

**BIM 기반 에너지성능평가를 위한 국내 표준 매개변수
설정 방안에 대한 연구**
– 공공청사 업무시설의 재실자 1인당 점유면적을 중심으로 –

이윤정¹ · 이권형¹ · 김인한² · 추승연^{1†}

¹경북대학교 건축학과, ²경희대학교 건축학과

**A Study on Domestic Standard Parameter Setting for BIM-based Energy
Performance Evaluation**
– Focused on Possession Area per Person of Occupants
in Government Offices –

Yun-Jeong Lee¹, Kweon-Hyoung Lee¹, In-Han Kim², and Seung-Yeon Choo^{1†}

¹School of Architecture, Kyungpook National University

²Department of Architecture, Kyung Hee University

Received 15 September 2014; received in revised form 19 November 2014; accepted 20 November 2014

ABSTRACT

Currently, the United States, the United Kingdom, Australia etc. are actively utilizing energy simulation for efficiency evaluation of building energy. However, domestic energy efficiency assessment system doesn't use energy simulation system properly at present: parameters based architecture plans and Ashrae Standard are inputted for the evaluation, because the input parameters for the simulation haven't been established yet. This fact causes poor reliability during energy simulation, as the values of the two standards are different from each other. Therefore, the aim of the study is to set domestic standard parameter for BIM-based energy performance evaluation, focusing on possession area per person of occupants at government office in Korea. We found that the difference among the result values occurred approximately 3% in the energy simulation. As a result of the analysis, possession area per person of occupants in Government office is 31.87 m². Other input parameters may be set based on this. This will increase the reliability of energy simulation through a domestic standard parameter.

Key Words: BIM, Energy performance evaluation, Government office, Possession area per person of occupants

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

2014년 4월 기상청 보도 자료에 따르면 2000~2010년 사이 전세계 온실가스 배출량은 급격히 증가하였으며, 추가적 감축노력 없이는 2100년까지 평균온도가 약 3~5°C 상승할 것으로 예상되고 있다. 이에 ‘기후변화에 관한 정부간협의체’(IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change)는 지구평균온도가 상승하는 것을 억제하기 위해 2050년까지 전 세계 온실가스 배출량을 2010년 대비 40~70% 감축하고, 2030년까지 온실가스 배출량을 약 30~50 GtCO₂eq/년 수준으로 유지하는 것을 목표로 설정하였으며, 건축 분야에서는 에너지 성능 기준 향상·냉난방 시스템 및 생활방식 개선을 통한 에너지사용 감축을 권고하고 있다^[1].

이에 국내에서는 온실가스 배출량을 줄이기 위한 방안으로 저탄소 녹색성장 기본법을 제정하고, 주거용과 주거용 이외의 건축물로 나눈 에너지효율등급 인증제를 실시하고 있다. 특히, 공공청사의 경우 2010년부터 의무적으로 에너지효율 인증 1등급을 취득해야 한다. 따라서 국내 에너지 성능분석의 수요는 꾸준히 증가할 것으로 전망된다.

국내 에너지효율인증의 경우 정적 에너지 분석을 사용하고 있으며, 1차 에너지 사용량을 기준으로 에너지평가를 하고 있다. 정적 에너지 분석은 입력 항목이 간단하다는 장점이 있으나 건물의 다양한 형상과 건물 주변 환경에 대한 매개변수를 고려하기가 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하고자 해외 친환경 인증제도의 경우 시뮬레이션을 통한 동적 에너지 분석을 함께 사용한다. 기존 동적 에너지 분석의 경우 2차원 도면에 표현된 건축물의 속성정보를 입력하여 평가하는 방식이다. 그러나 이는 모델링 및 분석에 상당한 시간이 소모되며 여러 설계 대안에 즉각적인 대처를 하지 못한다는 문제점이 있어 이를 해결하기 위한 방안이 필요하다.

이에 BIM을 활용한 에너지성능분석 방법이 제안되고 있다. 에너지성능분석을 위해서는 건물과 관련된 매개변수의 입력이 필요한데 BIM은 모델을 실시간으로 변경할 수 있으며 건물의 속성정보를 담고 있기 때문에 정보를 공유함으로써 중복작업 없는 에너지 성능평가가 가능하다. 즉, 기존의 동적 에너지성능분석 시 속성정보를 입력하느라

소모되었던 시간을 단축할 수 있다. 그러나 현재 에너지 성능평가를 위한 입력 매개변수 중 BIM 모델에서 얻을 수 없는 나머지 변수들은 직접 입력해야 한다. 국내의 경우 입력 매개변수에 관한 지침이 없는 경우가 많으며 특별한 지침이 없을 때에는 미국의 Ashrae Standard 또는 건축각론을 참고하고 있다^[2]. 건축각론의 기준과 Ashrae Standard의 기준에 차이가 있어 사용자의 선택에 따라 결과값이 다르게 나타날 수 있는데, 에너지 성능평가에 익숙하지 않은 초보자들에게는 어떠한 정보를 입력해야 하는지에 관한 혼란을 줄 수 있다. 또한, Ashrae Standard의 에너지 부하계산, 설비 열용량 산출 등은 국내 실정과 상관없는 공통적인 부분임으로 에너지성능분석에 적용하더라도 문제가 없을 것으로 사료되나 Ashrae Standard의 건축물 이용 스케줄 및 재실인원, 재실인원의 행동 패턴은 국내와 미국의 실정이 상이할 것으로 판단된다. 따라서 본 논문은 BIM 기반 에너지성능평가를 위한 입력 매개변수 중 특별한 지침이 없는 매개변수를 기준으로 국내 표준 매개변수를 설정하기 위한 방안을 모색하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구를 위한 실험 대상으로는 도시 인접성, 사회적 중요도, 규모, 건축물 이용 스케줄의 유사성, 재실인원 및 재실인원의 행동 패턴의 유사성을 고려하여 공공건축물로 선정하고, 에너지 시뮬레이션 및 비교·분석을 수행하였다. 또한, 실험의 범위는 국내에 별 다른 지침이 없는 입력 매개변수 중 재실자 1인당 점유면적으로 한정하였다.

