인텔리전트 빌딩의 제어 시스템 및 네트워크의 통합 시뮬레이션에 관한 연구

°신 진 석, 임 동 진
한양대학교 제어계측공학과

A Study on The Integrated Simulation of The Intelligent Building Control Systems and Network

°Jin-Sok Shin, Dong-Jin Lim
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Hanyang Univ.

Abstract - Many new office buildings are being built as intelligent buildings equipped with building automation(BA) systems, office automation(OA) systems, and telecommuncation(TC) systems in order to provide pleasant building environment and the ease of maintenance and facility management. Building control systems which are employed in intelligent buildings require varieties of advanced control systems and network systems for efficient integrated management. Design and installation of these types of advanced building control systems take a lot of efforts and also they are costly. In order to design these systems, it is necessary for the designers to have the integrated simulator including proper network system simulation. In this paper, the integrated simulator that consist of HVAC system, lighting system, elevator system, parking system based on the network system is presented. For the development of integrated simulator, ARENA which is the general-purpose software tool for a simulation with reinforced GUI is used.

1. 서론

최근 신축되고 있는 많은 대형 건물들은 쾌적한 사무 환경을 제공하는 동시에 업무 능률을 향상시키고 효과적이고 경제적인 건물의 운용을 도모할 목적으로 빌딩 자동화(BA) 시스템, 사무 자동화(OA) 시스템 및 정보·통신(TC) 시스템을 갖춘 소위 인텔리전트 빌딩의 방식으로 건축되고 있으며 이러한 추세는 앞으로 계속될 전망이다. 빌딩의 인텔리전트화에 비례하여 빌딩 자동화 시스템에는 첨단의 제어 기기와 이를 효과적으로 운용하기 위한 다양한 제어 시스템이 필요하며 이러한 시스템들의 효율적인 운용 및 통합 관리를 위한 네트워크 시스템과의 연계는 필수적이라 할 수 있다. 이러한 시스템을 최적으로 설계하고 설치하는 데에는 적지 않은 시간과 비용이 소모되므로 이를 절감하고 적절한 네트워크 시스템의 구현을 유도할 수 있는 빌딩 자동화 시스템 통합 시뮬레이터의 개발이 필수적이라 할 수 있다. 인텔리전트 빌딩의 자동화 시스템은 제공되는 서비스의 종류에 따라 공조 시스템, 엘리베이터 시스템, 소화 및 방재 시스템, 조명 설비 시스템, 전력 설비 시스템, 방범 및 출입 통제 시스템 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 시스템들은 건물내의 각종 네트워크 시스템으로 접속되어 통합 운용 및 관리되고 있다.

본 논문에서는 여러 빌딩 제어 시스템의 구성 요소들 중에서 대표적인 공기조화 시스템, 조명관리 시스템, 엘리베이터 시스템, 주차관리 시스템들이 네트워크 시스템에 기반 하에서 유기적으로 관리될 수 있는 통합 시뮬레이터의 개발 결과를 제시하고자 한다.

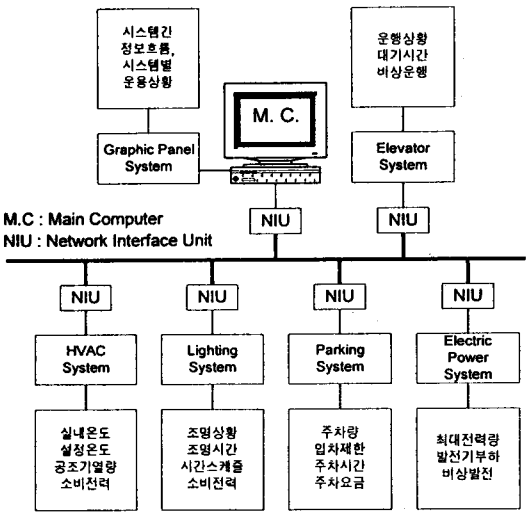
통합 시뮬레이터의 구현에는 그래픽 사용자 인터페이스 기능과 에니메이션 기능이 강화된 범용 시뮬레이션 프로그램인 ARENA를 사용하였다.

2. 인텔리전트 빌딩 제어 시스템 및 네트워크 통합 시뮬레이터

인텔리전트 빌딩 제어 시스템 및 네트워크 통합 시뮬레이터의 전체 구성을 보면, 빌딩 제어 시스템을 구성하는 각 서비스들이 네트워크 시스템을 통해 유기적으로 연결되어 있다.

