

# 건물 에너지 모니터링과 공간정보 시각화를 이용한 에너지 통합 운영시스템 개발 방안 제안

## – 세종시 첫마을 공공건물을 대상으로 한 시스템 구축 사례 –

### A proposal of total energy operating system development using spatial information visualization and energy monitoring

#### – Case study on design of total operation system in Sejong city –

권기정<sup>1)</sup>, 이동환<sup>2)</sup>, 차기춘<sup>3)</sup>, 박승희<sup>4)</sup>

Kwon, KeeJung<sup>1)</sup> · Lee, DongHwan<sup>2)</sup> · Cha, KiChun<sup>3)</sup> · Park, SeungHee<sup>4)</sup>

Received February 24, 2014 / Accepted February 28, 2014

**ABSTRACT:** This research and project is going on the Korean government. The objective of project is that developing total energy management solution. So, this paper is going to introduce a proposal that energy total operating system development using spatial information visualization and energy monitoring. It could efficiently operate the building energy wirelessly controlling cooling/heating, lighting, air-conditioning and geothermal system. The metering data is collected to total database. The data is linked to BAS gateway, which is connected the device by the standard protocol.

**KEYWORDS:** 3D energy monitoring, Energy total operation, Spatial information visualization, BIM

**키워드:** 3차원 에너지 모니터링, 에너지 통합운영, 공간정보 시각화, 원격 제어, 빌딩정보모델

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

미국 DOE의 건물 에너지 시뮬레이션 도구 Energy Plus의 실무자들이 에너지 성능 분석 프로그램을 실무에 적용하고자 할 때, 운영자가 쉽고 효율적으로 관리하는데 있어 가장 큰 장벽은 그래픽 인터페이스의 부족이 많은 부분을 차지했다.(See, R., 2011) 이런 상황은 빠르게 변화하고 있다. 건물 내 에너지 사용이 주요 이슈가 되고 있으며, 이들 중 많은 양의 냉/난방 에너지 소비 요소는 항상 고려를 해야 한다. 실제로, 건물 에너지 소비 효율을 향상 시키기 위한 분석들이 연구되고 있으며, 이런 정보들은 실제 건물로부터 얻어진 데이터들로 분석이 된다(KIM, H.,

2013). 기존의 건물 에너지 모니터링 방식은 2D 도면이나, 사진에 의존하여 공간정보의 인식에 한계점이 발생한다. 이 논문의 목적은 공간정보(BIM)의 시각화를 이용하여 도시 에너지 관제 통합운영 시스템을 구현하여 건물 군의 에너지 운영 효율화 방안을 제안하고자 한다.

에너지소비측면에서 전체 에너지 중 25%를 차지하고 있는 건물 부문은 산업이나 수송부문보다 상대적으로 경제에 미치는 부담을 줄이면서 수요관리와 기술개발로써 에너지 감축이 가능한 잠재량이 가장 큰 부문이기도 하다. 그러나 타 부문보다 건물별 과거 에너지 소비이력, 에너지 공급 및 수요관리를 위한 DB 구축 등 체계적인 통계구축이 미흡하다. 에너지 감축의 최선책인 최적의 에너지 절약설계와 에너지 수급관리를 위해서 구체적

<sup>1)</sup>학생회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 석사과정 (kjpatriot@gamail.com)

<sup>2)</sup>학생회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 박사과정 (ycleedh@paran.com)

<sup>3)</sup>학생회원, 성균관대학교 미래도시융합공학과 석사과정 (chckicun@naver.com)

<sup>4)</sup>정회원, 성균관대학교 건축토목공학과 교수, 공학박사 (shparkpc@skku.edu) (교신저자)



Figure 1 Overview of total energy management in Sejong City

인 에너지 관련 통계자료를 필요로 하는데 기존 통계자료는 대부분 수요통계 데이터가 아닌 공급통계 데이터를 기반으로 하고 있어 에너지 수요를 관리함에 있어 한계가 있고(국토해양부, 2012), 건축물의 근접한 에너지 수요예측을 위한 에너지 사용량 분석에 대하여 실수요 통계데이터를 활용한 사례가 부족하다(신주호, 2013).

