



대학 내 화장실의 조명 시설에 대한 생태효율성 평가

김태석 · 김동규* · 정용현†
부경대학교(학생) · *부경대학교(교수)

Eco-Efficiency Assessment for Lighting of Restroom in University

Tae-Seok KIM · Dong-Gye KIM* · Yong-Hyun CHUNG†
Pukyong National University(student) · *Pukyong National University(professor)

Abstract

Universities are known as energy-intensive organizations, so they should try to save energy. Therefore, in this study, the lighting of restroom in university is searched for ways to save energy and sustainable. For the study, we figure out present status of usage lighting devices and set up three scenarios. After that, we assess and compare their eco-efficiency indicator by using electric energy usage and lifetime of the bulb as factors. As a result, the scenario 3 of this study has 77.547 times better eco-efficiency than the standard lighting.

Key words : Energy saving, Eco-efficiency, University, Restroom, Lighting

I. 서론

인구 증가와 경제성장으로 인한 에너지 소모의 증가는 환경에 많은 영향을 미치고 있다. 특히 에너지 사용에 따른 인위적인 온실가스 배출은 지구온난화의 현상을 심화시키고, 기후 시스템을 이루는 구성요소들을 장기간 변화 시킬 것으로 나타났다(IPCC, 2014).

한편 국내에서도 다양한 분야에 많은 에너지가 사용되고 있다. 2016년도 수요 부분의 전체 에너지 소비량은 총 215,419천toe로 2013년 대비 연평균 2.4% 증가하였다(Ministry of Trade, Industry & Energy, 2018). 또한 2015년 대비 2016년도의 에너지 사용량을 부문별로 살펴보면 산업부문은 6.1%, 건물부문은 9.1%, 수송부문은 10% 증가한 것으로 나타났다(Korea Energy Agency, 2017).

이러한 상황에 있어서 에너지 절약의 주요 대상으로 대학 시설이 주목받기 시작하였다. 캠퍼스는 많은 에너지를 소비하는 주체이자 구성원 및 지역 주민의 생활과 인식에 큰 영향을 미치는 시설이다(Ministry of Environment, 2009). 실제로 국내 190개의 에너지 다소비 기관 중 23개의 대학이 여기에 포함되었으며(Korea Energy Agency, 2006), 대학을 포함한 학교건물의 에너지 사용량은 2000년 130천toe에서 점차 증가하여 2016년 352천toe로 나타났다(Korea Energy Agency, 2017). 하지만 캠퍼스 내에서의 효율적 에너지 사용을 위한 구성원들의 실질적인 인식 및 행동변화, 인프라 및 시스템 구축 등이 미흡한 실정이다(Korea Energy Economics Institute, 2016).

이에 대학 시설에서 에너지를 절약하기 위한 연구가 다양한 방향으로 진행되고 있다. Kim et

† Corresponding author : 051-629-6543, chungyh@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의해 연구되었음.

al.(2010)은 대학 시설 및 학생들의 주거 시설에서의 에너지 소비량과 온실가스 배출량을 파악하였고, 이를 근거로 에너지 절약에 따른 온실가스 배출의 감축을 위한 캠퍼스형 탄소 배출 인센티브 제도를 제안하였다. Roh(2013)는 대학 도서관의 에너지 절감 방안을 찾기 위해 건물 외벽 단열보강, 옥상녹화, 유리자재 변경, 외기 냉방이라는 각각의 조건으로 에너지 시뮬레이션을 실시하고, 최선의 개선안을 도출하였다. 또한 Jung and Woo(2014)는 일본 주요 대학에서의 에너지 절감 및 온실가스 감축 활동 사례를 토대로 국내에 도입하여 활용 할 수 있는 체계와 방안을 제시하기도 하였다. 그리고 Choi et al.(2018)은 에너지 절약과 온실가스 배출 감소를 위한 국내 그린캠퍼스 추진 실태에 대하여 설문 조사를 실시하고, 대학과 정부, 관련 단체의 문제점 도출 및 개선안을 제안 하였다.

이와 더불어 최근에는 에너지와 같은 자원의 소모방식에 대한 근본적인 변화를 촉진시키고, 녹색 성장의 진전을 측정하기 위해서 생태효율성이라는 개념이 대두되고 있다(ESCAP, 2009). 생태효율성은 인간의 필요를 충족시키기 위한 환경 자원의 효율적 사용을 의미하며(OECD, 1998), 이에 대한 평가 원리와 가이드라인이 국제표준 제정되어 재활용공정(Kim,2015) 등의 다양한 분야에 연구 및 사용되고 있다.

