

# 스마트 빌딩을 위한 센서 기반의 효율적인 엘리베이터 스케줄링

반효경  
이화여자대학교 컴퓨터공학과

## Efficient Scheduling of Sensor-based Elevator Systems in Smart Buildings

Hyokyung Bahn

Dept. of Computer Engineering, Ewha Womans University

**요약** 현대의 스마트 빌딩은 온도, 습도, 소리, 빛, 이동 등 다양한 물리적 정보를 감지해낼 수 있는 센서가 설치되어 있어 인간의 행동을 감지하고 추적하여 의료, 보안, 에너지 절약 등 각종 편의 시설에 활용이 가능하다. 본 논문은 스마트 빌딩의 센서 기술을 이용하는 효율적인 엘리베이터 스케줄링 시스템을 제안한다. 스케줄링에 사용되는 센서로는 RFID, 비디오 센서, 바닥 센서 등으로 이들 센서는 엘리베이터 사용자의 도착 여부를 엘리베이터 호출 버튼을 누르기 전에 미리 감지하는 역할을 한다. 감지된 정보는 빌딩 네트워크를 통해 엘리베이터 스케줄링 시스템으로 전달되며, 제안하는 스케줄링 시스템은 이러한 정보를 통해 엘리베이터 사용자들을 위한 예약 호출을 생성하여 엘리베이터의 이동 방향과 이동 시간을 효율적으로 제어한다. 제안하는 엘리베이터 스케줄링 시스템의 성능을 평가하기 위해 다양한 워크로드 환경에서 모의 실험을 수행하였다. 그 결과 제안하는 스케줄링 시스템이 전통적인 엘리베이터 시스템보다 평균 대기 시간, 최악 대기 시간, 에너지 소모량 등에서 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

**Abstract** In a modern smart building, sensors can detect various physical conditions, such as temperature, humidity, sound, motion, and light, which can be used in medical services and security, and for energy savings. This paper presents an efficient elevator scheduling system that utilizes smart sensor technologies with radio-frequency identification, video, and floor sensors to detect the arrival of elevator users in advance. The detected information is then delivered to the elevator scheduling system via building networks. By using this information, the proposed system makes a reservation call for efficient control of the elevator's direction and time. Experiments under a spectrum of traffic conditions show that the proposed system performs better than a legacy system with respect to average wait time, maximum wait time, and energy consumption.

**Keywords** : Elevator scheduling, Energy consumption, Sensor, Smart building, Smart living

### 1. 서론

최근 사물인터넷(IoT) 및 센서 기술의 급격한 발전으로 다양한 스마트 리빙 서비스들이 가능해지고 있다. 스마트 빌딩 내의 각종 센서들은 온도, 습도, 움직임, 소리, 빛 등 다양한 물리적 정보를 수집할 수 있으며 수집된 정보는 유무선 네트워크를 통해 빌딩 제어 시스템에 전

달되어 다양한 스마트 서비스에 활용될 수 있다. 특히, 센서를 통해 인간의 행동을 감지하고 추적할 수 있게 됨에 따라 의료, 보안, 에너지 절약 등 각종 편의시설에 센서 정보의 활용이 가능한 상황이다. 이러한 스마트 센서 기술을 활용하는 대표적인 시스템은 난방, 환기, 공기 조절 등을 담당하는 HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) 시스템으로 건물의 공기상태와 온도

\*Corresponding Author : Hyokyung Bahn (Ewha Womans Univ.)

Tel: +82-2-3277-2368 email: bahn@ewha.ac.kr

Received July 4, 2016

Revised (1st September 5, 2016, 2nd October 5, 2016, 3rd October 6, 2016)

Accepted October 7, 2016

Published October 31, 2016

를 건물에 사람이 있는지 여부에 따라 조절하는 것이 가능하다.