연구방법은 첫째, BIM 기반 에너지성능평가의 현황을 분석한다. 또한, Ashrae Standard, 국내각론 등 관련 지침에서 제시하고 있는 업무시설의 재실자 1인당 점유면적을 조사한다. 둘째, 조사한 내용을 바탕으로 BIM 기반 에너지 시뮬레이션을 진행하여 국내 입력매개변수 기준설정의 필요성을 확인한다. 셋째, 현재 국내 공공청사의 연면적과 재실자 인원 현황을 파악한다. 마지막으로 앞서 도출된 정보를 토대로 국내 기준을 설정하고 설정한 국내 기준으로 시뮬레이션을 진행한 후 앞서 조사한 건축각론 및 Ashrae standard의 에너지 사용량과 국내 공공청사의 시뮬레이션 데이터를 비교·분석하여 새로운 기준 설정의 타당성을 평가한다.

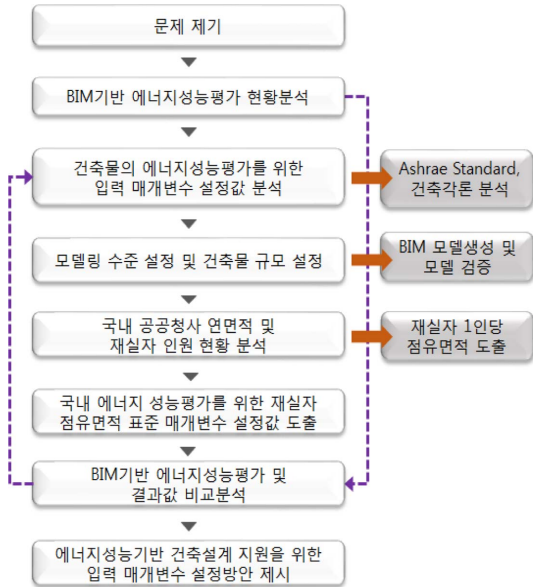


Fig. 1 Study flow chart

2. BIM 기반 에너지성능분석

2.1 국내 BIM 기반 에너지성능분석의 연구 현황

국내 BIM 기반 에너지성능분석의 연구 현황을 파악하기 위하여 국내 BIM 기반 에너지성능분석과 관련된 논문을 조사하였다. Fig. 2는 2006년부터 2013년까지 게재된 BIM 기반 에너지성능분석에 관한 국내 논문편수이다. 내용을 살펴보면 2000년대 중반까지 관련 연구 수가 미흡하였으나 2009년을 기점으로 그 수가 증대되었다. 이는 2009년 당시 정부가 저탄소 녹색 성장이라는 국가 비전을 세우고, 3대 전략과 10대 정책을 추진하게 되면서 에너지 절감에 대한 관심이 증가되었



Fig. 2 The studies for BIM Energy keyword search³⁾

다. 또한, 2011년에 연구 수가 급격히 증가하였는데, 2011년 3월 일본 후쿠시마에서 원전 사고가 발생하면서 사회적 큰 이슈가 된 사건과 2011년 9월 네티위로 인해 한국전력의 수요예측이 빗나가면서 전력 수요 증폭과 과부하로 인한 대규모 정전이 발생하여 막대한 피해를 입은 사건이 정부가 건축물의 1차 에너지 소요량 절감에 대한 지침 강화에 주력하게 된 것이 원인으로 판단된다.

관련 연구의 주된 내용을 살펴보면 BIM 데이터와 에너지성능분석 툴 간의 상호 연관성에 관한 연구, 에너지성능분석 프로세스, 에너지성능분석을 통한 설계 방향 설정, 친환경 건축물 인증제도의 BIM 도입 방안 등이다. 그러나 이는 에너지성능 평가를 통한 사용량 예측, 설비 개선방향, 시스템 개발, 설계 개선방향 등에 치중되어 있다. 2012년 안기연 외 3인의 연구를 통해 영향력 있는 입력 매개변수의 수를 파악할 수 있었으나, 국내 표준 매개변수 설정에 관한 연구는 미비한 실정이다.

