

에너지 저감을 위한 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템 연구

A Study on the User and Location Awareness Technology Applied Dimming Lighting Control System to Save Energy

최기현(Kihyun Choi), 김용성(Yongseong Kim), 이행우(Henagwoo Lee), 서장후(Janghoo Seo)[†]

국민대학교 테크노디자인전문대학원

The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

(Received August 13, 2014; revision received September 18, 2014; Accepted: September 23, 2014)

Abstract Although research and technology developments have recently increased to save lighting energy within buildings, such research and technology development are judged to be unsuitable for energy savings since they are limited in the sense that the application of the technology is fragmented. This study proposes a user and location awareness technology applied to dimming lighting control system and verified the effectiveness of energy savings by building a test bed. The results were as follows : 1) This study suggested a user and location awareness technology applied to dimming lighting control system. 2) The system shows 96.6% and 82.8% energy saving rates, respectively, on the basis of one user, compared to an on/off lighting control and the user and location awareness technology applied to on/off lighting control system. 3) The energy consumption of the user and location awareness technology applied to on/off lighting control system and the user and location awareness technology applied to dimming lighting control system increased to 96.6%, 88.3%, and 59.6% and 82.8%, 85.0%, 51.5%, respectively, on the basis of one, two, and three users, compared to the on/off lighting control system. This study confirmed the energy saving performance of the user and location awareness technology applied to the dimming lighting control system through performance evaluation. In this regard, further study needs to be undertaken to evaluate the performance at night time.

Key words Energy saving(에너지 저감), User and location awareness(사용자 및 위치인식), Dimming lights control (디밍 조명제어), Performance evaluation(성능평가)

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

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 건축물의 대형화 및 고층화되는 경향으로 인하여 조명 관련 소비전력은 40%대까지 확대되고 있으며, 이는 전력수요 급증의 원인 중 하나로 지목되고 있다.⁽¹⁾ 최근 전력의 과다한 사용은 대규모 정전 사태로 이어져서 큰 혼란과 경제적 손실을 초래할 수 있으므로 각별한 주의가 요구된다. 이러한 배경에서 본 연구는 에너지 저감형 조명제어의 필요성에 주목하였다.

실내공간에서 요구되는 조도의 양은 상황 및 기준에 따라서 다양하게 분류되지만, 기존의 On/Off 조명제어는 평균값을 근거로 한 일괄적인 조도만을 제공하기 때문에 효율적인 에너지 저감이 어렵다는 한계가 있다.

이에 최근 IT 요소기술을 적용한 에너지 저감형 조명제어에 대한 연구가 증가하고 있다. 그러나 현재 국내에서 적용되고 있는 IT 기반의 조명제어 시스템은 에너지 사용량 및 실내환경 정보의 모니터링에 대한 단순 제어의 단계에 불과하며, 다양한 기술을 적용한 에너지 저감형 조명제어에 대한 연구는 부족한 실정이다.⁽²⁾ 이에 본 연구는 사용자 정보 및 위치 정보를 기반으로 단계별 조도를 제공하는 조명제어 시스템을 제안하며, 테스트베드에서의 성능평가를 통하여 에너지 저감 성능의 유효성을 검증하려는 목적으로 진행되었다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 다음의 절차에 의하여 진행되었다.

첫 번째, 에너지 저감형 조명제어 시스템을 제안하

기 위하여 오늘날 사용되고 있는 조명제어 방식과 사용자 및 위치인식 기술에 대한 이론고찰을 진행하였다. 두 번째, 이론적으로 고찰된 내용을 바탕으로 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템을 제안하였으며, 그 결과물로서 에너지 저감 방안과 조명제어 흐름도를 제시하였다. 세 번째, 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템의 에너지 저감 성능평가를 수행하기 위하여 테스트베드를 구축하였으며, On/Off 조명제어, 사용자 및 위치인식 기술 적용 On/Off 조명제어의 전력사용량과 비교분석을 진행하였다. 또한, 실험의 주요 설정으로 동지, 하지, 춘추분에 대하여 오전 10시부터 오후 3시까지를 주간 시간대로 설정하였으며, 사용자는 연령에 따라 요구조도를 달리하는 3인으로 한정하였다.

2. 에너지 저감형 조명제어 기술을 위한 이론 고찰

2.1 인공조명의 제어 방식 고찰

오늘날 실내 인공조명 제어 방식에 따른 분류와 주요한 특성은 Table 1과 같다.⁽³⁾ On/Off 조명제어는 적은 비용과 간편한 설치로 가장 많이 이용되지만, 일괄적인 조도의 제공과 수동식 제어의 한계 때문에 에너지 저감 측면에서는 상대적으로 불리하다. 센서 기반의 조명제어는 재실자의 움직임을 감지하여 조명의 On/Off를 자동제어 하지만, 다양한 공간에서의 적용이 어렵다. 디밍 기반의 조명제어는 최근 LED 램프의 개발과 보급으로 주목받고 있는 방식으로서, 단계별로 조도를

제공하여 사용자의 만족도가 높고 On/Off 조명제어에 비하여 에너지 저감에 유리하다. 혼합형 조명제어는 센서와 디밍의 장점이 혼합된 것으로서 다양한 상황에 효율적인 대응이 가능하다. 조명제어 방식의 이론고찰 결과, 에너지 저감에 가장 적합한 조명제어 방식은 센서와 디밍의 혼합형 조명제어인 것으로 판단된다.