엘리베이터 스케줄링은 스마트 센서 기술을 활용할 수 있는 또 다른 중요한 서비스 중 하나이다. 본 논문에서는 빌딩 센서 기술을 활용하는 새로운 엘리베이터 스케줄링 시스템을 제안한다. 현대의 센서 기술은 카메라, 비디오, 바닥 센서 등 다중 센서를 활용하여 인간의 행동과 움직임을 정교하게 파악하는 것이 가능하다[1, 2, 3, 4]. 이를 엘리베이터 제어 시스템에 활용할 경우 실제로 승객이 호출 버튼을 누르기 전에 센서를 통해 사용자가 도착 예정이라는 사실을 엘리베이터 스케줄러에 전달하는 것이 가능하다. 예를 들어 로비층에서 센서를 통해 승객의 도착 정보를 미리 인지할 경우 스케줄러는 이를 바탕으로 승객을 상층으로 수송하기 위한 요청을 미리 생성하는 것이 가능하다.

본 논문은 이러한 센서 정보를 활용한 다중 엘리베이터 시스템의 효율적인 스케줄링을 통해 승객의 대기 시간과 전력 소모를 줄일 수 있음을 보인다. 엘리베이터 스케줄링은 고전적인 문제로 이에 대한 많은 연구들이 있어 왔지만, 사용자의 정보를 센서 기술들을 활용하여 미리 파악하고 이를 엘리베이터 스케줄링에 활용하는 연구는 아직 초기 단계에 머물러 있다. 단일 센서를 활용하여 1대의 엘리베이터 스케줄링을 효율화하는 기술이 연구된 바 있으나, 본 논문에서는 사용자 정보를 더욱 정교하게 예측하기 위해 다중 센서 기술을 활용하며, 그룹 엘리베이터 스케줄링으로 문제를 확대한다는 점에 그 의의가 있다[5]. 그룹 엘리베이터 스케줄링 문제는 복잡한 최적화 문제로 이전의 연구들은 유전 알고리즘이나 퍼지 시스템 같은 다양한 최적화 기법을 이용하였다. 또한, 사용자들에 관한 추가 정보를 획득하기 위해 카메라를 설치하거나 기기 외부에 목적 층을 미리 입력받는 등 추가적인 시설을 활용하는 방안도 연구된 바 있다. 몇몇 연구는 시간대별 사용자 패턴 변화를 모델링하고 이를 활용하고 있다. 하지만, 기존 연구들은 사용자가 도착한 후 호출 버튼을 누르기 전까지는 엘리베이터 제어 시스템이 해당 승객을 위한 스케줄링을 진행하지 못한다는 제약점이 있다. 기존의 연구들과 달리 본 논문은 사용자의 도착 정보를 스마트 센서 기술로 감지하여 엘리베이터 기기를 해당 승객을 위해 예약 호출하기 때문에 대기 시간을 더욱 줄일 수 있다. 또한 이러한 예약 호출은 엘리베이터의 이동 방향과 시기를 좀 더 효율적으로 조절하기 때문에 전

력소모를 크게 줄이게 된다.

제안하는 엘리베이터 스케줄링 시스템의 성능을 평가하기 위해, 다양한 워크로드 환경에서의 실험을 수행하였다. 그 결과 전통적인 엘리베이터 시스템보다 대기 시간과 에너지 소모 측면에서 현저히 우수한 결과를 나타내었다. 평균 대기 시간과 에너지 소모는 각각 15-30%와 28-31%의 개선폭을 나타내었다.

## 2. 센서 기반 엘리베이터 스케줄링

전통적인 엘리베이터 스케줄링 시스템은 사용자가 호출 버튼을 누르기 전까지 해당 사용자를 위한 스케줄링을 시작하지 않는다. 이러한 한계 때문에 사용자의 대기 시간과 에너지 소모는 증가할 수밖에 없다. 예를 들어 사용자가 1층에서 엘리베이터 호출 버튼을 눌렀으나 엘리베이터가 방금 전에 다른 승객을 태우고 1층에서 최상위 층으로의 이동을 시작했다면 이 사용자는 엘리베이터의 왕복 시간 동안 기다려야 한다. 만약 1층에 승객이 도착할 예정이라는 사실을 조금 일찍 알았다면 엘리베이터의 출발을 약간 지연시켜 기존 승객과 함께 탑승시키는 것이 가능하므로 엘리베이터가 2번 왕복할 것을 1번만 왕복하게 되며, 이로 인해 승객들의 평균대기시간과 엘리베이터의 에너지 소모를 줄일 수 있을 것이다.

