

전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템 제안 연구

A Study on the Suggestion of a Lighting Control System Applying General Illumination and Technology of User and Location Awareness

박주일(Juil Park), 이행우(Haengwoo Lee), 서장후(Janghoo Seo), 김용성(Yongseong Kim)[†]

국민대학교 테크노디자인전문대학원

The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul, 02707, Korea

(Received July 23, 2015; revision received August 31, 2015; Accepted: September 4, 2015)

Abstract Studies for the reduction of lighting energy have been done using technologies such as user and location awareness. However, the focus of current research on location-based lighting control has been on energy reduction, which can lead to other issues including an imbalance in indoor illumination. This study proposes a lighting control system applying general illumination and technology for user and location awareness. The proposed lighting control system reduced lighting energy by 72.1%, 66.5% and 62.3% for 1, 2 and 3 users, respectively, compared to the On/Off lighting control system. This lighting control system causes an increase in lighting energy of 35.8% and 10.9% for 1 and 2 users compared to the lighting control system with user and location awareness, while a reduction of 9.4% was seen for 3 users. This means that the proposed system provides more effective energy reduction for a room with multiple occupants as it is based on the general lighting control scheme. The lighting control system applying general illumination and technology of user and location awareness improved the uniformity factor by 32.0%, 39.4% and 33.4% for 1, 2 and 3 users, respectively.

Key words Lighting control(조명제어), User and location awareness(사용자 및 위치인식), General illumination(전반 조명), Performance evaluation(성능평가)

[†] Corresponding author, E-mail: yongkim@kookmin.ac.kr

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

EIA의 World Energy Outlook 2011 자료에 의하면 건물부분의 에너지 사용량은 전체 에너지 사용량의 34%로 높게 나타나고 있으며, 점차 증가하고 있는 추세로 문제시되고 있다. 특히, 건물부분에서의 조명 에너지 소비량은 약 20%로 높게 나타나고 있어서⁽¹⁾ 이를 해결하기 위한 연구와 기술의 수요는 증가되는 추세이다.

최근 진행된 에너지 저감을 위한 연구 및 기술은 IT 기술을 적용한 첨단 연구가 진행되고 있으며,⁽²⁾ 조명 제어 분야에서도 사용자 및 위치인식기술 등의 IT 기술을 적용한 에너지 저감에 관련한 연구가 진행된 바 있다. 그러나 기존 조명제어 관련 연구^(3,4)에 있어서 사용자 및 위치인식기술의 적용은 단순 채실자의 위치에 인접한 조명만을 제어함으로써 에너지 저감을 유도하고 있으며,

이러한 조명 제어는 조도 불균형 등의 실내 빛환경 관련 쾌적도 저하 뿐만 아니라 쾌적하지 못한 빛환경으로 인하여 제 2, 제 3의 에너지 소비를 야기할 수 있다.

이에 본 연구는 쾌적한 실내 빛환경 조성 및 에너지 저감을 유도하는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템을 제안하며, 테스트베드 기반 성능평가를 통하여 유효성 검증을 목적으로 한다.

1.2 연구의 절차 및 범위

본 연구는 Fig. 1에서 나타나듯이 다음의 절차에 의하여 진행되었다. 첫 번째, 문헌고찰 단계로서 조명제어 방법, 사용자 및 위치인식기술 및 조도기준에 대하여 고찰하였다. 두 번째, 문헌고찰의 내용을 기반으로 하여 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템을 제안하였다. 세 번째, 제안된 기술의 유효성을 검증하기 위하여 실스케일의 테스트베드를 통

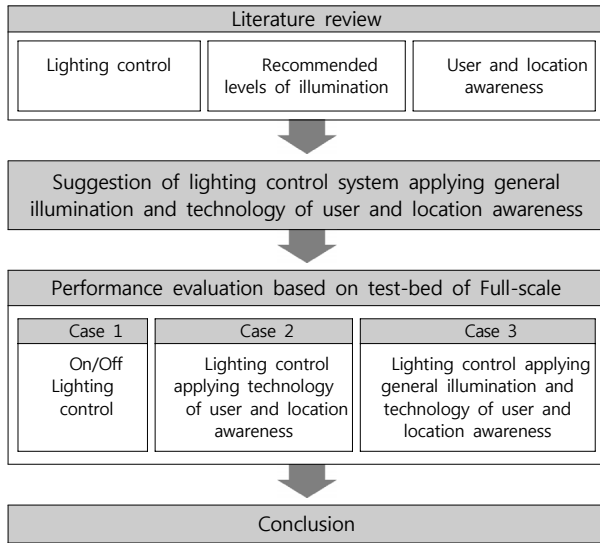


Fig. 1 Flowchart of study.

한 성능평가를 진행하였으며, On/Off 조명제어와 기존 연구에서 제안하는 사용자 및 위치인식기술 적용 조명 제어 방식에 따른 조명 에너지 저감 및 실내 빛환경 관련 쾌적성을 비교 분석하였다. 단, 본 연구는 에너지 소비량이 높게 나타나고 있는 하지로 국한하였으며,⁽⁵⁾ 실내 빛환경 관련 쾌적성은 균제도를 도출하여 성능평가를 진행하였다.

2. 조명제어 기술 제안을 위한 이론 고찰

2.1 조명제어 방식 및 조도기준 고찰

2.1.1 조명제어 방식

조명제어 방식은 Table 1에서 나타나듯이 On/Off 조명제어, 센서기반 조명제어, 디밍기반 조명제어 및 혼합형 조명제어로 구분된다.⁽⁶⁾ On/Off 조명제어는 적은 비용과 간편한 설치로 단순 스위치로 작동하는 방식이며, 센서기반 조명제어는 재실자의 움직임과 실내·외의 조도를 감지하여 자동제어가 가능한 방식이다. 디밍기반 조명제어는 단계별 조도를 제공하여 효율적인 에너지 절감이 가능한 방식이며, 본 연구에서 적용된 혼합형 조명제어는 센서기반 조명제어와 디밍기반 조명제어방식이 혼합된 제어방식이다.

