

초대형 고층 빌딩의 엘리베이터 시스템 성능 평가에 관한 연구

· 김 효 섭, 임 동 진  
한양대학교 제어계측공학과

A study on the performance analysis for the elevator system of the high-rise buildings

°Hyo-sup Kim, Dong-Jin Lim  
Dept. of Control & Instrumentation Engineering Hanyang University

**Abstract** - For the high-rise buildings, the effective use of the buildings heavily depends on the transportation system inside the buildings. For a long period of time, elevators have been the most effective means for moving people residing in the buildings. As the number of elevators in the building grows, it is very complicated to control and manage the elevator system effectively. Since it is almost impossible to find the accurate mathematical model for the elevator systems, the conventional analysis method using the approximated equations is prone to error. In this work, the elevator simulator for the high-rise buildings is developed to assess the accurate behavior of the elevator systems. This simulator can be used to analyze the performance of the given system, or to facilitate the design of the effective elevator systems for new buildings. In this paper, the structure of the simulator has been explained and the simulation results are presented.

1. 서 론

빌딩이 고층화, 대형화가 이루어지면서 빌딩 내부의 주요 이동 수단인 엘리베이터가 증가하게 되었다. 초대형 고층빌딩에서는 수 십대의 엘리베이터가 운행이 되고, 승객 및 엘리베이터의 교통 상황에 대한 고려가 커지게 되었다. 엘리베이터의 운행 알고리즘 및 적절한 엘리베이터의 운행대수는 엘리베이터 이용 승객의 요구에 의해 결정되어진다. 기존의 엘리베이터와 승객들의 교통에 대한 고려는 출, 퇴근 시간과 같은 최대 피크 시간에 맞추어져 설계되었고, 이때 얻은 데이터를 바탕으로 기본 시방이 결정되고 특정한 상황에 맞는 계산식과 그래프를 이용하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 초대형 고층빌딩에서 보다 복잡해진 엘리베이터들의 운영 기술의 평가 및 실질적 데이터를 얻기가 어려움에 따라 유사한 상황을 시뮬레이터를 이용하여 인구의 이동 및 엘리베이터 운행에 대하여 평가하였다. 이 시뮬레이터는 빌딩에 맞는 교통 상황 및 엘리베이터에 대한 여러 파라미터 변수 및 유연한 형태의 여러 분포를 가지는 상황을 맞출 수 있고, 엘리베이터 일주 운동 및 빌딩 내부의 교통에 대한 데이터를 얻을 수 있는 형태로 되어있다. 본 논문에서는 엘리베이터 시스템의 성능을 평가할 엘리베이터 시뮬레이터 및 성능평가에 대하여 기술하였다.

2. 엘리베이터 모델 및 시스템의 성능기준

시뮬레이션이 이루어질 빌딩 내부의 탑승 승객 교통 및 엘리베이터는 시스템은 이산사건시스템(DES)으로 모델화 되었다. 시스템은 시간에 의해 모델이 이루어지

는 것이 아니라 사건(Event)을 기반으로 이루어진다. 일반적인 수식에 의존한 모델에서 해결하기 힘든 복잡성, 동적인 특성들을 포함하는 거대한 시스템의 모델화가 가능하다. 본 논문에서는 빌딩의 로비에서 승객이 발생에 따른 엘리베이터의 일주운동 (Round-Trip Time, RTT)를 바탕으로 기본적인 모델이 이루어진다.

2.1 초대형 고층 빌딩의 모델

초대형 고층 빌딩은 목적에 따라 여러 구역으로 나뉘어진다. 사무실의 일반적으로 비중이 가장 크게 된다. 그림 1은 일반적인 오피스 빌딩의 근무시간의 인구 출입 분포를 나타내고 있다.

