

탄소저감을 위한 3D BIM 기반 건물 에너지 효율화 방안

이동환* · 권기정** · 신주호*** · 박승희****

Lee Dong Hwan*, Kwon Kee Jung**, Shin Ju Ho***, Park Seunghee****

3D BIM-based Building Energy Efficiency Solution for Carbon Emission Reduction

ABSTRACT

This study deals with the BIM (Building Information Modeling)-based energy performance analysis implemented in EnergyPlus. The BIM model constructed at Revit is updated at Design Builder, adding HVAC models and converted compatibly with the EnergyPlus. We can obtain the input values about HVAC system and building environment such as HVAC system efficient, the number of air changes and energy consumption of equipment on applying GAs (Genetic algorithms). After modification about HVAC system, Optimization about HVAC system energy consumption can be analyzed. In order to maximize the building energy performance, a genetic algorithm (GA)-based optimization technique is applied to the modified HVAC models. Throughout the proposed building energy simulation, finally, the best optimized HVAC control schedule for the target building can be obtained in the form of "supply air temperature schedule". Throughout the supply air temperature schedule is applied to energy performance simulation, we obtained energy saving effect result on simulation.

Key words : HVAC (Heating, Ventilation, Air-Conditioning), BIM (Building Information modeling), Energy Simulation, GA (Genetic Algorithm), BEMS (Building Energy Management System)

초 록

본 논문에서는 건물 내 HVAC시스템의 소비에너지 효율화를 목표로 한다. 이를 위해 건물 에너지 시뮬레이션과 유전알고리즘을 이용하여 HVAC시스템 내 급기 온도에 대한 제어 스케줄을 도출하였다. 연구 대상 건물은 90년대에 지어져 BIM이 구축되어 있지 않아 대상건물의 BIM을 구축하였고, 그 정보를 에너지 시뮬레이션 프로그램에 입력하여, 대상건물에 대한 에너지 시뮬레이션 모델을 구축하였다. 또한 실측한 소비에너지양 정보와 비교하여 대상건물 에너지 시뮬레이션을 실제 에너지 소비량 유사하게 보정하였다. 수정된 건물 에너지 시뮬레이션 모델과 유전자 알고리즘을 이용하여 에너지 효율화 급기 온도 스케줄이 작성되었다. 대상 건물에 적용되었을 때 에너지 절감 효과는 3%로 나타났다. 아직 이 분야는 설비의 제어 기법에 관한 연구가 미진하고, 주로 관리자의 경험을 통해 관리되는 측면이 있어, 에너지 시뮬레이션 프로그램에 의한 기법 개발 및 그에 대한 효과의 검증은 토대로 에너지 절감 기법에 대한 연구 및 개발이 필요하다. 본 연구는 HVAC system 제어 기법에 시발점이 될 것이다.

검색어 : 공기조, 건물 정보 모델링, 에너지 시뮬레이션, 유전자 알고리즘, 건물 에너지 관리 시스템

* 정희원 · 성균관대학교 u-City공학과 박사과정 (ycleedh@skku.edu)

** 성균관대학교 u-City공학과 석사과정 (kjpatriot@gmail.com)

*** 성균관대학교 u-City공학과 석사과정 (tuyep@naver.com)

**** 정희원 · 교신저자 · 성균관대학교 건축토목공학부 조교수 (Corresponding Author · SungKyunKwan University · shparkpc@skku.edu)

Received March 26 2013, Revised April 15 2013, Accepted April 19 2013

1. 서론

1.1 연구의 목적

전 세계적으로 기후변화와 에너지 문제 해결을 위해 도시, 단지, 건축물, 교통 부문 등의 개별기술 개선뿐만 아니라 계획 및 설계 차원의 탄소저감을 위한 종합적인 해결방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 에너지 소비분포 파악을 위해 주요 에너지 소비에 대한 산업별 분포를 살펴보면, 전체 에너지 소비원에서 산업 부문은 33%을 차지하고 있고, 교통 영역은 28%, 그리고 건물영역에서는 주거 및 상업용 건물을 포함하여 39%를 차지하고 있다.

특히, 미국 환경성에서 제공하는 자료를 살펴보면 건물에서 소비하는 에너지양에 대해서 살펴보면, 주거용 건물에서는 냉난방 에너지를 합치면 건물에서 소비되는 에너지량 중에서 42%를 차지하고 있으며, 상업용 건물에서는 주거용 건물보다는 적지만 29%를 소비하고 있다. 이와 같이 건물 에너지 관리에 의한 에너지 소비량 감소는 매우 중요한 방법이라고 할 수 있다.(U.S Environmental Protection Agency, 2009) 본 연구에서는 국내외 건설산업에서 BIM이 의무 적용이 요구되면서, 건물 에너지 성능 시뮬레이션에 활용할 경우 그 활용도가 높을 것이다. (환경부, 2011) 이러한 이유로 대상건물을 BIM으로 구축하여 건물 에너지 시뮬레이션에 이용하였고, 대상건물의 HVAC 시스템의 급기온도 스케줄을 통해 건물 소비에너지 절감 방법을 도출하였다.

