

RTP 기반 상황별 LED 디밍 제어 시스템의 설계

유태환*, 임경미**, 임재현*

*공주대학교 컴퓨터공학부

**공주대학교 그린홈에너지기술연구소

e-mail:{yth2617, omnibus, defacto}@kongju.ac.kr

A Design of LED Dimming Control System based on RTP

Tae-Hwan Yu*, Kyoung-Mi Im**, Jae-Hyun Lim*

*Div of Computer Science & Engineering, Kongju National Univ.

**Green Home Energy Technology Research Center, Kongju National Univ.

요 약

최근에는 LED 조명으로 인해 조명 제어의 유연성이 높아짐에 따라 가정이나 사무공간에서 해당 공간의 목표 조도를 설정하고 현재 내부조도의 상황에 따라 자동으로 조명을 디밍하는 형태로 연구가 이루어지고 있다. 그러나 이러한 제어방식이 현재 주택용 요금제도로 운영 중인 고정요금제에서는 에너지 비용을 감소시키나, 스마트그리드에서 운영될 RTP(Real Time Pricing)에서는 요금 단계에 따라 오히려 에너지 비용이 증가될 수 있다. 이에 본 논문은 실시간 요금 단계에 따라 LED 조명의 목표 조도를 가변적으로 변화시켜 조명 에너지 비용을 최소화하고 사용자의 작업에 적합한 상황별 조도를 자동으로 제어하여 작업자에게 편리함을 제공하고자 한다. 이때 요금 단계에 따른 상황별 최저 및 최고 조도기준은 KSA 3011 및 IES를 참조하며, 최소한의 조명 에너지 사용을 위해 외부 광량을 최대한 활용하여 현재의 시간에 따라 블라인드의 Open/Close를 자동으로 서비스한다. 사용자의 상황은 PIR, Electric Powermeter, Piezoelectric 센서로부터 사용자의 위치, 가전기기 사용 유무, 착석 여부 등을 파악하고, RTP 요금에 따라 하루동안의 조명에 사용된 전력요금을 시뮬레이션한다.

1. 서론

우리나라는 에너지 비독립국으로 전체 에너지 수요의 97%를 수입에 의존하고 있으며 80%이상을 화석연료로 소비하고 있다. 이중 약 20%가량이 조명으로부터 발생되고 있으며, 이러한 상황에 온실 가스 배출을 줄여 환경을 보호할 뿐만 아니라 친환경적 효과를 가지고 있는 LED 조명으로의 교체가 빠르게 이루어지고 있다[1]. 최근 서울시는 전력소비가 가장 많은 건물 부문 37%의 대부분이 조명기기로 인해 발생한다는 점에서 건물의 조명을 점진적으로 LED로 교체, 전력 사용량을 획기적으로 줄이고자 한다고 밝혔다[2]. 또한 전국 최초로 가로등, 보안등, 경관 조명 등 옥외조명 132만개의 조도를 주변 밝기에 따라 일괄 제어 및 조절해 조명에너지를 절감하는 ‘스마트조명 시스템’도 2014년까지 구축할 예정이다[3]. 이에 따라 주택에서도 LED 조명의 교체에 따른 에너지 절감뿐만 아니라 사용자의 위치 및 주변 조도에 따른 조명의 On/Off 제어,

디밍 제어 등을 이용한 조명 에너지 절감 연구가 이루어지고 있다[4]. 그러나 이러한 연구는 사용자의 작업 상황은 고려되지 않고 고정된 조도값에 기반하여 제어되고 있어 사용자 상황에 따라 목표조도의 값을 가변적으로 변화하는 디밍제어 연구가 필요하다

현재 우리나라 주택에 적용되고 있는 전력 요금제는 한 달 동안의 누적 사용량에 따라 단계별 요금을 부과하는 고정요금제이다[5]. 이러한 요금제도는 최대부하 기간에 전력회사의 한계비용을 반영하는 가격신호를 소비자에게 제공할 수 없다. 이에 따라 스마트그리드의 등장과 함께 SMP(System Marginal Pricing)를 기반으로 전력생산단계에 연동되어 가변적인 요금이 산정되는 RTP 요금제에 대한 관심이 증대하고 있으나 동적으로 변화하는 요금에 따라 에너지 소비원의 효율적인 운영에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 논문은 사용자의 위치에 따른 LED 조명의 On/Off를 제어하고 사용자의 상황에 따라 목표조도를 가변적으로 변화하여 주변 조도에 따른 디밍을 제어할 수 있는 LED 조명 제어 시스템을 설계한다. 상황에 따른 목표조도는 KSA 3011과 IES 조도 기준의 최소, 표준, 최대 조도 지표에 따라 설정하며, RTP 요금제에 따라 가변적

