

고지데이터 기반 기존 건축물의 용도별 에너지사용 현황분석 툴 개발

Development of an End-use Analysis Tool for Existing Buildings Based on Energy Billing Data

공동석(Dong-Seok Kong)^{1†}, 박정민(Jung-Min Park)¹, 장용성(Yong-Sung Jang)²,
이건호(Keon-Ho Lee)³, 허정호(Jung-Ho Huh)¹

¹서울시립대학교 건축공학과, ²GS건설기술연구소, ³한국건설기술연구원

¹Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Republic of Korea

²GS E&C Building Science Research Team, Gyeonggi-do, Yongin, 449-831, Republic of Korea

³Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi-do, Goyang-si, 411-712, Republic of Korea

(Received November 4, 2014; revision received January 7, 2015; Accepted: January 8, 2015)

Abstract Reducing the building energy consumption has become one of the most important issues. However, the current engineering and technological involvement in energy analysis has been relatively low in the existing buildings. In the existing buildings, end-use analysis must be accompanied to calculate the exact amount in energy savings and such analysis should be conducted based on the energy billing data or measurement data by calibration process. Mostly, detailed energy simulation programs have been proposed for the analysis but, it is difficult to utilize them due to realistic problems. In this paper, we developed an end-use analysis tool that have input function for energy audit data and two case studies were conducted in the real-life office buildings located in Seoul, Korea. Mean Bias Error (MBE) and Coefficient of Variation of Root-Mean-Square-Error (CV(RMSE)) are used for the criteria of comparison. Each index was calculated by using monthly utility bills of electricity and gas consumption. Results showed that MBE and CV (RMSE) represented with acceptable values of -0.1% and 5.7% respectively.

Key words Existing Buildings(기존 건축물), End-use analysis(용도별 에너지 현황분석), Energy Audit(성능진단),
Energy billing data(고지데이터), Calibration(보정)

† Corresponding author, E-mail: br011503@naver.com

기호설명

$Q_{device, rated}$: 열원의 정격출력, [kW]
 COP : 성능계수, 무차원
 PLR : 부분부하율(Part load ratio)
 $Q_{fan, pump}$: 팬 또는 펌프의 유량, [m^3/s]
 ΔP : 팬의 압력, [pa]
 η : 효율, 무차원
 H : 펌프의 양정, [m]
 $P_{lighting}$: 조명밀도, [W/m^2]
 A : 건물의 연면적, [m^2]

1. 서 론

건물 에너지는 한 국가에서 소비되는 에너지 총량의

30%를 차지하며, 이는 국가의 경제와 지구 온난화에 상당히 심각한 문제가 되고 있다.⁽¹⁾ 국토해양부의 2011년 건축물 통계 보도 자료에 따르면,⁽²⁾ 국내 건축물의 82%는 준공을 기준으로 10년 이상 사용된 기존건축물로 사용 중인 건축물에 대한 비중이 매우 높음을 알 수 있다. 이에 정부는 기존건축물에 대한 에너지성능 개선을 유도하기 위해서 ESCO 사업을 통한 지원방안과 에너지효율등급을 기존건축물까지 확대시키는 등 여러 방안을 제안하고 있다. 그러나 여러 정책과 제도에도 불구하고, 기존건축물의 에너지 성능개선은 노후화된 조명이나 열원설비를 교체하는 수준에 머무르고 있는 실정이다.

기존 건축물의 성능개선을 위해서는 먼저 대상 건물의 에너지 진단(Energy Audit)을 통한 용도별 에너지

현황분석(End-use analysis)이 선행되어야 하며 이를 바탕으로 잠재적 에너지 절감량이 분석되어야 한다. 에너지진단을 위한 가이드라인에서는⁽³⁾ 용도별 에너지 현황 분석을 권장하고 있으며 그 방법으로 시뮬레이션 또는 계측데이터를 활용한 에너지 밸런스를 계산하도록 하고 있다. 그러나 대부분의 기존 건축물은 하위 기기들의 에너지사용량 모니터링을 위한 별도의 시스템을 구비하지 못하여 적절한 분석방법과 도구가 없는 실정이다. 이와 같은 상황은 기존건축물의 에너지효율 개선에 큰 장애요인이 되고 있다.

본 연구에서는 기존 건축물의 성능개선을 위한 용도별 에너지 현황분석 방법으로 에너지사용량 고지데이터와 진단데이터를 이용하는 방법을 제안하고 이를 Matlab 기반의 분석틀로 개발하였다. 개발된 틀의 적용성과 검증을 위해서 2개의 건축물에 대해서 사례연구를 수행하였고, 정밀에너지 해석 틀인 EnergyPlus의 결과물과 비교하였다.

2. 용도별 에너지현황 분석방법 고찰

건물의 성능개선을 계획하는 단계에서는 예상되는 에너지절감량을 계산하기 위해 각 용도에서 사용되는 에너지를 명확하게 파악할 수 있어야 한다. 이와 같은 분석을 용도별 에너지현황 분석(end-use analysis)이라고 한다. 즉, 총량으로 측정된 건물의 전력 및 가스와의 같은 에너지사용량을 냉방, 난방, 조명, 기기, 팬, 펌프, 급탕과 같이 사용용도에 따라 분리하는 분석방법을 의미한다. 대상건축물이 BEMS를 통해서 세부적인 에너지사용량에 대한 기록을 구비한 경우 이러한 분석은 수집된 데이터를 이용해서 수행될 수 있지만, 그렇지 않은 경우에는 총에너지사용량을 용도별로 분리하기 위한 방법이 필요하다.