2.2 사용자 및 위치인식 기술 고찰

위치인식 기술이란 사용자의 위치정보를 추적하고 인식하는 기술이며, 사용자인식 기술이란 사용자 고유의 특성을 인식하기 위한 기술로 정의된다.⁽²⁾ 사용자인식 기술은 정보의 인식 방법에 따라서 통신을 이용한 방식과 생체정보를 이용한 방식으로 구분되며, 이 중 에너지 저감형 조명제어에 적합한 것은 오차율이 적고 인식 과정이 간편한 통신을 이용한 방식인 것으로 판단된다. 통신을 이용한 방식은 인식이 가능한 범위에 따라서 Macro system, Micro system, Ad-Hoc system으로 분류되며, 그에 따른 하위분류 및 특성은 Table 2와 같다.⁽⁴⁾

관련 연구의 고찰^(2, 4, 6) 및 경제성과 적용 범위를 고려해 본 결과, 본 연구의 목적인 사용자 및 위치인식 기술 적용 조명제어 시스템 구축에 적합한 것은 Micro system의 ZigBee 통신 방식인 것으로 판단된다. Micro System은 무선환경이 제한된 실내나 지하 또는 건물 밀집지역 등에서 유리하며, ZigBee 통신방식은 IEEE 802.15.4를 이용한 통신방법으로서 저가의 비용과 간편한 구현이 장점이다.^(2, 4) 또한, ZigBee 통신은 여러 중간노드를 거쳐 목적지까지 데이터를 전송하여 낮은 전력으로 넓은 범위의 통신이 가능하다.⁽⁷⁾

Table 1 Classification and characteristics according to lighting control types

Classification		Control format	Characteristics
On/Off lighting control system	Manual control	Switch	<ul style="list-style-type: none"> ◦ The most used mode, due to cheap price and convenient installation
Sensor lighting control system	Automatic control	Lighting is turned on/off by identifying whether the user is in the room through the detection of movement within the space	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Automatic control of lighting's on/off by real time sensing whether the user is in the room or not ◦ Usability is low, because only whether the user is in the room is identified
Dimming lighting control system	Manual control	Providing illuminance in stages	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Although, installation cost is expensive, ensuring the pleasantness of the environment is easy ◦ Energy saving effect by setting illuminance in stages
Mixed lighting control system	Manual and automatic control	Illuminance is controlled through detection sensor and dimming	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Linking system of sensor technology and dimming ◦ Compound mode of manual and automatic control ◦ Various applications are possible, according to algorithm building mode

Table 2 Types and characteristics of user and location awareness technology according to communications mode

Classification	Coverage	Characteristics	Application mode	
Macro system	GPS	Outdoor within 10 m	Providing extensive location recognition area	<ul style="list-style-type: none"> ◦ GPS ◦ Mobile communications network based system
	ZigBee	Indoor within 2~10 m	Although, installation cost is low, reflection reduction and distortion are caused due to obstacles	
Micro system	Active badge	Indoor within 5 m	Although system architecture is simple and cheap, there is distance restriction, and collisions arise when the number of users increases	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Infra-red communications based system ◦ RF signal based system ◦ Ultrasound-based system
	Active bat	Indoor within 9 cm	Interruptions in signals is severe, according to the surrounding environment, and system architecture cost is high	
Ad-Hoc system	Centroid	Indoor and outdoor	In the environment, where additional hardware introduction for location recognition is difficult, the location is calculated with only wireless link connectivity with reference nodes having location information	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Centroid ◦ Distance Vector

Table 3 Standard lux(KS A 3011 : 1998)

Type of activity	Scope [lx]		
	Min.	Ave.	Max.
Visual performance according to the degree of general-brightness	300	400	600

2.3 조도기준 고찰

실내 활동에는 쾌적한 시환경을 위한 일정 수준의 조도가 요구된다. 국내의 적정 조도기준은 KS A 3011로 제시되어 있으며, 일반회도대비 혹은 작은 물체 대상의 시작업 수행에 대한 적정 조도는 Table 3과 같다. 이에 본 연구는 사용자 인식에 따른 조도의 기준을 최소, 표준, 최대인 300 lx, 400 lx, 600 lx로 설정하였다.

