

엘리베이터 군제어를 위한 예견퍼지 제어알고리즘

최 돈, 박희철, 박지현, 우광방
연세대학교 전기공학과

A Predictive Fuzzy Control Algorithm for Elevator Group Control

Don Choi, Heechul Park, Jeehyun Park, Kwangbang Woo
Department of Electrical Engineering, Yonsei University

Abstract In this paper, a predictive fuzzy control algorithm to supervise the elevator system with plural elevator cars is proposed and its performance is evaluated. Elevator group controller must decide the service elevator for a registered hall call to satisfy the multiple control objects. The proposed group control algorithm ensures the efficient operations of the group cars and provides the improved level of service, coping with multiple control objects and uncertainty of system state. The feasibility of the proposed control algorithm is evaluated by simulation on computer.

1. 서 론

엘리베이터 군관리 시스템에서의 군제어(group control)는 각 승장에서 발생하는 hall call을 서비스하기에 적절한 엘리베이터를 결정하여 선정된 엘리베이터로 hall call을 할당하는 일련의 작업을 의미하며, 시스템의 성능은 이러한 군제어의 결과에 크게 의존한다[1][2]. 따라서 엘리베이터 군관리 시스템의 성능향상을 위하여서는 주변상황과 전문가의 경험적 지식이 고려되는 군제어방안의 수립이 필수적이다.

기존의 군제어방식은 대부분 마이크로프로세서를 이용하여 예측된 각 hall call의 대기시간들만을 이용하여 수행된다[3]. 그러나 이러한 기존의 방식들은 고정된 하나의 평가항목만을 최소화하는 것을 목적으로하여 교통량, 교통상황, 건물특성등의 주변상황을 고려치 못하기 때문에 군제어의 다양한 목적을 동시에 만족시킬 수 없다.

일반적으로, 군제어는 이용자의 평균대기시간과 장대기 발생, 에너지 소모를 동시에 극소화시키기 위한 다목적 제어(multiple-objective control)의 형태를 갖으며 최근 승차시간이나 혼잡도등을 고려한 제어방안들[3][4]도 나타나고 있다. 그러나 복수개의 제어목적어 선택되는 경우, 제어목적들 간에는 애매한 trade-off 관계와 상호작용이 존재하며 이러한 요소가 군제어방안의 설정을 어렵게 한다. 따라서 군제어의 목적은 시스템의 특징이나 건물주의 요구에 따라 적절히 선택되어야 한다.

본 논문에서는 다수의 제어목적을 동시에 만족시키기 위한 군제어방안을 제안한다. 제안된 군제어방안은 크게 두 부분으로 구성된다. 첫째부분은 전문가의 지식을 바탕으로 예측된 피평가량을 이용하여 각 엘리베이터의 적합도들을 결정하는 예견퍼지[5] 알고리즘이다. 둘째로는 현재 교통량과 건물특성에 대하여 각 적합도의 하중계수(weight parameter)를 조정하는 온라인 계수조정(on-line parameter tuning)부분이다.

본 논문에서 제안된 엘리베이터 군제어방안은 컴퓨터상에서 시뮬레이션을 통하여 타당성이 평가되었다. 제안된 군제어 방안의 유용성을 검증하기 위하여, 임의의 초기 하중계수의 값을 선택한 경우의 시뮬레이션 결과가 기존의 군제어 방식의 시뮬레이션 결과와 비교되었다. 이후 계수조정을 수행하여 조정후의 시뮬레이션에서 얻어진 결과들이 초기계수를 이용한 결과와 비교되어 개선된 정도를 나타내었다. 마지막으로 조정을 위한 시뮬레이션 시간과 계수조정을 위한 탐색횟수를 보여줌으로써 제안된 조정방법이 온라인으로 적용가능함을 보이고자 한다.

2. 엘리베이터 군관리 시스템

2.1 엘리베이터 군관리 시스템의 구성

본 논문에서 대상으로 하는 엘리베이터 군관리 시스템의 전체구성은 그림 1에 나타나 있다. 엘리베이터 시스템에는 두종류의 이용자 호출이 존재한다. 그중 hall call은 각 승장에서 입력되며 엘리베이터를 이용하고자 하는 이용자의 대기위치와 이동방향만을 표현한다. car call은 hall call이 서비스됨에 따라 엘리베이터에 승차한 이용자가 자신의 목적층을 등록하는 즉각적인 서비스 요구이다.

그림 1에서 나타난 바와 같이 하나의 군관리 시스템에 부속되는 제어기는 두종류가 있다. 엘리베이터마다 하나씩 부속되는 car 제어기는 대응된 엘리베이터의 동작을 제어하기 위한 하위 제어기이다. 아울러 car 제어기는 군제어에 필요한 엘리베이터의 각종 상태정보를 군제어기로 전달한다.