1.2 선행연구 고찰

건물의 HVAC제어 및 제어기법에 대한 기존 연구에 대한 내용 및 한계점을 정리하면 Table 1과 같다. 기존 연구를 통해 HVAC 시스템의 급기온도 제어를 통해 에너지 절감이 가능함을 밝혀내었다. 다만 선행연구에서의 한계점 역시 파악하여 이를 보완하는 연구를 진행하였다. 따라서 본 연구에서는 HVAC 시스템의 급기온도 제어 스케줄을 도출하여 대상건물에 대한 에너지 소비 효율화를 달성하고자 한다. 또한 최적화 알고리즘인 유전자 알고리즘을 이용하고, 그에 대한 목적함수를 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램을

사용하여 시간에 따른 변동요소를 시뮬레이션 프로그램에서 고려하였다. 기존 연구에서 고려하지 못했던 변수도 입력하여 제어 스케줄을 도출하였다.

1.3 연구 방법 및 절차

건물 내 HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning 이하 HVAC)에서 소비되는 에너지양을 최적화하기 위해 본 연구에서는 BIM(Building Information Modeling)을 이용하여 건물에너지 성능이 평가되었다. 건물에너지 시뮬레이션을 이용하면 대상 건물의 에너지 절감기법에 대한 시뮬레이션이 가능해지며, 이를 이용해 최적화 알고리즘인 유전자 알고리즘이 적용될 수 있어 에너지 최적화가 가능하다. 이를 통하여 하절기 대상 건물 HVAC 시스템의 급기 온도 스케줄이 도출되고, BEMS(Building Energy

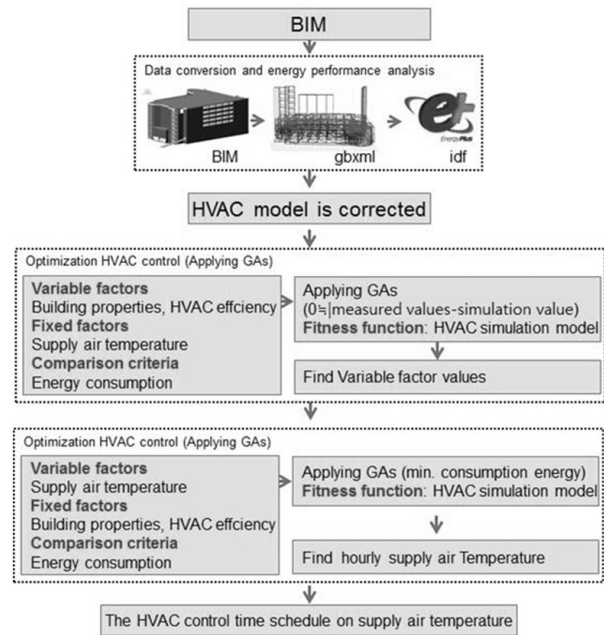


Fig. 1. Research methods and procedures

Table 1. Contents of previous research

Author	Research contents	Limitations
Huang and Lam (1997)	Derive optimal values of PID controller parameters	Not the direct control of the HVAC system algorithm, optimized for controller parameters
Fong, Handy and Chow (2006)	Derive monthly schedule, supply air temperature and coolant temperature	Not Daily schedule, so can not respond to changes in daily weather
Fan (2008)	The supply air temperature according to the outdoor temperature and humidity conditions	Only consider the outdoor temperature and humidity of the various factors on the energy consumption of single-duct variable air volume
An Byung Chun (2000)	Optimal control techniques derived using regression techniques.	Only concerned about the environment variables by introduction of regression techniques, not consider another variables

Management System, 이하 BEMS)를 이용하여 대상 건물에 적용 가능하다. 연구절차와 방법은 Fig. 1과 같다.

2. 이론적 배경

2.1 BIM(Building Information Modeling)

BIM이란 가상공간의 3D 모델을 기반으로 이루어지며, 대상 건물에 대한 전반적인 정보를 담고 있다. 이 모델은 건물의 형태, 및 입면, 디자인, 개구부 크기 등의 대상 건물의 물성치까지도 담고 있어 건물 기획, 설계, 엔지니어링, 그리고 시공 관리까지 건물 생애 주기 전반에 관련하여 사용 가능하다.(Eastman, 2009) 현재 국내의 많은 건설 사업에서 BIM 도입이 진행되고 있으나, 서로 다른 프로그램 사이에 지원 포맷이 달라 협업이 곤란한 것이 사실이다. 이를 막기 위해 IFC(International Foundation Classes)가 도입되긴 했지만, 아직까지 제작 및 인증 테스트의 미흡 등으로 인해 호환성에 문제가 있다.(Schueter, 2009) 하지만, 에너지 시뮬레이션 시에는 몇 가지 단계를 거쳐 사용 가능하며, 기존의 데이터를 사용할 수 있어 데이터 입력의 효율화, 건물 형태 변화에 대한 빠른 대응, 시뮬레이션 시 필요한 자료가 자동으로 저장되어 에너지 시뮬레이션 시 간단히 이용할 수 있는 장점이 있다.(Tuomas Lunie, et al, 2007) IFC와 gbXML과의 상호운용성이 확보된다면 BIM 기반 에너지 해석이 가능하며, 향후 BEMS의 유지관리 기능과 통합되면, 이는 BIM의 객체정보를 바탕으로 좀 더 유용한 수단이 될 것으로 기대된다. 본 연구에서는 에너지 시뮬레이션 프로그램과 BIM모델링간의 호환성 제시를 위해 BIM을 활용되었다.

