

CCTV 카메라의 인구 이동량 측정을 이용한 빌딩 에너지 절약시스템

(Building Energy saving System using People Counting from CCTV Cameras)

류홍남* · 류경모 · 최병욱**

(Hong-Nam Ryu · Gyeong-Mo Yoo · Byoung-Wook Choi)

Abstract

In general, IP (Internet Protocol) Cameras are CCTVs that analyzes image data not only for security purposes, but also for measuring presence and counting of people with video analytic functions. In this paper, we present a feasibility study in using the obtained video analytic data for a building energy management system. First, we developed a simulator based on a building model where CCTV may be placed to observe people. The data from each CCTV are analyzed to produce people counting at each area of the building model. In order to analyze the energy trend of an actual building, we performed a simulation using an energy analysis program, eQUEST. The produced people counting were used to control building management system defined in eQUEST. The feasibility of a building energy management system using the analyzed image data was proved by simulation.

Key Words : CCTV, Video Analytic, People Counting, Simulator, Energy Saving

1. 연구의 배경 및 목적

국내 건축물 에너지 관리시스템은 대개 센서를 이용하여 에너지를 스케줄 제어하고 있으며 재실자의 환경을 고려한 에너지 절약은 적은 편이다[1-6]. 본 연구는 실험 대상인 대학 건축물에서 CCTV를 이용하여 인구 이동량을 체크한 동적인 데이터를 사용하여 에

너지 관리 시뮬레이션에 적용하고자 한다.

일반 건축물에서 모든 구간에 CCTV 설치하는 법적인 무 사항이 아니며, 중요 장소의 입·출입 시 대부분 방범용으로 사용하고 있다. 본 연구의 실험 대상인 대학의 경우도 입구, 복도 및 강의실 등에 설치되어 방범 기능을 하고 있다.

기존 시설물에 설치된 CCTV 기능은 최근 소형으로 IP 카메라를 쉽게 추가 설치가 가능하며 위치에 관계 없이 네트워크를 이용한 관리가 편리하게 이루어지고 있다. 많은 CCTV 카메라를 설치하여 실시간으로 자료를 받아서 영상을 분석하는 작업은 IP 카메라에서 임베디드 소프트웨어로 구현되며 많은 IP 카메라로부터 얻은 영상과 메타 데이터는 NVR(Network Video Recorder)에 저장하고 있다. 그러나 아직은 많은 건물

* Main author : Graduate school of Nano IT Design Fusion Technology, Seoul National University of Science and Technology

** Corresponding author : Seoul National University of Science and Technology, Department of Electrical and Information Engineering

Tel : 02-970-6412, Fax : 02-970-9068

E-mail : bwchoi@seoultech.ac.kr

Received : 2016. 6. 3.

Accepted : 2016. 8. 4.

의 IP 카메라가 모두 영상 분석 기능을 수행하지는 않고 있다.

본 논문에서는 실험의 용이성과 비용을 감안하여 실제 시스템에 적용된 NVR을 이용하기 이전에 오픈 소스인 3D 프로그램을 이용하여 시뮬레이터를 구성한다. 시뮬레이터는 먼저 빌딩을 모델링하고 그에 필요한 최적의 카메라 위치에 CCTV를 설치하고 유동 인구를 모델링할 수 있도록 구현한다[7]. 이를 이용하여 CCTV로부터 영상 분석된 인구 이동량 측정값을 얻을 수 있으며 이 데이터를 에너지 분석 소프트웨어인 eQUEST에 입력하여 에너지 절감의 가능성을 증명할 수 있었다.

일반적으로 실제 유동 인구나 무관하게 과도하게 설계된 건축물별 시설물 관리 시스템은 많은 에너지 소비가 발생한다. 실제 영상 분석에 의하여 얻은 실제 유동 인구에 의한 빌딩 관리의 경우 불필요하게 소비되는 에너지를 절약할 수 있으며, NVR과 빌딩 제어 시스템과 연동을 통하여 빌딩 내의 다양한 설비 제어와 연동한다면 많은 에너지 절감이 가능할 것이다[8].