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2012-0006682)

으로 기준조도를 변경한다. 시스템은 주택의 조명에너지 비용을 최대한 절감하고자 시간대에 따라 자동으로 블라인드의 Open/Close를 통해 외부의 채광을 유입한다.

시스템은 PIR(Pyroelectric Infrared Sensor) 센서를 사용하여 재실유무를 판단하고, Electric Powermeter 센서와 Piezoelectric 센서를 통해 사용자의 행위를 인지한다. 또한 Illuminance 센서를 사용하여 현재의 내부 조도를 파악하고 외부에서 유입되는 광량에 따라 LED 조명의 디밍 컨트롤러를 제어한다. 제안한 시스템은 시간대에 따라 변화하는 RTP 요금을 시뮬레이션하고 조명 에너지 사용 요금을 평가한다.

2. 관련연구

2.1 상황별 조도기준 지표

조도기준이란 작업을 수행함에 있어 불편함을 느끼지 않을 조도수치이다. 표 1은 국내의 KSA 3011과 미국의 IES 조도기준을 상황·공간별로 분류한 조도기준으로 해당 수치는 최소-표준-최대 조도를 나타낸다.

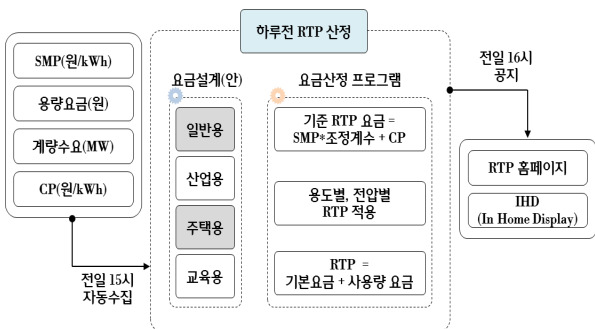
LED 조명의 밝기는 전력 에너지 절감과 직접적으로 연관되기 때문에 상황·공간별 적정 조도가 유지되어야 하며 전력에너지를 절감하기 위한 연구가 필요하다[6].

<표 1> 주택 내 공간·상황별 조도기준

공간	상황	KSA 3011	IES
거실	대화·오락	150-200-300	50-75-100
	독서	300-400-600	200-300-500
주방	식사	300-400-600	100-150-200
	작업(싱크대)	150-200-300	500-750-1000
침실	진반	60-100-150	50-75-100
	화장	300-400-600	200-300-500

2.2 RTP(Real Time Pricing)

현재 주택용 전기요금제로 사용되고 있는 고정요금제(Flat Rate)는 유동적으로 변화하는 SMP와 관계없이 kWh당 누진제를 적용하여 산출하는 요금제로 경제적인 전력소비를 유도하고 시장을 활성화하기에는 한계가 있다.