이에 본 연구에서는 세종시 첫마을의 공공건물들에 기 설치되어 있는 설비들로부터 실시간으로 에너지 사용량 데이터를 수집하고, 통합운영센터에 공간정보를 활용한 모니터링 시스템 구축을 한다. 또한, 건물단위 에너지 수요관리가 전문 인력에 의해 원격으로 건물 설비들의 통합관리가 이뤄지도록 하고, 에너지 소비이력, 공급 및 수요관리 등 다양한 정보들이 효율적인 관리 시스템을 갖출 수 있도록 하였다.

## 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 현재 수행 중인 “KMEG 에너지 통합운영관리시스템 개발”이라는 연구에서 “3D BIM기반 건물 에너지 성능평가 및 모니터링 시스템 개발” 연구의 일부이다.

연구의 대상 및 범위는 세종시 첫마을의 공공건물 4동과 참샘초등학교를 대상으로 에너지통합운영관리 기술을 적용시켰다. 기존의 BAS(Building Automation System) 장비들을 각각의 건물에 적용시켜 전력, 조명, 시스템 에어컨, 지열 등의 설비들로부터 데이터를 얻는다. BACnet, LonWorks등의 표준 프로토콜 기반으로 연동된 솔루션을 통해 모아진 데이터를 활용해 에너지 소비 실태를 실시간으로 파악한다. 이에 더 고도화된 관리 기술을 적용하기 위해 건물용도에 따라 변화하는 에너지 소비를 효과적으로 관리하기 위해 공간정보(BIM) 기반의 모니터링 시스템을 구현하고자 하였다.

## 2. 연구 적용 대상 및 적용 계획

본 연구에서는 세종시 첫마을 공공건물을 대상으로 에너지 통합운영관리 시스템을 적용 시켜 보았고, 학교건물에 공간정보

Table 1 Demonstration building profiles

Public building	Community center	Fire station	Police station	Post office
Time of Completion	2011/10	2011/11	2012/10	2011/12
Gross area[m <sup>2</sup> ]	1,071.4	4635.10	998.54	956.05
Operation hour per year	8,784 [2012y]	2,268 [2012y]	8,784 [2012y]	2,718 [2012y]

시각화를 통한 운영시스템을 적용 하고 있다. 또한 첫마을 공공기관의 정밀진단 결과 및 에너지 운영현황 분석 등을 통하여 원격 에너지 운영관리, 실시간 모니터링 및 원격제어를 통해 에너지 절감을 실현하였다. 에너지 효율 개선을 위한 적용 방법 및 계획은 다음과 같다.

- 도시 에너지 모니터링 시스템 구축
- 복합 신재생에너지 구축
- 에너지 데이터 분석 플랫폼 및 최적운영 시스템 적용
- 도시 에너지 통합운영 플랫폼 구축

대상 적용 건물 및 운영 현황은 Table 1과 같다.

## 3. 시스템 구현

### 3.1 3D Web browser 구조

에너지 통합 운영시스템은 대상 건물들의 환경정보, 설비정보, 운영정보 등 각종 데이터들이 원격으로 수집하고 있다. 데이터의 체계적인 관리를 위해 데이터 구조의 표준화도 중요하지만 운영자와 사용자에게 효과적인 전달도 중요하다. 아래 Figure 2는 3D Web browser 구조이다.

공간정보 데이터는 IFC2x3를 파싱을 통해 변화하여 저장하였다. 건물의 BAS에서 수집되는 미터링 데이터는 통합운영센터로부터 구분하여 전달한다. 시스템의 메인모듈에서는 공간정보 데이터와 미터링 데이터를 웹상에서 정보제공을 하고 타 에너지 성능분석 툴의 연동이 가능하도록 개방형으로 구성을 하였다.

