

# 비주거 건축물의 외피요소에 대한 민감도 분석

## Sensitivity Analysis of Building Envelope of Non-Dwelling Buildings

김경아\* · 박진서\*\* · 유기형\*\*\* · 문현준\*\*\*

Kim Kyung-Ah\*, Park Jin-Seo\*\*, Yu Ki-Hyung\*\*\* and Moon Hyeun-Jun

(Received 30 December 2014; accepted 23 February 2015)

**Abstract :** The ECO2 building energy simulation program is used on the assessment project for building energy certification of non-dwelling buildings in Korea. In the design of energy efficient buildings, it is beneficial to identify the most important design parameters in order to more efficiently develop alternative design solutions or reach optimized design solutions. The sensitivity analyses will be used at a reasonable early stage of the building design process, where it is still possible to influence the most important design parameters. In this study, the sensitivity analysis is focused on building envelope parameters such as U-values, SHGC and Wall-window ration.

**Key Words :** 민감도분석(Sensitivity analysis, Sensitivity Coefficients, Influence Coefficient), 건축물에너지성능평가 프로그램(ECO2), 업무용건축물(office building), 에너지성능평가(Energy performance)

### 1. 서 론

해외 선진국에서는 신축건물 뿐만 아니라 기존 건축물에 대한 건축물에너지성능을 제하는 정책 및 연구가 활발히 진행되고 있으며, 우리나라에서도 기존 건축물에 대한 연구 및 정책 개발이 시행되고 있다. 이 중 우리나라에서는 2001년부터 건축물에너지효율등급인증 제도가 시행되고 있으며, 2013년부터는 비주

거건축물 전체로 확대 시행되고 있다. 2009년부터 건물에너지효율등급인증에서는 ISO13790과 DIN18599를 기반으로 만들어진 건물에너지성능평가 프로그램(ECO2)을 이용하여 1차 에너지소요량으로 평가된다. 이 프로그램을 이용한 건물에너지성능평가를 위해서는 건축, 기계, 전기, 신재생 뿐만 아니라 기후데이터 및 실내발열설정조건 등 다양한 디자인 요소들이 입력되어야 한다. 이러한 입력요소들로 인

\*\*† 유기형(교신저자) : 한국건설기술연구원  
E-mail : raytrace@kict.re.kr  
\*김경아 : 한국건설기술연구원  
\*\*박진서 : 한국건설기술연구원  
\*\*\*문현준 : 단국대학교 건축공학과

\*\*† Yu Ki-Hyung(corresponding author) : KICT.  
E-mail : rayreace@kict.re.kr  
\*Kim Kyung-Ah : KICT.  
\*\*Park Jin-Seo : KICT.  
\*\*\*Moon Hyeun Jun : Dankook University, Dept of Architectural Engineering

해 1차에너지소요량이 도출되므로 입력되는 디자인 요소들의 Sensitivity analysis 라는 분석방법을 이용한 민감도를 분석하여 에너지성능을 개선하는데 활용하고자 하는 연구가 국외에서는 활발히 이루어지고 있다. 특히 국외에서는 EnergyPlus 뿐만 아니라 DOE-2를 이용하여 건물에너지분석에 대한 디자인 요소별 민감도 분석에 대한 연구가 활발하다. 최근에는 국내에서도 건물에너지 성능분석에 입력되는 디자인 요소에 대한 민감도와 불확실성 분석에 관한 연구들이 수행되고 있다. 이러한 논문들은 에너지성능평가 프로그램에서 결과에 영향을 주는 입력 요소의 민감도 분석에 초점을 맞추기보다 불확실한 입력변수의 선정 방법 및 객관적인 성능평가를 위한 시뮬레이션 횟수, 중요도가 높은 입력변수의 선정을 목적으로 하고 있다.<sup>1)</sup> 이와는 달리 본 논문에서는 건물에너지성능평가 프로그램(EOC2)을 이용한 건물의 에너지 성능 해석시에 냉난방에너지 요구량 결과 도출에서 건축 외피 요소의 민감도를 분석하고자 한다. 민감도 분석 방법은 건물에너지성능평가 및 에너지 부하의 특성을 분석하는데 오랜 기간 동안 연구 분야에서 활용되고 있어 본 연구에서도 이를 이용하여 국가적으로 활용되고 있는 건물에너지성능평가 프로그램(ECO2)에서의 디자인 요소에 대한 민감도를 분석하여 에너지 성능 개선을 위한 기초 자료를 활용할 수 있도록 건축 외피요소에 초점을 맞춰 가이드라인을 제시하고자 한다.