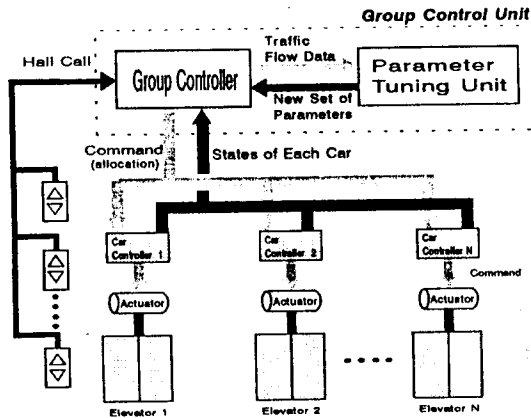


그림 1 엘리베이터 군관리 시스템의 구성

군제어기는 car 제어기들로부터 얻어진 정보와 등록된 hall call들을 취합하여 각 hall call에 대한 서비스 엘리베이터를 결정하고, 선정된 엘리베이터의 car 제어기로 hall call을 할당한다. 또한 군제어기는 hall call 및 car call, 주어진 교통상황등의 교통흐름자료(traffic flow data)를 수집하여 계수조정장치(parameter tuning unit)으로 이를 전달하는 기능을 한다. 계수조정장치는 군제어기로부터 전달받은 교통흐름자료를 바탕으로 계수조정과 시뮬레이션을 통하여 새로운 최적계수들을 선정하고 이 계수들을 다시 군제어기로 보내준다.

2.2 군제어의 특징

엘리베이터 시스템에서 새로운 hall call이 등록되면 군제어기는 중복된 서비스나 비효율적인 운행상황의 발생이 억제되도록 등록된 hall call의 서비스 엘리베이터를 결정하여야만 한다. 이를 위하여서는 현재의 교통특성, 각 엘리베이터의 위치 및 방향, 할당될 hall call의 위치 및 방향, 이전에 할당된 hall call들의 분포 및 대기시간, 각 엘리베이터의 car call등의 주변상황들이 서비스 엘리베이터 결정단계에서 종합적으로 고려되어야만 한다. 그러나 다음과 같은 제어목적의 trade-off 관계와 시스템 상태변화의 불확실성은 피평가량들의 단순한 비교로 서비스 엘리베이터를 선정하는 일을 어렵게 한다.

첫째, 새로이 등록된 hall call과 이미 서비스 엘리베이터를 할당받은 hall call의 대기시간 사이에 애매한 trade-off 관계가 존재한다는 것이다. 새로운 hall call이 이미 자신의 대기시간을 최소로 하는 임의의 엘리베이터로 할당되는 경우, 새로운 hall call 이후의 궤적상에 있는 기존의 hall call들은 대기시간이 증가하게 된다. 이 경우 기존의 hall call들의 대기시간 관점에서 보면 새로운 hall call의 대기시간은 최소화되어서는 안된다. 따라서 새로운 hall call과 기존의 hall call들의 대기시간 사이에 애매한 판단이 따르게 된다.

둘째, 제어명령을 결정하는 시점에서 시스템 상태변화의 불확실성이 매우 크다는 것이다. 군제어명령, 즉 hall call

의 할당은 hall call 발생시점에서 이루어져야만 한다. 그러나 모든 hall call은 그 발생층과 방향에 관한 정보만을 나타내므로, 군제어 결정시점에서 군제어기는 이용자들의 목적층을 정확히 알 수 없다. 그러나 이 목적층에 의해 다른 hall call들의 대기시간은 영향을 받는다. 더우기 그 시점 이후에 발생할 hall call을 예측하는 일은 불가능하므로 제어명령 결정 시점에서 불확실성은 더욱 증가된다.

셋째, 현재상태에서의 엘리베이터의 운행에 의하여 그 시점 이후 발생하는 hall call의 대기시간이 영향을 받게 되는 것이다. 현재 등록되어 있는 hall call의 대기시간만을 고려하여 hall call들을 할당한다면 모든 car가 인접한 위치에서 동일한 방향으로 진행하는 bunching 현상이 발생할 수 있다. bunching 현상이 발생하는 경우, 모든 엘리베이터 궤적 후면에 발생하는 hall call의 대기시간은 상당히 커지게 된다.

위의 경우에서 알 수 있듯이 각 hall call 대기시간 사이의 trade-off 관계, 필요한 시스템 정보의 부족, 할당된 hall call의 상호작용등은 서비스 엘리베이터의 선정을 매우 어렵게 한다. 예로써 모든 hall call의 대기시간을 최소로 하는 제어방안은 교통상황에 따라 장대기 발생빈도를 높일 수 있다. 따라서 예측의 오차와 애매한 평가항목을 갖는 엘리베이터 군관리 시스템에서는 단일한 평가항목을 고정적으로 평가하는 기존의 군제어방식보다는 시스템의 상태변화와 제어의 결과를 예견하고 퍼지추론을 통하여 선택의 애매성을 해결하는 예견퍼지 제어방식이 효과적이 된다.