David는⁽⁴⁾ 상업용 건물에 대한 전기에너지 사용량을 조명, 공조, 급탕 및 기타 부분으로 나누는 연구를 수행하였는데 2주간 측정된 데이터를 기반으로 일별 프로파일을 작성하고 이를 용도별 에너지사용량으로 분류하였다. AKBARI⁽⁵⁾의 연구에서도 건물의 전체 전력 에너지사용량을 용도별 에너지사용량으로 분류하였는데 에너지시뮬레이션 모델을 작성하고 모델의 아웃풋으로 용도별 비율을 산정하여 전체전력 사용량을 나누는 방법을 사용했다. 이 연구에서 조명과 HVAC, 기기 부분에 대한 오차는 각각 27%, 12%, 35%의 결과를 보였다. Birt의⁽⁶⁾ 연구에는 주거용 건물의 시간단위의 전체의 전력소비데이터를 냉방과 난방, 기저부하, 사람의 활동과 관련된 부하로 분류하고 이에 대한 각각의 회귀모델을 작성하여 각 용도에 대한 전력사용량을 산정하는 방법을 제시하였다. 또한 보정된 정밀시뮬레이션을 통해서 용도별 에너지사용량을 예측하는 방법은

가장 정확하고 유용한 방법이며 그 결과는 다양한 연구사례에서 발표된바 있다.⁽⁷⁻⁹⁾

그러나 기존에 제시된 이러한 방법들은 일정기간 이상의 측정이 병행되어야 하거나, 분석에 필요한 데이터가 방대하다는 단점을 갖고 있다. 기존건축물은 이러한 모든 데이터를 수집하는데 상당한 인력적 투자가 발생한다.⁽¹⁰⁾ 특히, 용도별 에너지현황 분석은 사업을 계획하는 단계에서 필요하고 사업여부가 결정된 상황이 아니므로 이 단계에서의 비용적 인력적 투자는 매우 제한적이다. 따라서 건물의 에너지사용량에 대한 고지데이터와 운영일지, 설계도서와 같이 일반적으로 수집 가능한 정보만을 가지고 간편하게 분석을 수행할 수 있는 방법이 필요하다.

3. 방법론

3.1 용도별 에너지현황 분석방법

건물에서의 에너지소비는 사용되는 용도에 따라서 냉방, 난방, 조명, 기기, 급탕, HVAC, 급탕 기타로 분류할 수 있다. 그리고 각 부분의 용도에 대한 에너지 소비량은 사용용도별로 운전스케줄, 효율, 타입, 밀도 등의 요인에 대한정보를 알면 공학적 수식을 통해서 수치적으로 계산할 수 있다. Fig. 1은 건물에너지의 사용 용도별 계산을 위한 파라미터 트리를 보여주고 있다. 각 용도별로 계산된 에너지사용량은 에너지원에 따라 합산하고 실제 건물에서 사용된 에너지사용량인 전력과 가스의 고지서 데이터와 비교한다. 이때, 계산된 에너지사용량과 사용된 에너지사용량 간의 차이는 계산 과정에서 파라미터의 값을 추정하는 경우에 발생한다. 이러한 미지변수는 대상건물의 에너지성능조사 과정에서 조사되지 않는 정보로 조사항목과 건물의 조건에 따라서 다르다. 대부분의 경우 측정되기 어려운 냉방 및 난방 열원의 부분부하율은 미지변수로 남는다. 그리고, 건물의 연식에 따라 냉동기 및 보일러의 효율은 성능저하가 발생하여 정확하지 않을 수 있고, 건물의 조명밀도와 기기밀도 역시 조사되지 않는 경우 미지변수가 된다. 이러한 미지변수는 계산된 에너지사용량과 측정된 월별에너지 사용량 간의 오차를 최소화하는 값으로 추정되어야하며 결과적으로 최적화 알고리즘을 이용하여 추정할 수 있다.

본 연구에서는 유전자알고리즘을 이용하여 미지변수를 추론하였으며 사용된 목적함수는 다음 식(1)과 같다. 이 수식은 가스와 전력에 대한 잔차를 동시에 최소화 시키는 목적함수이다.

$$GOF = \sqrt{MBE_{elec}^2 + Cv(RMSE)_{elec}^2 + MBE_{gas}^2 + Cv(RMSE)_{gas}^2} \quad (1)$$

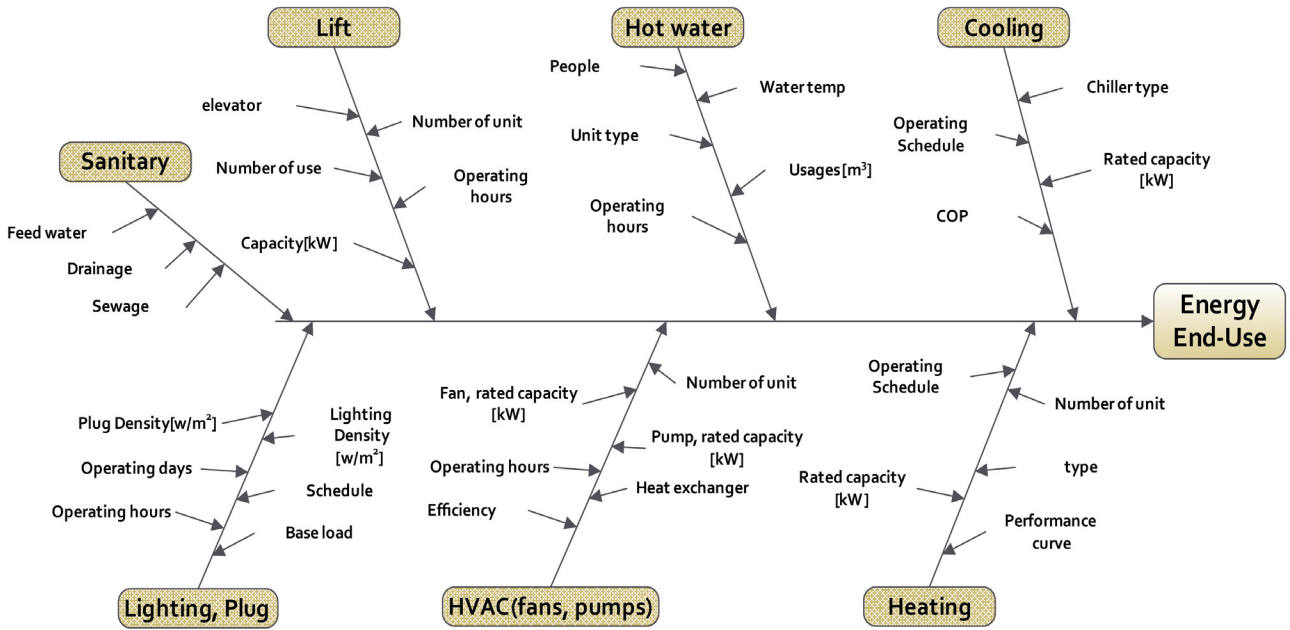


Fig. 1 Parameter tree for existing building energy analysis.