따라서 본 연구에서는 대학 내 화장실의 조명 시설을 대상으로 선정하여, 환경적·경제적 측면의 지속가능한 방안을 모색하기 위하여 생태효율성을 평가하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상 및 범위

본 연구는 A대학교 B건물의 2층 동쪽 여자 화장실의 조명 장치를 대상으로 에너지를 절약하면서 경제적으로 지속가능 할 수 있는 방안을 모색

하는데 최종적인 목적을 두고 있다. 이를 위해 실제 화장실의 조명 시설에 대한 현황을 파악하였으며, 개선안 도출을 위한 시나리오를 설정하고 분석하였다.

가. 화장실 조명 시설 현황

대상 화장실 내에는 5개의 부스가 있으며, 총 7개의 삼파장 전구가 초음파 센서와 함께 설치되어 있다. 초음파 센서의 작동시간은 조절 가능하나 현재는 마지막으로 움직임을 감지한 후 15분 동안 켜지게끔 설정되어 있다.

하지만 현재의 삼파장 전구는 <Table 1>과 같이 시중의 LED 전구와 비교하여 소비전력이 많고, 내용연수가 짧다. 또한 초음파 센서는 화장실 내 부스의 문고리 잠금 유무에 따라 작동되는 문고리 센서와 비교하여 비효율적이다.

<Table 1> Specifications of lamp

	Three wavelength lamp	Light emitting diode lamp
Power consumption	26 W	16 W
Service life	18,000 hr	100,000 hr

source: Lee et al.,(2009)

나. 시나리오 설정

본 연구에서는 현재 화장실의 조명 시설에 있어서 자원을 효율적으로 사용하는 조건을 찾기 위해 실제 화장실 사용 현황을 분석하고 전구의 종류 및 개수, 센서의 종류, 점등 시간을 고려하여 시나리오를 설정하였다.

2. 생태효율성 평가

가. 생태효율성 지표

생태효율성은 연구 대상의 환경 영향과 경제적 가치를 고려하여 지표를 산출하였다. 이때 환경 영향과 경제적 가치는 전기 에너지 사용량과 전구의 수명으로 선정하였으며, ESCAP(2009)에서 제시한 아래의 식을 이용하였다.

$$\text{Eco-efficiency} = \frac{\text{Value of a product}}{\text{Environmental impact of a product}}$$

나. Factor 분석

Factor 분석은 생태효율성의 개선 정도를 파악하기 위한 도구로 JEMAI(2004)에서 제시한 아래의 식을 이용하여 그 값을 산출하였다. 이를 통해 기존 조명 시설을 기준으로, 설정한 시나리오들의 상대적인 생태효율성 크기를 각각 살펴보았다.

$$\text{Factor} = \frac{\text{Eco-efficiency of the assessed product}}{\text{Eco-efficiency of the yardstick product}}$$

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 화장실 사용 현황

가. 화장실 사용 횟수

화장실 사용 현황은 A대학교 B건물의 2층 동쪽 여자 화장실 입구 쪽으로 설치되어 있는 CCTV를 이용하여 파악하였다. 이때 사용 횟수는 동시사용을 고려하여, 화장실 내 마지막 사용자의 퇴실을 기준으로 산정하였다. 그 결과는 <Table 2>와 같으며, 월요일과 수요일이 42회로 가장 많았고, 화요일이 23회로 가장 적었다. 이는 대상 화장실과 인접한 강의실의 강의일과 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

<Table 2> Number of times using the restroom on weekdays

	The number of times
Monday	42
Tuesday	23
Wednesday	42
Thursday	37
Friday	38
Average	36.4

나. 조명 점등 시간

센서 작동에 따라 조명이 점등된 시간을 파악

하기 위하여 화장실 사용자 입출을 근거로 주중 요일별 09시부터 18시까지 1시간씩 1분 단위로 [Fig. 1]에서 [Fig. 5]과 같이 파악하였다.