3. 예견퍼지를 이용한 엘리베이터 군제어방안

3.1 제안된 예견퍼지 군제어방안

예견퍼지 제어방식은 임의의 제어명령에 대한 제어결과를 실시간에 예견하는 실시간예측 기법과 대상 시스템에 대한 복수개 제어목적들을 퍼지제어규칙을 통하여 평가하는 퍼지이론을 결합한 지능형 제어방식이다. Mamani등이 이용한 일반적인 퍼지제어는 시스템에서 실제 측정된 평가값들을 퍼지제어규칙들의 제어입력으로 사용하고 퍼지규칙의 후건부에서 나타난 제어출력치를 추론하여 출력을 결정한다. 이와는 달리 예견퍼지 제어방식의 구조는 1)관측가능한 시스템 상태를 기본으로 하여 가능한 모든 제어지령에 대한 제어결과를 실시간내에 예견하고, 2)예견된 결과에서 제어목적으로써 관심이 높은 피평가량을 제어입력으로 하여 퍼지 제어규칙에 적용시켜, 3)퍼지추론으로 가상된 모든 제어지령의 적합도를 얻어 최적의 제어지령을 결정하도록 한다.

예로써, 제어지령 U의 가능한 값들이 u_1, u_2, \dots, u_n 인 시스템의 예견퍼지 제어규칙은 일반적으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{RULE } ij \quad \text{If } ((U \rightarrow u_j), \quad x \text{ is } A_i \text{ and } y \text{ is } B_i) \quad (1) \\ \text{then } (U \rightarrow u_j) \text{ is } C_j \\ (j=1, \dots, n)$$

식(1)에서 $u_j(j=1, \dots, n)$ 는 현시점에서 가능한 모든 제어명령들중 임의의 것이고, 현시점에서 제어지령을 u_j 로 가선택(假

選擇)하여 예견된 x, y의 값이 제어목적에 대한 피평가량이 된다.

식(1)에서 나타난 예견피지 제어규칙을 엘리베이터 군제어에 사용되는 자연언어 규칙으로 고쳐 쓰면, "현재상태에서 hall call을 u_j호기로 할당하는 경우 그 결과로 피평가량 x, y가 예견되며, 이러한 예견 피평가량 x가 A_i이고 y가 B_i라면 그 hall call을 u_j로 할당하는 적합도는 C_i이다"라 할 수 있다.

기존의 군제어방식은 고정된 평가함수만을 이용하므로 trade-off 관계에 있는 제어목적들에 효율적으로 대처할 수 없으며 변화되는 교통상황과 건물특성을 포괄적으로 다루지 못하였다. 따라서 본 논문에서는 퍼지제어의 특징을 이용하여 다수의 제어목적들을 종합적으로 고려하였고, 교통량의 변화 및 건물특성을 제어에 반영기 위하여 퍼지규칙을 통해 나타난 적합도에 하중계수를 주고 이를 운행정보를 바탕으로 조정하여 최적의 하중계수를 찾아가도록 하였다. 제안된 군제어기의 블록 다이어그램은 그림 2와 같다.

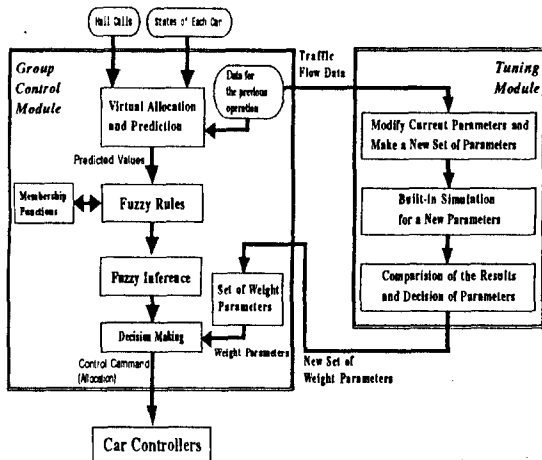


그림 2 제안된 군제어기의 블록 다이어그램

3.2 피평가량 예측연산

총층수가 F인 건물에서, 부속된 엘리베이터가 N대인 군관리 시스템을 가정하고 각 엘리베이터를 1, 2, ..., N호기라 하자. 현재 n호기(1 ≤ n ≤ N)의 위치는 i층에 있고 새로운 hall call이 j층에 발생되었다고 하면 퍼지규칙에 적용될 피평가량들의 종류와 의미는 다음과 같다.

(1) 본인대기시간

본인대기시간은 새로이 발생한 j층 hall call이 n호기로 할당되었을 때, 그 hall call이 서비스되기 위하여 소요되는 대기시간의 예측치를 의미한다. 본인대기시간 T_{1n}이라하면 T_{1n}는 다음 식(2)에서 얻어질 수 있다.

$$T_{1n} = f_{nj} \cdot T_d + \left(\sum_{m \in M_{nj}} S_{nm} \cdot T_m \right) \quad (2)$$

여기서 f_{nj}는 새로운 j층 hall call이 n호기로 할당되었을 때, n호기가 i층에서 j층 hall call까지 이동하기 위한 주행층수의 예측치이며 T_d는 층간 평균주행시간, T_m은 m층 정지

에 대한 평균 지연시간이다. M_{nj}는 n호기가 현재위치에서 j층 hall call까지 이동하기 위한 주행궤적상의 모든층들의 집합이고 C_{mn}은 n호기가 m층에 정지하게 될 확률을 의미한다.