2.1.2 조도기준 고찰

쾌적한 빛환경 조성을 위해서는 실내의 적정조도를 유지하여야 하며, 이에 국내의 경우에는 Table 2에서 나타나듯이 실내 적정조도 기준을 KS A 3011로 제시하고 있다. KS A 3011은 활동유형, 작업면 조명방법에 따라

Table 1 Classification and Characteristics of lighting control

Classification	Control format	Characteristics
On/Off Lighting control	Manual control	Lighting control with minimal cost, easy installation and simple switch operation
Sensor Lighting control	Automation control	Lighting control based on movement of user and indoor/outdoor information
Dimming Lighting control	Manual/Automation control	Lighting control enabling illumination control for effective management of lighting energy and energy reduction
Mixed Lighting control	Manual/Automation control	Lighting control with mixed schemes of sensors, dimming and etc.

Table 2 Standard illuminance of KS A 3011

Type of activity	Scope[lx]			Illumination method of work plane
	min.	ave.	max.	
Working environment with infrequent visual performances	60-100-150			General illumination
Visual Performance according to the degree of general-brightness	300-400-600			Illumination of work plane

서 조도범위를 설정하고 있다.

본 연구에서 제안하는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어는 시작업무 빈번하지 않은 작업장의 표준조도인 100 lx를 전반조명 제어를 위한 기준으로 설정하였으며, 사용자인식에 따른 조명제어 기준은 일반회도 대비 혹은 작은 물체 대상의 시작업무 수행의 내용에 근거하여 사용자별 요구조도를 300 lx, 400 lx, 500 lx로 설정하였다. 또한 On/Off 조명제어방식의 조명제어를 위한 조도기준은 표준조도인 400 lx로 설정하였다.

2.2 사용자 및 위치 인식기술 고찰

사용자 인식기술이란 사용자의 이름, 나이, 성별 및 요구사항 등의 각종 정보를 인식하는 기술이며, 위치인식 기술이란 사용자의 위치정보를 수집하는 기술로 정

의된다.⁽³⁾ 사용자 및 위치인식 기술은 사용자 중심으로 요구되는 서비스를 제공할 수 있어서 다양한 분야에서 적용되고 있다.

본 연구는 사용자 및 위치인식기술을 구현하기 위한 다양한 방법 중 Table 3에서 나타나듯이 통신방법에 의한 기술로 국한하였으며, 특히 실내공간에 적용 범위 및 경제성을 고려 시 Zigbee 방식이 적합한 것으로 판단된다.

2.3 사용자 및 위치인식 기술 적용 조명제어 관련 연구 고찰

사용자 및 위치인식 기술 적용 조명제어 및 성능평가에 관련한 연구는 Table 4에서 나타나듯이 부족한 실정이며, 단순 에너지 저감의 측면에 국한하여 진행되어 실내의 빛환경 개선에 대한 고려는 미흡하다.

2012년 정희덕 외 2명에 의하여 진행된 ‘사용자인식 및 위치인식 기술적용 Green Home IT기초연구’⁽³⁾는 재실자의 사용자 및 위치인식을 기반으로 조명제어를 실시하고 있으나, 단순 On/Off 조명제어 방식으로 실내 공간의 전반조명을 고려하지 않고 있다. 또한 2015년 최기현 외 3명에 의하여 진행된 ‘에너지 저감을 위한 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템 연구’⁽⁴⁾는 디밍조명을 적용하여 에너지 저감 측면에서 효율적인 제어가 이루어지고 있으나 전반조명에 대한 고려는 부재하다. 이는 앞서서 언급하였듯이 에너지저감을 중심으로 이루어진 연구의 결과로 판단되며, 실내 쾌적성의 유지는 에너지 저감과 직결되는 중요한 요인⁽⁷⁾으로 반드시 고려되어야 한다.

3. 전반조명 기반 사용자 및 위치인식 기술적용 조명제어 시스템 제안

3.1 조명에너지 저감 및 실내 빛환경 개선 방안

전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 Fig. 2에서 나타나듯이 재실자의 정보 수집, 실내 조도정보 수집, 조명제어로 구분되며, 주요 내용은 다음과 같다. 첫 번째, 본 연구에서 제안하는 시스템은 재실자가 입실시 Zigbee 방식의 태그를 통한 사용자 및 위치정보를 수집한다. 두 번째, 실내조도 정보를 수집하여 기 입력된 각 사용자별 선호조도를 기반으로 조명제어가 실시된다. 세 번째, 조명제어는 2단계로 진행되며, 재실자가 입실하여 실내 전반의 시각적 정보를 획득함에 있어서 불편하지 않도록 전반조명제어가 1차적으로 실시되며, 이후 재실자의 사용자 및 위치정보에 따라서 2차 조명제어가 실시된다. 이는 1차 전반 조명제어에 의한 실내 전반의 빛환경 관련 쾌적성 개선과 2차 사용자 및 위치인식 기술 적용 조명제어에 의한 불필요한 조명에너지 손실을 최소화함으로써 조명에너지 저감 및 실내 빛환경 개선이 가능하다.

3.2 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템 알고리즘 제안

본 연구가 제안하는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 Fig. 3에서 나타나듯이 재실자가 입실시 전반조명 제어 단계, 사용자 및 위치 정보 수집 단계, 사용자 및 위치 정보기반 조명제어

Table 3 User and location awareness technology based on communication method

Division	Method of communication	Coverage	Characteristics
Active Badge	infrared transmission	5 m	High potential of conflict as number of users increases
Active Bat	ultrasonic waves	9 cm	Significant signal interference due to inferior conditions, high system cost
RFID	UHF	0~10 m	Possibility of error is low, but communication distance is short
Zigbee	IEEE 802.15.4	2~10 m	Low installation cost, but interferences occur from obstacles such as walls

Table 4 Research on lighting control system applied with User and Location awareness

Title of study	Information of occupants		Lighting control		General illumination
	User awareness	Location awareness	On/Off	Dimming	
A Basic Study on Applicaton of User and Location Awareness for the Green Home IT	O	O	O	X	X
A Study on the Use and Location Awareness Technology Applied Dimming Lightin Control System to Save Energy	O	O	X	O	X

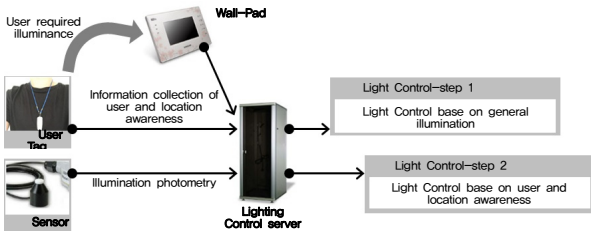


Fig. 2 Lighting control system applying general illumination and technology of user and location awareness.

