

인텔리전트 빌딩 제어 시스템의 통합 시뮬레이터 개발

°배 중 원*, 임 동 진*, 홍 승 호*, 송 규 동**

* 한양대학교 제어계측공학과, ** 한양대학교 건축공학과

Development of Integrated Simulator for Intelligent Building Control Systems

°Joong-Won Bae*, Dong-Jin Lim*, Seung-Ho Hong*, Kyoo-Dong Song**

* Dept. of Control & Instrumentation Eng., Hanyang Univ., ** Dept. of Architecture Eng., Hanyang Univ.

Abstract - To Provide pleasant building environment and the ease of maintenance and facility management, many new office buildings are being built as intelligent buildings. Building control systems which are employed in intelligent buildings require advanced types of controllers and varieties of control schemes. Designing and installation of these types of advanced building control systems take a lot of effort and also they are costly. In order to design these systems, it is necessary for the designers to have means to analyze and estimate the performance of control systems. In this paper, the results of the simulator for HVAC and elevator system are presented as the first stage of the development of the integrated simulator. For the development of simulator, ARENA which is the general-purpose software tool for the simulation with reinforced GUI is used.

화 및 방재 제어 시스템 등으로 크게 구분할 수 있다.

이에 본 논문에서는 인텔리전트 빌딩 제어 시스템을 시뮬레이션하기 위한 통합 시뮬레이터 개발의 첫 단계로서, 공조·냉난방 시스템과 엘리베이터 관리 시스템의 시뮬레이터 개발 결과를 설명한다.

시뮬레이터 구현에는 그래픽 사용자 인터페이스 기능과 애니메이션 기능이 강화된 범용 시뮬레이션 소프트웨어인 Arena가 사용되었다.

1. 서 론

이용자에게 쾌적한 환경을 제공하고 업무 능률을 향상시키며 관리자에게 건물의 관리와 운영을 편리하게 할 수 있도록 하기 위해서 최근에 신축되고 있는 많은 건물들이 인텔리전트 빌딩의 형태로 신축되고 있으며 이러한 추세는 앞으로 급증할 전망이다.

인텔리전트 빌딩에 적용되는 빌딩 제어 시스템은 쾌적한 환경에 대한 요구에 부응하고 에너지 절약 등을 고려해야 하므로 첨단 제어 기기와 다양한 제어 방법이 요구된다. 이러한 과정에서 빌딩 제어 시스템의 최적 설계와 설치에는 많은 시간과 비용이 소모된다. 따라서 이와 같이 나날이 복잡해지고 고도화되는 빌딩 제어 시스템을 효율적으로 설계하고 제어 시스템의 성능을 초기 단계에서 분석하고 평가할 수 있는 방법이 필요하며, 이를 위해서는 빌딩 제어 시스템의 시뮬레이터 개발이 필수적이다.

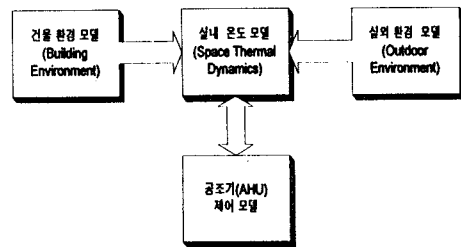
인텔리전트 빌딩의 제어 시스템은 제공되는 서비스의 유형에 따라 공조·냉난방 제어, 전력 설비 제어, 조명 설비 제어, 엘리베이터 관리, 방범 및 출입 통제 제어, 소

2. 공조·냉난방 시스템 시뮬레이터

2.1 공조·냉난방 시스템 시뮬레이터의 개요

대형 건물에서는 Zone이나 층 단위의 개별 공조가 보편적이다. 본 논문에서는 건물의 내부를 6개의 벽체로 둘러싸인 단위 공간(space, room, zone)으로 구획하여 입의의 공간 사이에서 일어나는 열의 입출입으로 인한 단위 공간 내부의 온도 변화 추이를 관찰하였다.

시뮬레이터의 전체 구성은 [그림1]과 같다.



[그림 1] 공조 제어 시스템의 전체 블록도

모델의 단순화를 위해 아래와 같은 조건들을 가정한다.

- (1) 벽체를 통한 열 전도는 한 방향만을 통한다.
- (2) 제실 인원에 의한 발열, 조명 발열, 기기 발열, 외기 입출입에 의한 열 취득/열 손실은 없다고 가정한다.
- (3) 실내의 온도 분포는 어디에서나 균일하다.
- (4) 건물 벽체는 순물질이며 열 전달 계수는 일정하다.

시뮬레이터는 실내의 냉방 부하를 0.25 시간마다 계산하고, 내부 설정 온도를 일정범위 안으로 유지하기 위해서

공조기의 공급 열량을 PID제어를 통해 조절하게 된다.

2.2. Thermal Response Factor Method

건물내의 열량 변화를 엄밀하게 모델링하려면 열에 관련된 복잡한 동적 모델이 필요하다. 본 논문에서는 미분 방정식으로 표현되는 일련의 동적 모델을 사용하지 않고 보다 간단하게 실내의 열량 변화를 계산하는 방법으로써 Mitalas와 Stephenson이 제안한 열 응답 계수법(Thermal Response Factor Method)을 사용하였다.