3. 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템 제안

3.1 에너지 저감 방안

에너지 저감을 위한 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템의 구성도는 Fig.1과 같으며, 주요 내용은 다음과 같다.

첫 번째, 사용자인식 기술의 적용은 태그 및 카드 등의 별도의 매체에 사용자의 정보를 ID로 등록 후 통신으로 서버로 전송되는 과정을 통해 조명제어에 반영된다. 사용자의 ID는 연령층, 성별, 취향, 건강상태 등

다양한 기준으로 분류될 수 있으며, 본 제안에서는 사용자의 연령층에 따라서 요구조도의 기준이 다르게 적용된다는 사실에 근거하여⁽⁸⁾ 연구를 진행하였다.

두 번째, 위치인식 기술의 적용을 위하여 실내공간의 면적을 분할하고 각 Zone마다 재실자의이동을 감지하는 센서를 설치하여 위치정보를 추적한다. 서버는 통신을 통해 재실자의 위치를 인식하고 조명을 제어함으로써 사용자인식 기술과 함께 조명 에너지를 저감한다.

세 번째, 에너지 저감 성능의 극대화와 사용자 및 위치인식에 효과적으로 대응하기 위하여 단계별로 조도를 제공하는 디밍 조명제어 방식을 적용하였다.

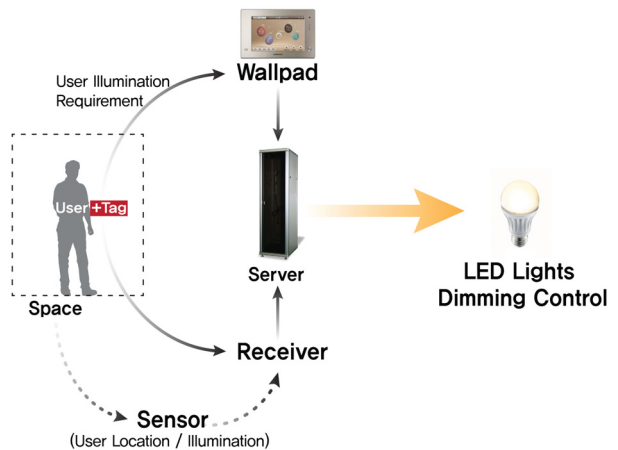


Fig. 1 User and location awareness applied dimming lighting control system.

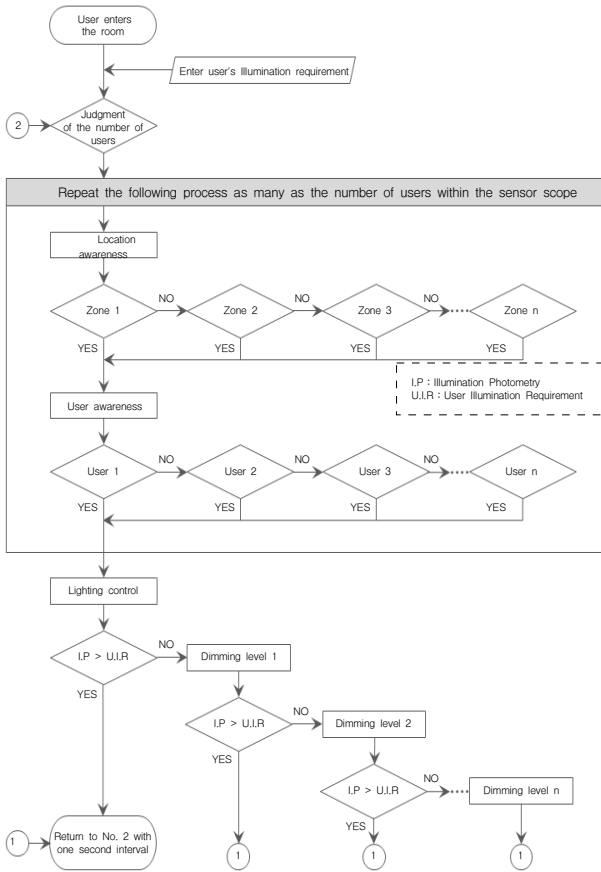


Fig. 2 Flow chart : User and location awareness applied dimming lighting control system.

3.2 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어의 방법

본 연구가 제안하는 에너지 저감형 조명제어 시스템은 Fig. 2와 같은 순서와 논리로 진행된다. 태그를 소지한 사용자의 입실이 감지되면 서버는 조명제어 범위 내에서 사용자의 인원수를 파악한다. 이때 사용자가 2인 이상일 경우 인원수만큼 위치인식과 사용자인식을 반복 수행하여 2인 이상의 사용자 및 위치정보를 수집한다. 이어서 사용자가 위치한 Zone의 현재 조도 값을 측정한 후 사용자의 요구조도와 비교하여 적합한 디밍의 단계를 도출하고 그에 따라 조명제어를 수행한다. 동일한 Zone에서 2인 이상의 사용자가 위치할 경우 서버는 연령층이 높은 사용자의 요구조도를 우선적으로 고려한다. 이상의 과정은 사용자가 공간 밖으로 퇴실할 때까지 반복적으로 수행됨으로써 사용자의 이동으로 인한 Zone의 변화 및 외부에서 유입되는 채광조도의 변화에 실시간으로 대응한다.