본 논문에서 제안하는 시스템은 사용자의 도착 정보를 RFID, 바닥 센서, 비디오 센서를 이용하여 미리 파악한 후 이를 엘리베이터 스케줄링에 활용한다. 센서와 무선 네트워크 기술의 급속한 발전으로 엘리베이터 사용자의 정보를 미리 파악하고 이를 스케줄링 시스템에 전달하는 것은 현대의 스마트 빌딩 환경에서 비교적 용이한 기술에 해당하므로, 이를 스케줄링에 활용할 경우 승객의 대기 시간과 엘리베이터의 에너지 소모를 크게 줄일 수 있게 된다.

제안하는 시스템은 크게 제어부, 예약부, 할당부로 구성된다. 제어부는 엘리베이터 기기의 이동이나 정지를 제어하며, 예약부는 센서에 의해 감지된 사용자들의 예약 정보를 수집하고 처리한다. 사용자가 엘리베이터에 접근할 때, 다양한 센서들이 사용자의 위치를 미리 감지한 후 빌딩 네트워크를 통해 그 정보를 엘리베이터 제어 시스템에 전달한다. 예약부는 언제 사용자가 엘리베이터에 도착할지를 계산하여 도착 시점에 맞게 예약 호출을

생성한다. 할당부는 예약부로부터 예약 호출을 받은 후 지연 시간(DT)과 이동 방향(MD)의 2가지 파라미터를 결정한다. DT는 예약 호출 시점을 고려할 때 어느 정도의 지연 시간이 필요한지를 결정하며, MD는 엘리베이터의 이동 방향이 상승인지 하강인지를 결정한다. 만약 예약 호출이 엘리베이터의 유휴 시점에 발생했다면, 엘리베이터는 곧바로 움직이지 않고 사용자가 도착하기 직전에 요구된 위치에 도달하도록 가급적 이동 시점을 지연시킨다. 이는 엘리베이터의 이동 거리를 줄여 에너지 소모 절감에 기여한다. 본 논문에서는 사용자가 엘리베이터에 도착하기까지 걸리는 시간과 엘리베이터가 해당 층까지 이동하는 시간의 차이를 DT로 사용했다. 엘리베이터의 이동 시간은 운동 역학에 의해 엘리베이터의 이동거리가 일정 수준 이상인지 아닌지에 따라 다르게 나타난다. 이동거리가 일정 수준 이상이면 가속구간과 감속구간 사이에 등속구간이 존재하는 반면, 이동거리가 매우 짧은 경우 가속과 감속구간만이 존재한다. 다음 식은 DT 값이 어떻게 계산되는지를 보여준다.

$$DT = \begin{cases} PT - 2\sqrt{\frac{DIST}{ASC}} & \text{if } DIST < MIN \\ PT - \left( 2\sqrt{\frac{MIN}{ASC}} + \frac{DIST - MIN}{USC} \right) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$PT = AHT - RCT \quad (2)$$

$$DIST = |CF - PF_i| \times FH \quad (3)$$

엘리베이터의 현재 층을 CF라 하고, 사용자 i의 현재 층을 PF<sub>i</sub>, 각 층의 높이를 FH라 하면, 엘리베이터와 사용자 i의 높이 차이는 DIST이며, MIN은 등속구간이 존재하기 위한 최소 거리차, ASC는 엘리베이터의 가속운동 시의 등가속도, USC는 엘리베이터의 등속운동 시의 속도, AHT는 사용자의 실제 호출 시간, RCT는 예약 호출 시간을 나타낸다. 이 식을 통해 본 논문에서는 엘리베이터가 움직이기 시작해야 하는 시점을 정의하게 된다.