2.2 건물 에너지 시뮬레이션

건물에너지 시뮬레이션이란 건물의 열적 특성에 영향을 끼치는 각종 요소를 데이터 모형으로 구축한 후 컴퓨터를 이용해 정해진 명령을 수행함으로써 실제 일어날 데이터를 예측하여 컴퓨터 데이터로 제시하는 작업이다. 건물에너지 시뮬레이션의 기본 입력데이터에는 벽체, 창호, 문 등 건물외피의 열적 특성 및 사람, 조명, 발열기 등 건물 내부 부하와 기상데이터, 일사량, 태양 각도 등 기상조건 외에 냉/난방 설비, 송풍기, 반송설비 등 공조설비의 운전특성 등이 있다. 시뮬레이션의 결과로 연간 에너지 사용량 및 에너지 비용, 건물의 에너지 부하 등을 도출된다.(김대현, 2012) 이를 통해서 다음 세 가지 장점을 얻는다. 첫째, 에너지 시뮬레이션 프로그램을 활용할 시에 에너지 절감 조치의 성능을 시뮬레이션을 통하여 예측할 수 있어, 에너지 절감 조치의 적용전략을 수립할 수 있다. 둘째, 적용된 에너지 절감 조치의 성능을 평가할 수 있다. 셋째 현재 사용된 에너지를 평가할 수 있는 건물 사용에너지 평가 기준을 제공할 수 있다. 이와 같은 장점을 활용하여 본 연구에서

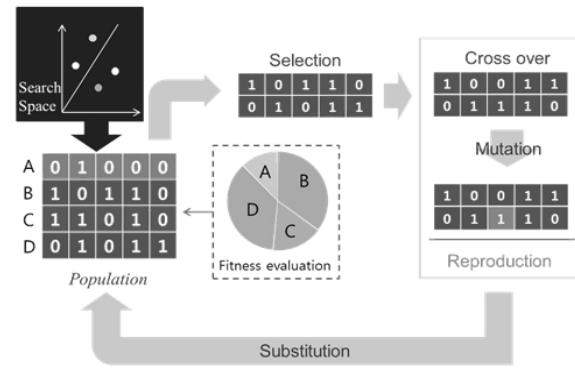


Fig. 2. Concepts of genetic algorithms (한학용, 2009)

진행하고자 하는 건물에너지 절감 기법을 개발하는데 있어 건물 에너지 시뮬레이션에 영향을 미치는 요소의 기준으로 활용 가능할 것이라 판단하여 대상건물에 대한 에너지 시뮬레이션 결과를 도출하고자 한다.

2.3 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)

유전자 알고리즘이란 유전학에 기반을 둔 알고리즘으로써 처음에는 자연적용 과정과 자연현상을 닮은 성질이 있는 모델에만 사용되었으나, 후에 사용범위가 확대되었다.(한학용, 2009) 기본적인 유전자 알고리즘의 구성요소는 Fig. 2와 같다. 처음 한 세대의 개체들의 집합에 대한 초기화는 랜덤하게 설정된다. 그리고 집합을 이루는 개체 각각은 미리 정한 목적함수로 정의된 기준에 따라 평가되고, 이어서 선택된 개체 간에는 교배와 돌연변이 유전 연산자를 통해 다음 세대로 진화한다. 이러한 반복의 종료 시점은 정해진 횟수가 될 수도 있고, 원하는 기준에 맞는 결과에 도달할 때까지 반복될 수도 있다. 본 연구에서는 에너지소비가 최적화되는 HVAC 급기 온도를 탐색하기 위해서 유전자 알고리즘을 선택하였다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위해서 프로그램 Matlab에 구축하였다.

2.4 BEMS(Building Energy Management System)

BEMS란 건물 내 쾌적한 실내 환경을 유지하면서 에너지 성능을 높이기 위하여 도입되는 건물 관리 시스템을 말한다. 이 시스템은 건물 내 설비 시스템의 가동 상태 감시와 자동제어를 수행하며, 에너지 사용량을 수집한 정보를 토대로 평가과정을 통해 건물 시스템의 효율적인 운영과 에너지 절감을 도모하는 역할을 한다.(홍지표, 2008)

본 연구에서는 BEMS의 대상 건물에 대한 환경정보 및 에너지 사용량 정보 수집 및 건물 내 설비 시스템의 제어 기능을 활용하고자 한다. BEMS로부터 대상 건물의 에너지 사용량 정보를 수집하여 대상 건물의 에너지 시뮬레이션 결과를 보정한다. 보정된 HVAC