## 2. 민감도 분석을 위한 예비적 고찰

건물에너지성능에 영향을 미치는 여러 가지 디자인 요소에 대한 민감도 분석 방법은 기존의

많은 논문에서 연구되어져 왔다. Per Heiselberg의 Application of Sensitivity analysis in design of sustainable building(Renewable Energy, 2009) 에서 적용한 민감도 분석은 가장 널리 알려진 방법으로 건물 에너지성능 평가에 관련된 모든 디자인요소를 우선 Screening Method를 통해 디자인 요소의 범위를 축소한 후에 Morris Method를 이용하여 그 중 가장 영향도가 높은 순으로 분석하는 방법을 적용하여 덴마크의 건물에너지효율등급에서의 디자인 요소에 대한 민감도를 분석하였다. 또 다른 방법으로는 Ele Azar의 A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings(Energy and building, 2012)에서는 input값의 변화에 따른 output값의 변화를 비율로 나타내어 디자인 요소의 민감도를 분석하는 방법(Influence Coefficient)을 이용하여 eQuest를 이용한 건축물의 에너지 성능 평가시의 디자인 요소에 대한 민감도를 평가하였다. 이상 선행 연구 논문에서의 민감도 분석방법을 조사한 결과 본 연구에서는 디자인 요소를 건축 외피로 한정하여 디자인 요소의 범위를 축소하는 과정이 불필요하므로 'input-output analysis' 방법을 이용한 민감도를 분석하였다.

### 2.1 민감도 분석(Sensitivity coefficients)

민감도를 수치적으로 나타내는 것을 Sensitivity Coefficient로 나타내는데 이것은 수학 및 경제학에 사용될 뿐만 아니라 제어 알고리즘의 분석 등에 널리 사용되는 분석방법이다. 건축물의 에너지 성능 분석에서는 이것을 Influence coefficient로 지칭하며 사용되는데 앞서 설명한 바와 같이 IC<sup>2)</sup>는 input 값의 변화비율에 따

1) 김영진 외 2, 몬테카를로 빌딩 시뮬레이션의 샘플링 방법과 모집단 추정, 대한건축학회논문집, 2012.

2) Joseph C.Lam, Sensitivity analysis and energy Conservation measures implications, Energy Conversion and Management, 2008.

큰 output 값의 변화비율로 계산되어 나타낸다.

$$IC = \frac{\text{Change in output}}{\text{Change in input}} = \frac{\Delta OP / OP_{BC}}{\Delta IP / IP_{BC}} \quad (1)$$

이렇게 계산된 결과 값 IC가 +값과 -값으로 산출되는데 +값의 경우 입력값(input)을 증가시킬 경우 결과 값(output)이 증가하는 것이며 -값의 경우는 입력 값을 증가시킬 때 결과 값이 감소하는 것을 의미하며 1에 가까울수록 민감도가 큰 것으로 분석하여 결과를 도출한다.

### 3. 시뮬레이션 개요

#### 3.1 평가방법

국내에서는 건축물에너지효율등급 인증제도에서 2013년 신축 기준이었던 범위를 확대하여 기존 건축물에 대한 에너지 성능을 정량적으로 평가 할 수 있도록 하고 있다. 이 때 사용되고 있는 ECO2 프로그램이 활용되고 있어 본 연구에서는 건물 에너지성능분석 툴로 ECO2\_2013을 사용하여 분석하고자 한다.

#### 3.2 분석대상

본 연구에서는 비주거 건축물로 기존 건축물을 대상으로 하였으며 이를 위해 건축물에너지절약계획서가 제출된 2007-2011년 사이의 건물 약 435개의 계획서 상에 작성된 설계 데이터를 분석하여 분석대상의 기준 모델을 설정하였다.<sup>3)</sup> 설계 초기 단계에서 건축 외피 성능 선택 시에 가이드라인으로 활용할 수 있도록 실제 건축물과 유사하고 실무에서 다수에 의해 반영되고 있는 외피의 성능으로 평가