2.2 에너지성능분석 매개변수 설정 현황

공공기관 에너지이용합리화 추진 규정에 따르면 공공기관에서 연면적 3,000 m² 이상으로 신축

Table 1 The Studies for BIM Energy Keyword search 2

연도	저자	제목	비고
2014	양정임 외 2인	에너지성능분석을 통한 개방형 BIM 기반 초고층 건물 외피 디자인 방안 제시 및 적용	설계 개선 방향
2012	마진열 외 1인	농어촌 표준설계도서의 BIM 기반 에너지효율 디자인 개선방향에 관한 연구	설계 개선 방향
2012	안기연 외 3인	BIM 에너지 시뮬레이션 인터페이스 개발과 검증	IFC-IDF 인터페이스 개발
2011	김미경 외 3인	지속가능한 건축을 위한 BIM 기반 친환경건축 설계 프로세스 적용가능성에 관한 연구	설계 프로세스
2010	문형준 외 1인	BIM 기반 에너지성능분석 프로세스	프로세스

Table 2 Program features by energy interpretation method^[4]

해석 방법	대표 프로그램	장점	단점
정적 분석	PHPP, SBEM 4.0, ECO2, BESS, CE3	입력 항목의 간편성, 분석의 신속성	상세한 건물 형상 및 시스템 입력 불가능
동적 분석	Energy Plus, TRNSYS, DOE, eQUEST, ESP-r, IES-VE	해석의 정확성, 실제 건물과 유사한 모사 가능	전문성 필요, 오랜 계산 시간, 사용자 수준에 따른 결과 편차

하는 경우 건축물에너지효율인증에서 1등급 이상을 의무적으로 취득해야 한다. 에너지효율 등급에서 요구하고 있는 1차 에너지 소요량은 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 에너지 소요량을 합산한 값을 말한다. 건축물의 에너지 성능분석 방법에는 정적 분석과 동적 분석이 있으며, 1차 에너지 소요량 계산법은 ISO 13790을 참고하여 입력 항목을 간편하게 만든 정적 에너지 분석에 해당한다. 이는 건물의 상세한 형상 정보입력이 불가능하다는 단점이 있다. 동적 분석은 건물의 상세한 형상 정보 입력이 가능하나 국내에서는 동적 분석을 활용하고 있지 않다. 동적 에너지 분석은 사용자가 평가하고자 하는 건물과 유사하게 데이터를 입력할 수 있기 때문에 차후에 실제 건물에서 사용한 에너지 사용량에 가까운 결과값을 도출할 수 있다는 장점이 있다. 동적 에너지 분석의 다양한 매개변수로 인한 전문성과 입력시간이 오래 걸리는 단점은 이에 관한 가이드라인과 입력 매개변수 설정을 통해 해결이 가능하다.

BIM 데이터에서 추출한 형상 정보를 동적 에너지 분석에 활용한다면 정적 에너지분석보다 좀더 정확한 에너지 측정값을 얻을 수 있다.

2.3 기존 재실자 인원 분석 및 설정 값

현재 동적 에너지 시뮬레이션 도구에서 사용하고 있는 입력 매개변수의 경우 국내에서는 크게 두 가지 방법을 따르고 있다. 우선 발주와 관련하여 에너지 요구사항 및 제공 자료가 있을 경우 그 지침을 따르는 방법이고, 두 번째는 발주 지침이 없을 경우 Ashrae Standard나 건축각론을 따르는 방법이다. 재실자 1인당 점유면적의 경우 국내 표준규정이 없기 때문에 두번째 방법을 사용한다.

재실자 1인당 점유면적 기준을 살펴보면 Ashrae

Table 3 Space-Building Properties ASHRAE 2007

Space Definitions	Office Open Plan
People Per 100 Sq Meter	3.5
People Sensible Heat Gain (W/person)	73
People Latent Gain (W/person)	59
People Sensible Heat Gain IP (Btuh/person)	250
People Latent Heat Gain IP (Btuh/person)	200
Lighting Load Density (W/sqMeter)	11.84
Power Load Density (W/sqMeter)	16.1
Electrical Equipment Radiant Percentage	0.3
Carpet (Y/N)	Y

Table 4 Possession area per person of occupants based on the itemized architecture discussion standard

저서	저자	점유면적	년도
건축 설계론	고상근 외 6명	11 m ² /인	2003
요해건축계획	장순익	8~11 m ² /인	2009
건축 계획	정기범, 김수영	8~11 m ² /인	2010
실무를 위한 건축 계획	이순희 외 2명	10~15 m ² /인	2013

Standard는 28.57 m²이며, 건축각론의 경우 평균 11.5 m²이다. 두 기준이 제시하고 있는 재실자 1인당 점유면적이 다르기 때문에 사용자의 선택에 따라 에너지성능분석의 결과값에도 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 국내 건축각론과 Ashrae Standard에서 제시하고 있는 기준을 바탕으로 BIM 기반 에너지성능분석을 실시하여 결과값을 비교·분석하였으며, 재실자 1인당 점유면적의 차이가 에너지 사용량에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

이를 통해 국내 표준 기준 설정의 필요성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

3. BIM 기반 에너지성능평가 시뮬레이션

3.1 모델링 수준 설정 및 대상건물 개요

BIM 기반 에너지성능분석은 BIM 데이터를 바탕으로 진행되기 때문에 BIM 틀을 통한 BIM 모델링이 우선적으로 진행되어야 한다. 모델링을 진행하기에 앞서 건축 설계 프로세스에 따라 모델을 표현하는 디테일 수준이 다르기 때문에 본 연구에