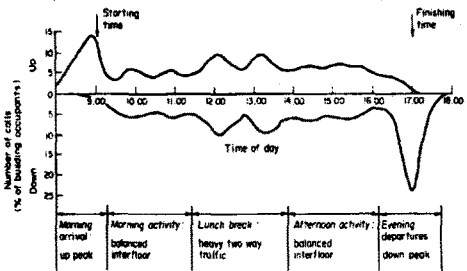


그림 1. 일반적인 오피스 건물의 시간별 출입 인구 분포

이 가운데 엘리베이터 시스템의 설계와 분석에 가장 많이 사용되는 통행 패턴이 상승 피크 통행 패턴이다. 건물의 메인 터미널(보통 지상층)에 도착한 승객이 다른 층으로 이동(상승)하려는 경향을 나타내는 이 패턴은 전형적으로 업무 시간이 시작되는 오전 출근시간 무렵에 관찰되는데 건물에 설치할 엘리베이터의 크기를 결정하는데 사용된다. 상승 피크 통행 패턴 동안에, 승객들은 건물의 메인 터미널에 도착하고 로비에서 일정 시간을 대기한 후 엘리베이터에 승차하게 된다. 엘리베이터가 원하는 목적 층에 도착하면 승객의 하차가 이루어지고 남아 있는 다른 승객들이 요구하는 최고층까지 엘리베이터가 운행을 계속하고 다시 메인 터미널로 되돌아 와서 전술한 과정을 되풀이하게 된다.

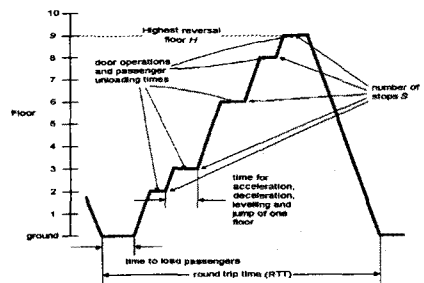


그림 2. 일주운동(round-trip time)시간

이러한 일주운동(round trip)의 전형적인 한 예가 그림 2에 나타나 있다. 보통 엘리베이터의 설계 과정은 평균 일주운동시간(round trip time, RTT)를 이용하여 시스템의 성능평가 및 빌딩에서의 엘리베이터 시스템의 적용이 이루어진다. 그러나, 엘리베이터 일주운동(RTT)에 대한 모델에 대한 통계적 분석 한계로 인해, 설계자의 기술과 경험에 많이 의존하게 된다. RTT값을 결정하는 과정은 엘리베이터의 양적인 측면(처리 능력)의 성능을 알 수 있게 하는 기준으로 제시될 수 있지만 승객의 대기 시간 같은 질적인 측면을 전혀 고려하지 못한다고 할 수 있다 따라서, 본 연구에서는 이와 같은 설계 방법을 시뮬레이터에 적용하고, 시뮬레이터가 가지는 유연성을 이용해 보다 정확한 이산사건 모델을 만든 후, 이를 이용해 초대형 고층빌딩의 엘리베이터 시스템의 성능 평가를 하게 된다.

## 2.2 엘리베이터 시스템의 주요 성능 기준

- 엘리베이터의 일주 운동 흐름도 (Round-Trip flow)
- 엘리베이터의 운행 중 태운 승객수
- 엘리베이터의 이용률
- 승객의 대기 시간

## 3. 시뮬레이터의 구조

초대형 고층 빌딩은 여러 구역(Zone)으로 나누어지며, 각 구역에는 사용자가 구역(Zone)별 엘리베이터의 여러 대의 엘리베이터가 움직이는 구조로 되어있다. 모든 엘리베이터는 같은 구조로 되어 있고, 각각의 엘리베이터는 자신이 속해 있는 구역의 로비 상태와 다른 엘리베이터의 이동상태, 운행 상태에 따라 운행을 하게 된다.

### 3.1 시뮬레이터의 임, 출력 데이터

시뮬레이션이 적용될 빌딩에 따라 각 변수 및 파라미터를 입력 할 수 있다. 주어진 파라미터 및 조건에 따라 출력 데이터가 얻어지게 된다.

#### 3.1.1 시뮬레이터의 입력 데이터

- 건물 내부의 인구의 출입 인구 분포
- 엘리베이터의 최대 이송 능력(Kg, lbs.)
- 엘리베이터의 최대 이동 거리(m, ft.)
- 엘리베이터의 최소 및 최대 이동 속도(m/min)
- 엘리베이터의 가속, 감속 및 등속 시간
- 엘리베이터의 문 여닫는 시간
- 엘리베이터 내부의 크기, 엘리베이터의 최대 이송 능력
- 승객의 엘리베이터에 승차 및 하차시 걸리는 시간
- 엘리베이터에 대한 기타 시간 요소들

#### 3.1.2 시뮬레이터의 출력 데이터

- 각 엘리베이터의 운행 방향
- 각 엘리베이터 현재 위치
- 각 엘리베이터 내부의 탑승 인원
- 각 로비에서의 승객의 대기 시간

### 3.2 빌딩의 각 층 로비 모듈

승객(Entity)이 발생되는 모듈로서 빌딩 내부에서 층에 해당되는 부분으로써 각 층의 용도 및 일과 시간에 따라 적절한 확률분포를 가지고 생성된다. 이때 생성된 엔티티(Entity)는 속성(Attribute)이 부여되고, 시뮬레이터에서 나갈 때까지 가지고 있게 된다. 각 로비는 2개의 큐(Queue)를 가지게 된다. 이 큐는 승객이 모이는 로비가 되는 동시에 엘리베이터 운행 알고리즘 모듈에서 각 큐(Queue)에 승객이 도착하면 이를 인지하게 된다.