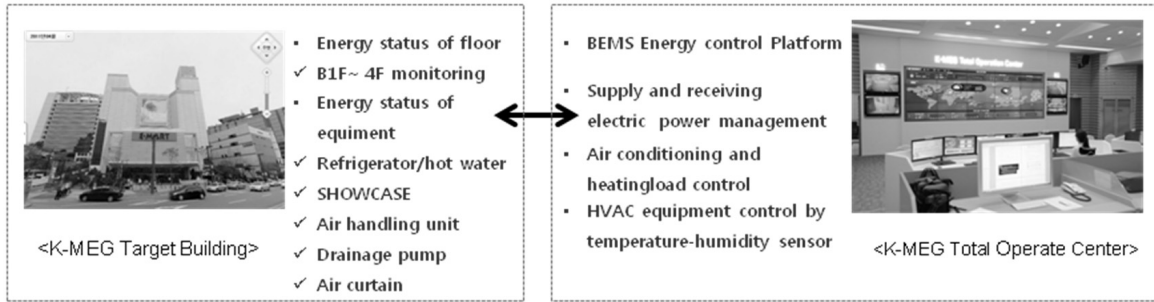


Fig. 3. Demonstration of test bed and BEMS

Table 2. Building information

Name	Guro E-Mart
Location	Guro-gu in Seoul, Korea, 188-26
Type of Use	B1~3F : sales area 4F~7F : parking area

에너지 시뮬레이션을 이용하여 대상 건물에 대한 에너지 최적 급기 온도 스케줄을 도출하고 도출된 조건을 BEMS에 적용하여 대상 건물의 HVAC을 제어하는데 사용될 것이다.

3. BIM 구축 및 건물 에너지 시뮬레이션

3.1 대상 건물 개요

본 대상 건물은 Table 2와 같이 서울시 구로구에 있는 구로 E-Mart를 대상으로 하였으며 K-MEG(Korea Micro Energy Grid) 사업에서 실증대상 건물로 지정되었다. 현재 대상 건물내에 BEMS(Building Energy Management System) 구축이 완료되었다. Fig. 3은 대상건물과 운영센터와의 정보 송수신 및 관제 정보를 나타낸다. BEMS는 HVAC 설비의 에너지 소비현황을 수집하여 실시간으로 운영센터의 통합서버에 전송하고 이를 관제 UI를 통해 관제를 실시하게 된다.

3.2 대상 건물 BIM 구축

대상 건물은 90년대 초에 지어진 건물로 BIM 정보가 없었다. 그래서 Autodesk사의 Revit이 이용되어 대상 건물에 대한 BIM이 구축되었다. 대상 건물의 에너지 시뮬레이션 시 BIM에서 냉방 및 난방 설비의 배치 및 내벽에 따라 공간이 구분되며 각 공간에 대해서 별도의 지정이 필요하게 된다. 실제 구로 E-Mart의 모습과 작성된 BIM의 모습은 Fig. 4와 같다.

3.3 BIM 정보의 파일 변환

BIM 파일이 호환되는 프로그램이 존재하나, 아직 호환되지

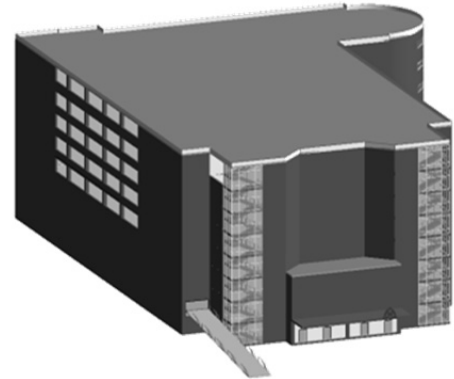


Fig. 4. Snapshot of test bed and BIM

않는 프로그램이 더욱 정밀한 경우가 많다. 본 연구에서 선택한 건물 에너지 시뮬레이션 툴도 BIM 파일과는 호환이 되지 않는다. 따라서, 에너지 시뮬레이션 시뮬레이션이 수행되려면 시뮬레이션 프로그램에서 인식이 가능한 파일 형태로의 변환이 필요하다. 이를 위해 BIM 파일을 gbXML(Green Building XML) 형태로 변환하고 이를 DesignBuilder 프로그램을 이용하여 HVAC 모델을 디자인한다. 이를 통해 EnergyPlus가 구동 가능한 형태의 IDF 파일이 생성된다. Revit을 이용한 BIM 구성부터 EnergyPlus가 읽을 수 있는 IDF 파일 형식까지의 변환 과정을 간단하게 정리하면 Fig. 5와 같다.