Table 5 Parameter data

Element	Material	Input Criteria	
Slab	150 mm concrete	U-value	1.39 W/m ² .K
	Ceiling air space resistance	Thermal resistance	0.18(m ² .K)/W
	Acoustic tile	U-value	0.06 W/m ² .K
External wall	200 mm concrete	U-value	1.04 W/m ² .K
	50 mm insulation board	U-value	0.03 W/m ² .K
	19 mm gypsum board	U-value	0.16 W/m ² .K
	Wall air space resistance	Thermal resistance	0.15(m ² .K)/W
Interior wall	100 mm concrete	U-value	1.95 W/m ² .K
	19 mm gypsum board	U-value	0.16 W/m ² .K
	Wall air space resistance	Thermal resistance	0.15(m ² .K)/W
	19 mm gypsum board	U-value	0.16 W/m ² .K
Window	single clear 3 mm	U-value	5.9 W/m ² K
		emissivity	0.84
Roof	100 mm concrete	U-value	1.95 W/m ² K
	Ceiling air space resistance	Thermal resistance	0.18(m ² .K)/W
	Acoustic tile	U-value	0.06 W/m ² .K

서는 건축설계단계 설정이 필요하였다. 이에 건축 디자인을 쉽고 빠르게 적용하고 여러 설계대안들의 평가 및 에너지성능분석을 좀더 효율적으로 활용할 수 있는 초기 설계단계로 선정하였다. 초기 설계 단계에서는 건물의 형태, 평면, 배치 등의 디자인을 결정하는 단계로 이는 에너지 소비량에 큰 영향을 미치는 요소들이다^[5]. 본 논문에서는 에너지성능분석에 필요한 최소한의 형상정보를^[6] 참고하여 모델링을 진행하였으며 실험대상에 관한 디테일은 Table 5와 같다.

건물의 규모와 형태는 국내 79개의 공공청사 현황을 조사하여 평균값으로 설정하였으며, 에너지성능분석에 중요한 영향을 끼치는 창호에 관한 기준은 국토해양부에서 제시한 건축물 에너지 절약을 위한 창호 설계 가이드라인^[7] 참고하였다. 지붕과 바닥면적을 제외한 창면적비는 가이드라인에서 권유하고 있는 수치인 40%, 50%, 60%로 선정하고, 3가지 타입으로 나누어 모델링하였다.

BIM 모델링 도구로는 Autodesk사의 Revit 2013을 사용하였으며, 모델과 관련된 개요는 아래의 Table 6를 통해 알 수 있다.

3.2 BIM 기반 에너지성능평가 시뮬레이션

Table 7은 동적 에너지 분석 도구의 종류와 특징

Table 6 Building outline

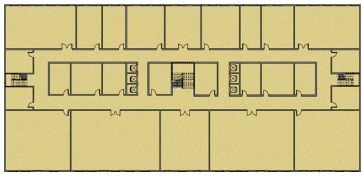
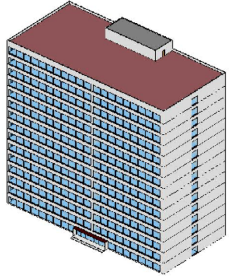
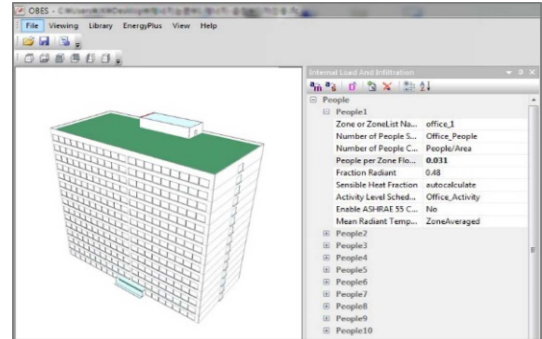
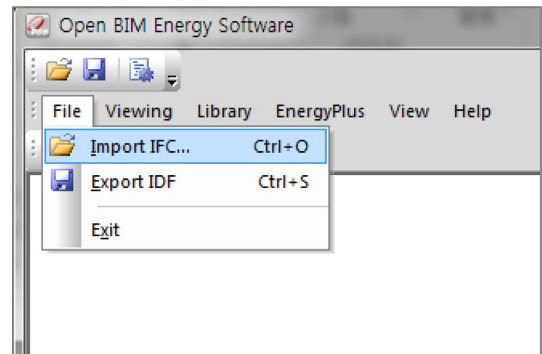
개요	내용
빌딩 타입	공공청사 업무시설
위치	서울광역시 (위도: 37.34°, 경도: 126.58°)
높이(층수/층고)	60 m(15층 / 4 m)
연면적(m ²)	29,250 m ² (65 m × 30 m × 15층)
적용시스템	개별공조 EHP
측정기간	12개월
평면도	
조감도	

Table 7 Analytical characteristics for energy analysis tool [8]

분석도구	부하 해석	특징
Ecotect	CIBSE	호환성 우수 기상데이터 변환 및 변경 가능
Vasari	DOE-2	간단한 매스 모델로 분석이 가능
Green Building Studio	DOE-2	웹기반 에너지 분석 도구로 빌딩 전체 에너지 분석이 가능
Energy plus	DOE-2	전문가용으로 좀 더 세밀한 데이터 요구
IES/VE	Ashrae	기능에 따라 4개 버전으로 나뉨