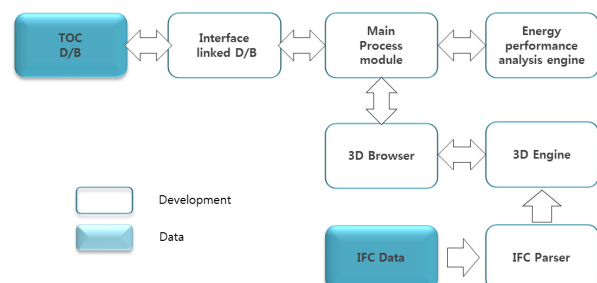


Figure 2 Architecture of system

3D 웹 뷰어에서는 층별, 설비별 모니터링이 가능하고 건물 정보, 설비가동상태, 소비정보 등이 나타난다. 데이터 주기는 5분단위이다. 통합센터에서 원격 운전은 운영시스템에서 가능하다.

### 3.2 3D Web browser 기능

통합 에너지 운영시스템은 건물에너지의 효과적인 운영을 통해 효율을 향상시켜 에너지 절감을 하는데 있다. 시스템의 기능은 운영자 측에서 이를 잘 활용 하도록 설계 하였다. 기능의 구성은 다음과 같다.

- 에너지 모니터링
- 통계/분석
- 운영 정보 조회
- 시스템 운영

먼저 에너지 모니터링에서는 에너지 통합관제와 건물 모니터링을 할 수 있다. 에너지 통합관제는 도시나 마을의 전체 현황을 파악할 수 있고 상세 수준으로 들어가면 건물 단위 모니터링이 가능하다. 건물 모니터링은 전력 사용량과 조명, 시스템에어컨 및 설비의 모니터링을 할 수 있다.

통계/분석 기능은 에너지 사용량 조회와 에너지 성능분석을 통한 수요예측 및 베이스라인 설정을 이용한 증감도 분석이 가능하다. 에너지 사용량은 전력이 주를 이루며 열이나 가스 사용량 조회도 구축 시 조회가 가능하다.

운영 정보조회는 조명, 시스템 에어컨, 지열, 각종 설비의 운영 상태를 조회 할 수 있으며 운영자 화면을 통해 원격 조종이 가능하다.

시스템 운영은 데이터 관리, 사용자 정보, 시스템 관리 등 시스템을 조정한다.

운영 단계는 1단계부터 5단계로 구분되어 있으며 임의의 운전이 아닌 국가 전력운영 상태에 따라서 운영을 한다.



Figure 3 Graphic User Interface of urban unit monitoring  
 - ① Location Info. ② Type of energy monitoring  
 ③ Use of Urban energy ④ Each use of building  
 ⑤ State of energy use ⑥ Operation level's control  
 ⑦ Level of operation



Figure 4 Graphic User Interface of system unit monitoring  
 - ① Type of system monitoring ② List of below system ③ Monitoring field

### 3.3 3D Web browser 서버 구조

통합 운영 시스템 내부의 데이터 베이스는 메인 서버로 모든 데이터를 전송하고 양방향 통신을 통해 무결성 검증을 한다. 데이터 백업은 통합 데이터베이스와 각각의 것들을 주기적으로 진행한다. 이기종 설비들의 연동을 위해 BACnet, Lonworks 등 표준 프로토콜 기반으로 테스트 및 검증을 진행한다. 공간정보 데이터의 경우 건물 객체요소중 벽, 바닥, 천장, 지붕 등의 요소로 건물단위의 공간 구분이 가능하고 직관적인 정보 획득이 가능한 수준으로 표현가능한 수준이다. 표준에너지 통합운영 시스템에 추가적인 건물의 연동이 필요할 경우 운영시스템 가이드에 따라 확장이 가능하다. 추가 연동에 관한 문제는 연구 진행 중에 있다. Figure 5는 통합운영 시스템의 구조 중 공간정보 데이터 베이스 구축을 나타낸다. 가장 아랫단의 건물 설비들로부터 데이터를 전송한다. 3D 엔진서버는 건물 공간정보를 파싱하여 통합 데이터 베이스로 전송하고, 에너지 성능 분석 모듈에서 수집한 정보 또한 건물 설비에서 전송한 데이터를 분석하여 통합 데이터 베이스로 전송한다. 통합 데이터 베이스에서 수집된 데이터들을 설비별로 구분하여 테이블에 저장한다.