(2) 타인대기시간 증가분

타인대기시간은 j층 hall call이 n호기로 할당되는 경우, 이미 n호기로 할당되었던 hall call의 예측대기시간을 의미한다. K_n을 n호기에 이미 할당되어있는 hall call이 존재하는 모든 층들의 집합이라하고 k를 K_n의 임의의 원소라 하면, j층 hall call이 가할당되기 전의 k층 hall call의 타인대기시간 t_{2k}는 아래와 같다.

$$t_{2k} = W_k + f_{nk} \cdot T_d + \left(\sum_{m \in M_{nk}} S_{nm} \cdot T_m \right) \quad (3)$$

식(3)에서 W_k는 k층 hall call의 발생시각부터 현시점까지의 대기시간이며, f_{nk}는 새로운 j층 hall call의 가할당을 포함되지 않은 k층 hall call까지의 주행층수이다. 가할당이 이루어진 후의 k층 hall call의 타인대기시간 t_{2k'}는 아래와 같다.

$$t_{2k'} = W_k + f_{nk'} \cdot T_d + \left(\sum_{m \in M_{nk'}} S_{nm} \cdot T_m \right) \quad (4)$$

여기에서 f_{nk'}는 j층 hall call의 가할당을 포함한 k층 hall call까지의 주행층수이다. 그러면 타인대기시간 증가분 T_{2n}은 n호기의 모든 타인대기시간 증가분의 합이므로 식(5)과 같이 표현된다.

$$T_{2n} = \sum_{k \in K_n} [t_{2k'} - t_{2k}] \quad (5)$$

(3) 대기시간 평균치

여기에서 말하는 대기시간 평균치는 시스템내 등록된 모든 hall call의 평균대기시간이 아니라, j층 hall call의 가할당을 포함하여 n호기에 할당된 hall call들만의 평균대기시간을 의미한다. n호기의 대기시간 평균치를 T_{3n}이라 하면 그 연산식은 다음과 같다.

$$T_{3n} = t_{2k'} / H_n \quad (6)$$

여기서 H_n은 n호기에 할당된 hall call의 갯수이다.

(4) 장대기시간 증가분

장대기시간 증가분은 j층 hall call이 n호기로 가할당으로 인하여, 이미 n호기로 할당되어 있는 hall call중 장대기 발생이 예측되는 경우 장대기시간의 증가분을 의미한다. 장대기시간 증가분 T_{4n}은 다음 식(7)과 식(8)에 의해 나타난다.

$$T_{4n} = \sum_{k \in K_n} t_{4k} \quad (7)$$

$$t_{4k} = \begin{cases} 0 & (\text{if } t_{2k}' < 60) \\ t_{2k}' - 60 & (\text{if } t_{2k}' > 60 \text{ and if } t_{2k} < 60) \\ t_{2k}' - t_{2k} & (\text{if } t_{2k}' > t_{2k} > 60) \end{cases} \quad (8)$$

(5) 운행거리 증가분

운행거리 증가분 T_{5n}은 n호기로의 j층 hall call 가할당으로 인한 n호기의 이동거리의 증가분이다. 전환층의 예측이

주어진다면 T_{5n} 은 다음식으로 간단히 얻어진다.

$$T_{5n} = (\text{가할당 이전의 예측 이동거리}) - (\text{가할당 이후의 예측 이동거리}) \quad (9)$$

(6) 기준층복귀 시간차

기준층복귀 시간차 T_{6n} 은, 새로운 j 층 hall call이 n 호기로 가할당된 경우, 소속된 각 엘리베이터들이 가상적인 기준층 hall call을 서비스하는 예측시간의 최대차이다. 새로운 hall call이 n 호기에 가할당된 상태에서 p 호기가 기준층으로 복귀할 수 있는 예측시간이 R_{npa} 라 하면 T_{6n} 은 다음식으로 구해진다. 일반적으로 대기시간차 T_{6n} 가 크면 bunching 현상발생이 억제된다.

$$T_{6n} = \max_{x,y} (|R_{nxa} - R_{nyx}|) \quad (10)$$

$(x = 1, 2, \dots, N \text{ and } y = 1, 2, \dots, N)$

3.3 예견퍼지 제어규칙

예측연산에서 연산된 피평가량들은 언어변수를 이용하여 정성적으로 표현된 퍼지제어규칙과 추론을 통하여 hall call 서비스에 대한 각 엘리베이터의 적합도를 구하도록 한다. 퍼지제어규칙은 전문가의 지식에 기반을 두고 그 목적에 따라 다양하게 변화될 수 있다.