단계 순에 의거하여 진행된다. 또한, 사용자의 위치인식은 실내 크기에 따라서 특정 개수의 zone으로 분할하여 재실자가 위치한 zone을 인식하도록 하였으며, 각 zone과 연동된 조명을 대상으로 제어가 이루어진다. 각 단계별 내용은 다음과 같다.

첫 번째, 전반조명 제어는 조명제어 서버가 재실자의 입실을 감지 시 이루어지며, 각 zone에 대하여 시작업이 빈번하지 않은 작업장의 표준조도인 100 lx를 만족여부를 판단하기 위하여 순차적으로 확인한다. 또한 각 zone의 측정조도가 100 lx를 만족하지 못한 경우에는 디밍 조명제어를 1단계씩 증가시켜가며 100 lx를 만족하도록 시스템을 제안하였다. 두 번째, 사용자 및 위치인식 정보 수집단계는 전반조명제어 이후 실시되며, 조명제어 서버는 재실자가 위치한 zone 및 사용자 정보를 수집하는 단계이다. 세 번째, 사용자 및 위치 정보 기반 조명제어 단계로 사용자 및 위치정보를 기반으로 측정조도에 따라서 조명디밍 단계를 제어하도록 하였다. 또한 재실자가 위치한 zone의 측정 조도가 600 lx 이상인 경우에는 조명의 디밍레벨을 순차적으로 감

소시켜 외부조도 및 실내의 환경 변화에 실시간으로 대응할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안하는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 재실자의 정보가 변경될 경우와 1분을 단위로 반복하도록 하였으며, 2명 이상의 사용자 정보가 수집될 경우 높은 조도를 요구하는 사용자 우선으로 제어가 이루어지도록 하였다.

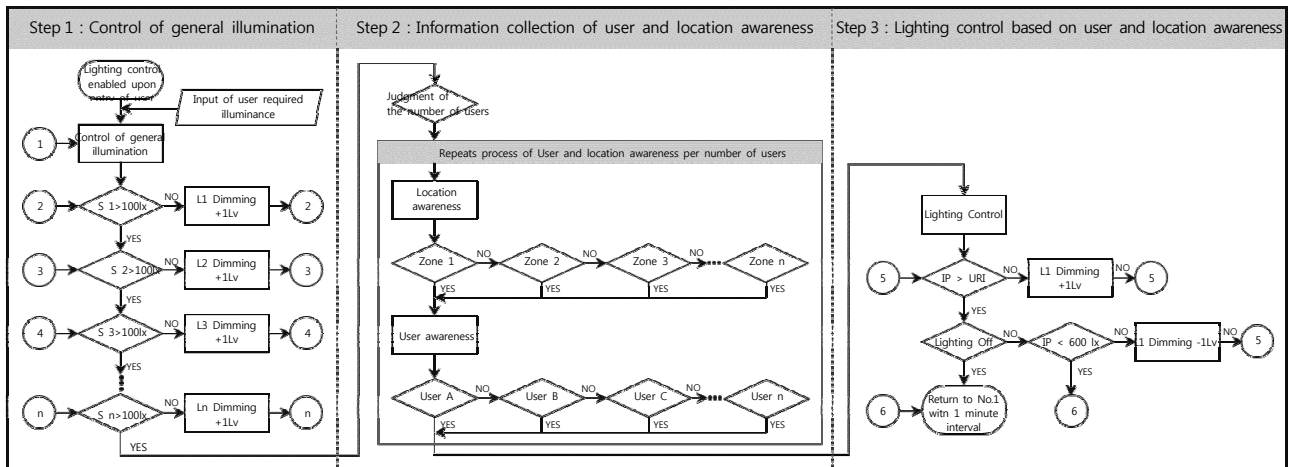
4. 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템 성능 평가

4.1 성능평가를 위한 환경설정

4.1.1 성능평가 테스트베드 구축 및 환경 설정

본 연구의 성능평가를 위하여 구축된 테스트베드의 개요는 Table 5와 같으며, 사용자 및 위치인식 구현을 위해 S사 협의를 통하여 Zigbee 방식의 태그와 사용자 및 인식 정보를 수집하는 1개의 Master와 6개의 Dectector를 구축하였다. 또한 실제 환경과 유사한 상황을 조성하기 위하여 베네시안 블라인드를 설치하였으며, 베네시안 블라인드 각도는 관련 연구⁽⁸⁾를 근거하여 0°로 고정하여 진행하였다. 외부 빛환경 조성을 위하여 인공태양광 조사장치를 설치하였으며, 인공태양광 조사장치는 높이, 각도, 광량의 조절을 통하여 하지시의 외부 빛환경을 조성하였다. 또한, 디밍조명의 발기단계는 1단계부터 8단계의 조도로 설정하였으며 각 단계의 조명사용량은 Table 6과 같다.

본 연구의 테스트베드는 위치인식을 위하여 Fig. 4에서 나타나듯이 4개의 zone으로 분할하였다. 분할된 각 zone은 8단계 디밍 제어가 가능한 조명과 조도센서



S : Sensor / L : Lighting / URI : User required illuminance / IP : Illumination photometry

Fig. 3 Flow chart : Lighting control applying general illumination and technology of user and location awareness.