2. CCTV 영상 분석 메타 데이터를 이용한 건축물 에너지 절약시스템

그림 1에서 두 가지 방법으로 인구 이동량 측정값을 발생하여 eQUEST에 입력하는 방법이다. 첫 번째로 건축물에 설치된 CCTV를 통해 입력되는 영상 자료를 NVR에 저장하고 데이터를 분석하여 인구 이동량 측정값의 자료를 생성한다. 면적대비 점유율에 측정값을 입력 자료로 가지고 HVAC System에 피드백으로 에너지를 절약하는 방법이다. 두 번째로 가상 시뮬레이터 구현을 위하여 Unity 게임 프로그램을 이용하여 CCTV와 유동인구를 생성하고 얻어진 유동 인구 측정값을 eQUEST에 입력하여 건축물 에너지를 절약하는 시스템을 구성하는 것이다.

현실적으로 CCTV를 모든 곳에 설치하여 실험하는 것은 쉽지 않으며 필요할 때 마다 위치를 변경하고 추가 설치하여 데이터를 생성하는 것도 어렵다. 그러므로 본 논문에서는 후자의 방법으로 시뮬레이터를 생성하여 실험을 진행하였다.

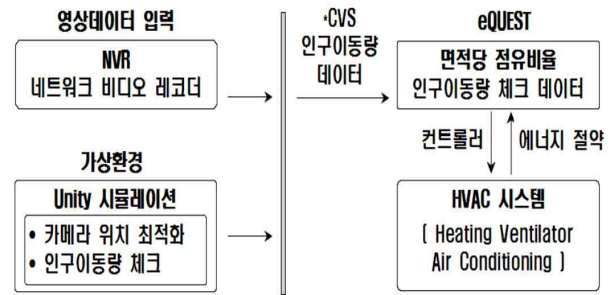


Fig. 1. Energy-saving system architecture with CCTV

2.1 건축물에 설치한 CCTV 위치 최적화

그림 2는 강의실이 많이 분포된 대학 건물의 1층 도면으로 CCTV의 설치 상황을 나타낸다. 그림에서 카메라의 위치 설정은 재실에 여러 대의 카메라를 설치하고 무작위로 유동인구를 비율별(각 카메라별 노출률 / 전체 유동인구)로 체크한 후, 최적의 카메라 앵글 각도를 가지는 위치의 카메라를 선정한다.

카메라 위치를 옮겨가며 최적의 장소 선정이 가능하며, 인테리어 등 구조물 및 기둥으로 인한 사각지대를 제거하고 사용자가 카메라 위치를 옮겨가며 최적의 장소를 지정할 수 있다.

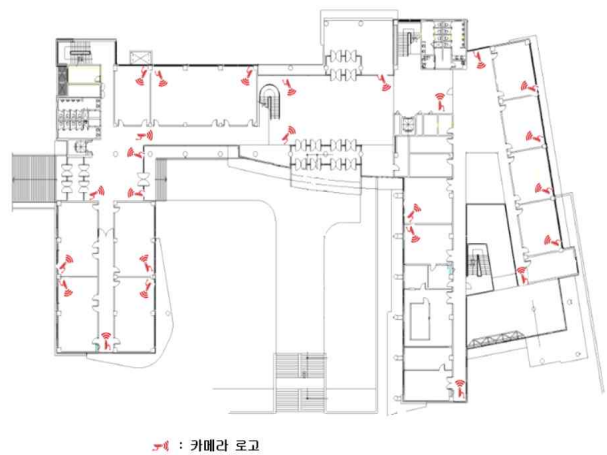


Fig. 2. CCTV installation on the first floor of the university building

본 논문에서 사용된 대학 건축물은 5층 건물이나 실험을 위하여 1층으로 한정하여 작성하고 도면상에 표

시한 것이다. 그림 2는 실제로 설치된 카메라 보다 4대를 추가한 것이며, 카메라 위치를 미리 조정하여 설치한다면 추가할 때 마다 불필요하게 앵글 범위가 겹쳐 중복 설치가 이루어지지 않으며 비용 측면에서 과대 운영 또는 손실을 줄일 수 있다[9].