퍼지규칙의 전건부를 위한 언어변수로는 SHT(short), NST(not short), LNG(long), NLG(not long), LTL(little), MCH(much), BIG(big), SML(small), FIT(fit), NFT(not fit), GOD(good), BAD(bad)등 12개로 하였다. 전건부 입력변수들의 멤버십함수를 나타내기 위하여 함수 $f_1()$, $f_2()$, $f_3()$ 를 식 (11)~(13)과 같이 정의하였다.

$$f_1(t, a, \beta, \gamma) = \begin{cases} 1 & (t \leq \gamma) \\ 1 - 0.1t & (\gamma < t \leq a) \\ 0.9\beta / (t - a + \beta) & (t > a) \end{cases} \quad (11)$$

$$f_2(t, a, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0.9\beta / (\gamma + \beta - a - t) & (t \leq a) \\ 1 - [0.1(\gamma - t) / a] & (a < t \leq \gamma) \\ 1 & (t > \gamma) \end{cases} \quad (12)$$

$$f_3(t, a, \beta) = \begin{cases} 0 & (t \leq a) \\ (t - a) / (\beta - a) & (a < t < \beta) \\ 1 & (t \geq \beta) \end{cases} \quad (13)$$

그러면, 본 논문에서 사용된 각 전건부 언어변수의 멤버십은 표 1과 같이 정의된다.

표 1 입력변수 멤버십의 정의

멤버십	정의	멤버십	정의
$\mu_{SHT}(T_{1n})$	$f_1(T_{1n}, 15, 5, 0)$	$\mu_{NST}(T_{1n})$	$f_2(T_{1n}, 15, 5, 60)$
$\mu_{LNG}(T_{2n})$	$f_3(T_{2n}, 30, 60)$	$\mu_{NLG}(T_{2n})$	$1 - f_3(T_{2n}, 30, 60)$
$\mu_{MCH}(T_{3n})$	$f_3(T_{3n}, 25, 50)$	$\mu_{LTL}(T_{3n})$	$1 - f_3(T_{3n}, 25, 50)$
$\mu_{FIT}(T_{4n})$	$f_3(T_{4n}, 0, 30)$	$\mu_{SML}(T_{4n})$	$1 - f_3(T_{4n}, 0, 30)$
$\mu_{FIT}(T_{5n})$	$1 - f_3(T_{5n}, 0, 40)$	$\mu_{NFT}(T_{5n})$	$f_3(T_{5n}, 0, 40)$
$\mu_{GOD}(T_{6n})$	$f_3(T_{6n}, 0, 80)$	$\mu_{BAD}(T_{6n})$	$1 - f_3(T_{6n}, 0, 80)$

본 논문에서 사용된 9개의 예견퍼지 제어규칙은 식(14)~(22)와 같다. 본 논문에서는 이들 9개의 퍼지규칙을 세개의 규칙집단으로 분류하였다. RULE 1n~3n은 규칙집단 I에 속하고, RULE 4n~6n과 RULE 7n~9n은 각기 규칙집단 II와 규칙집단 III에 포함된다. 규칙집단 I은 본인대기시간이 짧고 타인대기시간에 영향을 적게 미치는 엘리베이터의 적합도가

크게됨을 나타낸다. 규칙집단 II는 서비스가 분산되면서 장대기 발생이 적은 엘리베이터의 적합도를 증가시키고, 규칙집단 III은 에너지소모가 적고 bunching 현상이 나타나기 어려운 엘리베이터의 적합도를 증가시킨다. 퍼지규칙 후건부 출력변수의 멤버십은 그림 3에 나타나 있다.

$$\text{RULE 1n IF } ((U \rightarrow n), T_{1n} \text{ is SHT and } T_{2n} \text{ is NLG}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P4.} \quad (14)$$

$$\text{RULE 2n IF } ((U \rightarrow n), T_{1n} \text{ is SHT and } T_{2n} \text{ is LNG}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P3.} \quad (15)$$

$$\text{RULE 3n IF } ((U \rightarrow n), T_{1n} \text{ is NST and } T_{2n} \text{ is NLG}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P1.} \quad (16)$$

$$\text{RULE 4n IF } ((U \rightarrow n), T_{3n} \text{ is LTL and } T_{4n} \text{ is SML}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P4.} \quad (17)$$

$$\text{RULE 5n IF } ((U \rightarrow n), T_{3n} \text{ is LTL and } T_{4n} \text{ is BIG}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P2.} \quad (18)$$

$$\text{RULE 6n IF } ((U \rightarrow n), T_{3n} \text{ is MCH and } T_{4n} \text{ is SML}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P1.} \quad (19)$$

$$\text{RULE 7n IF } ((U \rightarrow n), T_{5n} \text{ is FIT and } T_{6n} \text{ is GOD}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P4.} \quad (20)$$

$$\text{RULE 8n IF } ((U \rightarrow n), T_{5n} \text{ is FIT and } T_{6n} \text{ is BAD}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P1.} \quad (21)$$

$$\text{RULE 9n IF } ((U \rightarrow n), T_{5n} \text{ is NFT and } T_{6n} \text{ is GOD}) \text{ THEN } (U \rightarrow n) \text{ is P3.} \quad (22)$$