Table 5 Overview of test-bed

Category	Key Attributes
Space	4.9 m(W)×6.6 m(D)×2.5 m(H) Wall : Reflectance of 46%/ Ceiling : Reflectance of 86%
Season	Summer Solstice
Window	Size : 2.2 m(W)×6.6 m(H) Material : Pair glass, Installation of 0° fixed venetian blind
Lighting	LED type 4 EA Dimming control Lv 1~8



Table 6 Electricity consumption to the illumination dimming level

Dimming Level	Electricity consumption(kWh)	Dimming Level	Electricity consumption(kWh)
Lv 1	0.012	Lv 5	0.034
Lv 2	0.018	Lv 6	0.039
Lv 3	0.022	Lv 7	0.043
Lv 4	0.028	Lv 8	0.051

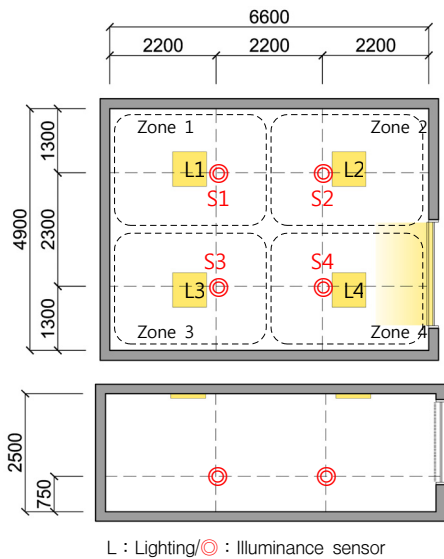


Fig. 4 Plane and section of Test-bed, location of Illuminance sensor.

를 설치하였으며, 조명의 설치 위치는 IES 4점범⁽⁹⁾에 의거한다. 또한, 조도센서의 위치는 관련 연구⁽¹⁰⁾를 근거로 채광창으로부터 2.2 m 간격으로 설치하였으며, 높이는 작업면을 고려하여 바닥으로부터 750 mm 높이에 위치시켰다.

4.1.2 성능평가 방법

본 연구는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템의 유효성을 검증하기 위하여 Table 7에서 나타나듯이 On/Off 조명제어 방식 및 기존 연구⁽⁴⁾에서 제시하는 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 방식에 대하여 조명에너지 사용량 및 실내 균제도를 도출하여 성능평가를 진행하였다.

본 연구는 앞서서 언급하였듯이 하지로 국한하여 성능평가를 진행하였으며, 주간 및 야간 시간대로 구분하여 각각 10 : 00~15 : 00, 20 : 00~22 : 00의 시간대로 국한하였다. 시간대별 외부조도는 관련 연구^(2, 4, 11)를 근거하여 Table 8과 같이 설정하였다.

본 연구의 사용자 설정은 사용자 A, B, C로 구분하여 진행하였으며, 각 사용자의 요구조도는 앞서서 고찰한 KS A 3011을 근거하여 각각 500 lx, 400 lx, 300 lx로 설정하였다. 또한, 성능평가는 사용자 1인, 2인, 3인의 경우로 구분하여 진행하였다.

Table 7 Case settings for performance evaluation

Lighting control types	On/Off	Dimming	User and location awareness	General illumination
On/Off lighting control	○	×	×	×
Lighting control applying technology of user and location awareness	×	○	○	×
Lighting control applying general illumination and technology of user and location awareness	×	○	○	○

Table 8 Setting of external illumination during summer Solstice

Time	Daytime			Nighttime
	10 : 00 ~12 : 00	12 : 00 ~14 : 00	14 : 00 ~15 : 00	20 : 00 ~22 : 00
External illuminance	70,000 lx	80,000 lx	70,000 lx	0 lx