으로 일반적으로 많이 사용하고 있는 에너지 분석 도구이다. 일반적으로 특별한 지침이 없을 경우 자신에게 맞는 에너지 분석 도구 중 하나를 선택하여 실험을 진행한다. 시뮬레이션에 사용함에 있어 적합하다 판단하였다. 그러나 Energy Plus의 경우 데이터 입력이 x, y, z 좌표를 이용하거나 건물의 특성을 숫자로 표현하기 때문에 수작업으로 입력해야 하는 어려움이 따른다^[9]. 이는 3D 모델링 데이터를 이용하더라도 Energy Plus로 Import시 입력 매개변수가 Default 값으로 재저장되어 다시 설정해야 되는 단점이 있기 때문에 비효율적인 작업이 이루어진다^[10]. 또한, 앞 절에서 만들어진 BIM 데이터는 표준 데이터 포맷(IFC)으로 저장되는데 에너지 분석 도구는 지원하는 포맷이 각자 다르다. Ecotect의 경우 IFC와 gbXML, Vasari는 rvt, Green Building Studio는 gbXML, Energy plus는 IDF, IES/VE의 경우 gbXML을 기반으로 한다. 따라서 데이터 호환에 문제가 생기게 된다. 에너지 성능분석을 하기 위해서 Energy plus에서 사용하는 IDF 파일이 필요하였으며, IFC 파일을 변환하는 작업이 필요하였다. 본 연구에 앞서 위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 국가 R&D 사업인 “개방형 BIM 기반 저탄소 설계 및 거대구조물 유지관리 건설기술 개발”을 통해 IFC - IDF Converter인 OBES(Open BIM Energy Software)를 개발하였다. OBES는 BIM 도구와 에너지 분석 소프트웨어 사이의 정보교환을 지원하는 Middleware로써 IFC가 가지고 있는 건물의 형상, 재질 등의 건축 정보 데이터를 포함하며, BIM에서 저장된 IFC 파일을 Import하여 IDF 파일로 쉽게 Export할 수 있도록 도와준다.

변수의 사전 검토 및 수정이 용이하기 때문에 건물의 에너지 사용량 측정을 위해서 소모되는 데이터 입력 시간을 단축할 수 있다. OBES는 BIM과 Energy Plus의 데이터 호환을 위하여 본 연구

**Fig. 3** IDF Converter (OBES)**Fig. 4** OBES File Menu

에 활용하였다.

연간 부하 계산을 위해 필요한 기상 데이터는 국내 서울 지역의 기상 데이터를 활용하였으며, 그 외 데이터 입력 시 재실자 점유면적 외에 추가적으로 필요한 정보는 프로젝트 정보, 건물 및 장비의 운영 스케줄, 구성재료의 물성치, 내부 부하요소, 설비 시스템 등이 있으며^[11] 기본적인 설정 값으로 Ashrae Standard의 기준을 참고하여 실험마다 동일하게 설정하였다. 이를 바탕으로 창면적비에 따라 건축각론(0.086), Ashrae Standard(0.035)의 점유면적을 입력하여 총 6번의 시뮬레이션을



Fig. 5 BIM-based energy simulation process

실시하였으며, 진행 방법은 Fig. 5와 같다.

3.3 소결

창면적비 별로 건축각론과 Ashrae의 재실자수를 입력하여 에너지성분석을 진행하였으며, 그에 따른 결과값은 Table 8~10에 해당한다. 에너지성분석 시 흔히 가장 많이 고려하는 창면적비의 경우 에너지 사용량이 최소 1.5%에서 최대 6.7%까지 차이를 보였다. 그러나 현재 에너지성분석의 고려대상이 아닌 재실자 1인당 점유면적임에도 불구하고 에너지사용량이 창면적비가 40%일 때 5.97%, 50%일 때 5.99%, 60%일 때 3.98%라는 큰 차이를 보였다. 이는 재실자수의 변화가 에너지분석결과에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이에 국내 재실자 1인당 점유 면적의 기준 설정이 필요하다고 판단된다.

미국의 경우 1970년대 중반 Warren Alquist Act 통과로 CEC(California Energy Commission)가 에너지 효율 향상 사업의 계획 및 예산을 위한 데이터 수집의 책임을 갖고 있다. 이후 에너지 절감량과 비용의 중요성이 점차 강조됨에 따라 CPUC(California Public Utilities Commission)가 직접 관리하고 있으며, CEC도 지속적으로 참여하여 데이터 수집 및 정리한 내용을 에너지절감효과와 비용효과분석을 위한 입력 매개변수 설정에 활용하고 있다.^[12] 따라서 국내에서도 에너지 관련 정보를 수집하여 국내 실정에 맞는 입력 매개변수를 설정하고 이를 에너지절감 추정을 위한 수단으로 사용하여야 할 것이다.

Table 8 Energy simulation results [window area ratio 40%]

기준	재실자수 (명/m ²)	Total Energy (kwh)	Energy per Total building Area (kWh/m ²)
건축각론	0.086	4,628,957	159.62
Ashrae	0.035	4,368,138	150.63

Table 9 Energy simulation results [window area ratio 50%]

기준	재실자수 (명/m ²)	Total Energy (kwh)	Energy per Total building Area (kWh/m ²)
건축각론	0.086	4,774,692	164.64
Ashrae	0.035	4,504,787	155.34

Table 10 Energy Simulation results [window area ratio 60%]

기준	재실자수 (명/m ²)	Total Energy (kwh)	Energy per Total building Area (kWh/m ²)
건축각론	0.086	4,843,957	167.03
Ashrae	0.035	4,658,641	160.64

4. 국내 공공청사의 재실자 1인당 점유면적 및 에너지 시뮬레이션 결과 분석

4.1 국내 공공청사 건축물 재실인원

국내 표준 입력매개변수를 설정하기 위하여 본 논문에서는 실제 국내 공공청사의 재실자 1인당 점유면적을 파악하였다.