개인의 인권을 침해하지 않는 범위에서 적재적소의 카메라 설치하는 통로 유동인구 및 출입자의 사각지대가 없어지고 저장된 영상으로 방법의 역할뿐만 아니라, 시뮬레이션에서 인구 이동량 측정값을 파악하고 데이터로 작성하여 영상과일을 건축물과 연계된 여러 기능의 제어가 가능하다[10].

2.2 인구 이동량 측정

그림 3은 그림 2에서 얻은 건축 도형에 유동인구를 추가로 구현한 예이다. 건축물 모델은 현실과 유사하게 건물 1층에 강의실 6개, 연구실 7개가 구성되어 있으며 무작위로 사람들이 이동을 하고 사물과 충돌하기 직전에 인식하여 다른 곳으로 움직일 수 있게 구현한다. Unity프로그램에서 “랜덤” 함수를 사용하여 사람들이 이동을 하고 “WayPoint” 함수로 사물과 충돌하기 직전에 인식하여 다른 곳으로 움직일 수 있게 구현한다.

실제 카메라에서 영상분석을 통하여 유동인구의 수를 파악하여 측정값을 데이터화하는 것과 같이 시뮬레이터에서도 일반적인 사람의 걷는 속도에 맞춰 각 실마다 유동인구의 수를 측정하여 데이터를 저장한다 [7,11].

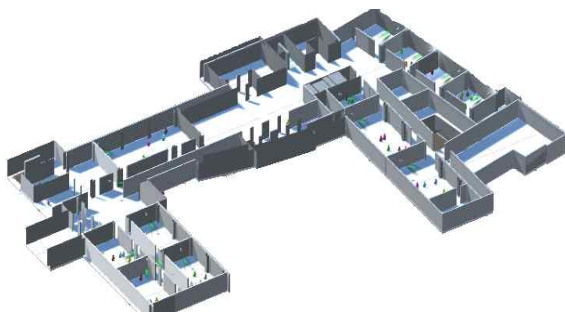


Fig. 3. Unity Simulation of population movement amount for each classroom

2.3 에너지 프로그램 이용

그림 4는 eQUEST의 시뮬레이션하는 구성 방법으로 입력구분은 크게 장소(SCENE), 관심 분야(Area of Interest), 공간 사용(Space Usage), 일자별 기상조건(Sky Model) 4가지 구분되며, 본 논문에서는 장소와 공간 사용에 미리 계획된 방식에 의하여 데이터를 입력하고 시뮬레이션을 계산하여 최종 시뮬레이션 출력을 만들어내는 다이어그램이다[12].

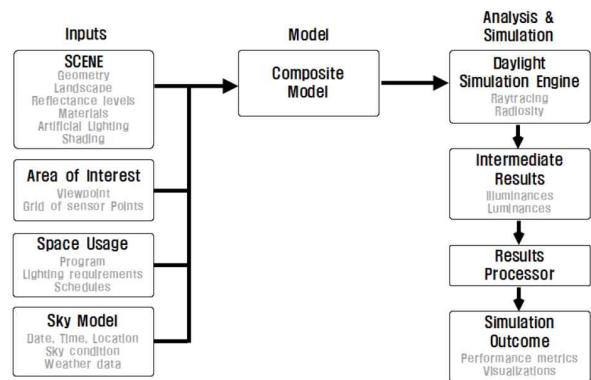


Fig. 4. eQUEST process diagram

그림 5는 eQUEST Geometry를 구성한 것으로, 앞에서 구현된 일반 CAD도면으로 작성한 건축물 모델에서 에너지 실험을 위한 모델로 변환한 것이다. eQUEST 변환 과정에서 세부 내역은 에너지원을 사용하지 않으므로 도면에서 삭제한다. 건축물 내부 각각의 실질적 공간만으로 구간별 면적을 단순화 작업을 하고 색선별 벽면 중간에 구분선을 작성하여 eQUEST에서 재도면 작업을 진행한다[13].