4. 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템 성능평가

4.1 성능평가를 위한 환경설정

본 연구에서 제안된 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템의 에너지 저감 성능을 검증하기 위하여 테스트베드를 구축하여 성능평가를 진행하였다. 테스트베드의 구성 및 실험의 주요 설정은 다음과 같다.

1) 테스트베드 구성

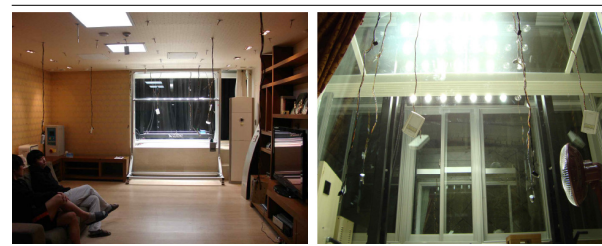
테스트베드는 실험을 위한 실내공간과 외부 빛환경 구현을 위한 챔버공간으로 구성되었으며, 주요한 사항은 Table 4와 같다. 테스트베드의 실내공간에는 성능평가를 위한 조명제어 모듈 및 조도센서를 설치하였으며, 본 연구에서 S사와 기술협의를 통하여 사용자 및 위치인식 정보를 수집하는 1개의 Master와 6개의 Detector를 구축하였다. 챔버공간 내부에는 인공태양광을 설치하여 높이, 각도, 광량의 조절을 통해 계절별 채광환경의 구현이 가능하며, 성능평가를 위하여 테스트베드의 채광환경을 정남향으로 설정하였다.

2) 실험환경 설정

실험을 위한 세부적인 환경 설정은 Fig. 3과 같다. 테스트베드 크기를 고려하여 내부의 면적을 4개의 Zone으로 분할하여 설정하였으며, 각 Zone의 천장면에는 사용자의 위치를 감지하기 위한 센서와 디밍 조명으로 구

Table 4 Main configuration of test-bed

Test-bed Model Outline	
Space size and material	4.9 m[W]×6.6 m[D]×2.5 m [ceiling height] Wall : Reflexibility 46%, Ceiling : Reflexibility 86%
Window size and material	2,200 mm[W]×1,800 mm[H] Pair glass 12 mm [3 mm+6 mm+3 mm]
Aspect	South aspect



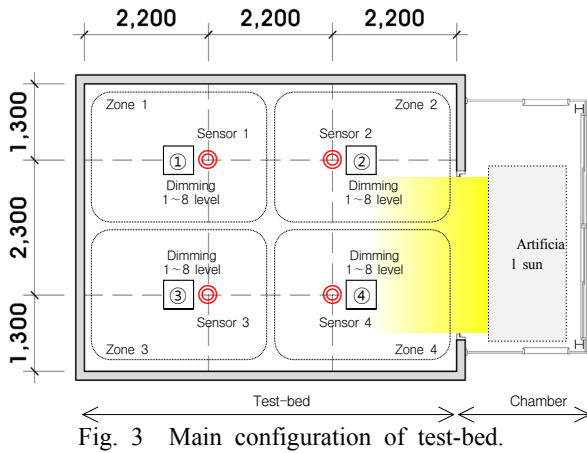


Table 5 Illumination requirement setting for performance evaluation

Classification	A	B	C
	[60 s]	[40 s]	[20 s]
Illumination requirement according to user awareness	600 lx	400 lx	300 lx
Illumination requirement according to non recognition of user	500 lx		

성된 조명제어 모듈이 설치되었다. 조도센서는 채광창을 기준으로 공간깊이 4.4 m 위치에서 실내조도 분석이 적합하다는 연구에 근거하여⁽⁹⁾ 채광창을 기준으로 4.4 m 위치에 설치하였으며, 공간의 크기를 고려하여 나머지 조도센서를 2.2 m 간격으로 추가 배치하였다. 조도센서의 높이는 작업면 높이를 기준으로 바닥면으로부터 750 mm 위치에 설치하였다.

3) 요구조도 설정

성능평가를 위한 실험의 요구조도 설정 내용은 Table 5와 같다. 사용자인식 기술 적용의 경우 60대, 40대, 20대의 연령층을 기준으로 사용자를

A, B, C로 구분하여 설정하였으며, 이는 앞서서 고찰된 KS A 3011 및 관련 연구⁽⁸⁾에 근거한다. 사용자 미인식의 경우 사용자 A, B, C의 요구조도를 500lx로 동일하게 설정하였다.