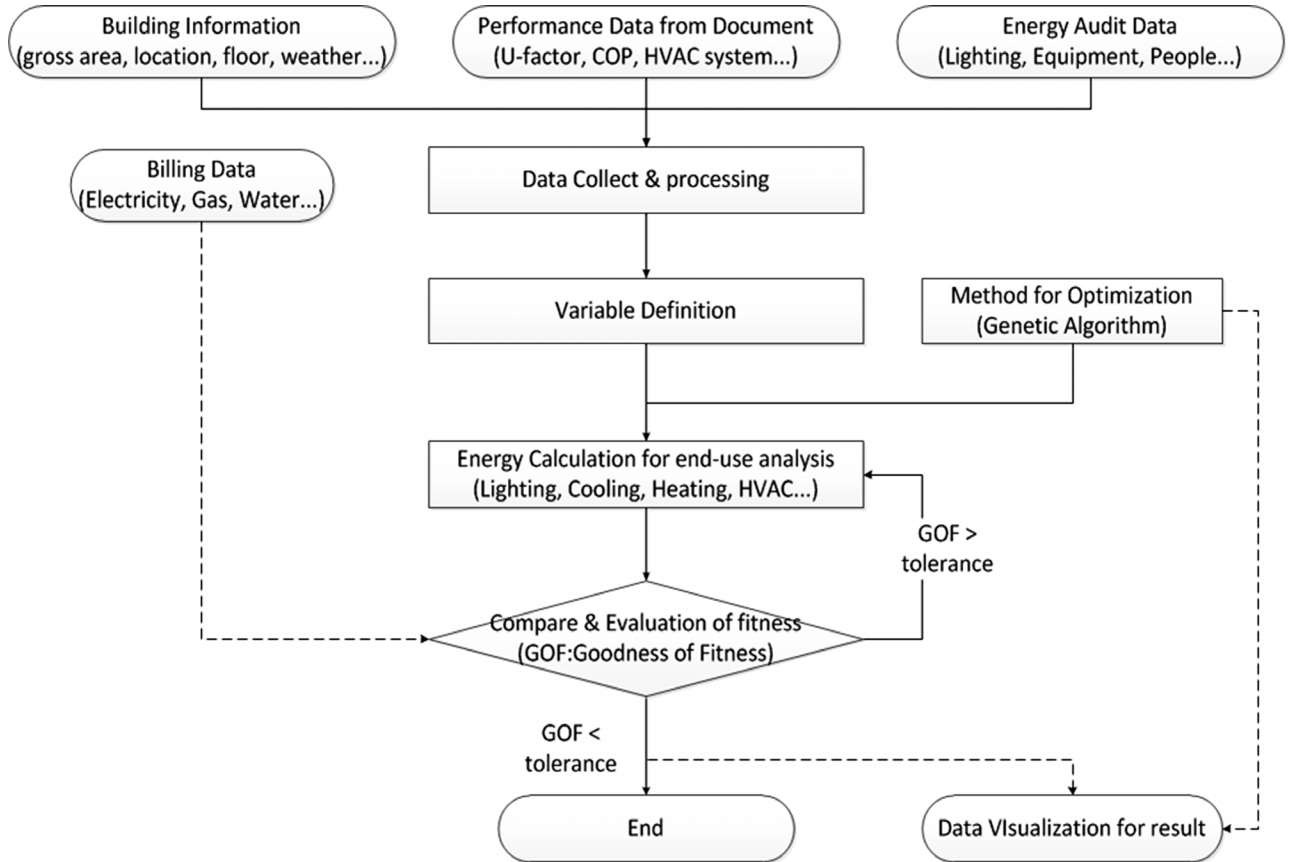


Fig. 2 End-use analysis process based billing data.

GOF(Goodness of fitness)는 실측값과 시뮬레이션의 오차를 나타내는 지표인 MBE와 CV(RMSE)를⁽¹¹⁾ 비교대상인 전력과 가스에 대해서 모두 평가하여 제공하여 합산한 뒤 다시 제곱근을 취하여 계산할 수 있다. GOF는 시뮬레이션의 보정 과정에서 단일목적함수로 전력과 가스에 대한 2가지의 목적을 최소화 할 수 있는 지표로 활용될 수 있다.⁽⁹⁾ Fig. 2는 연구에서 제한한 건물에너지 용도별 현황분석 방법론의 전체적인 프로세스를 나타낸다.

용도별 현황분석에 필요한 데이터는 기본적인 건물의 현황정보, 설계도서의 성능데이터, 건물의 에너지성능 조사를 통해서 취득된 데이터를 입력한다. 건물의 현황 정보는 건물의 면적, 층수, 지역 등의 기본적인 정보로 구성되고, 설계도서의 성능데이터는 건물의 냉난방 열원 및 HVAC의 성능과 관련된 용량, 유량, 압력, 효율, COP, 팬과 펌프의 타입, 열원의 타입 등의 정보가 입력된다. 건물의 성능진단데이터는 현황분석을 수행할 대상기간의 에너지사용량 데이터, 건물운영일지의 운영시간, 재실·조명·기기밀도, 급수사용량과 같은 조사된 데이터가 입력된다. 입력된 데이터를 이용하여 각 용도별 에너지사용량이 계산되고 각 에너지사용량의 합계가 실측된 에너지사용량과 비교된다. 비교결과 오차가 허용치 이상인 경우 유전자알고리즘을 통해 관련된 미지변수가 최적화되어 계산결과와 실측결과에 대한 오차를 최소화시키는 미지변수의 값을 결정한다.