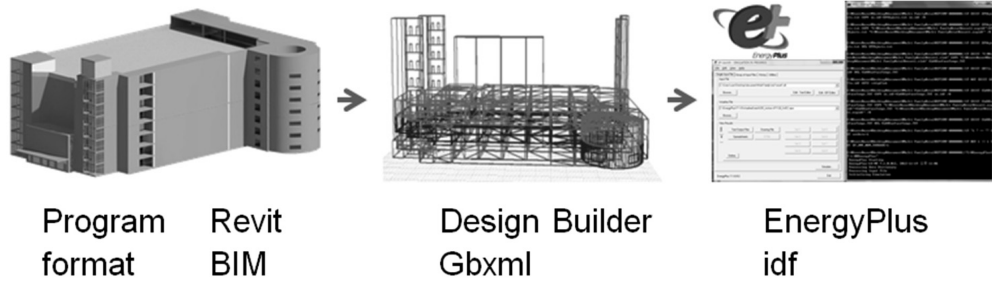


Fig. 5. Conversion process of BIM

Table 3. Simulation input variables

		Input value	Value
Internal environment condition	Clothing (clo)		0.4
	Setting internal temperature (°C)	Time : 06:00~ 18:00(°C)	23~25
	Lighting (lux)		300
Occupant & Action	Occupant	Number of occupants	29
		Activity (w)	70
	Lighting	Energy consumption (w/m ²)	5
		Radiant fraction	0.420
		Visible fraction	0.180
	Equipment	Energy consumption (w/m ²)	11
Radiant fraction		0.2	
HVAC	form	type	Dual Duct VAV
		Condition	IdeaLoad System
	Design Flow rate(m ³ /s)		1.75
	Efficient		1
Building Materials	Thermal conductivity of the wall (W/m·K)		0.036
	Thermal conductivity of the roof (W/m·K)		0.021
	Thermal conductivity of the bottom (W/m·K)		0.041

3.4. 대상 건물의 에너지 시뮬레이션

대상 건물의 BIM정보를 IDF파일로 변환하고, 변환된 IDF파일을 이용하여 대상 건물의 에너지성능을 평가한다. 건물 에너지 시뮬레이션 시 입력되는 변수는 Table 3과 같다. 입력변수의 값은 크게 세 종류로 나누어지는데, 내부환경조건과 내부에서 취득 및 손실되는 열량에 대한 것이다.

마지막으로 대상건물에 적용한 HVAC 시스템 모델링 조건을 기입하였다. 착의량의 경우 여름철 기본값인 0.4로 하고, 내부 설정온도의 경우 주간(06:00~ 18:00)은 최저 23(°C)에 최대 25(°C)

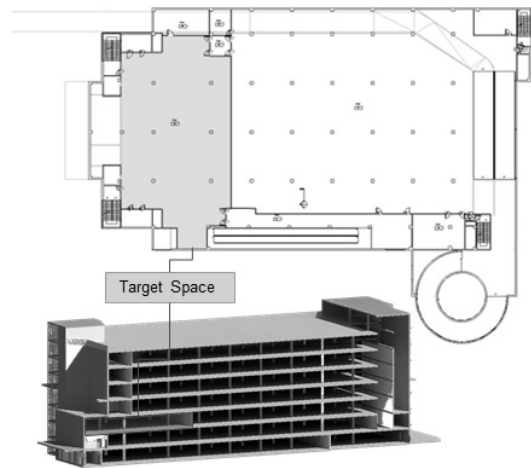


Fig. 6. Third floor plan of the test bed and thermal zone

로 설정하였고, 주간 대상건물에 HVAC시스템이 가동하는 것으로 설정하였다. 조명 밝기는 300(lux) 설정하였다.

내부환경에서 취득 및 손실조건은 재실자의 활동량, 조명 및 기기에 따른 취득량 그리고 침기율에 따른 손실 등 세 가지로 나뉘며, 해당 공간에 있는 존재하는 재실자수는 약 54명으로 평상시 발열부하인 70W/hr으로 설정하였다. 또한 조명밀도는 5W/m²로써 설정 공간에 배출되는 열량값을 Radiant fraction과 Visible fraction으로 두 가지로 나누었으며, 각각 0.420과 0.180으로 설정하였다. 침기 및 환기량은 건물 특성 및 3층 사용 용도를 따른 공간 특성상 미치는 영향이 적고 연구의 목적상 환기의 변수를 고정하는 것이 알고리즘 분석에 유리하여 제외하였다. 마지막으로 HVAC 시스템에 대한 설정 조건으로 HVAC 설비형식은 Dual duct VAV (Variable Air Volume)으로 설정하였으며, 설비 상태는 IdeaLoadAirSystem으로 설정하였다. 이는 대상 건물에 설치한 HVAC system 관련 설비상태가 이상적이라고 가정된 것이어서 HVAC설비의 효율을 1로 설정하였다. 공급 공기량은 1.75m³/s 이다.

HVAC 제어 타임 스케줄은 7월 15일 당일 하루를 대상으로 하였고, 대상 건물의 에너지 시뮬레이션 기간 역시 이와 같게 적용하였다. 또한, 건물에너지 시뮬레이션 시 대상 건물의 위치에 따라서

지역 기후데이터를 설정할 수 있으며, 이번 분석을 위한 대상 건물의 위치는 서울로 설정하였다. 기후데이터는 미국 DOE에서 만들어 배포하고 있는 데이터를 활용하여, 건물에너지 시뮬레이션을 진행하였다. 본 연구는 대상 건물의 3층 판매공간을 분석공간으로 설정하였다. Fig. 6은 분석공간을 나타낸다.