4.2 실험의 방법

1) 성능평가를 위한 조명제어 타입의 설정

제안된 내용의 에너지 저감 성능을 검증하기 위하여 비교대상이 될 조명제어 타입을 Table 6과 같이 설정하였다. 이에 On/Off 조명제어, 사용자 및 위치인식

기술 적용 On/Off 조명제어, 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어의 총 세 가지 타입에 대하여 실험을 진행하였으며, 각각의 타입별 전력사용량을 산출하여 비교분석하였다. 디밍 조명제어의 밝기단계는 조명의 Off 상태를 제외한 1단계부터 8단계의 조도로 설정하였으며, 각 단계에 따른 소비전력은 Table 7과 같다. On/Off 조명제어의 경우 채실자가 위치한 요구조도 500 lx 미만인 Zone에 대하여 디밍 레벨 8단계에 해당하는 조명 On의 제어를 실시하였다. 또한, 실험에 적용된 사용자의 이동 패턴은 관련 연구⁽²⁾를 기반으로 설정하여 각 절기마다 동일하게 적용하였다.

2) 시간대별 외부조도 설정

본 연구는 관련 연구^(2, 4, 5)의 설정에 근거하여 오전 10시부터 오후 3시까지를 주간 시간대로 설정하였으며, 각 절기에 따른 시간대별 외부조도 설정 및 실내 채광조도 유입에 의하여 도출되는 실내조도는 Table 8과 같다. 절기별 전력사용량의 산출은 동지, 춘추분, 하지의 각 절기를 약 15일로 간주하여 계산하였다.

4.3 성능평가 결과 및 논의

성능평가 결과에 따른 절기별 전력사용량 및 타입별 에너지 저감량 비교분석은 Table 9과 같다. 본 연구에서 제안된 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어의 에너지 저감률은 사용자 1인을 기준으로 On/

Table 6 Setting of type for performance evaluation

Lighting control types	On/Off	Dimming	User and location awareness
			location awareness
On/Off lighting control	O	X	X
User and location awareness applied	O	X	O
On/Off lighting control	X	O	O

Table 7 Electricity consumption according to the level of dimming lighting control

Dimming lighting	Lv 1	Lv 2	Lv 3	Lv 4	Lv 5	Lv 6	Lv 7	Lv 8 (On)
E.C. [kWh]	0.012	0.018	0.022	0.028	0.034	0.039	0.43	0.051

E.C : Electronic Consumption.

Table 8 Results of the measurement of luminance brought into the indoors at noon from full south

Seasonal divisions	Time	External illuminance [lx]	Indoor illuminance [lx]			
			Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	Sensor 4
Winter Solstice	10~11	20,000	606.2	1190.1	899.8	8946.5
	11~14	30,000	910.3	1787.0	1351.1	13433.2
	14~15	20,000	606.2	1190.1	899.8	8946.5
Spring and Autumnal Equinoxes	10~12	50,000	393.7	1103.8	481.3	2279.3
	12~14	60,000	427.7	1325.2	577.8	2736.3
	14~15	50,000	393.7	1103.8	481.3	2279.3
Summer Solstice	10~12	80,000	329.9	1310.4	389.8	2599.8
	12~14	70,000	288.6	1146.6	341.0	2274.8
	14~15	80,000	329.9	1310.4	389.8	2599.8

Off 조명제어에 대비하여 96.6%, 사용자 및 위치인식 기술 적용 On/Off 조명제어에 대비하여 82.8%인 것으로 나타났다. 사용자 2인 및 3인의 경우에는 각각 88.3%, 85.0%와 59.6%, 51.5%의 에너지 저감률을 보여 재실자의 인원 수 증가에 따라서 에너지 사용량 또한 증가하였으나 에너지 저감 성능에는 영향을 미치지 않았다. 이에 본 연구에서 제안된 조명제어 시스템의 에너지 저감 성능에 대한 유효성이 검증되었다.

또한, 동지의 경우 충분한 채광도 유입으로 인하여 조명제어가 불필요한 반면, 하지의 경우엔 춘추분보다 더 많은 조명제어가 요구되었다. 이는 주간 시간대의 절기별 태양고도 차이에 의한 영향으로 판단된다.

성능평가 결과 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어는 세 가지 실험의 타입 중에서 가장 높은 에너지 저감률을 보이는 것으로 나타나 본 연구의 제안에 따른 에너지 저감 성능의 유효성이 검증되었다.

성능평가는 사용자의 인원수에 따라서 순차적으로 진행되었으며, 사용자 1인, 2인 3인에 대한 실험의 결과 값은 각각 Table 10, Table 11, Table 12와 같다.