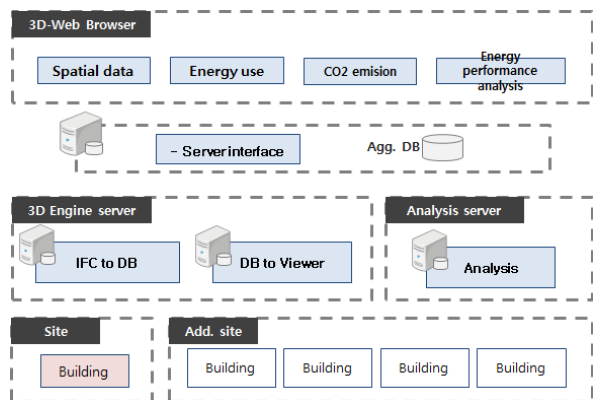


Figure 5 Database component in total operation system

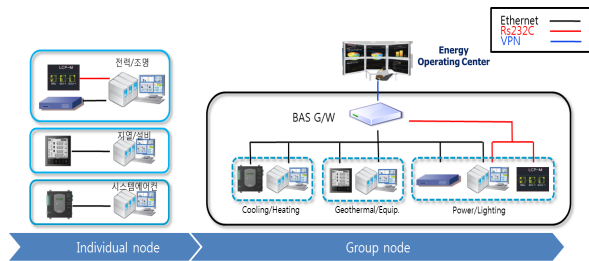


Figure 6 BAS system: Designed the individual node into the group node

### 3.4 건물 데이터 구조 및 흐름

본 연구에 적용한 세종시 첫마을의 공공건물 4개동과 초등학교 건물은 모두 지열시스템을 갖추고 있다. 또한 추가적으로 태양광, ESS를 구축하여 에너지 공급을 하고 있다. 지열 설비와 태양광 및 ESS로부터 수집되는 생산 및 소비 데이터 역시 수집한다. 기존에 개별적으로 연동 되었던 망을 각각의 건물에 하나의 BAS G/W를 통해 에너지 통합운영 센터에 전송한다.

Figure 6에서 왼쪽 시스템은 기존의 설비들이 독립적으로 통신하는 것을 볼 수 있다. 이는 각각의 설비들의 서로 연동이 될 수 없고 서로 다른 프로토콜로 설계가 되어 있어 데이터 수집시에도 취합이 어려웠다. 오른쪽 시스템은 건물에 모든 설비들을 하나의 BAS로 통합하여 망을 이루고 있다. 전력, 지열시스템, 냉/난방 및 각 설비의 포인트와 BAS G/W는 Ethernet통신을 하고, 조명은 RS232C 표준 프로토콜로 연결한다. 그리고 BAS G/W와 운영센터간에는 VPN망을 통해 보안을 적용하였다.

에너지 운영센터에서 각각의 BAS G/W로부터 수집한 데이터는 3D Web Browser를 통해 모니터링을 한다. 운영자는 다양한 데이터를 공간정보와 동시에 모니터링하여 직관적인 파악이 가능하고 이를 운영사항에 반영 할 수 있다.