3.5. 유전자 알고리즘을 적용한 실측값 보정

3.5.1 Matlab과 EnergyPlus 연동

유전자 알고리즘을 활용하여 최적해를 탐색하기 위해서는 그에 적합한 목적 함수가 필요하다. 본 연구에서 목적함수로 대상건물에 대한 건물 에너지 시뮬레이션 모델로 설정하였으며, Matlab내에 구축되어 있는 유전자 알고리즘을 연동하기 위해서 건물 에너지시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus와 Matlab의 연동이 필요하다. 유전자 알고리즘을 활용할 시에 최적값에 대한 근거를 판단하기 위해 목적함수에 선택, 교배, 변이 된 인자들이 목적함수에 입력하여, 그 값을 비교해야 하며, 이를 위해 목적함수로 설정된 프로그램이 Matlab에서 구동하여야 한다. Matlab내 명령어인 ‘System’을 활용하면 Matlab 내부에서 다른 프로그램을 실행시키고 중지시킬 수 있다. 이를 사용하여 유전자 알고리즘의 목적함수인 대상건물의 에너지 시뮬레이션 모델을 Matlab에서 구동할 수 있으며, 유전자 알고리즘 진행에 따라 반복적인 후속세대의 진행을 통해서 에너지 최소가 되는 급기온도를 탐색하여, 에너지 최적값을 만족하는 급기온도가 도출된다.

3.5.2 실측값을 이용한 에너지 시뮬레이션 입력 변수 보정값 도출

대상 건물이 실제로 소모한 에너지의 형태 및 량은 보정하지 않은 에너지 시뮬레이션 모델과는 차이가 있을 수 있다. 따라서 이를 보정하기 위해 내부 및 외부에서 공급 및 방출되는 열량 중 차이가 있을 수 있는 값들을 골라 변수로 지정하여 GA를 이용해 보정하였다. 보정된 값에서 대상 건물에서 소모되는 냉방에너지는 가장 작은 값을 갖게 된다. Eq. (1)을 이용하여 보정값을 적용하는 방안은 Fig. 7과 같다.

$$\text{실측값} - \text{분석값} = 0 \tag{1}$$

유전자 알고리즘을 이용하여 실측값 대한 보정요소의 설정치 결과는 Table 4에 나타내었으며, 기기발열량은 대상공간이 판매 공간으로 활용되고 있어, 쇼케이스 및 진열장과 같은 판매시설의 발열로 인해 증가하는 것으로 보인다. 또한 기존의 HVAC 시스템의 노후 및 특이성을 고려하기 위해 Design Flow rate와 Efficient를 보정요소로 구분하였으며, 그에 대한 결과는 Design Flow rate는 1.75에서 0.3으로, efficient는 1에서 0.75로 나타났다. 추가적으로

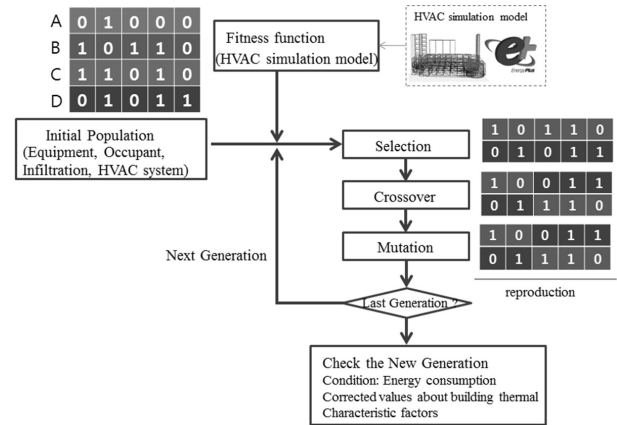


Fig. 7. Method of applying the GAs to correct between simulation and actual values

Table 4. Input variable compensation value

Input value		Initial	Corrected
Occupant & Action	Equipment	11	20
	Energy consumption (w/m ²)		
HVAC	Design Flow rate (m ³ /s)	1.75	0.3
	efficient	1	0.75
Building Materials	Thermal conductivity of the wall (W/m·K)	0.036	0.012
	Thermal conductivity of the roof (W/m·K)	0.021	0.010
	mal conductivity of the bottom (W/m·K)	0.041	0.013

대상건물의 벽체의 열전도율을 보정하였다. 그 결과 벽체 열전도율은 초기 설정치에 비해 낮아졌고, 바닥 및 천장부분은 초기 설정치에 비해 높게 나타났다.

3.5.3 보정 후 도출된 결과와 실측된 에너지 소모 일치도

Eq. (2)를 이용하여 보정값과 실측값과의 에너지 량을 비교해본 결과 약 5.17%의 차이를 보였다. 이는 실제 값과 보정된 시뮬레이션 결과 값의 일치율이 약 95%로써 표준편차 내에서 유효한 결과를 얻었다고 볼 수 있다.