Table 9 Performance evaluation result of 1 user

Time	E.I [lx]	User and Location awareness(zone)				On/Off lighting control					Lighting control applying technology of user and location awareness				Lighting control applying general illumination and technology of user and location awareness							
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control				C.E [kWh]	Illumination /Lighting control		C.E [kWh]	U.R	Illumination/Lighting control		C.E [kWh]	U.R				
Daytime																						
10 : 00	70,000	A	X	X	X	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	556.1 /Lv8	124.4 /Off	201.8 /Off	170.8 /Off	0.017	0.473	504.9 /Lv6	382.9 /Lv1	282.6 /Lv1	447.8 /Off	0.021	0.699
10 : 20		X	A	X	X	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	41.8 /Off	515.6 /Lv6	29.4 /Off	194.1 /Off	0.013	0.151	182.6 /Lv1	558.8 /Lv4	161.1 /Lv1	462.3 /Off	0.017	0.472
10 : 40		X	X	X	A	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	44.5 /Off	226.5 /Off	67.3 /Off	659.9 /Lv5	0.011	0.178	189.0 /Lv1	436.5 /Lv1	182.9 /Lv1	673.1 /Lv1	0.016	0.494
11 : 00	80,000	X	B	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	34.5 /Off	420.7 /Lv4	27.8 /Off	203.0 /Off	0.009	0.162	179.8 /Lv1	437.0 /Lv2	169.1 /Lv1	503.7 /Off	0.014	0.525
11 : 20		X	X	B	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	115.4 /Off	102. /Off	409.6 /Lv6	179.1 /Off	0.013	0.506	239.8 /Lv1	391.3 /Lv1	414.1 /Lv5	502.6 /Off	0.019	0.620
11 : 40		B	X	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	450.7 /Lv6	123.3 /Off	164.8 /Off	173.7 /Off	0.013	0.540	458.8 /Lv5	406.4 /Lv1	270.2 /Lv1	502.0 /Off	0.019	0.660
12 : 00	80,000	X	X	C	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	103.1 /Off	100.8 /Off	346.6 /Lv5	169.6 /Off	0.011	0.560	219.3 /Lv1	385.1 /Lv1	355.2 /Lv4	495.1 /Off	0.017	0.603
12 : 20		X	X	X	C	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	24.1 /Off	121.0 /Off	28.8 /Off	338.5 /Lv2	0.006	0.188	219.3 /Lv1	385.1 /Lv1	355.2 /Lv1	495.1 /Off	0.012	0.603
12 : 40		C	X	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	334.6 /Lv4	109.2 /Off	121.9 /Off	163.0 /Off	0.009	0.599	343.6 /Lv3	397.0 /Lv1	232.7 /Lv1	494.4 /Off	0.015	0.634
13 : 00	80,000	X	A	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	334.6 /Off	109.2 /Lv4	121.9 /Off	163.0 /Off	0.009	0.599	185.3 /Lv1	527.4 /Lv3	169.6 /Lv1	510.7 /Off	0.015	0.487
13 : 20		X	X	A	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	115.4 /Off	102.8 /Off	409.6 /Lv6	179.1 /Off	0.013	0.510	274.5 /Lv1	395.3 /Lv1	522.1 /Lv7	521.1 /Off	0.022	0.641
13 : 40		A	X	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	558.6 /Lv8	134.8 /Off	204.8 /Off	190.5 /Off	0.017	0.495	512.4 /Lv6	414.1 /Lv1	291.6 /Lv1	506.9 /Off	0.021	0.676
14 : 00	70,000	B	X	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	450.7 /Lv6	123.3 /Off	164.8 /Off	173.7 /Off	0.013	0.540	458.8 /Lv5	406.4 /Lv1	270.2 /Lv1	502.0 /Off	0.019	0.660
14 : 20		X	X	B	X	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	112.9 /Off	92.4 /Off	406.6 /Lv6	159.4 /Off	0.013	0.479	232.3 /Lv1	360.1 /Lv1	405.1 /Lv5	443.5 /Off	0.019	0.645
14 : 40		X	X	X	B	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	24.0 /Off	163.4 /Off	34. /Off	438.4 /Lv4	0.009	0.145	169.5 /Lv1	344.1 /Lv1	159.3 /Lv1	433.2 /Off	0.012	0.576
Nighttime																						
20 : 00	0	C	X	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	314.6 /Lv4	26.7 /Off	9.2 /Off	5.3 /Off	0.009	0.060	338.3 /Lv3	172.8 /Lv1	180.5 /Lv1	125.0 /Lv1	0.019	0.612
20 : 20		X	C	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	14.5 /Off	338.2 /Lv4	4.1 /Off	45.3 /Off	0.009	0.041	227.4 /Lv1	310.6 /Lv3	142.5 /Lv1	141.2 /Lv1	0.019	0.687
20 : 40		X	X	C	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	83.1 /Off	18.3 /Off	322.9 /Lv5	11.9 /Off	0.011	0.109	261.4 /Lv1	168.3 /Lv3	328.1 /Lv1	125.6 /Lv1	0.019	0.569
21 : 00		X	X	X	A	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	27.0 /Off	154.4 /Off	46.6 /Off	521.9 /Lv8	0.017	0.144	244.1 /Lv1	292.6 /Lv1	184.9 /Lv1	542.8 /Lv8	0.029	0.585
21 : 20		A	X	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	538.6 /Lv8	52.3 /Off	181.1 /Off	32.8 /Off	0.017	0.260	562.3 /Lv8	198.4 /Lv1	263.4 /Lv1	152.5 /Lv1	0.029	0.518
21 : 40		X	A	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	31.1 /Off	570.3 /Lv8	17.8 /Off	82.1 /Off	0.017	0.102	248.5 /Lv1	532.2 /Lv7	148.6 /Lv1	181.1 /Lv1	0.026	0.535
						Total consumption of electric power = 1.428					Total consumption of electric power = 0.256 Average uniformity ratio of illumination = 0.326					Total consumption of electric power = 0.399 Average uniformity ratio of illumination = 0.595						

Note) E.I = External illuminance/U.R = Uniformity ratio of illumination/C.E = Consumption of electric power.