이제 제안하는 알고리즘의 효율성에 대해 두 가지 예제를 통해 살펴보도록 하자. 그림 1은 두 명의 사용자 P1과 P2가 각각 18층에서 1층으로, 그리고 6층에서 18층으로 이동하고자 하는 경우의 예이다. 계산의 편의를 위해 본 예에서는 엘리베이터가 한 층 상승 또는 하강하는 시간을 논리적 시간 1로 가정하고 탑승 시간 등 그

외의 시간은 무시하는 걸로 가정한다. P1과 P2는 t<sub>1</sub>과 t<sub>7</sub> 시점에 예약 호출을 발생시키며, 실제 호출은 각각 t<sub>31</sub>과 t<sub>37</sub>에 발생한다고 하자. 예약 호출 정보를 활용하더라도 본 논문이 제안하는 지연출발을 적용하지 않을 경우 엘리베이터는 t<sub>1</sub> 시점에 이미 P1을 태우기 위해 18층으로의 이동을 시작할 것이다. P2가 t<sub>7</sub>에 예약 호출을 한다고 하더라도, 엘리베이터는 그 시점에 이미 6층을 지나간 후가 된다. 결론적으로, P2는 오랜 시간을 기다려야 하며 시스템 역시 이동 거리가 길어져 많은 에너지 소모가 발생한다. 이에 비해 본 논문이 제안하는 지연출발을 적용할 경우 엘리베이터는 DT만큼 지연한 후 t<sub>14</sub> 시점에 이르러서 이동을 시작한다. 그 결과 P2는 오랜 기다림 없이 엘리베이터에 탑승하게 된다.

P1: Reservation call time t<sub>1</sub> Actual call time t<sub>31</sub> Moving route 18F → 1F  
 P2: Reservation call time t<sub>7</sub> Actual call time t<sub>37</sub> Moving route 6F → 18F

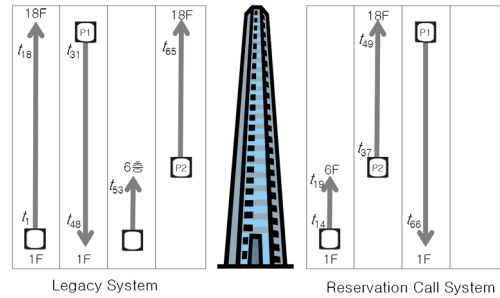


Fig. 1. An example of legacy system and reservation call system with DT.

P1: Reservation call time t<sub>1</sub> Actual call time t<sub>31</sub> Moving route 12F → 15F  
 P2: Reservation call time t<sub>6</sub> Actual call time t<sub>36</sub> Moving route 6F → 18F

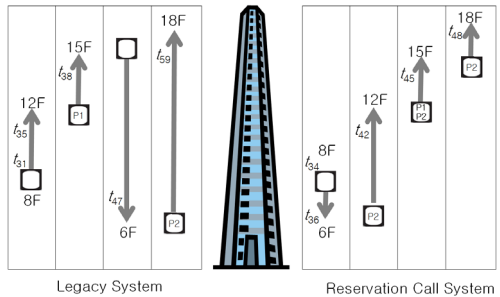


Fig. 2. An example of legacy system and reservation call system with MD.