각 시스템에서 발생된 정보들은 자신이 처리해야할 기능을 수행하는데 사용되어질 뿐만 아니라 필요에 따라 네트워크를 통해 중앙 컴퓨터의 주제어기 및 미리 설정된 다른 시스템에 전달되어 다른 기능을 수행하는데 필요한 정보로 사용된다. 이를 위해 발생되는 정보의 종류나 속성 및 전송 방향 등은 시뮬레이터를 구성하는 파라미터들로서 쉽게 정의 또는 변경이 가능하도록 하였다.

통합 시뮬레이터의 전체 블록도는 다음과 같다.



[그림 1] 통합 시뮬레이터의 전체 블록도

2-1. 네트워크 시스템

네트워크 시스템의 모델링에는 수학적 모델과 시뮬레이션 모델을 적용할 수 있다. 수학적 모델은 네트워크 시스템의 성능에 관련된 파라미터들을 명확하게 나타낼 수 있는 장점이 있으나, 수학적 모델을 개발하기 위하여서는 많은 가정을 필요로 하게 되며, 따라서 수학적 모델로는 근사적인 성능 해석 결과만을 얻을 수 밖에 없다. 예를 들어 빌딩 자동화 네트워크 시스템으로 현재 널리 사용되고 있는 ARCNET의 경우 토큰-패싱 방식으로 동작되며, 토큰-패싱 방식 프로토콜에서 가장 중요하게 취급되는 변수인 데이터 전송 지연 시간 T는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$T=\frac{N\omega(1-\frac{S}{N})}{2(1-S)}+\frac{S\overline{X}}{2\,\overline{X}^2R(1-S)}+\frac{\overline{X}}{R}+\frac{\tau}{3} \quad \cdots(1)$$

단,

$$\omega=\frac{X_t}{R}+\frac{\tau}{3}$$

$$S=N\frac{\lambda\overline{X}}{R}$$

N=네트워크 내의 노드 수

R=네트워크 데이터 전송 속도

λ= 각 노드에서 단위 시간 당 데이터 생성 빈도

$\overline{X}$, $\overline{X^2}$=각 노드에서 생성되는 메시지 길이의 1차 및 2차 모멘트

X_f=토큰 프레임 길이

τ=프레임 전파 지연 시간

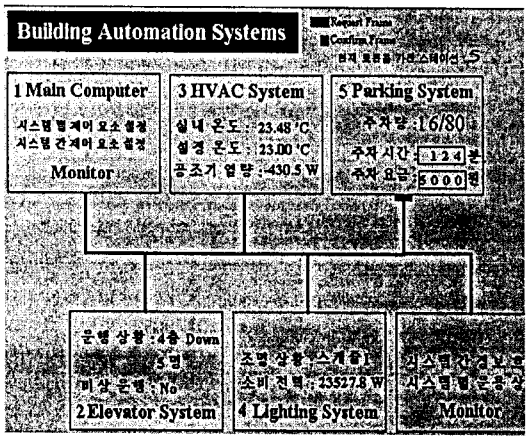
식 1은 각 노드에서 데이터 도착 빈도가 지수분포를 가지는 Poisson 프로세스이고, 모든 노드에서 데이터 생성 주기와 데이터 길이의 분포가 동일하며, 노드의 분포가 전체 케이블 길이에 대하여 균등 분포를 가진다는 가정 하에서만 성립된다. 그러나, 인텔리전트 빌딩의 네트워크 시스템은 이러한 가정을 따르지 않는 다양한 조건하에서 동작되며, 예를 들어 네트워크 내의 노드들이 서로 다른 데이터 생성 빈도와 데이터 길이 분포를 가지는 경우에 노드들 간에 상호 작용을 수학적으로 모델링하여야 하며, 이러한 경우에 또 다른 가정을 필요로 하게 되어 수학적 모델은 근사적인 값만을 도출할 수 밖에 없다. 따라서, 좀더 정확하고 실제의 상황에 가깝게 네트워크 시스템을 시뮬레이션하기 위해서는 네트워크 시스템의 동작을 컴퓨터 상에서 그대로 모사한 시뮬레이션 모델을 사용하는 것이 바람직하다. 시뮬레이션 모델은 수학적인 모델의 경우처럼 결과의 정확성을 저하시키는 앞서 언급한 바와 같은 가정을 필요로 하지 않는 큰 장점을 가지고 있다.