이를 사람이 실제로 센서 등을 사용한 시간 (Actual time)과 사람이 없는데 켜져 있는 시간 (Wasted time)으로 종합하면 <Table 3>과 같다. 그 결과 수요일이 479분으로 가장 많이 점등된 반면에 화요일은 319분으로 가장 적게 점등되었다. 그리고 화장실의 일평균 1회 사용시간은 약 3.44분(3분 26초)으로 산출되었다. 이러한 원인은 각 요일별 화장실 이용 횟수에 의한 것으로 판단된다. 따라서 학생들의 화장실 사용시간을 고려할 때 기존의 조명 점등 시간인 15분의 경우 전기의 낭비적인 면이 많아 에너지 절약 측면에서 조명 점등시간에 대한 센서 작동 시간을 조절해야 할 것으로 판단된다.

<Table 3> Lighting time(min) on the weekdays

	Actual time (A)	Wasted time	Total
Monday	113 (2.7)	319	432
Tuesday	107 (4.7)	212	319
Wednesday	178 (4.2)	301	479
Thursday	96 (2.6)	334	430
Friday	113 (3.0)	323	436
Average	121.4 (3.44)	297.8	419.2

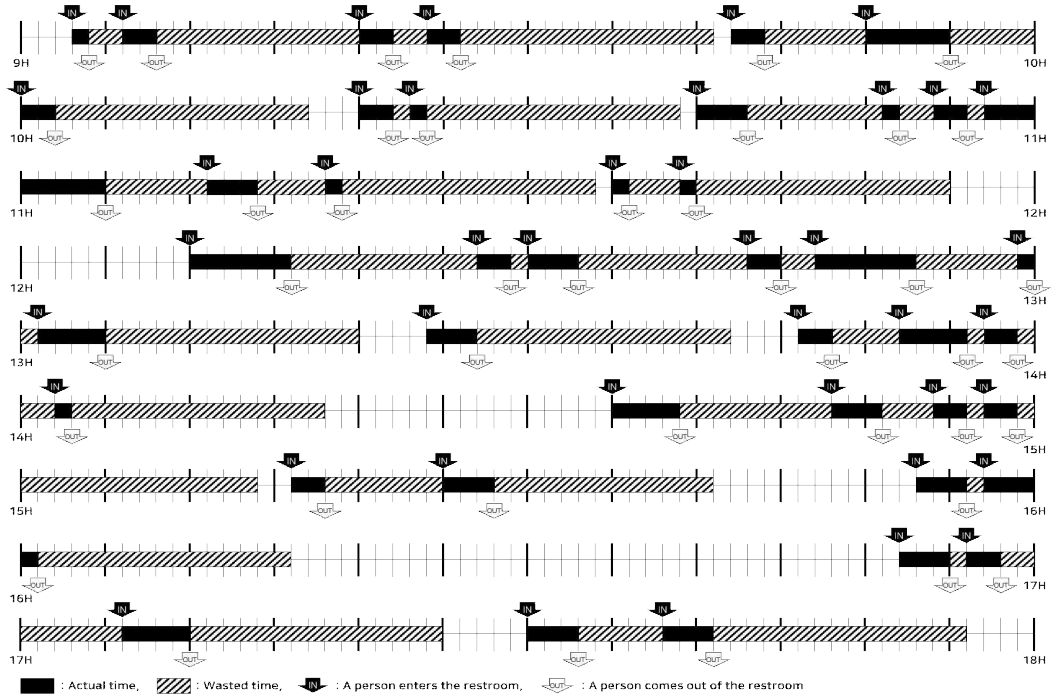
(A): Average usage time per one time

2. 시나리오

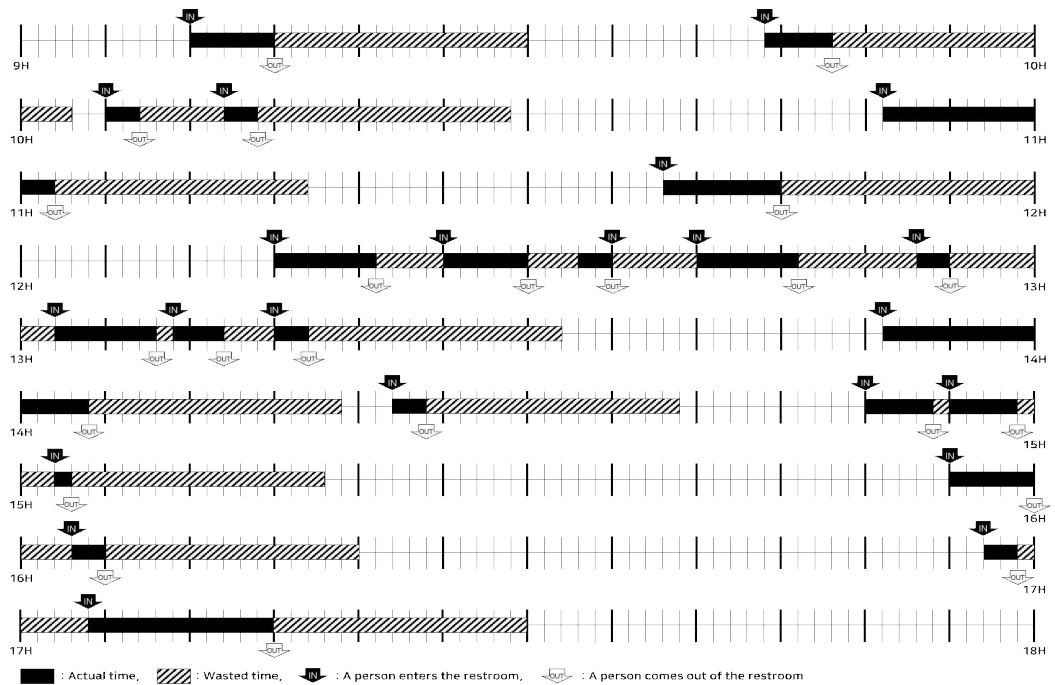
화장실 사용 현황을 근거로 환경적이고 경제적인 시스템 구축을 위한 3가지 시나리오를 <Table 4>와 같이 설정하였다. 이때 전구 및 센서의 종류와 개수, 점등 시간을 주요 인자로 고려하였다.

2.1 Standard

기존의 조명 시설은 삼과장 전구 7개가 초음파 센서로 작동되며, 동작 감지 후 15분간 점등된다.