Table 10 Performance evaluation result of 2 user

Time	E.I [lx]	User and Location awareness (zone)				On/Off lighting control					Lighting control applying technology of user and location awareness				Lighting control applying general illumination and technology of user and location awareness							
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control				C.E [kWh]	Illumination/Lighting control		C.E [kWh]	U.R	Illumination/Lighting control		C.E [kWh]	U.R				
Daytime																						
10 : 00	70,000	AB	X	X	X	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	556.1 /Lv8	124.4 /Off	201.8 /Off	170.8 /Off	0.017	0.473	504.9 /Lv6	382.9 /Lv1	282.6 /Lv1	447.8 /Off	0.021	0.699
10 : 20		X	A	X	B	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	65.8 /Off	679.0 /Lv6	64.2 /Off	632.5 /Lv4	0.022	0.178	182.6 /Lv1	558.8 /Lv4	161.1 /Lv1	462.3 /Off	0.017	0.472
10 : 40		X	X	B	A	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	141.2 /Off	280.1 /Off	445.4 /Lv6	660.0 /Lv5	0.024	0.370	251.8 /Lv1	452.5 /Lv1	428.7 /Lv5	683.4 /Lv1	0.023	0.555
11 : 00	80,000	X	B	A	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	189.6 /Off	533.6 /Lv4	563.4 /Lv8	399.2 /Off	0.026	0.450	274.5 /Lv1	395.3 /Lv1	522.1 /Lv7	521.1 /Off	0.022	0.641
11 : 20		X	X	AB	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	155.1 /Off	112.9 /Off	535.6 /Lv8	196.2 /Off	0.017	0.452	274.5 /Lv1	395.3 /Lv1	522.1 /Lv7	521.1 /Off	0.022	0.641
11 : 40		B	X	X	A	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	481.5 /Lv4	321.4 /Off	206.6 /Off	694.0 /Lv5	0.021	0.485	418.3 /Lv4	502.8 /Lv1	275.3 /Lv1	755.8 /Lv1	0.021	0.564
12 : 00	80,000	X	X	C	A	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	133.9 /Off	298.9 /Off	388.4 /Lv5	689.9 /Lv5	0.022	0.354	220.5 /Lv1	483.9 /Lv1	321.2 /Lv3	753.3 /Lv1	0.019	0.496
12 : 20		X	X	X	AC	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	30.8 /Off	198.1 /Off	41.8 /Off	520.3 /Lv5	0.011	0.156	199.0 /Lv1	478.1 /Lv1	194.9 /Lv1	751.9 /Lv1	0.016	0.480
12 : 40		C	A	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	378.9 /Lv4	635.2 /Lv6	154.3 /Off	376.8 /Off	0.022	0.399	351.9 /Lv3	549.1 /Lv3	234.0 /Lv1	512.8 /Off	0.018	0.568
13 : 00	80,000	X	C	B	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	145.1 /Off	460.9 /Lv3	436.9 /Lv6	371.4 /Off	0.020	0.410	239.8 /Lv1	391.3 /Lv1	414.1 /Lv5	502.6 /Off	0.019	0.620
13 : 20		BC	X	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	450.7 /Lv6	123.3 /Off	164.8 /Off	173.7 /Off	0.013	0.540	458.8 /Lv5	406.4 /Lv1	270.2 /Lv1	502.0 /Off	0.019	0.660
13 : 40		X	X	X	BC	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	25.2 /Off	152.6 /Off	30.5 /Off	409.8 /Lv3	0.007	0.163	177.0 /Lv1	375.3 /Lv1	168.3 /Lv1	492.3 /Off	0.012	0.555
14 : 00	70,000	B	X	C	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	553.8 /Lv6	224.1 /Off	511.4 /Lv5	434.3 /Off	0.024	0.520	474.5 /Lv5	406.0 /Lv1	338.0 /Lv2	501.9 /Off	0.021	0.786
14 : 20		X	X	A	B	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	174.2 /Off	213.1 /Off	558.4 /Lv8	495.3 /Lv2	0.023	0.484	267.0 /Lv1	364.1 /Lv1	513.1 /Lv7	462.0 /Off	0.022	0.665
14 : 40		A	X	X	B	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	577.7 /Lv8	235.0 /Lv2	227.6 /Off	489.6 /Off	0.023	0.595	504.9 /Lv5	382.9 /Lv1	282.6 /Lv1	447.8 /Off	0.019	0.699
Nighttime																						
20 : 00	0	C	A	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	353.7 /Lv4	597.0 /Lv8	116.0 /Off	87.4 /Off	0.026	0.303	315.0 /Lv3	543.5 /Lv7	171.9 /Lv1	181.5 /Lv1	0.029	0.567
20 : 20		X	AC	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	39.1 /Off	570.3 /Lv8	17.8 /Off	82.1 /Off	0.017	0.100	248.5 /Lv2	532.2 /Lv7	148.6 /Lv1	181.1 /Lv1	0.028	0.535
20 : 40		X	X	C	A	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	110.1 /Off	172.7 /Off	369.5 /Lv5	533.8 /Lv8	0.028	0.371	265.6 /Lv2	298.4 /Lv1	311.2 /Lv3	544.2 /Lv8	0.034	0.748
21 : 00		X	B	X	A	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	51.3 /Off	597.9 /Lv6	55.3 /Off	578.0 /Lv8	0.030	0.160	252.4 /Lv2	444.7 /Lv3	186.2 /Lv1	561.2 /Lv8	0.034	0.516
21 : 20		AB	X	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	538.6 /Lv8	52.3 /Off	181.1 /Off	32.8 /Off	0.017	0.260	562.3 /Lv8	198.4 /Lv1	263.4 /Lv1	152.5 /Lv1	0.029	0.518
21 : 40		X	A	B	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	110.1 /Lv8	172.7 /Off	369.5 /Off	533.8 /Off	0.017	0.371	290.8 /Lv2	542.0 /Lv7	335.5 /Lv4	183.9 /Lv1	0.033	0.544
											Total consumption of electric power = 0.426				Total consumption of electric power = 0.487							
											Average uniformity ratio of illumination = 0.362				Average uniformity ratio of illumination = 0.597							

Note) E.I = External illuminance /U.R = Uniformity ratio of illumination /C.E = Consumption of electric power.