네트워크 시스템 시뮬레이션 모델은 빌딩 자동화 네트워크를 통하여 전송되는 정보들의 전송 지연 시간과 단위 시간 당 네트워크 시스템의 정보 처리량(throughput) 및 전송된 메시지의 개수 등을 산출하도록 하여, 주어진 건물 환경에 가장 적합한 네트워크 시스템을 설계 및 구축 이를 토대로 빌딩 자동화 시스템을 통합, 관리할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 실시간 통신에 가장 적합한 순환 서비스 방식(예, 토큰-패싱 및 폴링 방식)을 네트워크 시스템으로 모델링하였으며, 이러한 네트워크 모델은 네트워크 관련 파라미터만을 교체함으로써 필드 네트워크와 제어 센터 네트워크의 모델링에 모두 적용될 수 있다. 네트워크 시스템 시뮬레이션 모델에 고려한 주요 변수는 아래와 같다.

○ 네트워크 내의 노드(node) 수
○ 네트워크의 데이터 전송 속도
○ 각 노드에서 데이터 생성 주기
○ 각 노드에서 생성되는 데이터의 길이
○ 각 노드의 전송큐 용량
○ 각 노드에서 데이터 전송을 위하여 소요되는 처리 시간

빌딩 시스템의 각 서비스에서 생성되는 정보들을 살펴보면 일정 시간마다 발생되는 주기적인 정보와 어떤 정해진 이벤트의 발생으로 정보가 생성되는 불규칙적인 정보로 나눌 수 있다. 필드 네트워크에 접속된 센서 및 제어 기기에서는 주로 정보가 주기적으로 생성되며, 정보의 길이 또한 일정한 길이로 패킷화되어 있는 것이 보편적이다. 한편, 제어 센터 네트워크에 접속된 노드들에서 생성되는 정보들은 불규칙한 주기로 생성되며, 정보의 길이 또한 불규칙한 특성을 갖고 있다.



[그림 2] 통합 시뮬레이터의 애니메이션 - 그래픽 패널 시스템

필드 네트워크 모델의 경우에는 공기조화 시스템등의 제어 시스템 모델에서 생성되는 센서와 콘트롤러 정보들이 네트워크를 통하여 전송되도록 하여, 빌딩 내의 모든 제어 시스템 모델들이 네트워크 시스템 모델을 통하여 통합될 수 있도록 하기 위한 기반이 된다. 그리고 제어 센터 네트워크 모델의 경우에는 각 필드 네트워크에서 생성된 정보 중 여러 다른 시스템 및 중앙 컴퓨터의 주제어기에서 사용될 정보들이 네트워크를 통하여 전송되도록 하여, 각 시스템들이 최적의 상태로 제어 및 운용될 수 있도록 한다.

본 논문에서는 공기 조화 시스템, 조명 설비 시스템, 엘리베이터 시스템 및 주차 관리 시스템의 개별 제어와 더불어 네트워크 시스템 기반 하에서 이들 시스템이 유기적으로 연계되어 중앙컴퓨터의 주제어기로부터 통합 관리되며 이러한 상황을 Graphic Panel System을 통해서도 한눈에 알 수 있도록 하였다. 또한, 정보량의 증가 및 Zone 환경 변화에도 유연하게 대처할 수 있도록 시스템별로 모듈화가 가능하도록 하였다.

이러한 네트워크 시스템에 접속된 여러 빌딩 제어 시스템들을 부분별로 나누어 어떠한 역할을 수행하며, 각 시스템이 전체 네트워크와 어떻게 맞물려 돌아가는지 자세히 살펴보면 다음과 같다.

3. 공기 조화 시스템

공기 조화 시스템은 주어진 실내의 온도, 습도, 환기, 기류 및 청정을 조절하여 실내를 사용 목적에 적합한 상태로 유지하도록 하는데 그 목적이 있다. 이를 위해서는 열원에 대한 수요를 미리 예측하고, 연간, 계절별 및 일간 스케줄 제어가 가능하도록 구현하여야 하며, 수시로 변하는 주변 환경에 대하여 실시간으로 제어가 가능하여야 한다.