3.2 용도별 에너지 계산

용도별 에너지사용량 산출은 정밀 에너지해석 틀인 EnergyPlus의 주요 수식을 기반으로 수행된다.⁽¹²⁾ 냉동기의 에너지사용량은 다음 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_{Cooling} = \frac{Q_{load}}{COP} \quad (2)$$

$$COP = C_1 + C_2 \cdot PLR + C_3 \cdot PLR^2 + C_4 \cdot PLR^3 \quad (3)$$

$$PLR = \frac{Q_{load}}{Q_{device, rated}} \quad (4)$$

냉방에너지 소비량은 건물의 부하인 Q_{load} (kW)와 COP의 관계식으로 산출할 수 있고, 냉동기의 효율인 COP는 부분부하율인 PLR에 의해서 변하므로 PLR과의 관계식으로 식(3)과 같이 표현할 수 있다. 여기서 C_1 , C_2 , C_3 , C_4 는 각각 성능곡선의 계수를 나타내며 기기의 특성과 타입별로 고유한 값을 가지게 된다. PLR은 냉동기의 정격출력 $Q_{device, rated}$ (kW)와 건물의 부하 Q_{load} 의 관계식으로 식(4)와 같이 나타 낼 수 있다. 난방용 열원인 보일러의 경우도 동일한 방식으로 계산이 가능하다.

HVAC 부분의 팬과 펌프의 에너지사용량 계산은 다음 식(5)~식(6)을 통해서 수행한다.

$$E_{fan, m} = \frac{Q_{fan} \cdot \Delta P_{fan}}{\eta_{fan}} \cdot h_{m, fan} \quad (5)$$

$$E_{pump, m} = \frac{Q_{pump} \cdot H}{\eta_{pump}} \cdot h_{m, pump} \quad (6)$$

팬의 에너지 소비량(E_{fan})은 풍량 Q_{fan} (m³/s)과 압력 ΔP (pa), 효율 η 에 관한 수식에 월별 운전시간을 통해서 계산할 수 있고, 펌프의 에너지 소비량(E_{pump})은 펌프의 유량 Q_{pump} (m³/s)와 양정 H(m), 효율, 운전시간에 관한 수식으로 계산할 수 있다. 풍량, 압력, 양정 등의 정보는 기기의 명판 또는 설계도서에 기록된 데이터를 참조하여 입력할 수 있다. 팬의 경우 사용목적에 따라서 공조용, 환기용, 배기용 팬으로 구별하여 입력하고, 펌프의 경우 목적에 따라서 냉수순환, 냉각수순환, 온수순환, 급탕순환 펌프로 분류하여 입력한다. 위생설비로 분류되는 오수처리 펌프와 급수처리펌프도 동일한 방식으로 에너지 소비량을 계산할 수 있지만 일반적으로 급수와 하수펌프의 운전시간은 기록하지 않는다. 그러나 고지데이터의 물사용량 데이터를 이용하면 건물전체의 급수량을 파악할 수 있고, 동일한 양만큼 하수처리 되었다고 가정하면 급수 펌프와 하수펌프의 월별 전체 순환 유량을 알 수 있으므로 이를 이용하여 위생설비의 에너지 소비량을 계산하였다.

실내발열 기기와 조명의 에너지사용량은 다음 식(7)과 식(8)을 이용하여 계산한다.

$$E_{lighting, m} = P_{light} \cdot SCH_{lighting} \cdot A \quad (7)$$

$$E_{equipment, m} = P_{equipment} \cdot SCH_{equipment} \cdot A \quad (8)$$

기기(Equipment) 및 조명(Elighting)의 에너지사용량은 기기 사용밀도 $P_{equipment}$ 및 조명사용밀도 $P_{lighting}$ 와 기기사용 스케줄 $SCH_{equipment}$, 조명사용 스케줄 $SCH_{lighting}$, 건물 전체의 면적 A(m²)를 사용하여 계산한다. 기기 및 조명의 에너지사용량 산출 방식은 정밀시뮬레이션과 동일하다.

수송으로 분류되는 엘리베이터의 에너지 소비량은 엘리베이터의 소비전력 $P_{elevator}$ (W)와 월별 운영횟수 N을 이용하여 다음 식(9)과 같이 계산한다.⁽¹³⁾ 엘리베이터의 전력소비량 관련 부분은 조명과 기기부분과 달리 표준화되거나 건물타입별로 정해진 밀도에 대한 연구 사례가 부족하여 향후 정밀한 분석을 위해서 보완이 필요한 부분이다.

$$E_{elevator, m} = P_{elevator} \cdot SCH_{elevator} \cdot N \quad (9)$$

다음 Fig. 3은 본 연구를 통해서 Matlab 기반으로 개발된 건물에너지 용도별 현황분석 틀의 모습을 나타낸다. 총 11개의 화면으로 구성되어 있으며, 이중 6개의 화면을 보여주고 있다. 각각 건물정보, 에너지 소비량, 열원설비, 공조설비(팬), 조명 및 기기, 시뮬레이션의 입력항목에 대한 모습을 나타내고 있다.