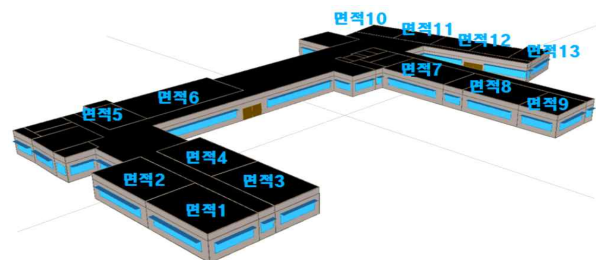


Fig. 5. eQUEST modeling for building energy saving

3. 실험 결과

eQUEST 시뮬레이터에 CCTV에서 측정한 면적별 연간 인구 이동량 측정 평균값을 입력하여 사용한다. 수식은 (1)과 같다.

$$\text{백분율} = \frac{\text{People Counting data}}{\text{Occupancy (Number of People)}} \times 100 \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이 분모는 기본 설계된 면적당 사람 수로 정하고 분자는 CCTV로 측정한 인구 이동량 측정값을 100분율로 정해서 입력한다[14-15].

표 1에서 측정 값 “전”은 처음 건축물 설계 시 과다하게 설계된 최고 값을 표시한 것이고 “후” 값은 인구 이동량을 카메라에 설정된 트립 기준선과 침입자를 탐지영역으로 표시한 값을 VA(Video analytic)기능을 이용하여 NVR(Network Video Recorder)에 저장된 데이터를 추출하여 사용한다. 표 1에서 eQUEST에 입력하는 기본 데이터 값으로 1년의 평균값을 입력하는 것은 현실적으로 곤란하며 학기 중 일주일의 인구 이동량을 체크하여 eQUEST에 해당되는 색션에 평균값을 입력하여 시뮬레이션한다.

Table 1. Unity People Count

구 분	면적대비 점유율(인구 이동량 체크)						
	1	2	3	4	5	6	
전	22	22	22	24	25	80	
후	10.3	10.6	11.3	10.9	11.8	30.6	
구 분	7	8	9	10	11	12	13
전	16	12	15	14	15	15	15
후	8.4	2.5	7.1	5.0	6.5	5.2	4.3

표 1은 강의실마다 CCTV가 1~2대 설치되어 있으며 강의실은 1~6번까지이고 7~13번은 연구실이다. 측정 시간대는 오전 9시에서 오후 6시까지로 정하고, 겨울방학, 여름방학 기간을 입력한다[16].

대학건축물은 정면이 서쪽을 향하고 있으나 제도면 작업 시 방향을 남쪽으로 향하게 하여 eQUEST에 방위각을 입력한다.

Table 2. Electricity use basic facilities selected content from the eQUEST

HVAC System Type(s)	Air Conditioning Unit(Outdoor unit / Indoor unit)
Design Supply Air Temperature Differential	20°F
Fan Control	Constant volume
Cooling Type	Direct Expansion
Heating Type	Electric heat pump

표 2는 한국에 방위와 위도 값을 기준으로 1년 동안 기온 데이터를 기초 값으로 입력하고 냉난방 시설은 공급방식을 선택하여 설비는 기존 설계 값으로 반영한다. 단순 설비는 생략하고 eQUEST에 에너지 사용량은 (-) 입력 후 데이터를 산출한다.

또한 eQUEST 항목별로 입력 조건에 따라 50여 가지 전후로 입력 사항을 물을 때, 건축적인 부분과 재질에 관한 세부적인 값들을 체크하여 입력하여도 전기 사용량의 변화량은 미비하여 크게 변화량을 볼 수 없어 필요한 항목만 선별하여 입력한다.

본 실험으로 사용하는 건물 1층 강의동과 연구실에 설치된 냉난방기 환경은 시스템에어컨이 각 실에 1개~3개가 설치되어 있으며 보조로 메인 중앙설비실에서 공조 시설도 병행하여 사용하고 있다.