이에 전국 도청사 8개 및 시청사 46개, 서울시 구청사 25개 건축물의 연면적과 근무인원을 조사·분석하였다. 그 결과 국내 공공청사 업무시설의 재실자 1인당 평균 점유면적(Table 14)을 확인할 수 있었다. 시청의 경우 1인당 점유면적이 35.13 m²으로 가장 컸으며, 도청은 30.64 m², 구청이 30.64 m²로 가장 작았다. 시청의 신축 청사 비율이 다른 청사에 비해 높으며, 신축 청사의 경우 재실자 1인

Table 11 Architectural areas and workforces of provincial government offices

관공서명	연면적(m ²)	직원수(명)	점유면적(m ²)
강원도청	22,572	1,118	20.19
충청북도청	32,085	1,153	27.83
충청남도청	27,467	1,890	14.53
전라북도청	85,913	1,616	53.16
전라남도청	76,740	1,466	52.35
경상북도청	21,378	1,295	16.51
경기도청	37,627	1,281	29.37
제주도청	24,596	900	27.33

Table 12 Architectural areas and workforces of Major city halls

관공서명	연면적(m ²)	직원수(명)	점유면적(m ²)
서울시청	77,041	4,505	17.10
부산시청	134,459	2,386	56.35
대전시청	87,213	1,325	65.82
인천시청	48,814	1,487	32.83
대구시청	26,826	1,408	19.05
광주시청	27,352	1,797	15.22
군포시청	18,416	587	31.37
제주도청	54,316	700	77.60
화성시청	28,353	894	31.72
양주시청	16,820	512	32.85
서귀포시청	27,282	482	56.60
...			
하남시청	20,719	451	45.94
김포시청	21,257	500	42.51
광주시청	27,352	866	31.58
천안시청	25,525	759	33.63
공주시청	15,356	567	27.08
보령시청	10,327	609	16.96
아산시청	17,727	603	29.40
서산시청	10,703	531	20.16

당 점유면적이 높아 다음과 같은 결과가 나온 것으로 판단된다. 국내 공공청사의 재실자 1인당 평균 점유면적은 31.87 m²로 확인되었으며 본 논문에서는 이를 국내 기준으로 제안하고자 한다.

4.2 결과값 비교 · 분석

각 기준에 따른 실제 에너지 사용량 차이를 확인하기 위해서 국내 공공청사 재실자 1인당 평균 점유면적인 31.87 m²을 기준으로 에너지 시뮬레이션을 진행하였으며 결과는 Table 15에서 보여주고 있다.

Table 15의 결과값을 건축물 에너지효율등급에서 평가하고 있는 에너지 소요량 등급(Table 16)과 비교해보면 본 논문에서 실험한 모델의 등급은 1+에 해당하는 것을 알 수 있다.

이는 공공청사에서 2010년부터 의무적으로 받아야 하는 에너지 등급인 1+에 부합하는 것을 알 수 있다. 다음과 같이 건축물의 에너지효율등급을 받아야 하는 건축가가 표준으로 설정된 입력매개

Table 13 Architectural areas and workforces of Seoul city ward offices

관공서명	연면적(m ²)	직원수(명)	점유면적(m ²)
강남구청	17,243	834	20.68
강서구청	23,858	1,060	22.51
마포구청	43,246	1,042	41.50
중구청	23,697	1,258	18.84
종로구청	15,530	926	16.77
서초구청	18,413	1,010	18.23
동작구청	14,953	837	17.87
관악구청	32,495	1,057	30.74
송파구청	26,318	928	28.36
강동구청	12,017	696	17.27
금천구청	39,634	922	42.99
구로구청	13,797	799	17.27
...			
서대문구청	12,672	1,024	12.38
용산구청	59,177	827	71.56
성북구청	27,489	951	28.91
동대문구청	33,945	1,295	26.21
성동구청	36,875	845	43.64
광진구청	15,198	689	22.06
중랑구청	27,797	1,201	23.15
노원구청	30,873	1,021	30.24
도봉구청	38,931	834	46.68
강북구청	10,511	633	16.61

Table 14 Average occupied area per capita in public office

종류	기관수	연면적(m ²)	직원수(명)	1인당 점유면적(m ²)	명/m ²
시청	46	1,342,386	38,212	35.13	2.85
구청	25	626,796	23,163	27.06	3.70
도청	8	328,380	10,719	30.64	3.26
합계	79	2,297,563	72,094	31.87	3.13

Table 15 Energy simulation results based on government buildings

창면적비	재실자수(명/m ²)	Total Energy(kwh)	Energy per Total building Area(kWh/m ²)
40%	0.031	4,349,325	149.98
50%	0.031	4,485,541	154.67
60%	0.031	4,644,278	160.15

Table 16 Building Energy performance evaluation level^[14]

등급	공동주택	업무시설
	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(KWh/m ² ·년)	연간 단위면적당 1차 에너지소요량(KWh/m ² ·년)
1+++	60 미만	80 미만
1++	60 이상 90 미만	80 이상 140 미만
1+	90 이상 120 미만	140 이상 200 미만
1	120 이상 150 미만	200 이상 260 미만
2	150 이상 190 미만	260 이상 320 미만
3	190 이상 230 미만	320 이상 380 미만
4	230 이상 270 미만	380 이상 450 미만
5	270 이상 320 미만	450 이상 520 미만
6	320 이상 370 미만	520 이상 610 미만
7	370 이상 420 미만	610 이상 700 미만

변수를 활용하면 결과값에 관한 신뢰성이 높아질 수 있으며, 초기 설계단계에서부터 BIM 기반 에너지 시뮬레이션을 통해 쉽게 에너지효율등급의 결과를 사전에 예측할 수 있게 된다.