5. 결론

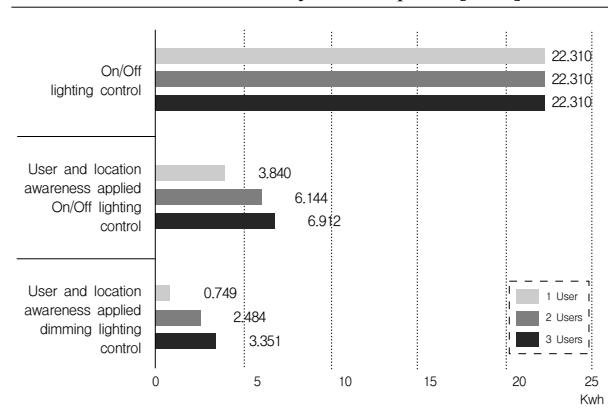
본 연구는 조명 에너지 저감을 위하여 관련 내용을 고찰하고, 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템을 제안하였으며, 제안된 내용은 성능평가를 통해 에너지 저감 성능을 검증하였다. 연구의 주요 내용은 다음과 같이 요약된다.

첫 번째, 본 연구는 사용자 및 위치인식 기술을 적용한 디밍 조명제어 시스템을 제안하였으며, 이에 대한 결과물로서 에너지 저감 방안 및 조명제어의 흐름도를 제시하였다.

Table 9 Results of electricity consumption

Seasonal divisions	Electricity consumption [kWh]		
	On/Off lighting control	User and location awareness applied On/Off lighting control	User and location awareness applied dimming lighting control
1 User			
Winter Solstice	0	0	0
Summer Solstice	8.465	1.536	0.044
Spring and Autumnal Equinoxes	13.845	2.304	0.705
Total	22.310	3.840	0.749
2 Users			
Winter Solstice	0	0	0
Summer Solstice	8.465	2.304	1.260
Spring and Autumnal Equinoxes	13.845	3.840	1.224
Total	22.310	6.144	2.484
3 Users			
Winter Solstice	0	0	0
Summer Solstice	8.465	3.072	1.704
Spring and Autumnal Equinoxes	13.845	3.840	1.647
Total	22.310	6.912	3.351

Results of electricity consumption [kWh]



두 번째, 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어는 사용자 1인을 기준으로 On/Off 조명제어와 사용자

Table 10 Performance evaluation results of 1 user

Time	O.I [lx]	U.L.A				On/Off lighting control				User and location awareness applied On/Off lighting control				User and location awareness applied dimming lighting control						
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]						
Winter solstice																				
10 : 00	20,000	A	X	X	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
10 : 30		X	X	A	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 00		X	X	X	A	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 30		X	B	X	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 00	30,000	B	X	X	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 30		X	X	B	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 00		X	X	X	B	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 30		X	X	X	C	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 00		C	X	X	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 30	20,000	X	X	C	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
15 : 00		X	C	X	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
Spring and autumnal equinoxes																				
10 : 00	50,000	A	X	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	625.2 Lv3	1115.0 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
10 : 30		X	X	A	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	529.5 Off	1128.3 Off	1003.1 On	2329.7 Off	0.025	435.0 Off	1111.1 Off	611.3 Lv1	2298.0 Off	0.006
11 : 00		X	X	X	A	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
11 : 30		X	B	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
12 : 00		B	X	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	516.6 Lv1	1111.5 Off	535.0 Off	2313.1 Off	0.006
12 : 30		X	X	B	X	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
13 : 00		X	X	X	B	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
13 : 30		X	X	X	C	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
14 : 00		C	X	X	X	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
14 : 30		50,000	X	X	C	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off
15 : 00	X		C	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
Summer solstice																				
10 : 00	70,000	A	X	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017
10 : 30		X	X	A	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	373.2 Off	1159.6 Off	651.1 Lv4	2305.3 Off	0.014
11 : 00		X	X	X	A	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0
11 : 30		X	B	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0
12 : 00		B	X	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	411.5 Lv1	1154.3 Off	394.7 Off	2290.6 Off	0.006
12 : 30		X	X	B	X	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	465.7 Off	1334.9 Off	911.6 On	2650.2 Off	0.025	371.2 Off	1317.7 Off	519.8 Lv1	2618.5 Off	0.006
13 : 00		X	X	X	B	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
13 : 30		X	X	X	C	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
14 : 00		C	X	X	X	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
14 : 30		70,000	X	X	C	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off
15 : 00	X		C	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0

O.I : Outside Illumination/U.L.A : User and Location Awareness/E.C : Electronic Consumption.