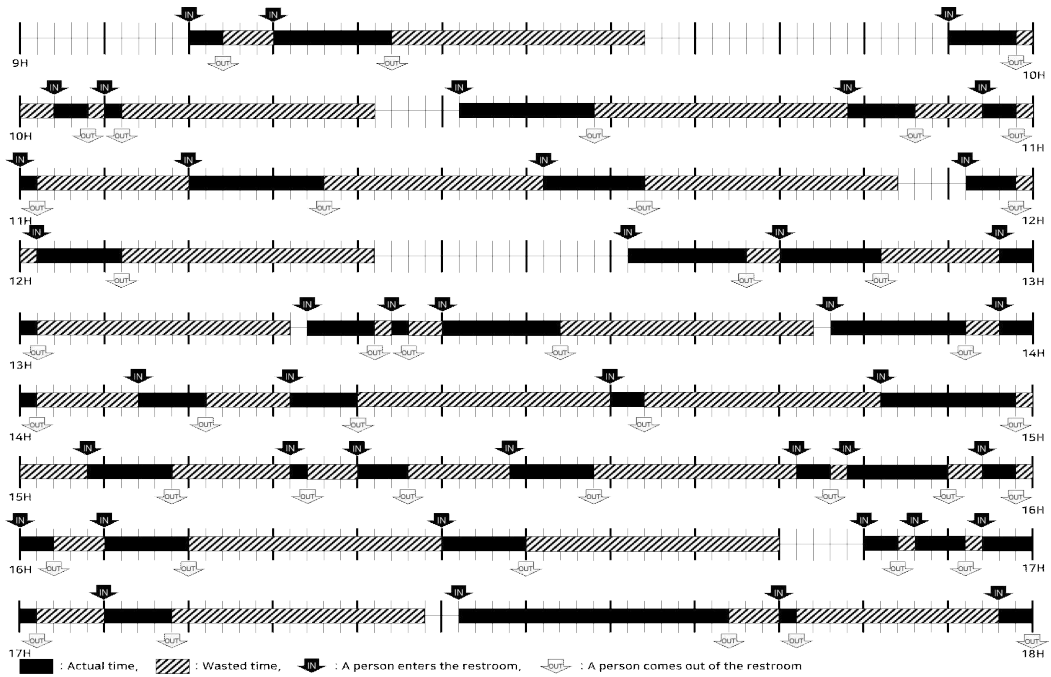


[Fig. 1] Restroom usage status on Monday

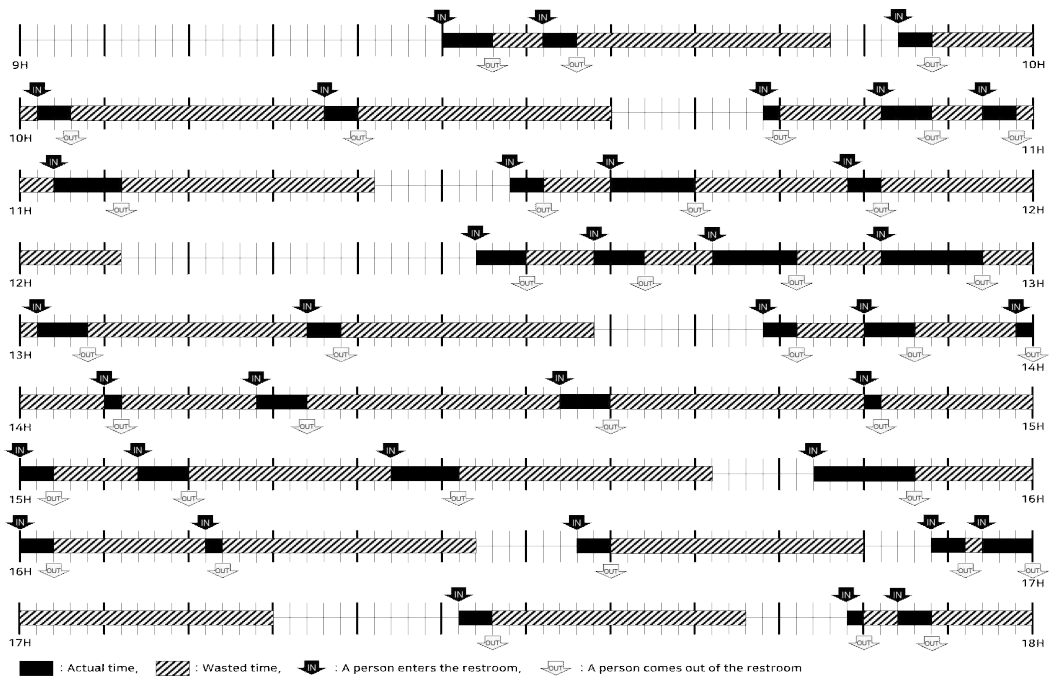


[Fig. 2] Restroom usage status on Tuesday

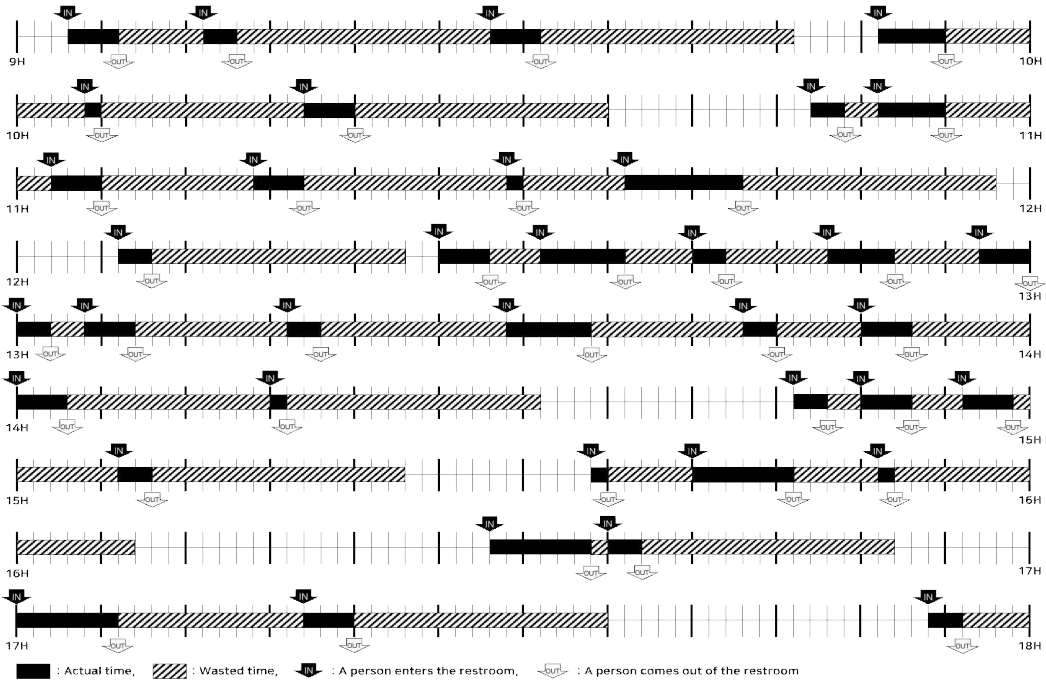
대학 내 화장실의 조명 시설에 대한 생태효율성 평가



[Fig. 3] Restroom usage status on Wednesday



[Fig. 4] Restroom usage status on Thursday



[Fig. 5] Restroom usage status on Friday

2.2 Scenario 1

시나리오 1에서는 기존 조명 시설에서의 전구를 LED 전구로 모두 교체하고, 점등 시간은 앞서 산출한 일평균 1회 사용시간으로 가정하였다.

2.3 Scenario 2

시나리오 2의 경우 삼파장 전구 1개는 초음파 센서로 작동하고, 다른 삼파장 전구 1개는 문고리 센서로 점등된다고 가정하였다.

2.4 Scenario 3

시나리오 3의 경우 시나리오 2에서 전구만 모두 LED 전구로 교체되어 작동된다고 가정하였다.

한편 시나리오 2와 시나리오 3에서는 효율적인 조명 시설의 사용을 위해 총 2개의 조명이 사용되는 것으로 가정하였는데, 하나는 사람이 실제 사용하는 화장실 내 부스 위, 다른 하나는 세면대 위에서 사용된다고 가정하였다. 또한 각 조명의 점등 시간은 전자의 경우 요일별 실제 사용시

간을, 후자의 경우 일평균 1회 사용시간을 적용하였다.