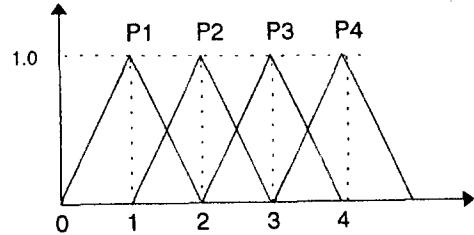


그림 3 출력변수의 멤버십

3.4 서비스 엘리베이터의 선정

각 규칙집단 I, II, III에 속한 3개의 규칙들을 추론하여 나온 결과치를 각기 ϕ_{1n} , ϕ_{2n} , ϕ_{3n} 이라 하면 주어진 hall call의 서비스 엘리베이터로 n 호기를 설정하는 최종 적합도 ϕ_n 은 식(23)와 같다.

$$\phi_n = \omega_1 \cdot \phi_{1n} + \omega_2 \cdot \phi_{2n} + \omega_3 \cdot \phi_{3n} \quad (23)$$

여기서 ω_1 , ω_2 , ω_3 은 건물특성과 교통특성을 표현하기 위한 하중계수이다. 이제, 최종적합도 ϕ_n 이 최대인 엘리베이터가 서비스 엘리베이터가 되도록 제어지령을 확정한다. 이는 다음식과 같다.

$$\text{If } \phi_n = \max(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N), \text{ then } U \text{ is } n \quad (24)$$

4. 군제어를 위한 하중계수의 조정

4.1 하중계수의 조정

엘리베이터 군관리의 시스템에서 예측된 피평가량만을 이용하여 군제어를 수행하는 경우 교통특성(traffic mode), 교통량, 건물특성등이 무시됨으로써 최적의 제어결과를 기대할 수 없다. 따라서 하중계수를 이용하여 각 피평가량의 중요도

를 현재의 교통상황과 건물특성에 적합하게 맞추어주는 일이 시스템 성능향상에 도움을 준다.

이러한 하중계수는 엘리베이터 시스템 구성단계에서 건물의 특성과 교통량을 예측하여 지정할 수도 있다. 그러나 예측된 특성은 실제운영 특성과 차이가 있을 수 있고 건물내의 교통흐름은 때때로 변화되기 때문에 하중계수를 고정하는 방법[6]은 최적계수를 유지할 수 없다. 이러한 이유로 하중계수의 온라인 조정이 필요하게 된다[4].

하중계수를 조정하는 일반적인 방법은 교통흐름자료를 내장(built-in) 시뮬레이터에 적용하여 그 결과를 비교하는 것이다. 그러나 기존의 하중계수 조정방법에서 사용되는 탐색방법(search method)은 많은 조정시간(tuning time)을 요구한다. 하중계수들이 각 건물의 교통흐름에 적합해질 수 있더라도 그 조정에 요구되는 시간이 길어지는 것은 심각한 문제가 될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 연구가 A.Fujino등[4]에 의하여 수행되었다. 이 연구는 조정시간과 조정의 정확도가 잘 조화된 결과를 보여주었으나 조정의 결과가 탐색순서에 크게 의존한다. 또한 각 계수의 가능한 값을 11개로 제한하고 탐색거리를 고정시켰다. 이러한 특징들은 가능한 계수값을 세분시키는 일에 민감하여 하중계수의 정의역(domain)이 확장되면 조정시간이 크게 증가하게 된다.

본 논문에서는 기존의 조정방법의 문제점을 해결하기 위한 계수조정방법을 제안한다. 제안된 방법은 주로 조정시간의 관점에서 취급되었으며, 그 조정시간이 온라인에 적용가능함을 보이고자 한다.

4.2 제안된 계수조정방법

하중계수의 종류가 3개인 경우, 기존의 탐색방법과 제안된 탐색방법의 차이가 그림 4에 나타나 있다. 그림 4에 따르면 하중계수의 종류가 n개인 경우, 기존의 탐색방법은 현재의 위치에서 탐색점(search point)이 2^n+2n+1 개가 됨을 알 수 있다. 이와같이 기존의 탐색방법은 필요한 계수의 종류가 증가함에 따라 탐색점의 수는 기하급수적으로 증가하며, 조정시간의 문제로 하중계수의 종류가 3개인 것이 현재 이 방법의 한계인 것으로 알려져있다. 제안된 방법은 하중계수의 종류가 n개인 경우 탐색점의 수가 $6n+1$ 개에 불과하다. 즉, 탐색점의 수는 하중계수의 종류가 증가에 따라 산술적으로 증가하므로 하중계수의 종류가 증가하여도 온라인으로 적용이 가능하다.