본 논문에서는 상당 외기 온도와 태양 복사 에너지로부터 빌딩 각 zone별 열량을 계산하여 이로부터 설정된 실내 온도를 유지하는데 필요한 공조기의 열량을 계산하게 하고, 계산된 공조기의 열량으로부터 공기 조화 시스템이 자동으로 운전하도록 시뮬레이터를 구성하였다. 또한 휴일 및 야간의 경우에 빌딩의 특정 zone에만 소규모 자동 운전 기능을 도입하여 에너지의 효율적 관리를 꾀할 수 있을 것이다.

3-1. 개별 공조

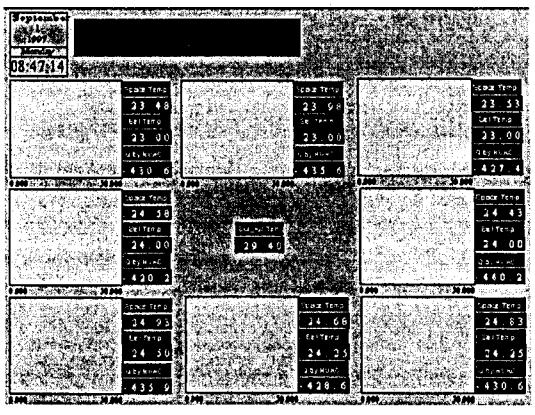
공기 조화 방식에는 중앙식과 개별식이 있으나, 대형 빌딩에서는 Zone이나 층 단위의 개별 공조를 통하여 효율적 운전을 꾀하는 것이 보편적이다. 본 논문에서는 건물의 내부를 6개의 벽체로 둘러싸인 단위 공간(space, room, zone)으로 구획하여 임의의 공간 사이에서 일어나는 열의 입출입으로 인한 단위 공간 내부의 온도 변화 추이를 관찰하고, 제어부에서는 실내 온도와 실외 온도의 차를 계환하여 공조기가 송풍을 통해 제거시켜야 하는 열량을 계산하도록 하고 설정 온도 및 현재 온도와 공조기의 열량이 실시간으로 보여주도록 하였다.

3-2. 빌딩 전체의 공조

평면 Zone 별로 이루어진 개별 공조를 바탕으로 층 전체의 공조 상황과 더 나아가 빌딩 전체의 공조 상황을 조절하고 감독할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 개별 공조에서 나타난 정보를 바탕으로 층 전체의 공조 상황 및 소비 전력을 나타낼 수 있도록 하였다. 각 층별 공조 상황을 모두 고려하면 빌딩 전체의 공조 상태를 파악할 수 있을 것이다.

3-3. 네트워크 시스템과의 연계

공기 조화 설비 시스템에서의 네트워크 시스템을 통한 연계를 살펴보면, 설정 온도 및 현재 온도, 공조기의 운전 상황, 소비 전력 등의 Zone별 정보 및 층별, 빌딩 전체에 관한 정보가 제어 센터 네트워크를 통해 중앙 컴퓨터의 주제어기에 전송되도록 하며, 주제어기에서 오는 신호에 의해 Zone별 설정 온도 변경 및 공조기의 운전 여부 결정을 가능하도록 하였다.



[그림 3] 통합 시뮬레이터의 애니메이션 - 공기 조화 시스템

4. 조명 설비 시스템

조명 설비 시스템은 정해진 지역의 형광등 및 백열등의 조도와 규정된 시간대의 점등 및 소등 시간, 각 센서에 의한 자동 점멸을 제어하여야 한다. 또한 프로그램화된 시스템은 에너지 관리 시스템, 방범 구역 설정, 거주 환경 등을 고려하여 조명 제어의 특을 정한다. 그러나, 프로그램화된 이 시스템은 연장 근무자, 회의실, 이른 출근 시간 등의 특별한 경우에 수동으로 조작될 수 있어야 하며, 이를 위해 현장 스위치, 전화기, 오퍼레이터 터미널 등에 의한 제어가 가능하여야 한다.

본 논문에서는 효과적인 조명 제어를 위하여 다음과 같은 제어 방법을 사용하였다. 빌딩은 오피스 빌딩이라 가정하고 Open 지역의 zone을 창가 zone, 내부 인테리어 zone, 복도 zone으로 나누었다. 창가 zone의 경우 태양광에 의해 보상되는 지역이기 때문에 점멸이 빈번히 발생하므로 이에 따른 제어가 필요하며, 내부 인테리어 zone 및 복도 zone은 일정 시간 및 사람의 출입에 따라 제어가 결정되므로 스케줄에 의한 제어를 기준으로 삼았다.