가. 전기에너지 사용량

<Table 1>과 <Table 3>을 근거로 현재 조명 장치와 앞서 설정한 3가지 시나리오에서 사용되는 전기에너지 사용량을 <Table 5>와 같이 산출하였다. 그 결과 기존 시설에서의 일평균 전기에너지 사용량이 1,271.57Wh로 가장 많았으며, 시나리오 3이 91.1Wh로 가장 적게 사용되는 것으로 나타났다.

나. 생태효율성

각각의 시나리오에 따른 일평균 전기에너지 사용량과 시나리오에서 사용한 전구들의 내용년수를 이용하여 생태효율성을 산출하고, 기존 조명 시설과 개선 정도를 비교하기 위하여 Factor 값을 산출하였다. 이를 자세히 나타내면 <Table 6>과 같다.

<Table 4> Lighting for each scenario

	Lamp		Sensor		Operation time (min)
	Three wavelength lamp	Light emitting diode lamp	Ultrasonic sensor	Doorknob sensor	
Standard	7	-	7	-	15
Scenario 1	-	7	7	-	3.44
Scenario 2	1	-	1	-	3.44
	1	-	-	1	(B)
Scenario 3	-	1	1	-	3.44
	-	1	-	1	(B)

(B): Actual time in <Table 3>

<Table 5> Electric power consumption (Wh)

	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday	Average
Standard	1,310.40	967.63	1,452.97	1,304.33	1,322.53	1,271.57