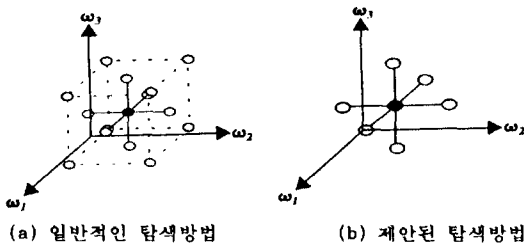


그림 4 하중계수 탐색방법

그러나, 제안된 탐색방법은 기존의 탐색방법과 탐색거리(search width)를 같게 잡는다면 한 위치에서의 탐색시간은 감소하나 전체적인 조정시간은 크게 향상되지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 탐색거리를 가변하여 조정시간을 줄이고자 하였다. 즉, 초기의 탐색거리를 크게하고 현재 위치에서 제어의 결과가 향상되는 하중계수의 집합이 존재하지 않으면 탐색거리를 줄여간다. 본 논문에서는 이 방법을 적용하여 각 하중계수의 정의역을 0에서 40까지 41단계로 확장시켰다. 하중계수 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 의 집합을 W 라 하면, W 는 $41 \times 41 \times 41$ 인 공간상의 한 점으로 표현된다.

하중계수를 조정하기 위해서는 선택된 하중계수 집합의 적합도를 판정하여야 한다. 현재의 하중계수집합을 W 라 하면 W 에 대한 군제어의 평가치 $Y(W)$ 는 식(25)과 같이 표현된다.

$$Y(W) = \sum \beta_j \cdot y_j \quad (25)$$

여기서 j 는 각 제어목적을 나타내고, β_j 는 측정단위의 환산 계수, y_j 는 내장 시뮬레이션에서 얻어진 결과로 측정된 평가치이다. 그림 5에는 제안된 계수조정방법의 알고리즘이 나타나 있다.

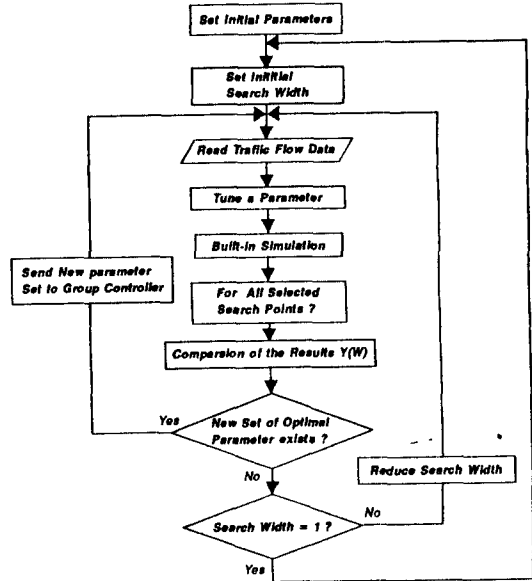


그림 5 제안된 계수조정 알고리즘

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

5.1 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 군제어방안의 타당성을 검증하기 위하여 수행된 시뮬레이션의 조건은 표 2와 같다. 각 제어방식에 대하여 5분간의 hall call 입력자료에 대한 시뮬레이션이 10회씩 수행되었다.

제안된 예견퍼지 할당방식에서 계수조정 이전의 초기 계수 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 과 계수조정 이후의 결정된 최적계수, 탐색횟수는 표 3에 나타나있다. 제어방식에 따른 시뮬레이션의 결과치가 표 4에 나타나있고, 참고로 각 hall call 입력경우에 대한 평균대기시간이 표 5에 나타나 있다.

표 2 시뮬레이션의 조건

엘리베이터의 대수	4대
엘리베이터의 용량	15명/car
엘리베이터 최고속도	120m/min.
건물의 높이	20층
층 간 거리	3m
교통 상황	Down-peak
이용자 수	120명/min.

표 3 계수조정에 따른 최적계수

초기 하중계수 { w_1, w_2, w_3 }	최적 하중계수 { w_1, w_2, w_3 }	탐색횟수 (회)
{ 20, 20, 20 }	{ 20, 20, 30 }	35

표 4 제어방식에 따른 시뮬레이션 결과

군제어방식	평균대기시간	장대기발생률	총이동거리
본인대기시간 최소화할당	44.33초	33.70%	383.0층
예견퍼지 (tuning 전)	36.50초	23.09%	339.1층
예견퍼지 (tuning 후)	34.61초	20.34%	320.9층

표 5 각 경우에 대한 평균대기시간

경우	평균대기시간		
	본인대기시간 최소화할당방식	예견퍼지 제어 (tuning 전)	예견퍼지 제어 (tuning 후)
peak 1	37.91 초	36.58 초	32.03 초
peak 2	39.96 초	33.44 초	35.01 초
peak 3	46.67 초	35.79 초	34.13 초
peak 4	50.57 초	41.37 초	39.07 초
peak 5	49.25 초	39.01 초	36.25 초
peak 6	54.91 초	45.41 초	31.85 초
peak 7	40.68 초	36.35 초	34.86 초
peak 8	38.19 초	37.07 초	36.77 초
peak 9	28.33 초	33.07 초	33.72 초
peak 10	56.80 초	29.12 초	32.44 초

5.2 결과고찰

시뮬레이션 결과에서 본인대기시간 최소화할당방식과 초기 하중계수만을 이용한 예견퍼지 할당방식에 대한 제어목적들을 비교해보면, down-peak 시의 평균대기시간, 장대기발생율, 총이동거리등의 제어목적들이 각기 17.66%, 31.48%, 11.46% 만큼 개선되었다.