본 절은 Table 15를 통해 나온 결과값과 앞서 도출한 건축각론, Ashrae Standard의 에너지 소요량 (Table 8~10) 차이를 확인해 보았다(Fig. 6). 건축 각론과 Ashrae Standard를 실제 국내 공공청사의 에너지 사용량과 비교하면 최소 14,362.44 KW (0.24%)에서 최대 289,151.3 KW(4.98%)의 차이를 보였다. 이는 4인 기준 일반 가정집의 월간 소비 전력량을 300 KW라고 할 때, 최대값의 경우 약 80세대가 1년간 사용할 수 있는 전력량이다. 이를 좀 더 알기 쉽도록 표현하면 한국전력공사 일반용(갑) I을^[13] 기준으로 연간 소비전력량을 금액으로 환산하였을 때 최소 1,629,880원에서 최대 32,272,690원까지 차이가 날 수 있는 적지 않은 에너지량이다.

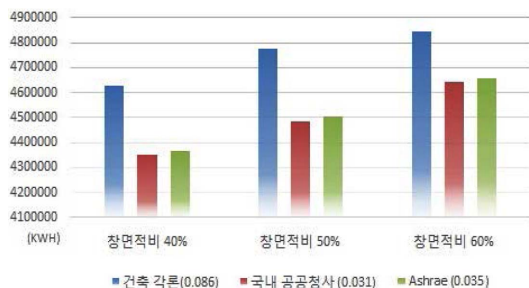


Fig. 6 Energy consumption comparison per window area ratio in accordance with occupant number

또한, 실제 공공청사 건물의 에너지 소비량과 오차를 확인하기 위하여 본 논문에서 제시한 재실자 1인당 점유면적과 가장 유사한 값을 가진 실제 화성시청(31.72 m²)의 2013년 에너지 소비량을 조사하였으며, 화성시청 홈페이지를 통해 파악한 결과 연간 총 에너지 소비량은 3,268,162 kwh (115.27 kwh/ m²)이다. 이는 본 실험에서 사용한 에너지 모델의 연간 냉난방부하와 비교할 경우 약 23% 오차 범위를 보였다. 그러나 연간 계절별 온도 차이, 대상 건물이 실험 건축물 보다 연면적이 약 900 m² 크다는 점, 대상 건축물의 위치가 화성으로 실험에 사용된 위치정보보다 위도 상 남쪽에 있다는 점을 고려할 경우 오차 범위의 결과값 보정이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

건축 계획적 측면에서 볼 때, 초기설계단계에서 건축가가 BIM 기반의 에너지성능분석을 통한 설계안 평가를 할 경우 에너지성능 및 효율을 고려한 합리적인 설계안 도출이 가능할 것이다. 그러나 현재 BIM 데이터를 이용한 설계자의 에너지성능평가는 정확한 표준 매개변수 및 지침이 없어 그 한계를 나타내고 있다. 또한, 온실가스 배출량을 줄이기 위하여 저탄소 녹색성장 기본법을 제정하고, 건축물의 에너지효율등급 인증제를 실시하고 있는 취지와 달리 국내 표준 부재로 인하여 초기설계 단계에서 건축 계획적 측면의 저탄소 설계 기법 개발의 저해요소가 됨은 물론 디자인 형태

등 건축설계가 완료된 이후 설비 등의 에너지성능 향상에 치중하는 현상을 보이고 있다.

본 논문은 BIM 기반 에너지성능분석 프로세스를 통해 국내 표준 지침이 없는 재실자 1인당 점유면적이 에너지성능평가에 미치는 영향을 알아 보았다. 그 결과 재실자 1인당 점유면적은 에너지 시뮬레이션의 결과값에 상당한 영향을 미치며, 결과의 예측 정확성을 떨어뜨리는 원인이 됨을 알 수 있었다. 이에 국내 표준 매개변수를 설정하기 위하여 실제 국내 공공청사의 재실자 1인당 점유면적을 파악하고자 하였다. 전국 도청사 8개 및 시청사 46개, 서울시 구청사 25개 건축물의 연면적과 근무인원을 조사·분석하였으며, 국내 공공청사 재실자 1인당 평균 점유면적인 31.87 m²를 도출할 수 있었다.

그러나 본 논문은 현재 존재하고 있는 국내 모든 공공청사를 다루지 못하였으며, 국내 입력매개변수 설정의 필요성을 판단하기 위하여 재실자 1인당 점유면적과 창면적비만을 실험 변수로 설정하였다는 한계점이 있다. 또한, 설정한 입력 매개변수는 문화적 흐름과 시간의 변화에 따라 충분히 변화할 수 있는 값이기 때문에 앞으로도 지속적인 국내 현황 조사를 통해 데이터베이스 업데이트가 이뤄져야 할 것이며, 관련된 정보들은 공유하여 에너지성능분석 도구의 국내 표준 값으로 사용하여야 할 것이다. 향후 지속적인 국내 현황 업데이트와 추가적인 저탄소 설계 기법 및 입력 매개변수에 관한 검토를 진행한다면 더욱 정확한 결과값과 큰 에너지 절감 효과를 가져올 것으로 판단된다.