범위를 한정하기 위해 평가 대상의 규모는 435개의 건물들의 규모 데이터 중 최빈값과 중간값의 선정방법을 활용하여 아래 그림 1과 같은 건물의 형태와 규모를 도출하였고 이를 바탕으로 건축의 외피 성능을 추가 분석하였다. 건축의 외피 성능의 경우도 실제로 가장 많이 적용된 데이터 값을 도출하기 위해 앞서 설명한 435개의 건물의 에너지절약계획서 상의 설계 데이터를 바탕으로 정규분포에 의해 외피 성능의 범위를 설정하였다. 정규분포는 수집된 자료의 분포를 근사하는데 자주 사용되는 방법으로 이것을 이용하여 데이터를 분석한 결과 평균값은 외벽열관류율을 기준으로 중부 0.31, 남부기준 0.33 W/m<sup>2</sup>K이며 이때 표준편차가 중부지역 0.08, 남부지역 0.1로 분석되어 최종 평가 범위의 외피 성능을 ±σ 범위로 한정하여 중부지역 외벽 기준 0.22-0.39, 남부지역 외벽기준 0.23-0.43 W/m<sup>2</sup>K로 설정하였고 최종적으로 표 1, 표 2에 나타난 것과 같이 분석 모델을 설정하였다. 본 연구에서는 건축 요소에 의한 에너지요구량의 민감도 분석에 초점을 맞추어 평가하여 냉난방 기기 및 신재생 등의 기계설비에 대한 분석은 시행하지 않았으며 평가에서도 기계 시스템 부분은 제외하였다. 실내발열 조건의 경우, 비주거 건축물의 대표적인 업무용 건축물의 대구모사무실의 실내 조건을 기준으로 평가하였다.

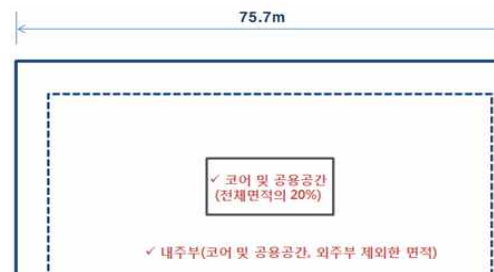


Fig 1. the object for the simulation

3) 정영선의 3, 건축물 설계현황 분석을 통한 국내 비주거용 표준건물의 설정에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2014.

## 4. 분석결과

건축물에너지절약계획서 제출 대상 건물들의 설계현황 조사를 바탕으로 건물에너지성능에 영향을 주는 건축의 외피요소를 평균열관류율, 창면적비, SHGC로 구분하여 건물에너지평가프로그램(ECO2)으로 시뮬레이션하여 그 결과를 바탕으로 민감도 분석을 시행하였다. 이 때 민감도 분석은 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량을 나누어 분석하였고 그 결과는 다음과 같다.

### 4.1 중부지역에서의 민감도 분석

평균열관류율, SHGC, 창면적비가 실내 발열조건을 달리하였을 때 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량에 미치는 민감도를 각각 분석하였다. 분석결과 건축외피인 평균열관류율, SHGC, 창면적비는 난방에너지요구량보다 냉방에너지 요구량에 대한 민감도가 더 높은 것으로 분석되었다.

조명밀도 10m<sup>2</sup>/W를 일 때 난방에너지요구량에 대한 평균열관류율과 SHGC, 창면적비의

Table 1. Building envelope and Internal load(seoul)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case 10	case 11	case 12
외벽 (U-v)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.31	0.31	0.31	0.31	0.39	0.39	0.39	0.39
지붕 (U-v)	0.13	0.13	0.13	0.13	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16
바닥 (U-v)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.29	0.29	0.29	0.29
창호 (U-v)	1.7	1.7	1.7	1.7	2.29	2.29	2.29	2.29	2.9	2.9	2.9	2.9
SHGC	0.688	0.516	0.688	0.688	0.688	0.516	0.688	0.688	0.688	0.516	0.688	0.688
WWR	40%	40%	20%	60%	40%	40%	20%	60%	40%	40%	20%	60%

건물 설정 조건

- \* 기상 데이터 : 중부-서울
- \* 기기발열 : 8 [wh/m<sup>2</sup>d]
- \* 인체발열 : 96 [wh/m<sup>2</sup>d]
- \* 사용시간 : 11hr
- \* 조명발열 : 10~100[W/m<sup>2</sup>]

Table 2. Building envelope and Internal load(Daegu)