### 3.3 엘리베이터 승,하차 모듈

엘리베이터가 다음 층에 도착하면 우선 승객의 하차가

Attribute	Description
from_floor	승객이 생성된 로비
to_floor	승객이 가고자 하는 목적지
waiting_time	승객이 생성된 시간

표 1. 승객의 속성(attribute)

이루어진다. 하차가 이루어지면 승객(Entity)은 시뮬레이터를 빠져나가게 된다. 하차가 완료되면 승객의 승차 요구를 확인을 한 뒤 승차가 이루어지게 된다. 승객의 승,하차시 엘리베이터가 정지 상태가 유지되고, 출입문의 개폐 시간, 승객들의 승,하차등의 시간이 소요되고 시뮬레이터에서는 이 시간들을 모두 합산한 값이 엘리베이터의 정차시간으로 간주한다. 엘리베이터는 큐(Queue)로 구현되었으며 최대 승차 인원은 큐의 크기에 비례하게 된다. 만일 큐가 다 차버린다면 엘리베이터는 승객을 태우지 못하고 다음 층으로 이동하게 된다.

### 3.4 빌딩의 각 층 로비 모니터링 모듈

초대형 고층 빌딩의 경우는 빌딩의 높이에 따라 엘리베이터 이동길도 길어지게 되고, 전체 빌딩의 승객들의 상태를 단지 각 층 로비 승강장의 호출 버튼의 정보만으로는 적절한 운행이 이루어지지 않는다. 초대형 고층빌딩의 경우, 비전 시스템 등을 이용해 로비의 상태를 파악하여 엘리베이터 운행을 결정한다. 시뮬레이터에서는 각 로비에서의 대기자의 수를 일정한 간격으로 엘리베이터 호출 버튼이 눌린 후부터 대기 시간, 대기 인원수들을 파악하여 이를 운행 제어 모듈로 보내주게 된다.

### 3.5 각 엘리베이터 운행 프로세서 모듈

각 엘리베이터는 엔티티의 이동에 의해서 운행이 이루어진다. 이 엔티티는 이동 방향 및 운행 방법에 따른 2가지 속성을 가지게 된다. 승객의 승, 하차가 모두 이루어지면 엘리베이터 운행 프로세서 모듈로 엔티티가 이동하게 된다. 이 모듈에서는 만일 엘리베이터 내부에 승객이 있으면 자동 운행 모드(normal mode)로 운행을 하고, 엘리베이터 내부에 승객이 타고 있지 않으면 정지 모드(park mode)로 전환이 된다. 이를 엘리베이터 운행 제어 모듈에서 적절한 운행 방법에 따라 운행 방법 및 방향을 결정하게 된다.

### 3.6 전체 엘리베이터 운행 제어 모듈

Attribute	description	
Zone_ID_Elev_Dir	각 엘리베이터의 운행 방향	
Zone_ID_Elev_mode	normal	자동 운행 모드
	park	정지 모드
	Manual	수동 운행 모드

표 2. 엘리베이터의 속성(attribute)

각 층의 로비 모니터링 모듈 및 각 엘리베이터 운행 상태를 파악하여 각 엘리베이터에게 다음 운행 방향 및 운행 방법을 할당하게 된다. 이 부분은 전체 엘리베이터의 시스템의 효율에 가장 큰 영향을 미치는 부분이다.

### 3.7 애니메이션

본 시뮬레이터는 각 로비의 승객의 상태 파악 및 적절한 엘리베이터 운행을 확인하기 위하여 애니메이션을 이용하였다.

## 4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션이 끝나면 각 엘리베이터의 위치와 로비의 승객의 상태에 대한 데이터가 나온다. 이를 이용해 전체 엘리베이터 시스템에 대한 평가를 내릴 수 있게 된다. 아래 그림 3은 초대형 고층 빌딩의 구역(Zone1)에서의 5대 엘

리베이터들의 운행 다이어그램으로써 시간에 따른 엘리베이터의 현재 위치를 나타내고 있다.