초기 하중계수를 이용한 예견퍼지 할당과 조정후의 하중계수를 이용한 예견퍼지 할당에 대한 제어결과를 비교하면, 평균대기시간, 장대기발생율, 총이동거리등의 제어목적들 각기 5.17%, 11.91%, 5.37%만큼 향상되었다. 이는 조정후의 최적계수를 이용한 예견퍼지 할당은 본인대기시간 최소화할당방식보다 평균대기시간, 장대기발생율, 총이동거리가 각기 21.92%, 39.64%, 16.21%만큼 개선되었음을 의미한다.

표 5의 예에서 나타난 바와 같이 본인대기시간 최소화할당방식은 동일한 교통상황에서도 평균대기시간의 편차가 크게 나타난다. 이는 고정된 평가항목만을 가지고 서비스 엘리베이터를 선정함으로써 균형잡힌 작업할당이 이루어지지 못하고, hall call의 입력순서나 call call의 발생등의 예측치 못한 상태변화에 따라 시스템의 성능이 민감하게 반응함을 의미한다. 이에 반하여 예견퍼지 제어방식들은 비교적 고른 서비스성능을 보여주었다. 참고로 본인대기시간 최소화할당방식에서 평균대기시간의 표준편차는 down-peak에서 각기 8.387이었다. 예견퍼지할당 방식에서 평균대기시간의 표준편

차는 계수조정전에는 4.366이었고 계수조정후에는 2.179로 매우 안정된 서비스능력을 나타내었다.

본 논문을 위해 제작한 내장 시뮬레이션 프로그램은 486 DX2-50급 PC 상에서 5분간의 교통자료를 1회 시뮬레이션하는 시간은 약 5~8초였다. 따라서 계수조정 10회분의 정도의 교통자료를 이용하고 온라인으로 계수조정장치를 군제어기로 연결한다면, 일주일에 최소 26개의 탐색점을 평가할 수 있다. 이를 표 3의 탐색횟수와 비교하여보면 본 논문에서 사용된 자료의 경우, 실제 시스템에서 7~8일 정도에 최적계수를 얻을 수 있다. 이는 A.Fujino등에 의하여 연구[4]보다 탐색점의 수가 52배 정도 증가한 것을 고려하면 비교적 작은 조정시간이며, 온라인상에 충분히 적용시킬 수 있는 값이다.

6. 결 론

본 논문에서는 엘리베이터 시스템의 군제어목적용 평균대기시간과 장대기발생, 에너지 소모의 극소화로 하고, 이러한 복수개의 제어목적용 동시에 만족하며 시스템의 효율성을 극대화시키기 위한 군제어방안을 제안하였다. 기존의 군제어방식과 제안된 군제어방식에 대하여 시뮬레이션을 행하여 그 결과를 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초기계수를 이용한 경우, 제안된 군제어 방식은 기존의 방식에 비하여 평균대기시간과 장대기발생, 에너지 소모가 각기 17.66%, 31.48%, 11.46% 향상되었다.
- (2) 계수조정용 이후 제안된 군제어 방식은 초기계수를 이용한 결과에 비하여 평균대기시간과 장대기발생, 에너지 소모가 각기 5.17%, 11.91%, 5.37% 향상되었다. 따라서 하중계수의 조정이 시스템의 성능향상에 크게 기여함을 알 수 있었다.
- (3) 본 논문을 위해 제작한 내장 시뮬레이터 프로그램과 계수조정 방법에 의한 조정시간은 온라인상에 충분히 적용시킬 수 있는 정도였으며 증가된 탐색점의 수에 비하여 매우 빠른 조정시간을 나타내었다.

참 고 문 헌

- [1] Ganthan K. H. Pang and Biswajit Nandy, "Intelligent Scheduling of a Group Elevators", PROC. IEEE Int. Symp. Intelligent Control, pp. 144-149, 1989.
- [2] T.Yuminaka and T.Iwasaka, "Forecasting Control System for Elevators - Development of CIP/IC System", The Hitachi Hyoron, Vol.54, No.12, pp.67-73, 1972.
- [3] T.Tobita, A.Fujino, H.Inaba, K.Yoneda, and T.Ueshinma, "An Elevator Characterized Group Supervisory System", IECON '91, pp.1972-1976, 1991.9.
- [4] A.Fujino, T.Tobita, and K.Yoneda, "An On-line Tuning Method for Multi-Objective Control of Elevator Group", IECON '92, Vol.2, pp.795-800, 1992.11.
- [5] 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.