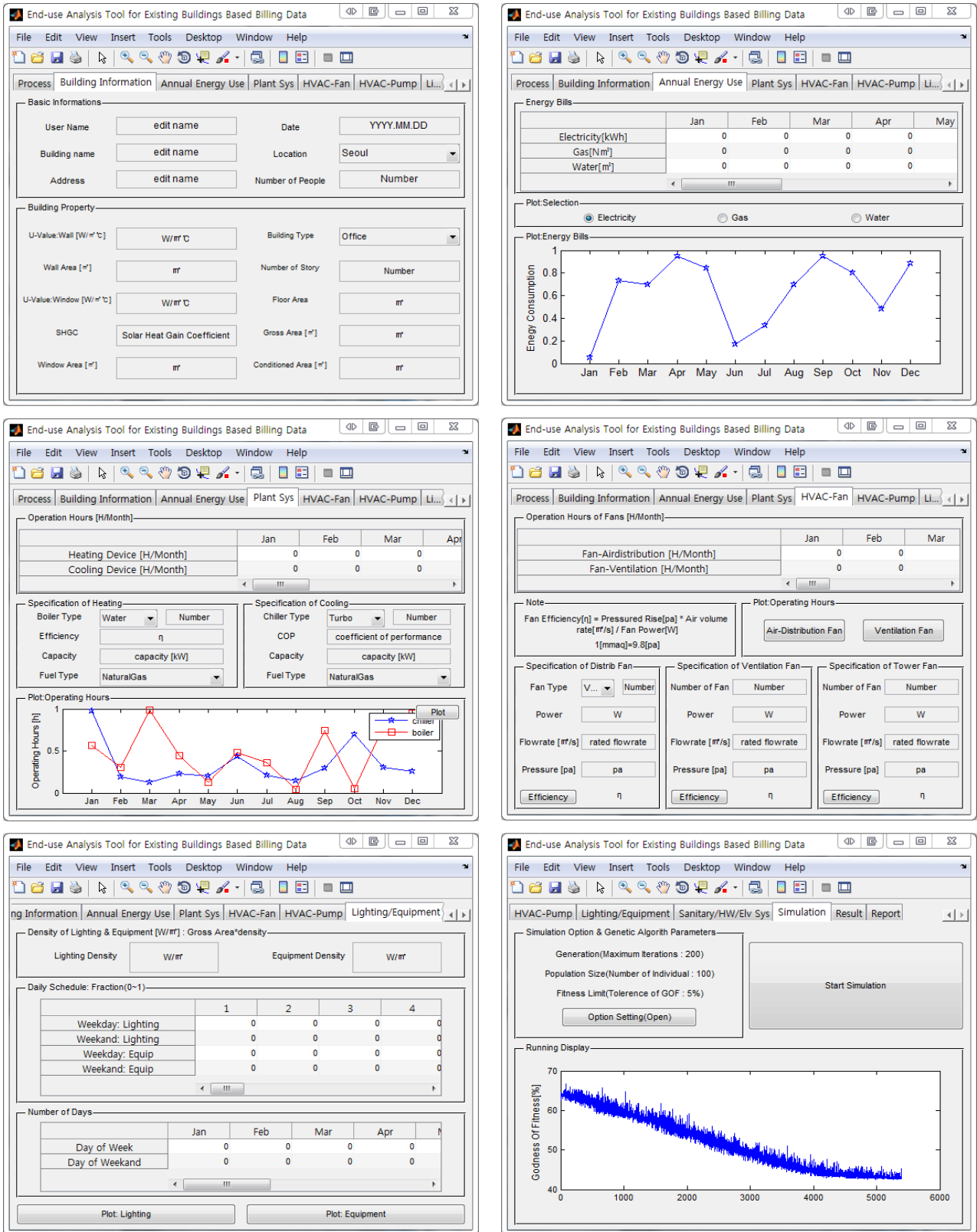
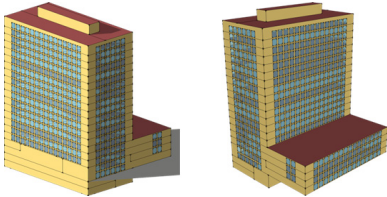


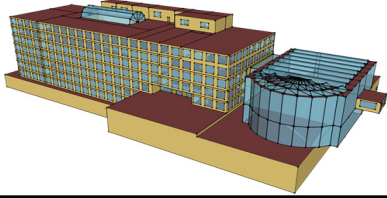
Fig. 3 Views of end-use disaggregation tool(in Matlab).

Table 1 Description of buildings

Category	Building 1	Building 2	
Location	Seoul, Korea	Deajeon, Korea	
Number of floor	21 floor	7 floor	
Gross Area(m ²)	32,488	30,147	
Occupants(people)	2,500	800	
HVAC	Heating	Boiler(Gas)	Absorption heater/chiller
	Cooling	Turbo chiller (Electricity)	(Gas)
	AHU	CAV	VAV
U-value of Wall (W/m ² · K)	0.45	0.6	



Building 1



Building 2

4. Case-study

4.1 대상 건물의 개요

본 연구에서 제안한 방법과 틀의 적용성 검증을 위해서 서로 다른 2개의 건물에 대해서 사례분석을 수행하였다. 또한 결과의 검증을 위해서 동일한 정보로 모델링 되고 보정된 시뮬레이션 모델의 결과값과 비교하였다. Table 1은 각 건물의 개략적인 현황정보와 EnergyPlus로 모델링 된 모습을 나타낸다.

4.2 분석 조건

Table 2는 대상건물의 에너지현황 분석을 위해 사용된 미지변수를 나타내고 있다. 대상건물의 경우 각각 2회 이상의 에너지진단을 통해서 기기효율, 내부발열밀도, 기기용량, COP 등의 정보를 수집하였다. 냉동기 및 보일러의 운전시간은 월별 총운영시간에 대한 정보만 있고, 각 부분부하율에 대한 운전시간에 대한 정보는 알 수 없다. 즉, 다시 말해 부분부하율을 알 수 없기 때문에 이를 미지변수로 설정하였다. 예로 1월의 보일러의 총 운전시간을 100시간이라고 가정하고, 부분부하율 25% 조건의 운전시간을 x1, 50% 운전시간을 x2, 75%와 100%의 운전시간 x3, x4로 정의하는 경우

Table 2 Optimization Variables

Total Monthly Operating Hours[h]		PLR [%]	Monthly Operating Hours[h]
January	User input	25	x1
		50	x2
		75	x3
		100	x4
February	User input	25	x5
		50	x6
		75	x7
		100	x8
		⋮	
Dec	User input	25	x45
		50	x46
		75	x47
		100	x48

$x1+x2+x3+x4 = 100$ 이지만 각각의 부분부하율에 대한 운전시간은 알 수 없기 때문에 각 부분부하율에 대한 운전시간을 미지변수로 사용하였다.

가스 및 전력의 총량은 기록된 고지데이터를 이용하였고, 냉방은 냉동기의 에너지 소비량으로 측정된 서브메터링 데이터를 이용하여 검증하였다. 각 건물의 EnergyPlus 모델은 진단데이터를 통해서 보정된 에너지시뮬레이션 모델을 사용하였다.