열 응답 계수법에 기초하여 외벽이나 실내 간벽을 통해 들어오는 열 전도량은 아래 식으로부터 구해진다.

$$Q_{con} = A \sum_{n=0}^m b_n T_{s_{t-ndt}} - \sum_{n=1}^m d_n Q_{con_{t-ndt}} - AT_i \sum_{n=0}^m c_n \dots(1)$$

여기에서,

- Q_{con} : 시간 t에서의 전도에 의한 열취득/열손실.
- $Q_{con_{t-ndt}}$: (t-ndt)에서의 전도에 의한 열취득/열손실.
- $T_{s_{t-ndt}}$: 외벽인 경우 벽체의 sol-air temperature, 간벽인 경우 인접하는 공간의 온도.
- A : 벽의 면적
- b_n, d_n, c_n : 전달 함수 계수 (Transfer function coefficient)

이다.

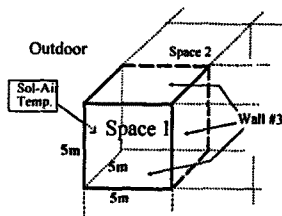
(1)식에서 m은 재료의 열 용량(thermal capacity)에 의존하는 값이며 dt는 보통 1시간이다.

2.3 시뮬레이션의 적용 예

[그림 2]와 같이 ASHRAE 벽체 타입 #32(4-in 콘크리트 + 2-in 단열재) 6개로 이루어진 공간(=실)을 생각한다. 이 벽체의 열 전달 함수 계수 값은 [표 1]과 같다.

	n=0	n=1	n=2	n=3
b	0.00312	0.04173	0.02736	0.00119
d	1.00000	-0.94420	0.05025	-0.00008
$\sum c$	0.0734			

[표 1] Wall #32의 전달 함수 계수



[그림 2] 단위 공간(Space)의 예 (외벽3 + 간벽3)

벽체가 외벽인 경우에는 외부 환경 모델에서 제공되는 Solar-Air Temperature가 벽을 관류하여 열 출입이 일어나게 되며, 건물 내부의 간벽인 경우에는 인접 공간의 실내 온도가 그 벽체에 작용한다.

이때 각 벽체를 통해 출입하는 열량은 매 시간마다 열 응답 계수법에 의해 계산되고 이것을 합산하면 벽체를 타고 출입하는 총열량이 된다. 이 열량과 공조기가 공급하는 열량의 합이 현재 시간에서 실내 총열량이 되는 데 이것으로부터 실내의 온도를 구하는 식은 아래와 같다.

$$\rho C_p V \frac{dT_i}{dt} = Q_{total} + Q_{hvac} \dots(2)$$

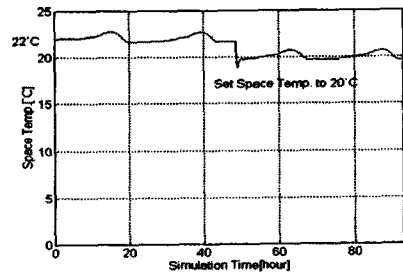
- ρ : 실내 공기의 밀도
- C_p : 실내 공기의 비열
- V : 실내 공기의 부피
- Q_{total} : 벽체를 통해 들어온 총 열량
- Q_{hvac} : 공조기를 통해 들어온 열량

제어부에서는 실내 온도와 실외온도의 차를 개환하여 다음 식으로 주어지는 PID제어기를 사용하여 공조기가 송풍을 통해 제거시켜야 하는 열량을 계산하게 된다.

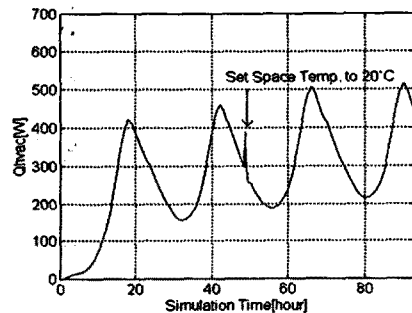
$$U(n) = U(n-1) + K_p(e_n - e_{n-1}) + K_I e_n \Delta T + \frac{K_d}{\Delta T} (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2}) \dots(3)$$

본 논문에서는 외벽이 3개이고 간벽이 3개인 공간에 대해서 시뮬레이션을 수행하였으며 처음에는 실 설정 온도를 22°C로 하였다가 시뮬레이션 시간 49에서 설정 온도를 20°C로 변화시켰다. 이때 실내의 온도 변화는 [그림 3]과 같다.

아래 [그림 4]는 시뮬레이션 결과 공조기에서 공급되는 열량의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.