Scenario 1	403.24	321.85	517.51	392.60	420.11	411.06
Scenario 2	142.58	121.08	197.27	132.74	146.49	148.03
Scenario 3	87.74	74.51	121.40	81.69	90.15	91.10

<Table 6> Results of Eco-efficiency and Factor

	Eco-efficiency	Factor
Standard	14.156	-
Scenario 1	243.272	17.185
Scenario 2	121.595	8.590
Scenario 3	1097.737	77.547

그 결과, 3가지 시나리오들 중에서 시나리오 3에서 설정한 조명 시설의 생태효율성이 가장 컸으며, Factor 값도 기존 조명 시설과 비교하여 약 89배 개선되는 것으로 나타났다. 이는 소비 전력이 낮은 전구를 적절한 수량으로 사용함과 동시에 사용자의 실제 화장실 사용 시간을 고려한 센서 장치를 사용했기 때문으로 판단된다.

한편 시나리오 2의 결과를 살펴보면 시나리오 1보다 평균 전기에너지 소비량이 적었음에도 불구하고, 생태효율성은 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 LED 전구의 내용 년 수가 삼과장 전구보다 많기 때문이다. 따라서 환경적·경제적 측면의 지속가능한 방안을 모색하기 위해서는 전기 에너지의 소모 뿐만 아니라 제품의 내용연수도 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 연구에서는 에너지 다소비 기관 중 하나인 대학시설에 대하여 에너지 소비를 줄이고 지속가능한 발전 방안을 모색하고자 하였다.