보정 방법 및 과정의 세부사항은 선행연구를⁽¹⁴⁾ 통해서 확인할 수 있다.

건물 1은 가스보일러로 난방 및 급탕을 공급하기 때문에 소비되는 가스는 난방과 급탕으로 분리되며, 전력은 냉방, HVAC, 조명, 기기, 운송, 위생설비로 나뉜다. 반면 건물 2는 흡수식 냉온수기를 사용하기 때문에 소비되는 가스는 급탕, 냉방, 난방으로 분류되고, 전력은 HVAC, 조명, 기기, 운송, 위생설비로 분류된다. 검증은 가스와 전력에 대한 총량과 각 세부항목에 대해서 수행되었다.

4.3 결과 비교 및 검증

Fig. 4는 가스 및 전력에 총량에 대해서 개발된 틀과 EnergyPlus 시뮬레이션 비교결과를 보여주고 있다. Table 3은 MBE와 CV(RMSE) 및 본 연구의 검증지표인 GOF의 결과를 비교하여 나타내고 있다.

가스와 전력에 대한 분석결과 개발된 틀의 성능은 건물 1과 건물 2 모두 MBE와 CV(RMSE) 6% 이하로 매우 낮은 값을 보이고 있으며, 전체적인 적합도를 나타내는 GOF의 값은 2.1, 6.18로 보정된 EnergyPlus 모델의 결과인 11.8, 10.85보다 상대적으로 낮은 수치이다. 특히, 보정 시뮬레이션 모델에 대한 IPMVP의 최소 허용오차인 MBE ±5% 및 CV(RMSE) 15%를 충족하는 결과를 보인다.

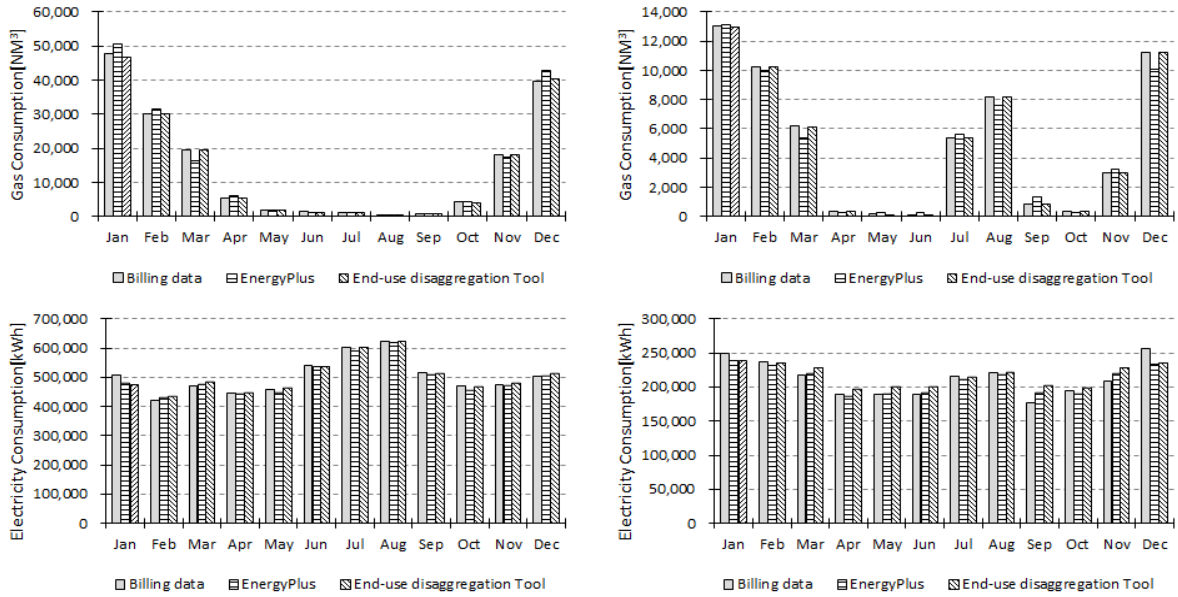


Fig. 4 Simulation results comparison with billing data(Building 1 : left, Building 2 : right).

Table 3 Results Comparison

Building 1				
	Index	MBE	Cv(RMSE)	GOF
Tool	Gas	-0.04	0.075	2.1
	Electricity	0.1	2.1	
EnergyPlus	Gas	-2.64	11.28	11.8
	Electricity	1.24	2.19	
Building 2				
	Index	MBE	Cv(RMSE)	GOF
Tool	Gas	-0.08	0.23	6.18
	Electricity	2.31	5.73	
EnergyPlus	Gas	2.26	9.79	10.85
	Electricity	0.89	4.02	

따라서 최적화를 이용한 변수의 추정을 통한 시뮬레이션이 적절하게 수행되었음을 알 수 있다. 또한 Fig. 4를 통해 확인된 각 건물의 전력 및 가스소비량에 대한 월별 프로파일은 개발된 툴의 분석결과가 EnergyPlus 시뮬레이션의 결과 및 실제 사용량 프로파일과 매우 유사한 값을 보임을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 냉방에너지 소비량의 결과를 비교하여 나타내고 있다. Fig. 5(a)에서 보이는바와 같이, 건물 1은 냉방열원이 터보냉동기로 전력을 소비하며, 월별로 실측된 냉동기 에너지 소비량과 비교할 때, MBE 1.29%, CV(RMSE) 12.2% 차이로 냉방에너지 소비량에 대해서 절적인 수준의 계산결과를 보이는 것을 알 수 있다. Fig. 5(b)는 건물 2의 냉방에너지 소비량 결과를 비교하여 보여

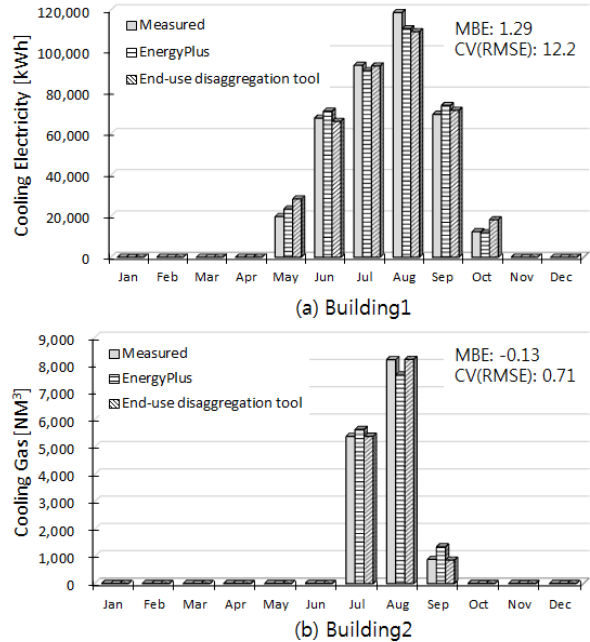


Fig. 5 Results of cooling energy consumption.