4-1. 태양광에 의한 제어

태양광이 실내 요구 조도에 알맞게 입사하였을시 태양광에 의해 보상되는 창가 지역의 조명 기구들을 자동으로 소등시키며, 다시 실내 요구 조도에 미치지 못하는 태양광이 유지될 때는 자동으로 점등시키나, 이 때 일시적인 방해 요소(구름 등)에 대해 바로 점등을 방지하기 위해 지연시간을 둔다. 본 논문에서는 창가 zone에 설치된 조도의 입력을 받아 실정 조도가 되었을 때 형광등이 자동으로 점멸되도록 하고, 블라인드가 적절히 개폐되도록 시뮬레이션하였다.

4-2. 시간 스케줄에 의한 제어

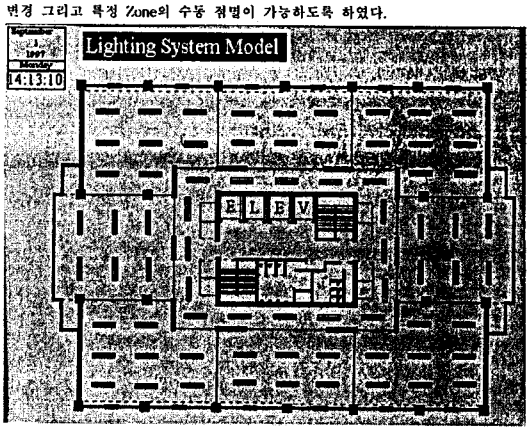
건물내 거주 시간 동안 일정하고 규칙적인 시간 스케줄 프로그램에 의하여 정해진 시간에 자동 점멸됨으로서 효과적인 조명 관리로 에너지 절감을 도모한다. 본 논문에서는 주중, 주말, 휴일별로 각기 다른 스케줄 프로그램의 구성에 따라 자동 점멸되도록 시뮬레이션하였으며, 스케줄 프로그램은 시뮬레이션 중에도 조정이 가능하도록 구현하였다.

4-3. 수동 조작

조명 시스템의 수동 조작은 현장 스위치, 키보드 등에 의해 조작될 수 있으며, 정상적인 프로그램을 취소하는 기능으로서 특별한 경우인 연장 근무자, 건물내 청소시 등에 사용된다. 본 논문에서는 키보드 입력으로 특정 zone의 형광등 점멸이 가능하도록 하였다.

4-4. 네트워크 시스템과의 연계

조명 설비 시스템에서의 네트워크 시스템을 통한 연계를 살펴보면, 각 zone의 조명 설정, 시간 및 상황, 시간 스케줄 그리고 조명 설비에 의한 시간별 소비 전력이 제어 센터 네트워크를 통해 중앙 컴퓨터의 주제어기에 전송되도록 하며, 주제어기에서 오는 신호에 의해 설정 조도의 변경 및 스케줄 프로그램의 변경 그리고 특정 Zone의 수동 점멸이 가능하도록 하였다.



[그림 4] 시뮬레이터의 애니메이션 - 조명 설비 시스템

5. 주차 관리 시스템

주차 관리 시스템은 주차장 내의 안전 사고 예방과 효율적인 차량 유도 및 원활한 요금의 부과 등을 효과적으로 수행하여야 한다. 본 논문에서는 입,출차시의 시간 기록과 입차 제한이 가능하고 출차시 주차 시간에 따라 요금이 자동으로 부가되도록 하였다.

5-1. 차량 유도 관리

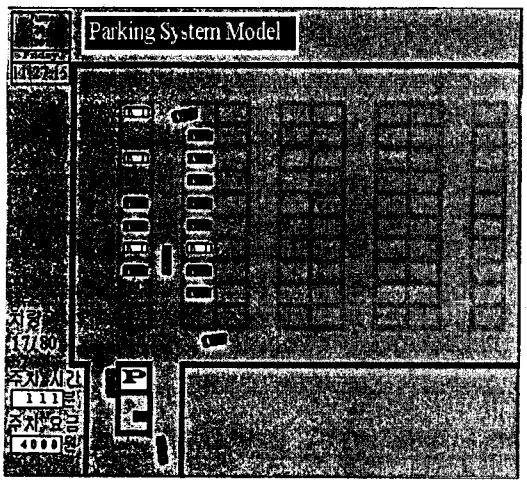
주차 관리 시스템에서 차량 유도 관리를 위한 시설로는 입차, 출차의 경보, 높이 제한의 경보, 차유도 표시, 입차 제한 표시, 카엘리베이터의 속도 표시 시스템 등이 사용된다. 본 논문에서는 입차, 출차의 시간을 기록하여 주차 시간을 확인할 수 있을 뿐만 아니라 주차장의 만차시나 청소 및 점검 등을 위한 입차 제한이 가능하도록 하였다.