이동 방향(MD)의 결정은 사용자의 대기 시간을 최소화하는 또다른 중요한 파라미터이다. 예를 들어 그림 2

에서 P1과 P2를 위한 예약 호출이 t1과 t6에 발생했다고 하자. 그리고 이들 두 사용자의 실제 호출 시점은 30 단 위시간 후인 t31과 t36이라고 하자. 엘리베이터의 현재 위치는 8층이고 P1은 12층에서 15층으로, P2는 6층에서 18층으로 가고자 한다고 하자. 기존 스케줄링 시스템에서는 엘리베이터가 P1을 태우기 위해 t31 시점에 12층으로의 이동을 시작할 것이다.(즉, 이동방향은 UP이 된다.) P1은 t35에 엘리베이터에 탑승하게 되며, t38에 목적층인 15층에 도착한다. 이제 엘리베이터는 P2를 태우기 위해 6층으로 이동한다. 그러면 P2의 대기 시간은 11 단위시간이 된다. 반면 본 논문이 제안하는 시스템에서는 예약호출 정보를 바탕으로 엘리베이터가 P2를 태우기 위해 6층으로 먼저 이동하며(즉, 이동방향을 DOWN으로 설정) 그런 다음 P1을 태우기 위해 12층으로 이동한다. 이로 인해 사용자의 평균 대기 시간과 엘리베이터의 이동 거리는 현저히 줄어들게 된다.

지금부터는 그룹 엘리베이터 시스템으로 스케줄링 도메인을 확장하여 설명하도록 하겠다. 그룹 엘리베이터란 여러 엘리베이터 기기들이 하나의 스케줄러에 의해 함께 관리되는 시스템을 말한다. 제안하는 그룹 엘리베이터 스케줄러는 크게 할당 단계와 진행 단계로 구성된다. 예약 호출이 발생하면, 스케줄링 시스템은 먼저 해당 요청을 처리할 엘리베이터 기기를 할당한다. 이 때, 효율적인 할당을 위해 각 엘리베이터가 요청 지점까지 이동하는 데에 걸리는 예상 대기 시간을 계산한다. 그런 다음 최소의 예상 대기 시간을 가지는 엘리베이터를 해당 요청에 할당한다. 예상 대기 시간  $P_{WT}$ 는 엘리베이터  $x$ 가  $i$ 번째 층에서  $j$ 번째 층으로 이동할 경우 다음과 같이 계산된다.

$$P_{WT}(x,i,j) = T_{MOVE} + T_{ADDITIONAL} \quad (4)$$

$$T_{MOVE} = \begin{cases} 2\sqrt{\frac{MIN}{ASC} + \frac{DIST - MIN}{USC}} & \text{if } DIST < MIN \\ 2\sqrt{\frac{DIST}{ASC}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{ADDITIONAL} = T_{OPEN} + T_{BOARD} + T_{CLOSE} \quad (6)$$

이 때,  $DIST$ 는 사용자와 엘리베이터 기기 간의 수직 거리 차를 나타내며,  $MIN$ 은 엘리베이터의 이동에 등속 운동 구간이 존재하기 위한 최소 거리,  $ASC$ 는 엘리베이터의 등가속도를 나타내며,  $USC$ 는 등속 운동 시의 속도

를 나타낸다.  $T_{OPEN}$ ,  $T_{CLOSE}$ ,  $T_{BOARD}$ 는 각각 엘리베이터 문이 열리고 닫히고 사용자가 탑승하는 데에 걸리는 시간을 나타낸다. 만약 엘리베이터가  $i$ 층에서  $j$ 층으로 이동하는 동안 추가적인 경우 층이 존재할 경우 이에 의한  $T_{MOVE}$ 와  $T_{ADDITIONAL}$  값이 합산되어  $P_{WT}$ 가 계산된다.

할당 단계가 끝나면 스케줄링 시스템은 예약 호출을 해당 엘리베이터의 요청 대기 큐로 보낸다. 그러면, 앞서 설명된 스케줄링 알고리즘에 의해 해당 엘리베이터 기기의 스케줄링이 이루어지게 된다.

