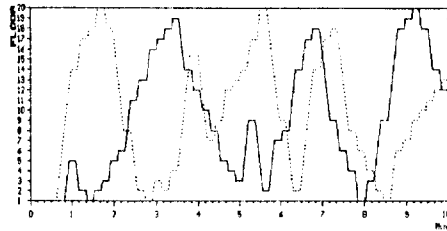
그림 6 그래픽 시뮬레이터의 화면
Fig. 6 Display of Graphic simulator



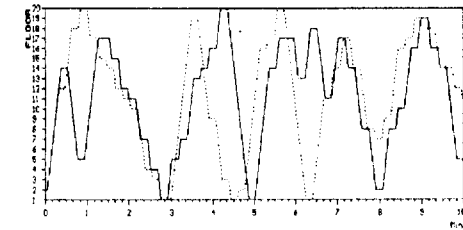
(a) 1호기의 운행 궤적
(a) movement diagram of car 1



(b) 2호기의 운행 궤적
(b) movement diagram of car 2



(c) 3호기의 운행 궤적
(c) movement diagram of car 3



(d) 4호기의 운행 궤적
(d) movement diagram of car 4

.....: 본인 대기 시간 최소화당 방식
——: 예견퍼지 제어방식

그림 7 두 제어방식의 운행 궤적
Fig. 7 Movement diagrams according to group control methods

본 논문에서 제안된 예견퍼지 제어논리를 이용한 엘리베이터 군관리 시스템의 할당알고리즘의 성능평가를 위하여, 기존의 시스템에서 사용

표 1 정상운행조건에 대한 시뮬레이션 결과
Table 1 Simulation results for balanced-traffic mode

사용인원 (명)	본인대기 시간 최소화당 방식			예견퍼지 제어방식		
	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도
100	83회	32.2초	14회	89회	20.6초	6회
100	83회	26.8초	10회	88회	22.9초	7회
100	79회	20.5초	10회	85회	19.1초	7회
100	86회	23.8초	7회	82회	23.1초	5회
100	83회	22.8초	3회	88회	17.8초	4회
80	76회	18.6초	3회	75회	17.4초	1회
80	71회	14.2초	0회	72회	15.9초	1회
80	75회	14.6초	2회	74회	15.7초	3회
80	69회	19.1초	5회	73회	13.8초	1회
80	77회	12.3초	0회	75회	12.1초	1회
120	94회	36.0초	24회	105회	17.8초	4회
120	94회	25.6초	8회	93회	23.8초	7회
120	92회	32.7초	19회	95회	22.2초	6회
120	95회	23.0초	6회	94회	24.0초	10회
120	90회	25.1초	9회	95회	22.5초	8회

표 2 U-peak 운행조건에 대한 시뮬레이션 결과

Table 2 Simulation results for up-peak traffic mode

사용인원 (명)	본인대기 시간 최소화당 방식			예견퍼지 제어방식		
	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도
140	99회	22.4초	5회	99회	20.9초	4회
140	85회	25.7초	10회	94회	21.8초	7회
140	91회	22.0초	2회	95회	17.1초	5회
140	87회	20.9초	9회	90회	19.0초	1회
140	95회	26.2초	13회	105회	22.2초	9회

되는 본인대기 시간 최소화당 방식과 그래픽 시뮬레이터상에서 비교하였다. 두 방식은 모두 재할당을 통한 예측오차의 보정을 행하도록 하였고, 성능평가를 위한 시뮬레이션에서 엘리베이터 대수는 4대, 주행속도는 120m/min이며 건물의 높이는 20층, 층간거리는 3m로 설정하였다.

동일한 운행상황을 두 제어방식에 적용하기 위하여, 본 논문에서는 승강호출과 차내호출 입력은 무작위로 발생된 자료화일을 두 제어방식에 동일하게 입력시키는 방식을 사용하였으며 자료화일에서 입력된 승강호출과 차내호출을 버퍼로 저장되었다가 지정된 시간에 시뮬레이터로 부가된다.

시뮬레이션의 신뢰성을 높이고, 다양한 경우를 예시하기 위하여 정상운행 상태에서 경우 10분

표 3 Down-peak 운행조건에 대한 시뮬레이션 결과

Table 3 Simulation results for down-peak traffic mode

사용인원 (명)	본인대기시간 최소화당방식			예견퍼지 제어방식		
	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도	발생된 HC개수	평균대기 시간	장 대기 발생빈도
140	98회	32.9초	25회	102회	30.8초	18회
140	101회	25.1초	9회	105회	25.2초	10회
140	92회	50.4초	40회	110회	26.9초	10회
140	104회	32.0초	22회	106회	28.7초	14회
140	98회	38.6초	27회	106회	28.2초	9회

표 4 각 운행조건에 대한 평균대기시간

Table 4 Average waiting time for each traffic condition

운행상황	사용인원 최소화당방식			예견퍼지 제어방식		
	사용인원 (명)	평균대기시간	표준편차	평균대기시간	표준편차	표준편차
정상운행	80	15.8초	2.645	15.0초	1.839	
	100	25.2초	4.034	20.7초	2.077	
	120	28.5초	4.982	22.1초	2.243	
Up-peak 시	140	23.4초	2.113	20.2초	1.903	
down-peak 시	140	35.8초	8.466	28.0초	1.779	

사이에 100명의 이용자가 있는 경우에 대한 시뮬레이션을 5회 수행하였고 up-peak, down-peak 상태에서 10분간 140명의 이용자가 있는 경우 역시 각기 5회씩 수행하였다. 아울러 교통량 증감에 따른 서비스 능력의 변화를 평가하기 위하여 정상운행상태에서 10분간 80명의 이용자가 있는 경우와 120명의 이용자가 있는 경우의 시뮬레이션을 각기 5회씩 수행하였다.