주고 있으며, 결과는 실측사용량에 비해 MBE CV(RMSE) 0.71%의 오차로 정확하게 계산하고 있음을 알 수 있다.

가스 및 전력사용량의 월별총량과 월별 냉방에너지 소비량은 실측된 결과와 시뮬레이션 결과의 차이가 적절한 수준으로 나타나 시뮬레이션 결과가 신뢰 가능한 수준을 나타냄을 확인하였다. 그러나 HVAC 부분의 팬과 펌프의 에너지 소비량은 측정데이터의 제약적인 환경으로 EnergyPlus 시뮬레이션의 결과와 비교하여 검증하였다.

Fig. 6은 건물 1의 분석 결과 중 HVAC 부분의 팬과 펌프에 대한 에너지사용량 결과를 EnergyPlus의 결과와 비교하여 나타내고 있다. 펌프부분의 오차는 CV(RMSE)가 약 24%로 기준값인 15%보다 높은 수치를 나타낸다. 이는 본 연구에서 펌프의 에너지소비를 유량에 대해서 선형으로 해석하였기 때문에 발생한 차이로 사료되며 향후 보완되어야 할 사항이다. MBE는 2.48%로 기준값을 만족한다. 팬의 경우 CAV로 모델링되었기 때문에 오차가 발생하지 않았다.

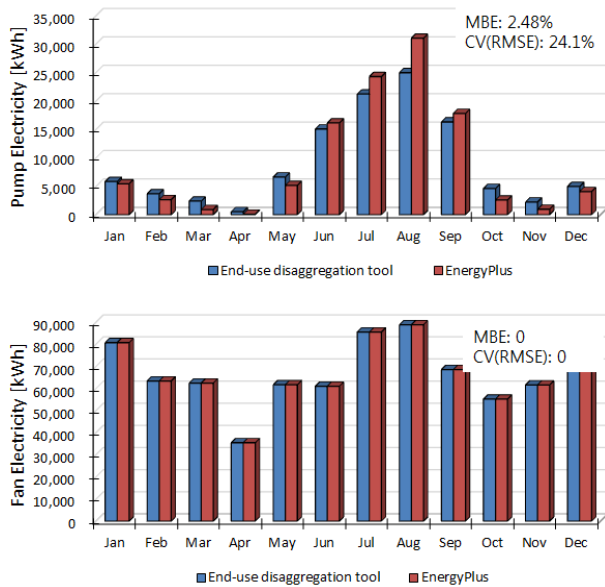


Fig. 6 Results of HVAC energy consumption.

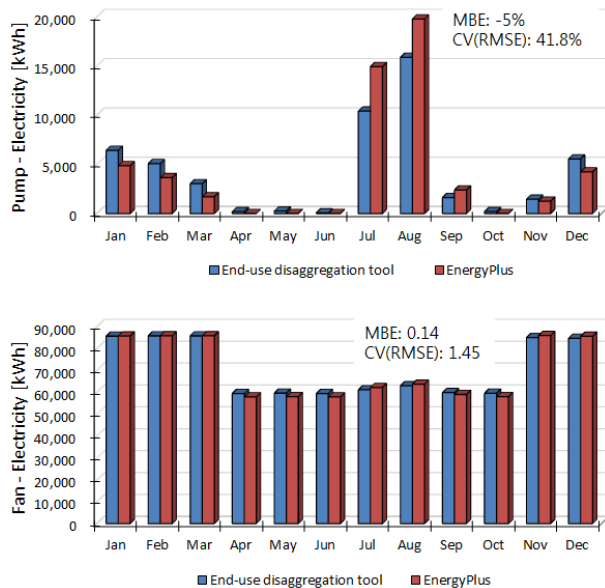


Fig. 7 Results of HVAC energy consumption.

Fig. 7은 건물 2의 HVAC 부분의 팬과 펌프의 분석 결과를 나타낸다. 건물 2의 경우도 펌프의 에너지 소비량은 CV(RMSE)오차가 약 41.8%로 크게 나타났으며, 건물 1에서의 문제점과 동일한 원인으로 사료된다. 공조팬의 경우 오차는 MBE, CV(RMSE) 각각 0.14%, 1.45%이며 적절한 수준으로 모델링되었음을 알 수 있다. 조명과 기기 부분에 대한 결과는 EnergyPlus의 결과와 오차없이 동일한 것으로 나타났다.

결과적으로, 본 연구를 통해서 개발된 기존건축물의 에너지현황 분석 틀은 가스와 전력에 대한 총량과 냉방에너지 소비량에 대해서 실제 측정된 수치 비교할 때 허용가능한 수준의 오차를 나타내어 정확한 값을 계산함을 확인하였고, HVAC 부분의 공조팬과 펌프의 결과를 EnergyPlus와 비교한 결과 CV(RMSE)는 허용수준을 벗어나지만, 총량적 오차를 나타내는 MBE는 허용 가능한 범위에 오차가 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 총량적으로 결과를 볼 경우 세부적인 항목에 대해서 정확한 계산결과를 얻을 수 있음을 검증하였다. 다음 Fig. 8은 본 연구를 통해서 제안된 분석 틀의 결과물 예시를 보여주고 있다.