이를 위해 A대학 공공화장실의 조명 시설을 대상으로 현황을 파악하고, 전구 및 센서의 종류와 개수, 점등 시간을 주요 요소로 하여 3가지 시나리오를 설정하였다. 그리고 각각의 시나리오에서의 전기 에너지 사용량과 사용한 전구의 내용연수를 고려하여 생태효율성을 평가하고 비교하였다.

그 결과, 실제 화장실 사용 횟수에 따른 가장 효율적인 센서 작동시간은 3.44분인 것으로 나타났다.

그리고 시나리오 설정에 따른 일평균 전기 에너지 소모량은 기존 조명 시설(1,271.57Wh), 시나리오 1(411.06Wh), 시나리오 2(148.03Wh), 시나리오 3(91.10Wh) 순으로 갈수록 적은 것으로 나타났다.

생태효율성은 기존 조명 시설(14.156), 시나리오 2(121.595), 시나리오 1(243.272), 시나리오

3(1097.737) 순으로 갈수록 큰 것으로 나타났다. 특히 시나리오 1은 시나리오 2보다 전기 에너지를 더 많이 사용하였으나, 내용연수가 긴 전구를 사용하여 생태효율성은 더 큰 것으로 나타났다.

그리고 기존 조명 시설을 기준으로 그 개선 정도를 비교한 Factor 결과 값은 시나리오 2가 8.590, 시나리오 1은 17.185, 시나리오 3은 77.547로 나타나 본 연구에서 설정한 시나리오 3의 조명 시스템이 환경적·경제적 측면에서 가장 효율적인 것으로 나타났다.

따라서 앞으로 에너지 소모를 줄이기 위한 다양한 방안 모색에 있어서 환경적 측면뿐만 아니라 경제적 측면도 함께 고려하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

References

- Choi YJ, Lee DS, Lee SM and Kim DG(2018). The Current Status of the Green Campus Promotion in Korea - Review on Systematical Assistance and Survey about Universities - . RESIDENTIAL ENVIRONMENT : JOURNAL OF THE RESIDENTIAL ENVIRONMENT INSTITUTE OF KOREA, 16(2), 107~127. <http://dx.doi.org/10.22313/reik.2018.16.2.107>.
- ESCAP(2009). Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment.
- IPCC(2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151pp.
- Japan Environmental Management Association for Industry(JEMAI) Environmental Management Promotion Department, Eco-efficiency Research Center(2004). Eco-efficiency and Factor Handbook for Products - Creation of Indicator for a "Sustainable Society" Toward greater value and reduced environmental load -.
- Jung HJ and Woo JB(2014). Research on Cases of University Campus GHG Reduction and Energy Management - Focused on Major Universities in Japan -. Korean Journal of Environmental Education, 27(3), 416~429.
- Kim TS, Kim DG and Chung YH(2015). Eco-Efficiency Assessment of the Recycling Process in Resources Recycling Center The. Korea Society for Fisheries and Marine Sciences Education, 27(6), 1812~1821.
- Kim KS, Shin MS and Koo JK(2010). A Study on Carbon Incentive System Based on Investigation of Energy Consumption in Korean Universities. Korean Journal of Environmental Education, 23(2), 65~81.
- Korea Energy Agency(2007). Data on 190 domestic energy consumption organizations in 2006.
- Korea Energy Agency(2017). 2016 Annual End-Use Energy Statistics.
- Korea Energy Economics Institute(2016). A Study on the Improvement of Energy Efficiency of University Campus Buildings.
- Lee KH, Kang TG and Park HC(2009). A Study on the characteristics of wireless communication channel considering the visible light wavelength band. The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, 26(5), 23~29.
- Ministry of Environment(2009). Study on the development guidelines of greenhouse gas inventories at university level (Phase 1).
- OECD(1998). Eco-Efficiency.
- Ministry of Trade, Industry & Energy(2018). 2017 Energy Consumption Survey.
- Roh JW(2013). A Basic Study on Energy Saving of University Library - About 'H' University Building located in Sejong City -. Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Aug. 2013, 13(4), 69~74. <https://doi.org/10.12813/kieae.2013.13.4.069>.

-
- Received : 10 January, 2019
 - Revised : 28 January, 2019
 - Accepted : 05 February, 2019