7월 1일부터 7월 31일까지 측정된 에너지소비량을 기준으로 보정하고 8월 7일부터 12일까지를 비교하여 검증하였으며 측정값과 시뮬레이션 결과값을 비교하면 Fig. 8과 같다. 다만, 그래프의 일부 구간에서 일치하지 않는 부분은 개체 및 세대 수 선택이 충분하지 않아 발생한 오차이다.

$$\left| \frac{\text{보정값 전체 에너지량} - \text{실측값 전체 에너지량}}{\text{실측값 전체 에너지량}} \right| \times 100 = 5.17\% \tag{2}$$

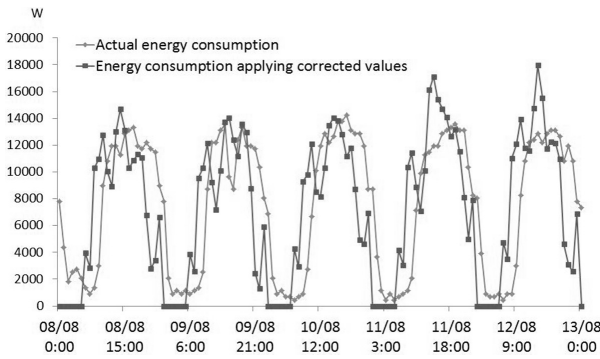


Fig. 8. Difference of energy consumption applying corrected values and actual data

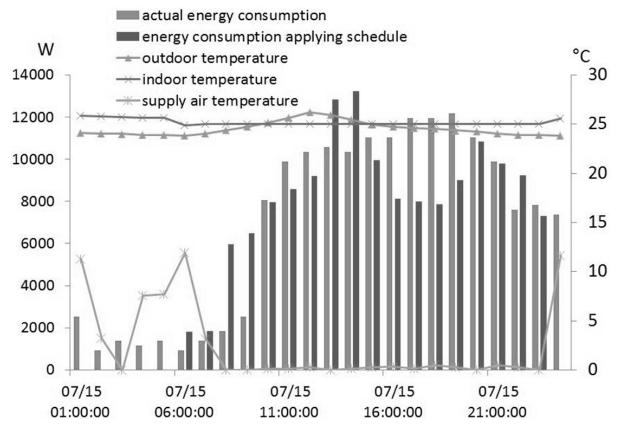


Fig. 10. HVAC control time schedule of supply air temperature

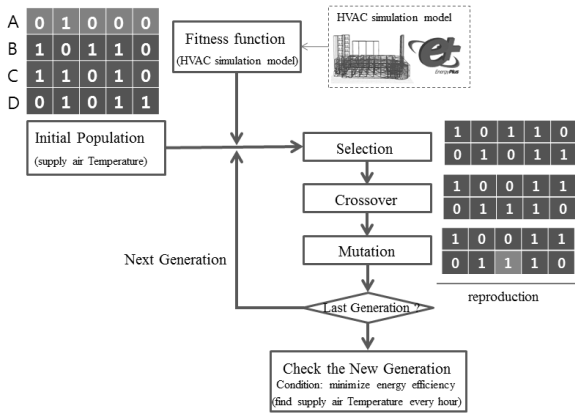


Fig. 9. Using a GA to find the HVAC supply air temperature

3.6 유전자 알고리즘을 적용한 스케줄 도출

3.6.1 유전자 알고리즘 적용 방안

탐색 공간되는 모집단은 공급 온도로, 에너지 시뮬레이션 프로그램을 목적함수로 설정하여 유전자 알고리즘을 적용되었다. 이를 통해 모집단에서는 유전자 알고리즘의 형식에 맞추어 선택, 교배, 변이를 거쳐 목적함수에 최적해를 탐색하며, 탐색한 조건이 최소 에너지 소요양인지 여부를 확인하는 과정을 통해 진행된다. 본 연구에서는 선택 모집단 개수를 50개, 세대 수는 5세대로 설정되었다. 기간은 7월 15일 하루로써 유전자 알고리즘을 스케줄 도출에 적용시키는 방안은 Fig. 9와 같다.

3.6.2 유전자 알고리즘 적용 결과

GA 적용에 따른 소비에너지량, 실제 계측된 소비에너지량, 외기 온도, 급기온도 스케줄, 내부 온도를 7월 15일 24시간동안 변화를 Fig. 10과 같다. 실내 온도는 주간 시간대에 25°C, 야간 시간대에는 12°C로 설정되어 있으며, 오전 6시를 기점으로 실내 온도를 적정 수준까지 맞추기 위해 에너지 소요량이 증가하였으나, 그 이후에는 에너지 수요가 감소함을 볼 수 있다. 이를 실제 측정 데이터 값과

비교하기 위해 24일간 에너지 수요의 합을 비교하였으며, Eqs. (3) and (4)를 이용하여 결과를 구하였다.

$$\frac{\text{보정값 전체 에너지량} - \text{GA 적용 전체 에너지량}}{\text{보정값 전체 에너지량}} \times 100 = 6.30\% \quad (3)$$

$$\frac{\text{실측값 전체 에너지량} - \text{GA 적용 전체 에너지량}}{\text{실측값 전체 에너지량}} \times 100 = 5.44\% \quad (4)$$

결과적으로 약 5.44%의 에너지 수요가 감소함을 볼 수 있었다. 이는 BEMS 도입에 의한 에너지 절감 효과는 고려되지 않은 결과로써, 본 연구에 적용된 에너지 절감 기법은 BEMS 도입의 효과에 더해져 추가적인 에너지 절감 요소가 될 것으로 판단한다.