Table 11 Performance evaluation result of 3 user

Time	E.I [lx]	User and Location awareness (zone)				On/Off lighting control					Lighting control applying technology of user and location awareness				Lighting control applying general illumination and technology of user and location awareness											
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control				C.E [kWh]	Illumination/Lighting control				C.E [kWh]	U.R	Illumination/Lighting control				C.E [kWh]	U.R				
Daytime																										
10 : 00		AB	X	X	C	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	577.7 /Lv8	235.0 /Off	227.6 /Off	489.6 /Lv3	0.024	0.595	504.9 /Lv5	382.9 /Lv1	282.6 /Lv1	447.8 /Off	0.019	0.699				
10 : 20	70,000	X	A	C	B	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	680.7 /Lv8	378.2 /Off	580.2 /Lv5	759.1 /Lv4	0.037	0.631	224.9 /Lv1	568.6 /Lv4	348.0 /Lv4	465.1 /Off	0.022	0.560				
10 : 40		X	X	BC	A	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	141.2 /Off	280.1 /Off	445.4 /Lv6	660.0 /Lv5	0.024	0.370	231.3 /Lv1	446.3 /Lv1	369.8 /Lv4	675.9 /Lv1	0.021	0.537				
11 : 00		X	B	AC	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	189.6 /Off	533.6 /Lv4	563.4 /Lv8	399.2 /Off	0.026	0.450	277.3 /Lv1	457.0 /Lv2	522.9 /Lv7	532.5 /Off	0.024	0.620				
11 : 20		X	X	AB	C	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	179.2 /Off	233.9 /Off	564.4 /Lv8	534.7 /Lv2	0.023	0.474	274.5 /Lv1	395.3 /Lv1	522.1 /Lv7	521.1 /Off	0.022	0.641				
11 : 40		B	C	X	A	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	511.2 /Lv6	679.5 /Lv3	233.9 /Off	86.3 /Lv5	0.031	0.228	418.3 /Lv4	502.8 /Lv1	275.3 /Lv1	755.8 /Lv1	0.021	0.564				
12 : 00		X	X	BC	A	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	146.2 /Off	300.9 /Off	451.4 /Lv6	699.4 /Lv5	0.024	0.366	261.8 /Lv1	494.1 /Lv1	440.7 /Lv5	762.2 /Lv1	0.023	0.535				
12 : 20	80,000	AC	X	B	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	67.0 /Lv8	237.6 /Off	614.4 /Lv6	369.6 /Off	0.030	0.208	533.9 /Lv6	419.9 /Lv1	417.9 /Lv3	508.3 /Off	0.024	0.889				
12 : 40		BC	A	X	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	495.0 /Lv6	649.3 /Lv6	197.2 /Off	387.5 /Off	0.026	0.456	404.6 /Lv4	552.1 /Lv3	250.0 /Lv1	514.6 /Off	0.020	0.581				
13 : 00		X	AC	B	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	159.7 /Off	628.8 /Lv6	442.0 /Lv6	392.9 /Off	0.026	0.393	248.1 /Lv1	543.4 /Lv3	415.4 /Lv5	521.0 /Off	0.022	0.574				
13 : 20		BC	X	A	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	605.8 /Lv6	236.2 /Off	700.4 /Lv8	369.9 /Off	0.030	0.494	441.1 /Lv3	417.0 /Lv1	586.5 /Lv7	523.2 /Off	0.025	0.848				
13 : 40		X	X	A	BC	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	180.3 /Off	265.5 /Off	566.1 /Lv8	606.0 /Lv3	0.024	0.446	274.5 /Lv1	395.3 /Lv1	522.1 /Lv7	521.1 /Off	0.022	0.641				
14 : 00		B	A	C	X	819.8 /On	1137.4 /On	852.2 /On	1306.1 /On	0.068	598.1 /Lv6	750.1 /Lv6	543.8 /Lv5	557.1 /Off	0.037	0.888	420.3 /Lv4	551.7 /Lv3	317.8 /Lv2	514.5 /Off	0.022	0.705				
14 : 20	70,000	X	C	AB	X	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	179.8 /Off	450.2 /Lv3	556.9 /Lv8	349.1 /Off	0.024	0.468	367.1 /Lv2	374.5 /Lv1	554.2 /Lv8	463.7 /Off	0.027	0.835				
14 : 40		C	X	X	AB	809.8 /On	1095.8 /On	840.2 /On	1227.3 /On	0.068	360.4 /Lv4	286.5 /Off	157.7 /Off	643.9 /Lv8	0.026	0.435	355.6 /Lv3	458.2 /Lv1	247.3 /Lv1	675.2 /Lv1	0.019	0.570				
Nighttime																										
20 : 00		C	AB	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	353.7 /Lv4	597.0 /Lv8	116.0 /Off	87.4 /Off	0.026	0.303	315.0 /Lv3	543.5 /Lv7	171.9 /Lv1	181.5 /Lv1	0.029	0.567				
20 : 20		B	AC	X	X	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	469.8 /Lv6	611.1 /Lv8	158.9 /Off	98.1 /Off	0.030	0.293	430.2 /Lv5	552.9 /Lv7	209.4 /Lv1	189.1 /Lv1	0.033	0.547				
20 : 40	0	X	X	BC	A	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	144.8 /Off	176.7 /Off	477.5 /Lv7	552.3 /Lv8	0.031	0.429	365.6 /Lv2	499.8 /Lv1	259.3 /Lv5	754.0 /Lv8	0.038	0.552				
21 : 00		X	BC	X	A	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	51.3 /Off	597.9 /Lv6	55.3 /Off	578.0 /Lv8	0.030	0.160	252.4 /Lv2	444.7 /Lv3	186.2 /Lv1	561.2 /Lv8	0.034	0.516				
21 : 20		AB	X	X	C	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	545.1 /Lv8	143.6 /Off	195.2 /Off	333.2 /Lv4	0.026	0.472	565.5 /Lv8	248.2 /Lv1	267.3 /Lv1	302.7 /Lv3	0.032	0.717				
21 : 40		X	A	B	C	739.8 /On	807.4 /On	757.4 /On	675.3 /On	0.068	163.4 /Lv8	683.9 /Lv7	462.8 /Lv7	412.9 /Lv4	0.040	0.379	326.8 /Lv2	600.0 /Lv7	461.3 /Lv6	351.1 /Lv3	0.040	0.752				
											Total consumption of electric power = 1.428					Total consumption of electric power = 0.595 Average uniformity ratio of illumination = 0.426						Total consumption of electric power = 0.539 Average uniformity ratio of illumination = 0.640				

Note) E.I = External illuminance /U.R = Uniformity ratio of illumination /C.E = Consumption of electric power.

4.2 성능평가 결과 및 논의

전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명 제어 시스템의 성능평가 결과는 사용자 1인, 사용자 2인, 사용자 3인의 기준에 대하여 각각 Table 9~Table 11과 같으며, 성능평가 결과에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

첫 번째, Fig. 5에서 나타나듯이 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 On/Off 조명 제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 사용자 2인, 사용자 3인의 경우에 따라서 각각 72.1%, 66.5%, 62.3%의 조명에너지 저감이 가능하다. 반면, 전반조명 기반 사용자

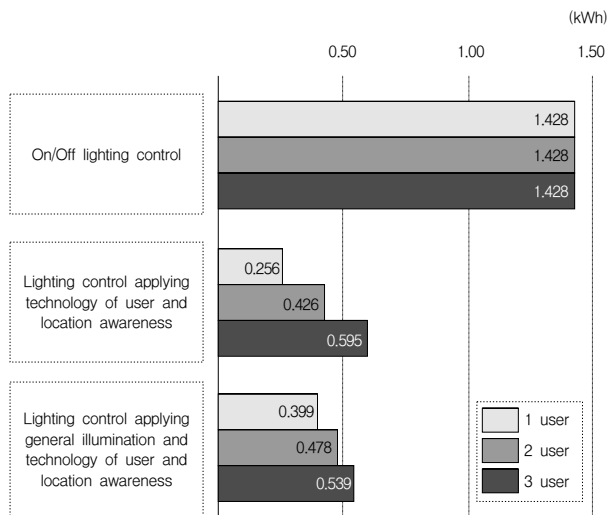


Fig. 5 Energy consumption according to the lighting control method.