본 논문은 에너지성능분석을 위한 국내 입력매개변수 설정의 기초자료가 될 수 있으며, 나아가 건축물의 객관적인 성능평가를 통하여 설계의 질 향상 및 저탄소 녹색 건축에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013-065823). 이 논문은 2013(2014)학년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

References

1. KMA, <http://www.kma.go.kr/index.jsp>

2. Suh, W.-J. and Park, C.-S., 2012, Issues and Limitations on the Use of a Whole Building Simulation Tool for Energy Diagnosis of a Real-life Building, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 28(1), pp.273-283.

3. Dbpia, www.dbpia.co.kr

4. Kim, H.-G., Jang, H.-I. and Park, C.-Y., Yoon S.-H., Choi, C.-H. and Hong, J.-P., 2013, Comparison of Analysis Results between Quasi-steady-state Method Based on ISO 13790 and Dynamic Method Using Weather Data, *Journal of KIAEBS*, 7(4), pp.274-280.

5. Jo, J.-S., Choo, S.-Y. and Choi, M.-H., 2011, A Study on Applying Green BIM to Sustainable Architecture at Early Design Stage - Focused on Energy Performance Analysis - *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 27(4), pp.13-24.

6. Choo, S.-Y., Lee, K.-H. and Park, S.-K., 2012, A Study on LOD(Level of Development) for Development of Green BIM Guidelines - Focused on Energy Performance Estimation, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 28(6), pp.37-47.

7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2012, Window Design Guideline for Conservation of Energy in Building.

8. Lee, C.-G., 2013, Economical and Energy Analysis of Standard Rural House Model and KNU Plant Factory, Kongju University.

9. Lee, J.-G., 2013, A Study on Improvement Plan for Accuracy of Building Energy Simulation Using BIM : Focused on Remodeling Design Stage, Hanyang University.

10. Kim, I.-H., Kim, E.-J. and Choi, J.-S., 2011, Development of the IFC based IDF Converter for Energy Performance Assessment in the Early Design Phase, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, 16(2), pp.146-155.

11. Song, S.-W., Yang, H.-M. Lee, J.-H. and Mun, Y.-J., 2011, A Study on Improving the Building Energy performance Rating of a Public Office Building Using a Dynamic Energy Simulation Program, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 27(11), pp.381-391.

12. Park, G.-H., 2012, Construction of National Energy Conservation Policy Evaluation System, Korea Energy Economics Institute.

13. KEMCO, <http://www.kemco.or.kr/>

14. MOLIT, <http://www.molit.go.kr>

15. Ahn, K.-U., Kim, Y.-J. and Park, C.-S., 2012, Issues on Dynamic Building Energy Performance Assessment in Design Process, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 28(12), pp.361-

369.

16. Lee, K.-H., Kim, I.-H. and Choo, S.-Y., 2011, A Study on Improvement of Energy Performance Index in Green Building Certification System using BIM, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 27(9), pp.13-21.
17. Lee, K.-H., Ryu, J.-R., Lee, J.-W. and Choo,

- S.-Y., 2013, A Study on Office Building Usage Schedule Setting for Green BIM-Based Architectural Planning Support, *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, 33(2), pp.67-68.
18. Kepco, <http://cyber.kepco.co.kr/kepco/main.do>
19. PPS, www.pps.go.kr



이 윤 정

2012년 계명문화대학교 건축인테리어과 졸업
 2012년 계명문화대학교 평생교육원 학사
 2015년 경북대학교 대학원 건축학과 석사졸업
 관심분야: BIM(Building Information Modeling, Building Energy Simulation, Design Automation, CAAD(Computer-aided Architectural Design)



이 권 형

2010년 경북대학교 건축학과 졸업
 2012년 경북대학교 대학원 건축학과 석사졸업
 2015년 경북대학교 대학원 건축학과 박사수료
 관심분야: BIM(Building Information Modeling, Building Energy Simulation, Design Automation, CAAD(Computer-aided Architectural Design)



김 인 한

1988년 서울대학교 건축학과 졸업
 1991년 미국 Carnegie-Mellon 대학 건축학 석사
 1994년 영국 Strathclyde 대학 건축학 박사
 1996년~현재 경희대학교 공과대학 건축학과 교수
 2002년~현재 한국CAD/CAM 학회 이사
 2004년~2008년 사단법인 STEP 센터 회장, 지식경제부
 2008년~현재 사단법인 빌딩스마트 협회 수석 부회장
 2010년~현재 대한건축학회 이사
 2011년~현재 BCA 싱가포르 건설청 BIM 자문위원
 관심분야: BIM(Building Information Modeling), CAAD, 데이터모델링 및 통합 전산설계환경(STEP, IFC), 건축정보기술, Digital Design Media



추 승 연

1994년 경북대학교 건축공학과 공학사
 1998년 홍익대학교 대학원 건축학과 공학석사
 2004년 독일 뮌헨공대 건축학과 공학 박사
 2005년~현재 경북대학교 건축학부 교수
 2007년~현재 빌딩스마트협회 운영 이사
 2013년~현재 한국 CAD/CAM학회 편집위원
 관심분야: BIM(Building Information Modeling, Building Energy Simulation, IFC, Augmented Reality, Design Automation, CAAD (Computer -aided Architectural Design)