### 3. 성능 평가

제안한 시스템의 효과를 확인하기 위해 본 논문에서는 20층의 주거용 건물에 RFID, 비디오 센서, 바닥 센서 등을 설치하여 예약호출의 효용성을 조사하였다. 해당 건물의 출입은 RFID 태그를 사용하여 지하 주차장 혹은 1층의 현관에서 이루어진다. 이 시점에 엘리베이터에 대한 예약 호출을 1차적으로 생성하며, 이 시점부터 엘리베이터 버튼을 누르기까지 소요되는 시간은 120초 이하인 것으로 확인되었다. 복도를 따라 엘리베이터 쪽으로 바닥 센서를 설치한 결과 해당 센서에 탐지된 시점부터 엘리베이터의 호출 버튼을 누르기까지 소요되는 시간은 60초 정도로 파악되었다. 건물 내에 비디오 센서를 설치하여 사람들의 움직임을 인지한 결과 비디오 센서에 파악된 시점부터 실제 호출까지의 소요시간은 대략 30초 정도로 확인되었다. 본 연구에서 RFID의 경우 이미 등록된 사용자만을 대상으로 하며, 바닥 센서와 비디오 센서는 등록된 사용자뿐 아니라 방문객을 포함한 모든 엘리베이터 사용자를 대상으로 한다.

본 논문에서는 센서의 입력이 실제 호출로 이어지지 않거나 선행 센서의 입력이 후속 센서에서 나타나지 않을 경우 요청 큐에서 곧바로 제외시키는 방식으로 스케줄링이 업데이트되도록 하였다. 예를 들어, 예약 호출이 RFID 태그를 통해 실제 호출보다 120초 앞서 발생하였지만 비디오 센서나 바닥 센서를 통한 예약 호출이 추가적으로 발생하지 않거나, 실제 버튼이 눌러지지 않았다면 그 요청은 스케줄링 큐에서 제외된다. 바닥 센서나 비디오 센서의 경우 엘리베이터에서 지나치게 먼 지점에서의 감지 결과는 정확성이 떨어지므로 가까운 위치에 설치하는 것이 효과적이다. 그러나, 엘리베이터 스케줄러

에게 예약 호출 정보가 너무 늦게 전달되면 예약 호출의 효과는 떨어지게 된다. RFID 센서는 이에 비해 상대적으로 빠른 감지가 가능하므로 이 시점부터 예약호출을 스케줄링에 반영할 경우 그 효과가 증가하게 된다. 다만, RFID 센서에 감지된 결과가 실제 호출로 이어지지 않는 경우 스케줄링의 효율성이 떨어지기 때문에 가까운 위치에서의 추가적인 센서 인지는 RFID에 의한 예약 호출의 컨펌 또는 캔슬을 통해 예약호출의 효과를 극대화시키면서 실제 호출로 이어지지 않는 경우에 대한 빠른 대응을 가능하게 한다.

실험 대상 건물의 엘리베이터 앞에 설치된 CCTV를 활용하여 일정시간 동안 출입자에 대해 조사한 결과 예약 호출의 84% 정도가 실제 호출로 이어진 것을 확인할 수 있었다. 2층에서 20층까지의 공간에서는 각 호실별 현관앞 복도를 따라 바닥 센서와 비디오 센서를 설치한 결과 이 위치로부터 엘리베이터의 실제 호출까지는 각각 60초와 30초 정도의 시간이 소요되는 것을 확인하였다.

실험을 위한 엘리베이터의 환경 설정은 선행 연구의 환경을 따랐다[6]. 건물의 층수와 엘리베이터의 수는 각각 20층과 6대로 설정하였으며, 엘리베이터별 최대 수용 인원은 20명으로 설정하였다. 사용자의 도착률은 기존 연구와 유사하게 포아송 분포에 따라 분당 5명부터 35명까지 트래픽을 변화시키며 실험하였다. 또한, 실제 상황에서의 돌발적인 트래픽 변화를 반영하기 위해 도착률 자체를 포아송 분포에 따라 비균일 트래픽으로 생성한 환경으로도 실험을 수행하였다. 비교 대상으로는 센서를 사용하지 않는 기존의 엘리베이터 시스템을 사용하였으며, 성능 척도로는 평균 대기 시간, 최악 대기 시간, 에너지 소모의 3가지를 사용하였다.