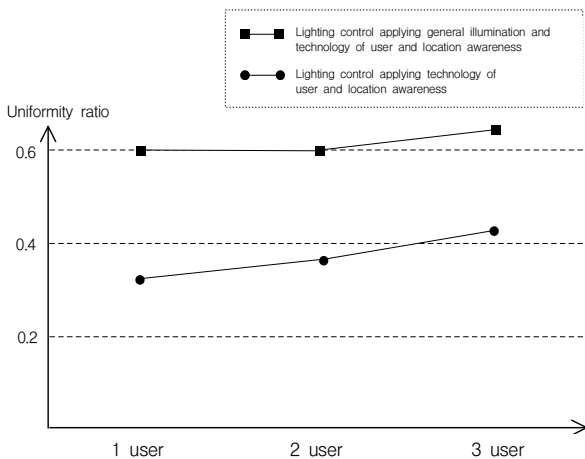


Fig. 6 Uniformity ratio according to the lighting control method.

자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 2인의 경우 각각 조명에너지 사용량이 35.8%, 10.9%의 조명에너지 사용량이 증가하고 있으나, 사용자 3인의 경우에는 9.4%의 조명에너지 저감이 가능하여 실내의 사용자 수의 증가에 따라서 에너지 저감에 효율적일 것으로 판단된다. 이는 본 연구에서 제안하는 시스템이 1차적으로 전반조명의 제어가 진행됨에 따라서 실내 전반의 조도를 확보하고 있으며, 이는 재실자 1인, 2인의 경우 에너지 사용량이 증가할 수 있으나 다수의 재실자가 입실 할 경우 에너지 저감에 효율적이라 판단된다.

두 번째, 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 Fig. 6에서 나타나듯이 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 2인, 3인의 경우 각각 실내 균제도가 32.0%, 39.4%, 33.4%의 개선이 가능하다. 이는 기존 재실자의 위치인식 기반의 조명제어에 따라서 발생하는 조도 불균형 등의 실내 쾌적도 관련 문제에 대한 개선이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구는 쾌적한 실내 빛환경 조성 및 에너지 저감을 유도하기 위하여 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템을 제안하였으며, 제안된 내용은 성능평가를 통하여 유효성을 검증하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 본 연구는 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템을 제안하였다. 이는 전반조명을 적용하여 기존 위치인식기술적용 조명제어에 따른 조도 불균형 문제를 해결하며, 실내외의 다양한 환경에 실시간으로 대응한 조명제어 시스템이다.

두 번째, 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 On/Off 조명제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 2인, 3인의 경우에 따라서 각각 72.1%, 66.5%, 62.3%의 조명에너지 저감이 가능하나 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 2인의 경우 각각 조명에너지 사용량이 35.8%, 10.9%의 조명에너지 사용량이 증가하고 있다. 반면, 사용자 3인의 경우에는 9.4%의 조명에너지 저감이 이루어지고 있으며, 이는 본 연구에서 제안하는 시스템이 1차적으로 전반조명 제어를 실시함에 따라 실내공간의 전반조도를 확보하고 있어서 다수의 재실자에 대하여 효율적인 에너지 저감이 가능하다.

세 번째, 전반조명 기반 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 시스템은 사용자 및 위치인식기술 적용 조명제어 방식에 대비하여 사용자 1인, 2인, 3인의 경

우 각각 실내 균제도가 32.0%, 39.4%, 33.4%의 개선이 가능하여 빛환경 개선에 유리할 것으로 판단된다.

최근 에너지 문제에 대한 심각성이 부각되고 있으며, 이를 해결하고자 하는 다양한 연구들이 진행되고 있다. 이에 본 연구는 조명에너지 저감 및 쾌적한 빛환경 조성을 위한 제안 연구로 의미를 가지고 있으나, 하지의 특정 시간대에 대하여 성능평가를 진행했다는 제한사항을 가지고 있어서 다양한 요인에 의한 성능검증이 필요할 것으로 판단된다.

References

1. Choi, A. S., 2010, LUTRON Lighting Control System(Daylight Harvesting) Seminar.
2. Ahn, H. Y., Lee, H. W., and Kim, Y. S., 2013, A Study on Light-shelf system based on IT in Housing Space-Focus on Lighting Energy Saving, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 13, No. 1, pp. 133-140.
3. Lee, H. W., Jeong, H. D., and Kim, Y. S., 2012, A basic study on application of user and location awareness of the green home It, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 1, pp. 69-76.
4. Choi, K. H., Lee, H. W., Kim, Y. S and Seo, J. H., 2015, A study on the user and location awareness technology applied dimming lighting control system to save energy, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 27, No. 1, pp. 14-23.
5. US Energy Information Administration, 2015, Electric Power Monthly.
6. Cho, S. O., 2007, A study on the development of building control and management system-focusing on the lighting control and monitoring system, Journal of Korean Institute of Interior Design, Vol. 16, No. 4, pp. 110-118.
7. No, S. J. and Kim, K. H., 2011, A Study on building energy control considering indoor comfort, Korean Institute of Electrical Engineers Conference, pp. 314-315.
8. Park, J. W., Yoon, J. H., Oh, M. H., and Lee, K. H., 2012, A elicitation method of optimum slat angle of fixed venetian blind considering energy performance and discomfort glare in building, Journal of the KIEAE, Vol. 12, No. 6, pp. 107-112.
9. Choi, A. S. and Ju, K. T., 2006, Measurement and Computing Method of the Average Illuminance in Residential Areas, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical installation Engineers, Vol. 20, No. 5, pp. 1-8.
10. Jung, B. K. and Choi, A. S., 2003, An experimental study of the optimum spatial characteristics and location of photosensor for daylight responsive dimming systems, Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers, Vol. 17, No. 5, pp. 8-14.
11. Kim, S. H., Kim, Y. S., Lee, H. W. and Seo, J. H., 2014, A study on light-shelf system using location awareness technology of energy saving in residential space, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 275-286.