구분	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9	case 10	case 11	case 12
외벽 (U-v)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.43	0.43	0.43	0.43
지붕 (U-v)	0.14	0.14	0.14	0.14	0.19	0.19	0.19	0.19	0.23	0.23	0.23	0.23
바닥 (U-v)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.27	0.27	0.27	0.27	0.37	0.37	0.37	0.37
창호 (U-v)	1.9	1.9	1.9	1.9	2.6	2.6	2.6	2.6	3.2	3.2	3.2	3.2
SHGC	0.688	0.516	0.688	0.688	0.688	0.516	0.688	0.688	0.688	0.516	0.688	0.688
WWR	40%	40%	20%	60%	40%	40%	20%	60%	40%	40%	20%	60%

건물설정 조건

- \* 기상 데이터 : 남부-대구
- \* 기기발열 : 8 [wh/m<sup>2</sup>d]
- \* 인체발열 : 96 [wh/m<sup>2</sup>d]
- \* 사용시간 : 11hr
- \* 조명발열 : 10~100[W/m<sup>2</sup>]

민감도(IC)는 각각 0.11, -0.06, 0.03으로 분석되었으나 냉방에너지 요구량에 대한 민감도는 각각 -0.14, 0.50, 0.42로 분석되었다.

평균열관류율, SHGC, 창면적비 중 난방에너지요구량에 민감도가 가장 높은 요소는 평균열관류율로 난방에너지 요구량을 절감하기 위해서는 평균 열관류율의 성능을 강화해야(즉, 평균 열관류율 값이 작아져야) 하는 것으로 나타났다.

반면 SHGC는 평균열관류율과 창면적비와 달리 -값으로 분석되어 난방에너지요구량을 절감하기 위해서는 SHGC값을 증가시켜야 하는 것으로 분석되었으며 이와는 반대로 냉방에너지 요구량을 절감하기 위해서는 SHGC가 낮은 창호를 선택해야 하는 것으로 분석되었다. 또한 조명밀도가 10m<sup>2</sup>/W 일 때 난방에너지와 냉방에너지 요구량에 대한 건축외피의 민감도가 가장 큰 것으로 분석되어 실내 발열조건이 커질수록 건축외피가 난방에너지요구량과 냉방에너지 요구량에 미치는 민감도는 난방의 경우 평균열관류율, SHGC, 창면적비 모두 약 95%이상 감소되며 냉방의 경우 각각 -0.07, 0.09, 0.05로 약 47% 낮아지는 것으로 분석되었다.

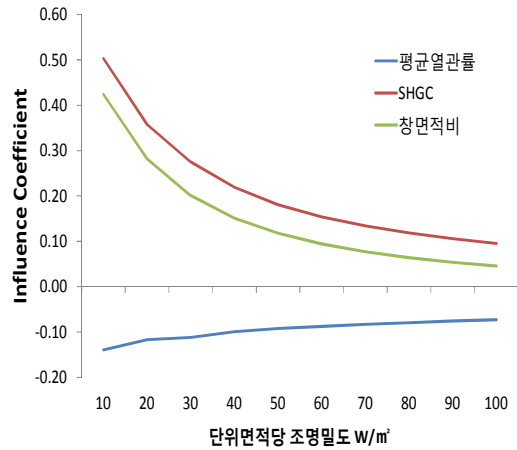


Fig 3 Influence Coefficients on the cooling energy demand (Seoul)

#### 4.2 남부지역에서의 민감도 분석

남부 지역에서도 중부지역과 유사한 수준으로 건축외피에 대한 민감도가 분석되었으나 난방에너지 요구량에 대한 평균열관류율은 약 15%, SHGC는 약 2%, 창면적비는 약 28%로 낮아진 것으로 평가되었다. 반면 냉방에너지 요구량에 대한 각각의 외피에 대한 민감도는 중부지역에 비해 최대 7%에서 최소 2%로 낮게 분석되어 남부지역보다 중부지역에서의 건축외피에 대한 민감도가 큰 것으로 나타났다.