Table 11 Performance evaluation results of 2 users

Time	O.I [lx]	U.L.A				On/Off lighting control				User and location awareness applied On/Off lighting control				User and location awareness applied dimming lighting control						
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]						
Winter solstice																				
10 : 00	20,000	X	X	AB	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
10 : 30		B	X	A	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 00		A	B	X	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 30		X	X	X	AB	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 00	30,000	C	X	B	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 30		X	X	C	B	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 00		X	BC	X	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 30		X	X	C	A	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 00	20,000	C	X	A	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 30		AC	X	X	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
15 : 00		X	A	X	C	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
Spring and autumnal equinoxes																				
10 : 00	50,000	X	X	AB	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	529.5 Off	1128.3 Off	1003.1 On	2329.7 Off	0.025	435.0 Off	1111.1 Off	611.3 Lv1	2298.0 Off	0.006
10 : 30		B	X	A	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	529.5 Off	1128.3 Off	1003.1 On	2329.7 Off	0.025	435.0 Off	1111.1 Off	611.3 Lv1	2298.0 Off	0.006
11 : 00		A	B	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	625.2 Lv3	1155.0 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
11 : 30		X	X	X	AB	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
12 : 00	60,000	C	X	B	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
12 : 30		X	X	C	B	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
13 : 00		X	BC	X	X	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
13 : 30		X	X	C	A	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
14 : 00	50,000	C	X	A	X	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	608.5 Off	1349.7 Off	1099.6 On	2786.7 Off	0.025	514.0 Off	1332.5 Off	707.8 Lv1	2755.0 Off	0.006
14 : 30		AC	X	X	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	625.2 Lv3	1155.8 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
15 : 00		X	A	X	C	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
Summer solstice																				
10 : 00	70,000	X	X	AB	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	373.2 Off	1159.6 Off	651.1 Lv4	2305.3 Off	0.014
10 : 30		B	X	A	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	496.1 Lv1	1167.3 Off	704.8 Lv4	2321.1 Off	0.020
11 : 00		A	B	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017
11 : 30		X	X	X	AB	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0
12 : 00	80,000	C	X	B	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	329.9 Off	1153.9 Off	471.0 Lv1	2293.5 Off	0.006
12 : 30		X	X	C	B	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
13 : 00		X	BC	X	X	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
13 : 30		X	X	C	A	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
14 : 00	70,000	C	X	A	X	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	465.7 Off	1334.9 Off	911.6 On	2650.2 Off	0.025	393.7 Off	1320.1 Off	633.8 Lv2	2624.1 Off	0.009
14 : 30		AC	X	X	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017
15 : 00		X	A	X	C	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0

O.I : Outside Illumination/U.L.A : User and Location Awareness/E.C : Electronic Consumption.

Table 12 Performance evaluation results of 3 users

Time	O.I [lx]	U.L.A				On/Off lighting control				User and location awareness applied On/Off lighting control				User and location awareness applied dimming lighting control						
		1	2	3	4	Illumination/Lighting control		E.C[kWh]		Illumination/Lighting control		E.C[kWh]		Illumination/Lighting control		E.C[kWh]				
Winter solstice																				
10 : 00		A	X	BC	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
10 : 30	20,000	X	C	B	A	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 00		BC	X	A	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
11 : 30		X	AB	X	C	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 00		A	C	B	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
12 : 30	30,000	AB	X	C	X	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 00		X	BC	X	A	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
13 : 30		B	X	A	C	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 00		C	X	X	AB	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0	910.3 Off	1787.0 Off	1351.1 Off	13433.2 Off	0
14 : 30	20,000	X	A	BC	X	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
15 : 00		A	C	X	B	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0	606.2 Off	1190.1 Off	899.8 Off	8946.5 Off	0
Spring and autumnal equinoxes																				
10 : 00		A	X	BC	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	625.2 Lv3	1115.0 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
10 : 30		X	C	B	A	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
11 : 00	50,000	BC	X	A	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	529.5 Off	1128.3 Off	1003.1 On	2329.7 Off	0.025	435.0 Off	1111.1 Off	611.3 Lv1	2298.0 Off	0.006
11 : 30		X	AB	X	C	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
12 : 00		A	C	B	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0	625.2 Lv3	1115.0 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
12 : 30		AB	X	C	X	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	960.0 On	1355.8 Off	749.5 Off	2774.0 Off	0.025	663.5 Lv2	1334.9 Off	651.3 Off	2758.0 Off	0.009
13 : 00	60,000	X	BC	X	A	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
13 : 30		B	X	A	C	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	608.5 Off	1349.7 Off	1099.6 On	2786.7 Off	0.025	514.0 Off	1332.5 Off	707.8 Lv1	2755.0 Off	0.006
14 : 00		C	X	X	AB	960.0 On	1355.8 Off	749.3 Off	2774.0 Off	0.025	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0	472.7 Off	1325.2 Off	577.8 Off	2736.3 Off	0
14 : 30	50,000	X	A	BC	X	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0	393.7 Off	1103.8 Off	481.3 Off	2279.3 Off	0
15 : 00		A	C	X	B	1079.8 On	1158.9 Off	1174.6 On	2367.4 Off	0.051	881.0 On	1134.4 Off	652.8 Off	2317.0 Off	0.025	625.2 Lv3	1115.0 Off	571.3 Off	2298.0 Off	0.011
Summer solstice																				
10 : 00		A	X	BC	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017
10 : 30		X	C	B	A	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	329.9 Off	1153.9 Off	471.0 Lv1	2293.5 Off	0.006
11 : 00	70,000	BC	X	A	X	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	496.1 Lv1	1167.3 Off	704.8 Lv4	2321.1 Off	0.020
11 : 30		X	AB	X	C	911.7 On	1202.1 Off	1034.3 On	2362.9 Off	0.051	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0	288.6 Off	1146.6 Off	341.0 Off	2274.8 Off	0
12 : 00		A	C	B	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017
12 : 30		AB	X	C	X	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	817.2 On	1341.0 Off	561.3 Off	2637.5 Off	0.025	630.5 Lv4	1327.2 Off	502.4 Off	2625.7 Off	0.014
13 : 00	80,000	X	BC	X	A	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
13 : 30		B	X	A	C	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	465.7 Off	1334.9 Off	911.6 On	2650.2 Off	0.025	516.6 Lv1	1327.8 Off	687.5 Lv2	2639.9 Off	0.015
14 : 00		C	X	X	AB	953.0 On	1365.5 Off	911.6 On	2687.9 Off	0.051	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0	329.9 Off	1310.4 Off	389.8 Off	2599.8 Off	0
14 : 30	70,000	X	A	BC	X	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	424.4 Off	1171.2 Off	862.8 On	2325.2 Off	0.025	329.9 Off	1153.9 Off	471.0 Lv1	2293.5 Off	0.006
15 : 00		A	C	X	B	911.7 On	1202.1 Off	1083.1 On	2362.9 Off	0.051	775.9 On	1177.2 Off	512.5 Off	2312.5 Off	0.025	623.2 Lv5	1168.5 Off	465.8 Off	2301.3 Off	0.017