앞선 센서 프로토타이핑 결과에 기반해서 본 논문의 예약호출 시스템(RCS: Reservation Call System)은 실제 호출에 30초, 60초, 120초 선행해서 발생하도록 하였고, 이들을 각각 RCS-30, RCS-60, RCS-120으로 명명하였다. 예약 호출의 적절한 생성 시기는 사용자의 이동시간과 엘리베이터의 이동 시간에 의존적이다. 엘리베이터의 이동 시간은 운동의 법칙에 의해 비교적 정교하게 추정할 수 있지만, 사용자의 이동 시간은 각 사용자의 발걸음과 상태에 따라 달라질 수 있다. 사용자의 이동 시간을 실제 시간보다 길게 예측한 경우 사용자는 엘리베이터를 더 오랫동안 기다려야 하며, 반대의 경우 사용자가 도착하기 전에 엘리베이터가 이미 떠나버릴 수 있다. 가까운

센서가 사용자의 이동 시간을 좀더 정확하게 예측하기 때문에, 본 논문에서는 상대적으로 가까운 센서에 의한 예약호출이 생성될 경우 멀리 있는 센서에 의한 예약 호출은 큐에서 제외하는 방법을 사용하였다.

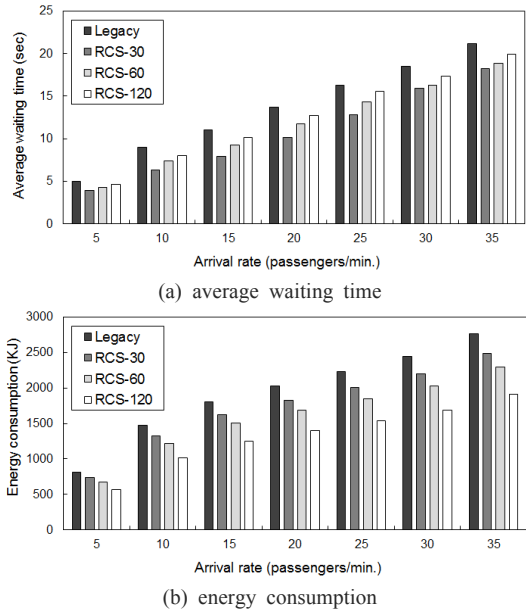


Fig. 3. Comparison of legacy system and reservation call system as the arrival rate is varied.

그림 3(a)는 사용자의 도착률 변화에 따른 기존 시스템(legacy system)과 RCS의 평균 대기 시간을 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 본 논문이 제안한 RCS가 사용자의 도착률과 관계 없이 기존 시스템보다 크게 향상된 성능을 보여주고 있다. 특별히, RCS-30의 평균 대기 시간은 기존 시스템보다 평균 22.1%, 최대 30.0%까지 개선된 것을 확인할 수 있다. RCS-120의 경우 예약 호출을 최대한 길게 반영하는 시스템이므로 1대의 엘리베이터가 한꺼번에 많은 사용자를 탑승시키게 되어 평균 대기 시간 측면에서는 RCS-30이나 RCS-60보다 낮은 성능을 나타내었다. 그림 3(b)는 엘리베이터 시스템의 작동 중 소모된 에너지를 보여주고 있다. 그림에서 보는 것처럼 RCS가 기존 시스템보다 에너지 소모가 줄어든 것을 확인할 수 있다. 특히, 한번에 많은 승객을 태우면서 운행하는 RCS-120이 가장 좋은 결과를 나타내었다. 기존 시스템과 비교할 때 RCS-120은 평균 28.6%, 최대 31.2%의 에너지 절감 효과가 있었다.