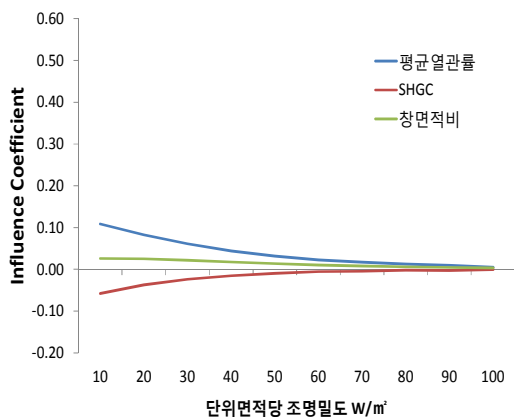


Fig 2 Influence Coefficients on the heating energy demand (Seoul)

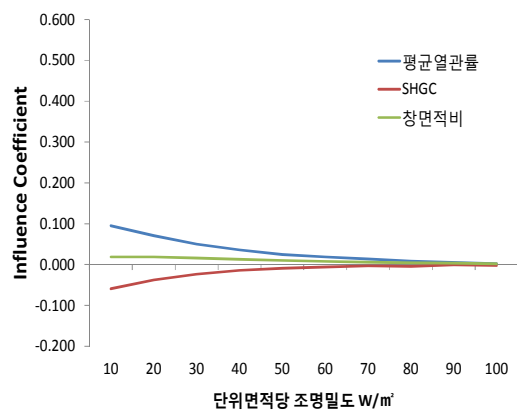


Fig 4 Influence Coefficients on the heating energy demand (Daegu)

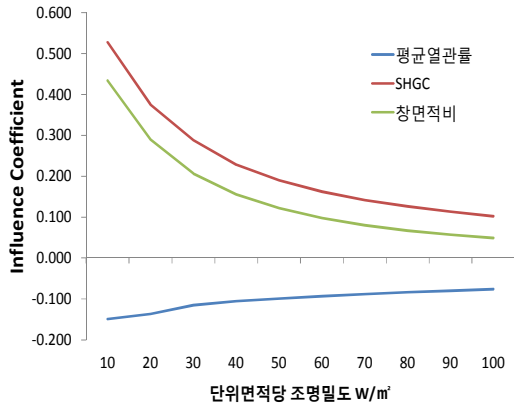


Fig 5 Influence Coefficients on the cooling energy demand (Daegu)

중부지역과 마찬가지로 남부지역에서도 조명밀도 10m<sup>2</sup>/W일 때 난방에너지와 냉방에너지 요구량에 대한 건축 외피의 민감도가 가장 높은 것으로 분석되었다. 조명밀도 10m<sup>2</sup>/W에서 난방에너지요구량에 대한 평균열관류율, SHGC, 창면적비의 민감도는 각각 0.10, -0.06, 0.02이며 냉방에너지 요구량에 대한 민감도는 각각 -0.15, 0.53, 0.43으로 분석되었다.

중부 지역과 마찬가지로 남부지역에서도 평균열관류율, SHGC, 창면적비 중 난방에너지 요구량에 민감도가 가장 높은 요소는 평균열

Table 3. Influence Coefficients for lighting load (Seoul)

건물의 유형		IC(Influence Coefficient)						비고
		평균열관류율		SHGC		창면적비		
		난방	냉방	난방	냉방	난방	냉방	
조명밀도	10	0.109	-0.139	-0.058	0.503	0.026	0.424	
	20	0.083	-0.117	-0.037	0.358	0.025	0.282	
	30	0.061	-0.112	-0.024	0.275	0.022	0.201	
	40	0.044	-0.099	-0.015	0.219	0.018	0.151	
	50	0.032	-0.092	-0.010	0.181	0.014	0.118	
	60	0.022	-0.087	-0.006	0.154	0.011	0.094	
	70	0.017	-0.083	-0.005	0.134	0.008	0.077	
	80	0.013	-0.079	-0.002	0.118	0.006	0.064	
	90	0.010	-0.076	-0.003	0.106	0.005	0.054	
100	0.005	-0.073	-0.001	0.096	0.003	0.046		

Table 4. Influence Coefficients for lighting load (Daegu)

건물의 유형		IC(Influence Coefficient)						비고
		평균열관류율		SHGC		창면적비		
		난방	냉방	난방	냉방	난방	냉방	
조명밀도	10	0.095	-0.149	-0.059	0.527	0.019	0.434	
	20	0.071	-0.137	-0.038	0.375	0.019	0.290	
	30	0.050	-0.115	-0.023	0.288	0.016	0.207	
	40	0.036	-0.106	-0.014	0.228	0.013	0.156	
	50	0.024	-0.099	-0.009	0.190	0.010	0.122	
	60	0.019	-0.093	-0.006	0.163	0.008	0.098	
	70	0.014	-0.088	-0.003	0.142	0.006	0.080	
	80	0.009	-0.084	-0.004	0.126	0.004	0.067	
	90	0.005	-0.080	-0.001	0.113	0.003	0.057	
100	0.002	-0.076	-0.002	0.102	0.002	0.049		