시뮬레이션 결과에서 나타난 두 제어방식의 운행차이를 나타내기 위한 예로써, 정상운행의 한 경우에서 각 엘리베이터의 운행체적이 그림 7에 예시되어있다. 그림 7에서 수평축은 시뮬레이션 시작으로부터의 시간이고 수직축은 각 시간에서의 엘리베이터의 위치이다. 표1~표3에는 시뮬레이션 결과로 얻어진 각 경우의 승강호출 평균대기시간과 장대기발생이 나타나 있다.

4.2 결과고찰

시뮬레이션 결과에서 나타난 각 운행조건에 따른 승강호출의 평균대기시간과 표준 편차가 표4에 나타나있다.

표 4에 나타난 결과에 따르면 예견퍼지 제어방식을 적용함으로써 평균대기시간 측면에서의 서비스효율은 정상운행시 100명의 이용자가 있

는 경우에 17.86%, 80명의 이용자가 있는 경우에 5.06%, 120명의 이용자가 있는 경우에 22.46%가 향상되었다. 또한 up-peak시와 down-peak시의 평균 대기시간은 각기 13.68%와 21.79% 향상되었다.

표 4에 나타난 대기시간의 표준편차를 보면 모든경우에서 본인대기시간 최소화당방식의 값이 예견퍼지 제어방식의 그것보다 크게 나타남을 볼 수 있다. 이는 본인대기시간 최소화당방식은 같은 교통상황하에서도 차량의 위치나 승강호출의 입력순차등의 요인에 크게 영향을 받는다. 반면 예견퍼지 제어방식은 시스템의 전체적인 상황을 고려하여 안정된 서비스능력을 갖음을 의미한다.

아울러 정상운행 상황에서 이용자의 수를 증감시켜본 결과, 본인대기 시간 최소화당방식은 시스템의 성능이 교통량에 매우 민감하여 이용자의 수가 증가하면 서비스 효율이 급격히 감소하는 반면 예견퍼지 제어방식은 서비스 효율의 변화가 비교적 적어 균형잡힌 서비스 분배가 이루어짐을 알 수 있었다.

장대기발생 측면에서의 서비스 효율은 정상운행시 100명의 이용자가 있는 경우 본인 대기시간 최소화당방식에서 10.6%, 예견퍼지 제어방식에서 6.7%로 36.79% 향상되었다. 마찬가지로 정상운행시 80명의 이용자가 있는 경우, 장대기발생율은 본인대기시간 최소화당방식과 예견퍼지 제어방식에서 각기 2.7%와 1.9%로 29.63% 향상되었다. 정상운행시 120명의 이용자가 있는 경우의 장대기발생율은 각기 14.2%와 7.3%로 48.59% 향상되었다. up-peak시와 down-peak시의 장대기 발생빈도는 각기 8.5%와 5.4%, 24.9%와 11.5%로였다. 이는 장대기 발생율이 두경우에서 각기 36.9%와 53.82% 향상되었음을 의미한다.

5. 결 론

본 논문에서는 합리적이고 효율적인 엘리베이터 군시스템의 지능형 제어기 설계를 목적으로 전문가의 경험적 지식과 퍼지추론을 유기적으로 결합한 예견퍼지 군제어 알고리즘이 개발되고 평가되었다. 개발된 예견퍼지 제어알고리즘은 시스템의 상태예측, 가선택된 제어결과를 연산하는 실시간 시뮬레이션 그리고 이에따라 최적의 제어결과를 설정하기 위한 퍼지제어규칙이 포함된다.

개발된 제어논리의 성능평가를 위하여 시스템 동작을 모사하는 그래픽 시뮬레이터가 개발되었고, 이를 통한 기존의 제어방식(본인대기시간 최소화할당방식)과 예견퍼지 제어방식의 성능비교가 이루어졌다. 그 결과, 이용자의 대기시간 측면에서는 16.17%, 장대기발생 측면에서는 41.15%의 운행성 향상이 나타났으며, 다양한 운행상황에 대응하여 고른 서비스 분배가 일어났음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] T. Tobita, A. Fujino, H. Inaba, K. Yoneda, and T. Ueshinma, "An Elevator Characterized Group Supervisory System", IECON '91, pp. 1972-1976, 1991. 9.

[2] Ganthan K. H. Pang and Biswajit Nandy, "Intelligent Scheduling of a Group Eleva-

tors", PROC. IEEE Int. Symp. Intelligent Control, pp. 144-149, 1989.

[3] Hitoshi Aoki and Kenji Sasaki, "Group Supervisory Control System Assisted by Artificial Intelligence", Elevator World, 1990. 2.

[4] Mandani, E. H., "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant", Proc. of IEEE 121-12, pp. 1585-1588, 1974.

[5] S. Yasunobu and T. Hasegawa "Automatic Train Operation System by Predictive Fuzzy Control", System Control, 28, 10, pp. 605-615, 1984

[6] S. Yasunobu and T. Hasegawa, "Evaluation of an automatic container crane operation system based on predictive fuzzy control", Control Theory Adv. Technol., vol. 2, no.3, pp. 419-432, 1986

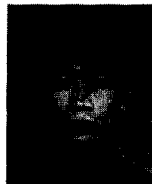


최돈(崔墩)

1964년 1월 15일생. 1986년 연세대학교 공과대학 전기공학과 졸업. 1988년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동대학원 전기공학과 박사과정.

우광방(禹廣芳)

전기학회 논문지 제43권 1호 참조



박희철(朴熙哲)

1964년 2월 21일생. 1987년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 연세대 대학원 전기공학과 박사과정.