5. 결론

최근 기후변화 및 에너지 고갈 문제는 에너지 절감 및 탄소배출 저감에 대한 많은 관심을 불러일으키고 있다. 국가별 에너지 사용분포를 살펴보면 전체 사용량 중 많은 부분이 건물에서 소비되고 있으며, 특히 HVAC 시스템에서 많이 소비하는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 건물 내 HVAC 시스템 제어 및 관리를 통해 건물 소비 에너지 효율화 달성을 목표로 한다. 이를 위해 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램과 유전자 알고리즘을 이용하여 건물 에너지 소모를 최적화 하는 HVAC 시스템의 급기온도 제어 스케줄을 도출하였다. 대상 건물의 형상정보 및 재질정보를 BIM으로 구축하여, 이를 건물 에너지 시뮬레이션에 적용하였다. 이때 시뮬레이션과 실제 에너지 소비량과의 오차가 발생하며, 유전자 알고리즘을 이용한 보정을 통해 실제 소비량과의 차이는 5% 이내로 보정하였다. 보정된 대상건물의 에너지 시뮬레이션 모델을 통해 HVAC 시스템의 급기온도 스케줄을 도출하였고, BEMS에 적용할 경우 시뮬레이

선 상으로 3%의 절감효과가 있었다. 이 효과는 기본적으로 BEMS 설치 시 가져오는 에너지 절감 효과에 추가적인 요소가 될 것이다.

본 연구에서 나타난 한계점은 다음과 같이 네 가지로 판단한다. 첫째, 건물에 구축된 BEMS에서 실제 제어 가능한 요소 반영이 이루어지지 않았다. 둘째, 건물 에너지 시뮬레이션 프로그램에 유전자 알고리즘 적용 시 최적값을 도출하는 탐색시간이 장시간 소요된다는 것이다. 셋째, 실측값과 시뮬레이션 간 오차에 대한 더 정확한 보정이 요구된다. 넷째, 실제 건물에서 측정되는 기상데이터가 반영되지 않은 점이다.

위에서 제시한 한계점을 보완하는 방안으로 추후 연구가 진행될 것이다. 첫째, 실제 BEMS에 적용을 위해 제어가능 요소를 파악하고, 그 요소에 대한 최적화 스케줄을 도출 및 적용이 필요하다. 둘째, 유전자 알고리즘을 이용한 최적해 탐색을 단축시키기 위한 방안 도출할 것이다. 셋째, 대상건물에서 계측된 기후정보를 이용하여 건물 에너지 시뮬레이션을 가능케 하는 연구가 진행되어야 한다.

위에서 언급한 연구를 추가로 진행하여, 대상건물에 구축된 BEMS의 제어 및 관리를 통한 건물에너지 절감효과를 입증하게 되면, 추후 BEMS 보급을 활성화가 가능할 것으로 판단된다. 이는 도시 내 탄소저감을 실현하고, 스마트 그린 시티로 발전하는데 주도적인 역할을 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부의 u-City 석·박사 과정 지원 사업, 국토해양부 첨단도시개발사업(11첨단도시G04), 2011년도 지식경제부 지식경제 R&D전략기획단(OSP)No.2011T100100022)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Kim, D.-H. (2012). *Calibration of the simulation for the evaluation of building energy*, ecosian report, ecosian (in Korean).
- An, B.-C. (2000). "Real time near optimal control application strategy of central cooling system." *Korea J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engrg.*, SAREK, Vol. 12, No. 11, pp. 354-362 (in Korean).
- Han, H.-Y. (2009). *Pattern recognition introduction*, Hanbit Media. (in Korean)
- Hong, J.-P. (2008). "A study on application status and improvement direction of the building energy management systems (BEMS) in Korea." *Proc. of Autumn Conference 2008*, KIAEBS, pp. 194-197 (in Korean).
- Ministry of Environment (2011). *Development of an LCA evaluation tool for the design stage using BIM, LCA*, pp. 6-10 (in Korean).
- Eastman, C. (2009). *Building information modeling handbook*, Lee, Gang, ed., John Wiley & Sons (in Korean).
- Fan, W. (2008). *Optimization of supply air temperature reset schedule for single duct vav systems*, MSc Thesis, Texas A&M university, Texas.
- Fong, K. F., Hanby, V. I. and Chow, T. T. (2006). "HVAC system optimization for energy management by evolutionary programming." *J. of Energy and Buildings*, Elsevier, Vol. 38, pp. 220-231.
- Huang, W., Lam, H. N. (1997). "Using genetic algorithms to optimize controller parameters for HVAC system." *J. of Energy and Buildings*, Elsevier Vol. 26, pp. 277-282.
- Laine, T., Hanninen, R. and Karola, A. (2007). "Benefits of BIM in the thermal performance management." *Proc. of Building Simulation 2007*, IBPSA, Beijing, China, pp. 1455-1461.
- Schuetter, A. and Thesseling, F. (2009). "Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages." *J. of Automation in Construction*, Elsevier, Vol. 18, Issue 2, pp. 153- 163.
- U.S Environmental Protection Agency (2009). *Energy information administration*.