관류율로 난방에너지 요구량을 절감하기 위해서는 평균 열관류율의 성능을 강화해야하며, 냉방에너지 요구량을 절감하기 위해서는 SHGC 값이 낮은 창호를 적용해야 하는 것으로 분석되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 건축물에너지효율등급 인증제도에서 사용되고 있는 건축물에너지성능평가 프로그램에서 난방에너지요구량과 냉방에너지 요구량에 영향을 주는 건축 외피요소에 대한 민감도를 분석하였다. 각 외피요소는 평균열관류율, SHGC 및 창면적비 만을 대상으로 하였으며 민감도 분석 방법인 ‘input - output analysis’를 적용하여 평가하였으며 주요한 결론은 다음과 같다.

- (1) 중부지역과 남부지역에서 모두 조명밀도가 낮을수록 난방, 냉방에너지요구량에 대한 건축외피의 민감도가 커지는 것으로 평가되어 이는 실내발열조건이 커질수록 건축외피에 대한 민감도 보다 실내발열조건이 냉난방에너지요구량에 영향이 큰 것으로 분석할 수 있다.
- (2) 중부지역과 남부지역 모두 난방에너지요구량에 민감도가 가장 높은 요소는 평균열관류율이며 냉방에너지요구량에 민감도가 가장 높은 건축외피는 SHGC로 분석되었다. 이에 난방에너지요구량의 절감을 위해서는 평균열관류율에 대한 민감도가 높으므로 외벽의 단열성능을 강화 하며 난방에너지요구량 절감을 위해서는 SHGC에 대한 민감도가 높으므로 SHGC에 대한 값이 낮은 창호를 적용해야 하는 것으로 분석할 수 있다.
- (3) 기후데이터에 의한 차이로 인해 남부지역

은 중부지역에 비해 난방에너지 요구량에 대한 건축외피의 민감도는 평균열관류율은 약 15%, SHGC는 약 2%, 창면적비는 약 28%로 낮은 것으로 평가되었다. 반면 냉방에너지 요구량에 대한 각각의 외피에 대한 민감도는 평균열관류율은 약 7%, SHGC는 약 4%, 창면적비는 약 2%로 낮은 것으로 평가되었다. 남부지역보다 중부지역에서의 건축외피에 대한 민감도가 큰 것으로 나타났다.

본 논문은 비주거 건물을 대상으로 건축물에너지평가 프로그램을 이용하여 에너지 성능을 분석할 때 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량에 대한 건축외피의 민감도를 분석하였다. 이상의 연구결과에서 알 수 있듯이 난방에너지요구량과 냉방에너지요구량에 대한 건축외피의 민감도 분석으로 건축물에너지효율등급 인증시에 외피 설계에 기초 자료로 활용할 수 있다. 그러나 건축물에너지성능평가에서는 건축외피 이외의 기후데이터, 실내발열조건, 기계 설비 등 다양한 디자인 요소가 입력되므로 이들 전체를 대상으로 에너지성능 해석에 중요한 디자인 요소들을 추출하여 민감도를 분석해보는 연구가 추가적으로 필요하다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 제원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 지원을 받아 수행한 연구과제임 (과제번호 :20118510010010)

## Reference

1. Joseph C.Lam, Sensitivity analysis of energy performance of office buildings, Univ. of Hong Kong, Building and Environment, 1996, Vol. 31

2. Per Heiseberg, Application of sensitivity analysis in design of sustainable buildings, Univ. of Alborg in Denmark, Renewable Energy, 2009,
3. Joseph C.Lam, Sensitivity analysis and energy conservation measures implications, Univ. of HonKong, Energy Conversion and Management, 2008
4. Elie Azar, A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings, Univ. of Wisconsin-Madison, Energy and buildings, 2012
5. Min Liu, Probabilistic prediction of green roof energy performance under parameter uncertainty, Catholic Univ. of America, Energy, 2014