Figure 8은 센서정보를 이용해 운영자가 실시간으로 원격제어를 진행하는 과정의 설비들의 연동상태를 보여준다. 건물의

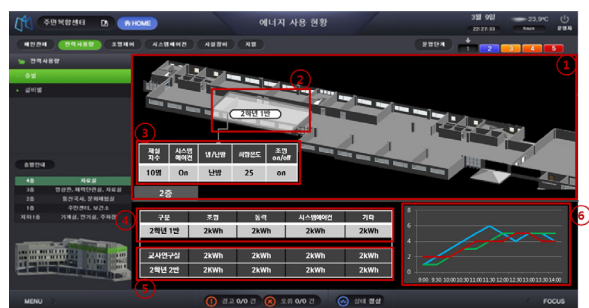


Figure 7 Prototype 3D web viewer: ①Main spatial view ② Objective info, window ③State window ④Consumption info, window ⑤Other consumption info, ⑥Time schedule of energy use

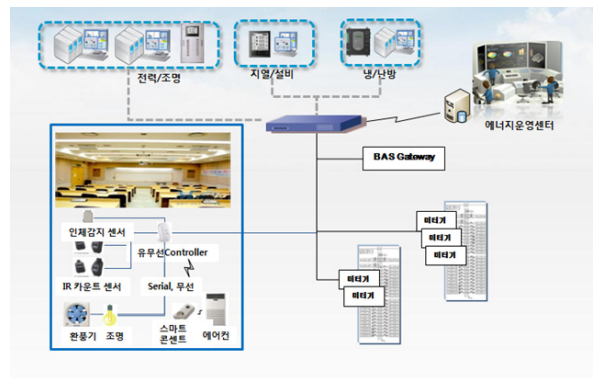


Figure 8 Example of operation situation sensor sensing occupancy

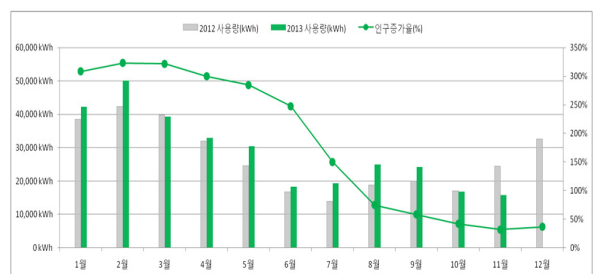
일부 공간에 재실인원이 없을 경우 운영자는 이를 센서 데이터로부터 정보를 얻고 그 공간의 설비운영 상태를 파악하여 BAS G/W와 통신을 통해 제어를 할 수 있다. 건물 내에 설치되어 있는 모든 설비들이 원격으로 제어가 가능하고 운영정보를 얻을 수 있다. 또한 모든 진행사항은 다시 피드백으로 운영 센터로 돌아오고 데이터베이스에 저장되어 진다. 이는 데이터 구조를 통해 모니터링에 시각화되는 정보의 표현으로 감지 할 수 있다. 데이터 테이블은 설비별로 각 레이블을 형성하였고, 인터페이스를 위한 뷰 테이블로도 형성하였다. 이외에도 기본적인 건물 정보사항과 운영 정보 등이 있다.

### 3.5 데이터 수집 현황 - 주민 복합센터

세종시 첫마을의 주민복합센터에서 약 2년동안 수집한 건물 에너지 전력사용량이 다음 Table 2에 나타난다. 2년 동안의 데이터를 월단위로 종합한 것이고 겨울철 난방으로 인해 전력사용량의 높은 수치가 나타난다. '12년도 보다 '13년도의 전력사용량이 증가한 이유는 인구증가로 설명 될 수 있다. 연초에 증가한 인구로 인해 난방사용량이 전년대비 증가하였고 또한 추가적인 설비의 구축으로 인해 증가였다. '13년 말에 갈수록 에너지 운영

Table 2 The community center power use [kWh]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
'12y	38,5	51,4	39,7	31,9	24,5	16,7	13,8	18,8	20,0	17,0	24,4	32,6	320,3
'13y	42,3	50,1	39,4	32,9	30,4	18,3	19,2	24,9	24,1	16,8	5,86	-	314,4