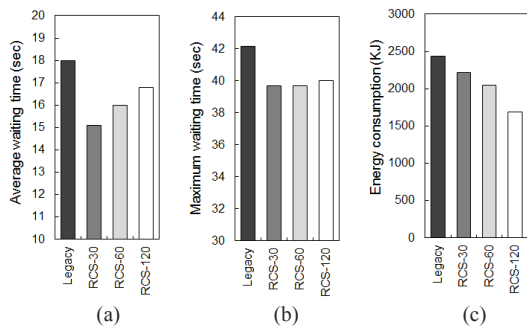


Fig. 4. Comparison of legacy system and reservation call system with non-homogeneous traffic. (a) average waiting time; (b) maximum waiting time; (c) energy consumption

그림 4는 승객의 도착률이 돌발적으로 변할 수 있는 비균일 트래픽 환경 하에서의 대기시간과 에너지 소모량을 보여준다. 제안하는 시스템이 모든 성능 평가에서 기존 시스템보다 우수한 결과를 나타내었다. 그림 4(a)에서 보는 것처럼 RCS-30의 평균 대기 시간은 기존 시스템보다 16.1% 개선된 것을 확인할 수 있다. RCS-120의 경우 평균 대기 시간 측면에서는 성능 개선폭이 비교적 적었지만 그림 4(b)에서 보는 것처럼 최악 대기 시간의 경우 RCS-30과 거의 유사한 개선효과를 나타내었다. 기존 기법 대비 RCS의 최악 대기 시간은 센서 유형에 관계 없이 6.5-6.8% 향상된 것을 확인할 수 있었다. 그림 4(c)에서 보는 것처럼 에너지 소모는 그림 3에서의 결과와 유사하게 RCS-120이 가장 우수한 결과를 나타내었다. 제안한 기법의 에너지 절감 폭은 기존 기법 대비 평균 30.7%인 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 스마트 빌딩을 위한 센서 기반의 엘리베이터 스케줄링 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 엘리베이터 사용자가 호출 버튼을 누르기 전에 센서(RFID, 비디오 센서, 바닥 센서)를 이용해서 미리 탐지하고 이를 스케줄링 시스템에 예약호출 형태로 전달하여 효율적인 스케줄링에 활용한다. 다양한 트래픽 환경에서의 실험 결과 제안한 스케줄링 기법이 기존 엘리베이터 시스템에 비해 평균 대기 시간과 에너지 소모를 각각 15-30%와 28-31% 개선할 수 있음을 보였다.

본 논문은 엘리베이터의 성능 이슈만을 다루었으나,

사람을 대상으로 하는 시스템의 설계를 다룬다는 측면에서 향후 실제 시스템에 적용하기까지는 충분한 필드 테스트 및 검증의 과정이 필요한 것으로 판단된다.

#### References

- [1] I. Essa, "Ubiquitous sensing for smart and aware environments," *IEEE Personal Communications*, vol. 7, pp. 47-49, 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/98.878538>
- [2] C.D. Kidd, R.J. Orr, G.D. Abowd, C.G. Atkeson, I.A. Essa, B. MacIntyre, E. Mynatt, T.E. Starner, and W. Newstetter, "The aware home: a living laboratory for ubiquitous computing research," *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 1670, pp. 191-198, 1999.  
DOI: [http://dx.doi.org/10.1007/10705432\\_17](http://dx.doi.org/10.1007/10705432_17)
- [3] R.J. Orr and G.D. Abowd, "The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking," *Proc. Int. Conf. Human Factors in Computing Systems*, pp. 275-276, 2000.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/633292.633453>
- [4] M. Addlesee, A. Jones, F. Livesey, and F. Samaria, "The ORL active floor," *IEEE Personal Communications*, vol. 4, pp. 35-41, 1997.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/98.626980>
- [5] T. Strang and C. Bauer, "Context-aware elevator scheduling," *Proc. Int. Conf. Advanced Information Networking and Applications Workshops*, pp. 276-281, 2007.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ainaw.2007.131>
- [6] S. Lee and H. Bahn, "An energy-aware elevator group control system," *Proc. IEEE Int. Conf. Industrial Informatics*, pp. 639-643, 2005.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/INDIN.2005.1560451>

반 효 경(Hyokyoung Bahn)

[정회원]



- 1997년 2월 : 서울대학교 계산통계학과 (이학사)
- 1999년 2월 : 서울대학교 대학원 전산학과 (이학석사)
- 2002년 2월 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

운영체제, 임베디드 소프트웨어