표 3에 입력사항을 보면 냉난방으로 사용하는 에너지원은 전기를 동력으로 냉방동력, 공조 시설의 모터 전원, 펌프동력, 조명설비, 팬 동력원 등이고 가스동력으로 난방동력, 온수 등이다.

면적대비 점유율 값이 적용된 표 3에서 에너지 사용량을 비교하면 전기사용량은 9.1kWh 정도 감소하고 가스량은 합계 143MBtu가 절약되는 것을 볼 수 있다.

표 3에서 면적대비 인구 이동량의 값의 변화에 따라 냉난방 값의 변화가 크게 나는 것을 볼 수 있었다. 공조나 동력설비에 사용되는 전기사용량은 계속운전을 하므로 변화량은 크게 차이가 나지 않았다.

본 건축물에 대부분 냉난방시설의 에너지원으로 전기를 사용하므로 인구 이동량의 변화 값이 큰 영향을 가지는 것으로 알 수 있었다.

Table 3. Energy consumption ratio

구 분	Electricity		Natural Gas	
	kWh (×000)		MBtu	
	후	전	후	전
Space Cool	40.95	48.57		
Heat Reject				
Refrigeration				
Space Heat			460.91	603.91
HP Supp				
Hot Water			110.11	110.11
Vent. Fans	18.78	20.26		
Pumps&Aux	4.92	4.92		
Ext. Usage				
Misc. Equip	53.88	53.88		
Task Lights	1.69	1.69		
Area Lights	73.38	73.38		
Total	193.60	202.70	571.02	714.02

표 3에 eQUEST 그래프에서 전기사용량을 분석하면 조명에 사용하는 에너지는 계절과 관계없이 일정하게 이용되는 것을 볼 수 있었다. 기타 시설장비는 기본 작동으로 냉난방이 구동할 때 마다 공조 설비는 계속 운전하기 때문이고 전동기 전기사용량은 별도의 스케줄 관리가 안 되므로 변화량이 거의 발생하지 않는다. eQUEST 그래프에서 결론적으로 알 수 있듯이 에너지원으로 사용하는 전기는 계절별로 많은 차이를 보여주고 있다.

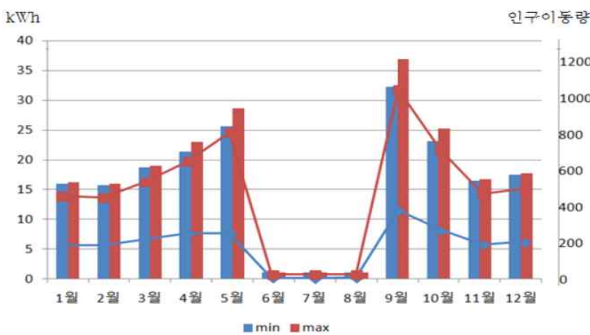


Fig. 6. eQUEST result

그림 6에서 max(전)는 기존에 설계된 시설물의 값에 의해서 나온 값이고 min(후)은 실제로 시물레이션으로 인구 이동량을 측정하여 전체 면적과 각 실의 면적의 비율로 계산하고, 전력사용량을 강의실별 면적으로 환산하여 면적으로 계산한 값에서 비교하여 인구 이동량을 표시한 것이다. 그림 6에서 오른쪽 숫자는 전체 인구 이동량 수를 월별로 표시한 것으로 최고 데이터는 약 1000명 정도가 되고 여름철 최저 데이터는 50명 이하로 측정이 된다. 그림 6의 왼쪽은 월별 전기사용량(kWh/1000)을 표시한 것이고 eQUEST에 각 조건마다 데이터 입력 시 여름, 겨울 방학기간 때문에 사용량이 많이 줄어드는 것을 볼 수 있다.

따라서 에너지 절약 시물레이션에서 시설에 필요한 에너지 최소값을 기초로 절약이 가능한 부분은 전기 사용량은 약 15%와 가스사용량은 약 25%가 인구 이동량 체크 값 조정에 의해서 좌우된다.