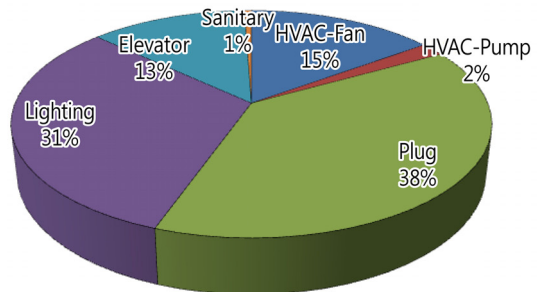
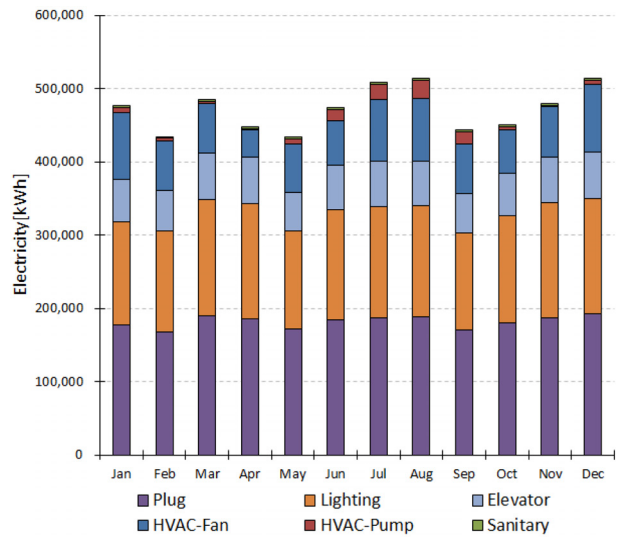


Fig. 8 Example of end-use disaggregation.

5. 결 론

본 연구에서는 기존건축물의 에너지사용량을 용도별로 분석할 수 있는 에너지현황 분석 툴을 Matlab를 기반으로 개발하였으며, 2개의 대상건물에 대한 사례 분석을 수행하여 성능을 검증하였다. 연구를 통한 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 기존 건축물의 성능개선을 계획하는 단계에서는 예상되는 에너지절감량을 산정하기 위해서는 각 용도에서 사용되는 에너지를 명확하게 파악할 수 있어야 하며, BEMS가 없는 기존 건축물에서는 이를 위한 간편한 방법이 필요하다.
- (2) 용도별 에너지현황 분석을 위해서 기존건축물의 에너지진단과정에서 취득할 수 있는 데이터를 파악하였고, 수집 가능한 데이터범위에서 활용할 수 있는 분석 방법을 제안하였다. 해석과 정에서 미지변수는 유전자알고리즘으로 추론하였으며 목적함수는 건물의 추정된 가스 및 전력사용량과 계산된 결과의 잔차를 최소화시키는 함수로 구성하였다.
- (3) 2개 건물에 대한 검증결과 전력 및 가스에 대한 오차는 각각 GOF 2.1, 6.18로 적정수준의 오차를 갖는 것으로 확인되었고, 냉방에너지 소비량에 대해서 CV (RMSE) 12.2%로 허용 가능한 수준임을 확인하였다. 펌프의 계산결과 MBE는 최대 -5%로 적정한 수준이지만, CV(RMSE)는 최대 41.8%로 나타나 펌프의 기계적 성능을 반영할 수 있는 성능곡선을 반영하여 오차를 줄일 수 있도록 보완되어야 할 것으로 사료된다.
- (4) 본 연구에서 개발한 분석툴은 Matlab 기반으로 향후 연구를 통해서 윈도우 기반의 분석툴로 개발이 필요하며, 다양한 용도의 건물에 대한 적용성 검증을 통해서 보편적으로 활용될 수 있는 분석툴로 개발될 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 2014년도 도시건축사업의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다(과제번호 : 11 도시건축 G02).

References

1. Park, C.-S., 2013, New Future Opportunities in Area of Building Energy, AIK special issue, Architectural Institute of Korea, Vol. 57, pp. 40-42.
2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, webpage, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmepage=1&id=95067770.

3. ASHRAE, 2012, Procedures for commercial building energy audits second edition, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, Atlanta.
4. David, R. and Howard, R., 1992, The use of term measurements to decompose commercial billing data into primary end uses, ACEEE 1992 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 3, ACEEE, Washington, D.C. pp. 239-249.
5. Akbari, H., 1995, Validation of an algorithm to disaggregate whole-building hourly electrical load into end uses. Energy, Vol. 20, No. 12, pp. 1291-1301.
6. Birt, Benjamin J., et al, 2012, Disaggregating categories of electrical energy end-use from whole-house hourly data. Energy and Buildings, Vol. 50, pp. 93-102.
7. Raftery, P., Keane, M., and O'Donnell, J., 2011, Calibrating whole building energy models : An evidence-based methodology, Energy and Buildings, Vol. 43, No. 9, pp. 2356-2364.
8. Heo, Y., Choudhary, R., and Augenbroe, G., 2012, Calibration of building energy models for retrofit analysis under uncertainty, Energy and Buildings, Vol. 47, pp. 550-560.
9. Reddy, T. A., Maor, I., and Panjapornpon, C., 2007, Calibrating Detailed Building Energy Simulation Programs with Measured Data-Part I : General Methodology(RP-1051), HVAC&R RESEARCH, Vol. 13, No. 2, pp. 221-241.
10. Reddy, T. A., 2005, Literature Review on Calibration of Building Energy Simulation Programs : Uses, Problems, Procedures, Uncertainty, and Tools, ASHRAE Transactions, Vol. 112, pp. 226-240.
11. Efficiency Valuation Organization(EVO), International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) Public Library of Documents, http://www.evo-world.org/index.php?option=com_content&view=article&id=272&Itemid=379&lang=en.
12. EnergyPlus Engineering Reference, 2013, US Department of Energy.
13. Adak, M. F., Duru, N., and Duru, H. T., 2013, Elevator simulator design and estimating energy consumption of an elevator system. Energy and Buildings, Vol. 65, pp. 272-280.
14. Kong, D. et al, 2014, Existing building energy simulation method using calibrated model by energy audit data, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 5, pp. 231-239.