**Table 3** The community center power use using functional equip

Index	February	March	April	Total	Note
Hot-water	3,938	3,782	4,141	11,861	MCC-M1
Ventilation	7,560	6,538	5,794	19,892	MCC-M2
Cooling/ Heating	6,150	3,082	1,594	10,826	MCC-M3
Light	20,413	20,360	20,592	61,385	include other power
Total	38,061	33,762	32,121	103,944	-

을 통해 관리를 점차 진행하였고 현재 적합한 운영 방안을 찾아 운영중에 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건물 공간 정보를 이용한 3D Web Browser를 통해 에너지 통합 운영 시스템을 실증 건물에 적용하여 에너지 통합 운영 서비스를 제공할 수 있는 방안을 제안하였다. 3D 공간 정보를 웹기반으로 제공하여 실시간 에너지 모니터링을 통해 운영자의 직관적인 이해를 도움으로써 운영 효율을 높이는데 기여하였다. 이를 위해

- 3D Web Viewer Prototype 제작
- 데이터 베이스 구축
- 공간정보 시각화 구축
- 에너지 모니터링 및 제어 플랫폼 개발

을 진행하였고 다음과 같은 기능을 통해 에너지 관리를 할 수 있었다.

- 에너지 모니터링
- 통계/분석
- 운영 정보 조회
- 시스템 운영

#### 5. 향후 연구 진행 방향

본 연구는 3D 공간 정보를 웹기반으로 제공하여 실시간 에너지 모니터링을 통해 운영자의 직관적인 이해를 도움으로써 운영 효율을 높이는 기여하였다. 또한 데이터 연동의 운영관리를 위해 표준 프로토콜을 기반으로 추가 적인 건물의 연동방안을 열어 두고자 했다. 이를 통해 다양한 설비의 데이터를 수집하여 통합 운영을 통해 에너지 관리의 효율성을 높이고 에너지 절감을 실행 할 수 있도록 다음 연구 진행이 필요하다.

- 추가 실증 연동을 통한 표준화 마련

- 도시 에너지 모니터링 효율성 검증
- 신재생에너지 운영방안 도출
- 에너지 데이터 성능 분석 플랫폼 확장
- 데이터 분석을 통한 최적 운영 방안 도출 및 적용
- 탄소배출량 모니터링 개발

에너지 원격 통합운영을 통해 효율적인 에너지 제어를 통해 수집된 데이터의 검증이 필요하다. 검증방안 선택의 고려와 검증결과는 운영 데이터의 신뢰성을 향상시켜 통합 관리 방안의 효율성 검증으로 운영자와 사용자에게 정확한 정보를 제공하여 운영효율의 향상과 에너지 절감효과를 가져 올 수 있을 것이다.

또한 에너지 사용량 정보를 활용하여 각각의 건물에서 사용되는 에너지의 탄소배출량을 환산하여 도시 전체의 탄소배출량 정보를 얻을 수 있다. 탄소배출량 모니터링을 통해 도시 에너지 관리와 동시에 탄소배출관리를 적용시킬 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부의 u-City 석·박사 과정 지원사업의 지원과 2013년도 지식경제부의 재원으로 지식경제 R&D 전략기획단(OSP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2011T100100022).

#### References

See, R et al. (2011), "Development of a user interface for the EnergyPlus whole building energy simulation program", Proc. Building Simulation.

Kim, H-J, Anderson, K (2013), "Energy Modeling System Using Building Information Modeling Open Standards". Journal of computing in Civ. Eng., vol. 27, pp. 203-211.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs of Korean government (2012), "Building energy total management system request for proposal(3th)", pp 1-2.

Shin, J-H, Kim, H-S, Lee, D-H, Park, S-H (2013), "A Study on the pattern of energy consumption of apartment in winter Automatic Meter Reading Systems", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 33, No. 3, pp. 1225-1234.

Korea Institute of Energy technology evaluation and planning (2013), "K-MEG Energy Total Operation and Management System", KETEP.