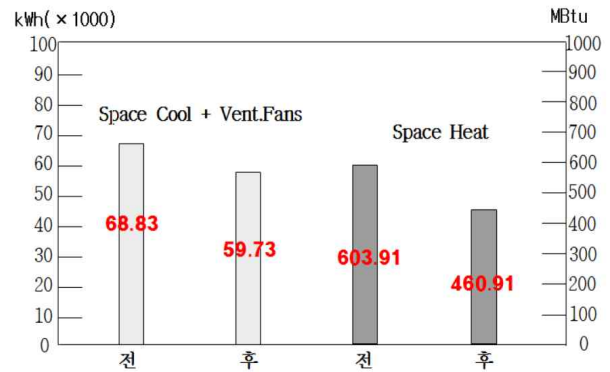


Fig. 7. Occupancy with People Counting

시물레이션에서 전기에너지 소비량을 그림 7에서와 같이 기존 사용량과 제안한 결과 값으로 비교한 것으로 전체사용량에 평균 약 10% 이상 절약되는 것을 알 수 있었다[17].

4. 결 론

현재 건축시설물에서 단위 면적당 피크 인원을 기준으로 과도하게 설계된 기술계산서, 장비내역서는 설계 시에 작성한 기준으로 변경 없이 계속 이용하

고 있다.

이에 실험 대상물은 대학 건물로 시간대별 수업 시간에 참석하는 학생을 유동인구 스케줄로 파악하고 점유 공간에 대한 전체인구량 대 인구 이동량 측정값의 비율을 적용하였다. 건축물 에너지 진단프로그램 eQUEST 시뮬레이터를 이용하므로 현실적인 데이터 값과 다소의 차이는 발생할 수 있으나 인구 이동량 체크 값의 감소로 인한 냉난방, 조명부하 등의 에너지 감소폭은 일정량 확인할 수 있었다.

실험에서 eQUEST에 별도의 특정 조건을 모두 입력해도 약 5% 이상의 절약분이 발생하며 결과 값을 계절별로 분석하여 한전에서 다양하게 제시하는 전기 에너지 요금 중별에 사용자 선택으로 변경하면 전기 요금이 감소하는 것을 볼 수 있다.

본 논문에서는 건축물에 설치된 CCTV를 이용해 수동적으로만 사용하던 방법, 감시 기능에서 영상분석과 동일한 조건으로 게임프로그램인 Unity를 이용하여 인구 이동량 측정을 실현하고 eQUEST에 건축물의 설계 조건을 적용하여 변화량 분석하고 능동적으로 에너지 절감을 할 수 있는 시뮬레이터를 구현할 수 있었다.

향 후 시뮬레이터에서 인구 이동량 측정값의 파악은 일일, 일주일, 한 달 등의 데이터를 축적하여 일주일씩 주간비교, 휴일비교를 하고 뉴로-퍼지를 이용한 건축물 에너지 사용량 예측과 빌딩 에너지 종합관리시스템과 연계하면 냉난방 관리가 가능하다. 또한 공조에서 사용되는 전기사용량도 시간 스케줄표로 제어가 가능하여 가동 정지 시 냉방은 찬기운을 10분 정도 팬 작동만으로 지연 정지하고 난방의 경우 가동 중지 시 더운 잠열을 20분 정도 지연 정지하여 공조에 사용하는 전기사용량의 감소가 예상된다.

CCTV는 방법 뿐 만아니라 에너지 관리, ICT 기반의 인텔리전트 빌딩시스템과 U-City에서 많은 이용이 전망된다.