O.I : Outside Illumination/U.L.A : User and Location Awareness/E.C : Electronic Consumption.

및 위치인식 기술 적용 On/Off 조명제어에 대비하여 각각 96.6%, 82.8%의 저감률을 보였으며, 이로써 제안된 조명제어 시스템의 에너지 저감성능이 검증되었다.

세 번째, 사용자 및 위치인식 적용 디밍 조명제어의 에너지 저감률은 On/Off 조명제어에 대비하여 1인, 2인, 3인의 사용자 증가에 따라서 각각 96.6%, 88.3%, 59.6%로 나타났으며, 사용자 및 위치인식 적용 On/Off 조명제어에 대비하여 각각 82.8%, 85.0%, 51.5%로 나타나 인원수 증가와 함께 에너지 사용량 또한 증가하였으나, 전체 에너지 저감 성능에는 영향을 미치지 않았다.

오늘날 쾌적한 빛환경에 대한 요구와 함께 에너지 소비에 대한 우려 또한 심화되고 있다. 본 연구가 제안하는 사용자 및 위치인식 기술 적용 디밍 조명제어 시스템은 에너지 저감 성능과 함께 사용자의 높은 만족도를 이끌어 낼 수 있어 실제 적용을 위한 연구가 이어질 필요가 있으며, 향후 연구에서는 실용화를 위한 균제도 측면에서 사용자의 쾌적성을 고려한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

1. Han, S. P., 2012, A study on daylight control method for securing visual comfort and reducing lighting loads on interior lighting environment, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 32, No. 6, pp. 100-105.
2. Lee, H. W., Jeong, H. D., and Kim, Y. S., 2012, A basic study on application of user and location awareness for the green home IT, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 1, pp. 69-76.
3. 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.
4. Kim, S. H., Kim, Y. S., Lee, H. W., and Seo, J. H., 2014, A study on light-shelf system using location-awareness technology for energy saving in residential space, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 26, No. 6, pp. 275-286.
5. Kwon, S. H., Lee, H. W., Seo, J. H., and Kim, Y. S., 2014, A study on light shelf system performance evaluation applying user awareness and dimming control in housing, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 30, No. 2, pp. 285-294.
6. Seo, T. W., Lee, H. W., and Kim, Y. S., 2012, A study on light-shelf system using context awareness technology for energy saving in housing space, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 28, No. 11, pp. 357-365.
7. Liu, D., 2012, The implementation of smart home system based on 3G and ZigBee in wireless network system, MS thesis, Graduate School Chonnam National University, Chonnam, Korea.
8. Lee, J. E., Choi, A. S., 2005, A study of luminous environment for standard illuminance in residential areas, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 19, No. 3, pp. 1-9.
9. 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 Illuminating and Electrical Installation Engineers*, Vol. 17, No. 5, pp. 8-14.