(참 고 문 헌)

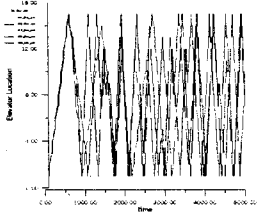


그림 3. 엘리베이터의 운행 다이어그램(Zone 1)

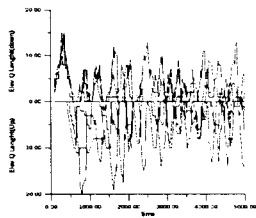


그림 4. 엘리베이터의 승객 이용상황 (Zone 1)

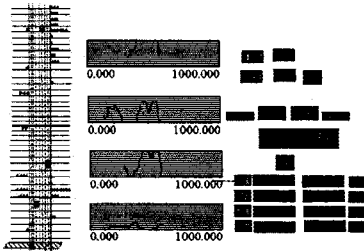


그림 5 애니메이션 부분

그림 4은 구역(Zone)1에서의 각 엘리베이터 탑승자의 시각별 변화를 나타내주고 있다. 제로(zero)를 기준으로 위의 그래프는 건물의 위로 올라가는 승객의 수를 나타내고 아래의 그래프는 내려가는 승객의 수를 나타내고 있다. 그림 5는 시뮬레이터의 애니메이션 부분이다. 승객, 엘리베이터는 애니메이션으로 움직이게 되고, 이를 이용해 엘리베이터 운행알고리즘을 검증하게 된다. 또한 각 상태 변수는 각 엘리베이터의 상황 및 각 로비의 승객의 상황을 모니터링 하여 준다.

1) George R. Strakosch, "Vertical Transportation: Elevators and Escalators" second Edition, John Wiley & Sons, 1983  
 2) Elevator World, "Elevator World Educational Package and Reference Library" 1994 Edition,  
 3) "System & Control Encyclopedia", Vol 2 Con-E pp1420-1450  
 4) 배중원, "인텔리전트 빌딩 제어시스템의 성능 해석에 관한 연구", 한양대학교 1996. 12  
 5) C.Dennis Pegden, "Introduction to Simulation Using SIMAN", McGraw-Hill, 1995 [5] W.David Kelton "Simulation With ARENA", McGraw-Hill, 1998  
 6) Systems Modeling Co. "ARENA Template Reference Guide", System Modeling Co. 1995  
 7) R.A.Carlson and R. Giandomenico, "Understanding Building Automation Systems", John Wiley & Sons, 1994  
 8) C.G. Cassandress, "Discrete Event Systems", Irwin, Inc, 1993  
 9) 엘리베이터 하이테크 기술, 日本용사, 省安堂 共同出版 1996

항목	결과치
시뮬레이션 시간	1000초
로비에서의 평균대기시간	35.24%
로비에서의 60초이상 대기율	23.63%
엘리베이터의 이용율	73.15%
빌딩 내부의 전체 이동 승객수	875명

표 3. 엘리베이터 시스템의 전체적인 평가

표3은 임의로 정한 빌딩의 크기 및 로비의 교통을 시뮬레이터에 적용 후 얻은 데이터이다. 이를 이용해 전체적인 평가를 할 수 있다. 만일 로비에서의 승객의 대기 시간이 길어진다면 엘리베이터를 이동 속도, 엘리베이터의 크기, 대수 등을 증가시켜 가면서 주어진 빌딩에 맞는 엘리베이터 시스템을 얻을 수 있을 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 구현된 초대형 고층 빌딩용 시뮬레이터는 빌딩 내부의 승객의 교통을 시간에 따른 확률 분포를 적용할 수 있으며, 수 십대의 엘리베이터가 독립적으로 움직일 수 있도록 하였다. 시뮬레이터에는 애니메이션 기능을 첨가되어 이를 시각적으로 확인하게 하였다. 구현된 시뮬레이터는 건물의 설계 초기에 이용하여 시뮬레이션의 결과로 얻어진 여러 가지 평가 데이터를 이용하여 적절한 엘리베이터의 대수 선정 및 빌딩 내부의 대한 교통에 대한 전반적인 해석 및 전체 엘리베이터 시스템의 평가 및 설계에 이용 될 수 있다.