이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Young-Hoon Kwak, Se-Swan Cheon, Sang-Moon Lee, Jung-Ho Huh, "Application of an EMS Simulation for building Energy Saving" Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, No.6, pp.145-150, 2010.
- [2] Junyong Lee, Kyung-Jin Jang, Hwataik Han, "Comparison Experiment for Indoor Air Quality and Energy consuming regarding Ventilation Mode", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, No.11, pp.352-355, 2013.
- [3] Jin-Hwan Joo, Shin-Wook Kang, Hak-Cheol Kwon, Suk-Gyu Lee, Ju-Hyun Park, "A Development of Energy Saving System for Automatic Lighting Control using PIR", Trans. KIEE435, No.2, pp.58-68, 2010.
- [4] Eun-Seong Song, Byoung-Won Min, Yong-Sun Oh, "Design of Illumination Control System Using Microwave Sensors and Dimming Control" International Journal of Contents, No.12, pp.19-26, 2013.
- [5] Seung-Ho Han, "Energy Saving by Light Control System", Journal of the KIEE, No.9, pp.75-78, 2010.
- [6] Sang-Min Cha, Byeoun-Sam Kim, Min Kim, Gwan-Hyung Kim, Gi-Sik Byun, "LED Indoor Hallway Lighting Control using Microwave Sensor", The Magazine of kiice, No.9, 2012.
- [7] Hong-Nam Ryu, Jong-Hun Kim, Gyeong-Mo Yoo, Ju-Yeong Hong, Byoung-Wook Choi, "A Virtual Environment for Optimal use of Video Analytic of IP Cameras and Feasibility Study", Journal of KIEE, Vol.29, No.11, pp.96-101, 2015.
- [8] Chang-Hwan An, Sang-Hoon Kim, Young-Pil Shin, "For Energy savings intelligent light control system using CCTV" Journal of the KIEE, 2011.
- [9] Huan-Ting Chen, Si-Wei Wu and Shang-Hsien Hsieh, "Visualization of CCTV coverage in public building space using BIM technology", Chen et al. Visualization in Engineering, 2013.
- [10] Jon Hutchins, Alexander Ihler, Padhraic Smyth, "MODELING COUNT DATA FROM MULTIPLE SENSORS:A BUILDING OCCUPANCY MODEL".
- [11] Unity Homepage, <http://unity3d.com>
- [12] Kurt Rogler, "Energy Modeling and Implementation of Complex Building System Pt. 1", Architecture Senior Theses, No.5, 2015.
- [13] DOE homepage, <http://www.doe2.com>
- [14] Varick L. Erickson, Stefan Achleitner, Alberto E. Cerpa, "POEM:Power-efficient Occupancy-based Energy Management System", IPSN'13 April pp.8-11. 2013.
- [15] J. Zhang RG Lutes, G. Liu MR Brambley, "Energy Savings for Occupancy-Based Control(OBC) of Variable - Air-Volume(VAV) Systems", Pacific Northwest National Laboratory, 2013.
- [16] Doo-Youn Park, Kap-Chun Yoon, Kang-Soo Kim, "A Comparative Study on Heating Energy Consumption of Multi-Family Apartment using EnergyPlus and eQUEST",

Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.33, No.1, 2013.

[17] Hong-Nam Ryu, "A Study on Intelligent Video Data Based Building Energy Saving Modelling" Ph.D. Thesis, Seoul National University of Science and Technology, 2016.



류경모 (柳京模)

1994년 8월 4일생. 현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 재학중.

주관심 분야 : 실시간 시스템 설계, 임베디드 리눅스, 지능형 로봇 소프트웨어, 멀티미디어 프로토콜.

◇ 저자소개 ◇



류홍남 (柳洪男)

1968년 8월 20일. 2007년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업(석사). 2007년~현재 우정사업본부 수원우편집중국주무관. 2016년 8월 동대학교 나노IT 디자인 융합기술 대학원 박사.



최병욱 (崔秉旭)

1963년 2월 13일생. 1992년 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(박사).

1988~2000년 LG산전(주) 책임연구원. 2000~2005년 선문대학교 제어계측공학과 부교수. 2003~2005년 (주)임베디드웹 대표이사. 2007~2008년 Nanyang

Technological University, Senior Fellow. 2005년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 교수.

주관심 분야 : 임베디드 시스템, 실시간 시스템, 로봇 응용, IP 카메라 프로토콜.