5-2. 주차 요금의 계산

주차 요금의 계산 방식에는 입,출구 유인 방식, 입구 무인 출구 유인 방식, 카드 무인 방식, 완전 무인 방식 등이 있다. 본 논문에서는 현재 가장 혼하게 접할 수 있는 입,출구 유인 방식을 적용하였으며, 관련 파라미터를 변경하여 다른 방식으로의 전환도 가능하도록 하였다.

5-3. 네트워크 시스템과의 연계

주차 관리 시스템에서의 네트워크 시스템을 통한 연계를 살펴보면, 차량의 입, 출차 시간 기록 및 현재 주차량, 출차시 주차 시간에 따른 요금의 부과 등에 대한 정보가 제어 센터 네트워크를 통해 중앙 컴퓨터의 주제어기에 전송되도록 하며, 주제어기에서 오는 신호에 의해 입차 제한 및 주차 요금 변경이 가능하도록 하였다.



[그림 5] 통합 시뮬레이터의 애니메이션 - 주차 관리 시스템

6. 엘리베이터 시스템

엘리베이터 시스템은 기본적으로 안전하고 신속한 수직 운행을 담당한다. 빌딩내 거주인들의 원활한 이동을 위해서는 빌딩내 교통 수요의 변동에 따라 적절한 대응이 되도록 해야 하며, 다양한 운행 기법을 채택하여 승객의 대기 시간을 최소화하여야 한다. 본 논문에서는 가장 일반적인 축적 제어 방식에 따라 운행되는 엘리베이터 모델을 적용하여 엘리베이터의 이용률과 층별 대기 시간 등을 계산하도록 시뮬레이터를 구성하였다. 엘리베이터 시스템에서의 네트워크 시스템과의 연계를 살펴보면, 엘리베이터의 운행 층수, 방향, 탑승 인원, 평균 대기 시간 등 운행 상황에 관한 정보가 중앙 컴퓨터의 주제어기에 전송되도록 하며, 주제어기에서 오는 신호에 의해 엘리베이터를 비상 운행 여부를 지시할 수 있도록 하였다.

7. 결론

본 논문에서는 각종 인텔리전트 빌딩 제어 시스템들에 대한 모델을 개발하고 이 시스템 모델들을 네트워크 환경하에서 통합 관리할 수 있는 시뮬레이터 개발하였다. 그리고, 간단한 사례에 대해 시뮬레이션을 실행해봄으로써 제어 시스템들의 최적 설계 및 네트워크 시스템 기반 하에서의 빌딩 제어 시스템들간 상호 정보의 전송을 통한 효율적인 통합 운용이 가능함을 보였다.

본 논문에서 개발한 시뮬레이터를 사용하여 건축의 초기 단계에서부터 여러 시스템간의 의사 결정 지원 수단으로써 효과적으로 활용될 수 있고, 빌딩 제어 시스템의 성능과 수준을 평가할 수 있으리라 본다. 특히 네트워크 시스템과의 연계를 기반으로 하는 인텔리전트 빌딩 제어 시스템의 통합 운용을 계획하고 구현하는데 있어 많은 도움을 줄 수 있으리라 본다.

참고 문헌

[1] C. D. Pegden, R. E. Shannon, R. P. Sadowski, "Introduction to Simulation Using SIMAN", McGraw Hill, Inc., 1995

[2] System Modeling Co., "ARENA Template Reference Guide", System Modeling Co., 1994

[3] ASHRAE, "ASHRAE Handbook 1985 Fundamentals", ASHRAE Inc., pp. 2631-2634, 1985

[4] R.A. Carlson and R. Giandomenico, "Understanding Building Automation Systems", John Wiley & Sons, 1994

[5] Klaus Bender, "Profibus - The Fieldbus for Industrial Automation" ,Prentice Hall, 1993

[6] Joong-Won Bae, Dong-Jin Lim, Seung-Ho Hong, Kyoo-Dong Song, "Development Of Integrated Simulator for Intelligent Building Control System", 하계학술대회논문집, pp 1199-1201, 1996