[그림 3] 실내 온도 변화



[그림 4] 공조기 열량 변화

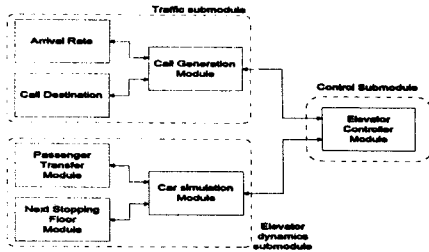
3. 엘리베이터 제어 시뮬레이터의 구현

3.1. 엘리베이터 제어 시뮬레이터의 개요

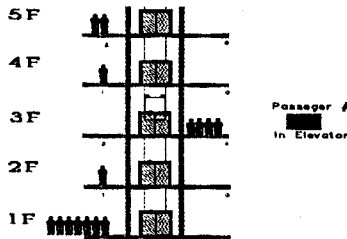
고층 건물의 핵심적인 수직 운송 수단으로써 엘리베이터의 효율적인 관리를 위해서는 사전에 엘리베이터의 운송 능력과 서비스 능력을 파악하여 그 건물의 특성에 맞는 제어 방법을 개발하는 것이 필요하다. 이러한 목적으로 본 논문에서는 가상의 건물에 가장 일반적인 축적 제어(Collective control)방식을 적용해 보았을 때, 서로 다른 입력 데이터 조건하에서 엘리베이터의 이용률과 총별 대기 인원 등을 조사해 보았다.

또한 시뮬레이션이 이루어지는 동시에 엘리베이터 시스템의 애니메이션이 가능하도록 시뮬레이터를 구성하였다.

시뮬레이터의 구성은 [그림 5]와 같고, [그림 6]에서는 본 시뮬레이터의 애니메이션의 장면을 보이고 있다.



[그림 5] 엘리베이터 시뮬레이터의 구조



[그림 6] 시뮬레이터의 애니메이션

3.2. 적용 예 및 결과

시뮬레이터에 사용된 입력 데이터는 다음과 같다.

- 1) 건물 데이터
 - 층수 : 10 층
 - 층간 거리 : 3m
- 2) 승객 데이터
 - Arrival Pattern : Up-peak
 - Main terminal : 1층
 - 승객 탑승 시간 : 0.5 s/person
- 2) 엘리베이터 구성 데이터
 - 승차 정원 : 11 / 15명
 - 속도 : 1.5 m/s
 - 가속도 : 0.5 m/s
 - 문 열리는 시간 : 0.8 s
 - 문 닫히는 시간 : 1.5 s

각 층에서의 승객 도착 시간 간격(interarrival time)은 균등 확률 분포 함수(Uniform probability distribution function)로 모델링하였고, 인접 층간의 엘리베이터를 통

한 승객의 이동은 없다고 가정한다. 10분 동안 엘리베이터의 승차 정원을 조정하며 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 출력 데이터를 얻었다.

[표 2] 승차 정원 = 11명인 경우 --- Case 1

	Category	Occurrences		Standard Percent(%)
		Number	AvgTime	
Elevator Loaded	Empty	1	1.3	0.22
	Not Full	16	31.847	84.93
	Full	15	5.9424	14.86

[표 3] 승차 정원 = 15명인 경우 --- Case 2

	Category	Occurrences		Standard Percent(%)
		Number	AvgTime	
Elevator Loaded	Empty	1	1.3	0.22
	Not Full	7	80.679	94.13
	Full	6	5.6568	5.66

[표 4] 층별 평균 대기자 수

층	1	2	3	4	5
Case 1'	10.987	.72031	.71508	.73604	.48804
Case 2'	5.8304	.73730	.71084	.66205	.41530
층	6	7	8	9	10
Case 1	.48421	.52189	.60207	1.3571	.97704
Case 2	.45563	.50397	.58399	1.2328	.96819

4. 결 론

인텔리전트 빌딩 제어 시스템의 사전 성능 평가를 위한 시뮬레이터 개발의 첫 단계로 공조 제어 시스템과 엘리베이터 관리 시스템에 대한 기본적인 모델을 개발하였으며, 효율성 있는 시뮬레이터를 확인하였다. 본 시뮬레이터는 현재 계속 보완, 개발 중에 있으며, 인텔리전트 빌딩에 실제로 적용 가능한 복잡한 제어 방식을 적용해 볼 예정이다.

향후 최종 결과로써 통합 시뮬레이터가 개발되게 되면 많은 비용 절감 효과가 기대되며, 국내 기술이 취약한 인텔리전트 빌딩 제어 시스템의 설계 기술의 발전에 기여할 수 있으리라 본다.

참고문헌

- [1] "ASHRAE Handbook 1985 Fundamentals", ASHRAE Inc., pp. 2631-2634, 1985
- [2] K. D. Song, "Optimization of Building Orientation and Local Climatic Conditions", pp.29-39, 1989
- [3] M. G. Singh, "System & Control Encyclopedia", Pergamon Press, vol.2, pp.1420-1430, 1987
- [4] G. C. Barney, "Elevator Technology", Ellis Horwood, pp. 63-70, 1986
- [5] C. D. Pegden, R. E. Shannon, R. P. Sadowski, "Introduction to Simulation Using SIMAN", McGraw-Hill, Inc., 1995
- [6] "ARENA Template Reference Guide", System Modeling Co. 1994