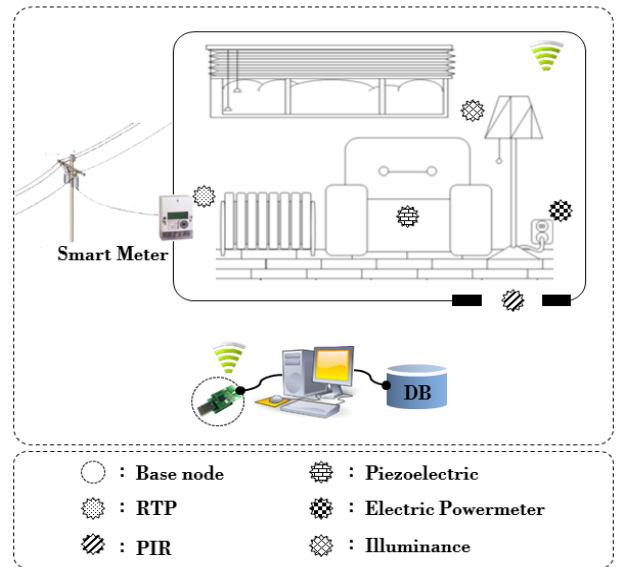


(그림 1) 하루전 RTP의 운영 절차

RTP 요금제는 전력의 수급상황에 따라 전력단가요금이 실시간으로 변동하는 요금제로 요금단가는 하루전 (Day-ahead) 혹은 당일 고지(Real-time)를 원칙으로 한다. 그림 1은 하루전 RTP 요금이 부여되는 한국전력의 실시간요금제 운영시스템으로 전력거래소로부터 전송받은 SMP와 CP단가, 조정계수를 활용하여 산정되며, 용도별 가중계수를 곱하여 용도별 RTP요금을 계산한다[4]. 이러한 RTP는 전기요금 변동성은 높으나, 소비자가 경제적으로 사용할 경우 특정시간에 전력소비가 집중되는 것을 억제하여 공급자와 소비자 양측의 편익을 증가시킬 수 있다 [7]. 따라서 부하가 높은 특정 시간대의 수요를 부하가 낮은 시간대로 이전하기 위한 전략적 연구가 필요하다.

3. RTP 기반 LED 디밍제어 시스템의 설계

RTP 기반 LED 디밍제어 시스템은 그림 2와 같이 ZigBee 무선 네트워크 구조로 이루어져 있으며, 공간별로 설치한 센서들은 정보를 식별하기 위한 각각의 ID가 부여되어 있다. 일정 간격으로 수집된 각 센서의 정보는 시스템의 Base node로 수집되어진다.



(그림 2) RTP 기반 LED 디밍제어 시스템의 구조

3.1 시스템 설계

공간의 입구에 설치된 PIR 센서는 사용자의 재실 여부를 인지하는 센서로서 개별 공간의 입구에 각각 2개씩 설치한다. 시스템에 의해 PIR 센서의 해당 식별 ID가 감지되면 감지 순서에 따라 입·퇴실을 인지하고 공간에 따른 일반 조도를 LED에 서비스한다.

사용자의 행위는 의자의 착석여부 및 가전기기 사용 여부에 따라 해석하며, 이는 각각 Piezoelectric 센서와 Electric Powermeter 센서로부터 감지한다. 각 센서의 raw data는 일정시간간격으로 Base node에 수집되며, 시스템에 의해 파싱되고 표 2와 같이 수집된 센서 데이터로

부터 공간별 상황을 인지한다.

<표 2> 센서별 수집 데이터

센서	센서 데이터
PIR	식별 ID, Off/On
Piezoelectric	식별 ID, Off/On
Electric Powermeter	식별 ID, 전류, 유효 전력, 피상 전력
Illuminance	식별 ID, 조도

공간별 상황이 인지되면 시스템의 상황별 조도 데이터로부터 현재의 RTP에 따라 조명의 목표조도가 결정되며, Illuminance 센서에서 수집된 현재 조도정보로부터 디밍 단계가 추론되고 LED 디밍 컨트롤러에 제어 패킷을 송신한다. 이때 시스템은 내부에서 수집한 현재 시간 정보로부터 외부 조도의 활용여부를 결정하며, 이에 따라 Base node는 블라인드의 Open/Close 서비스 패킷을 블라인드 컨트롤러에 송신한다.

3.2. 상황별 조도기준 설계

설계한 시스템의 센서들로부터 인지할 수 있는 상황은 공간별로 표 3과 같이 분리하였다. 이때 각 공간별 상황에 따른 조도는 KSA 3011과 IES 조도 기준표에 따라 최소-표준-최대 조도에 대한 기준을 설정하였다.

<표 3> 상황별 조도기준

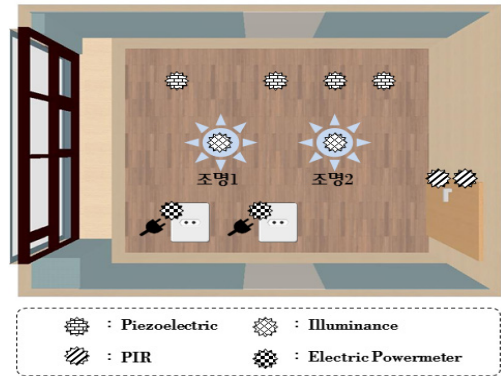
공간	사용센서	상황	기준 조도
거실	전반	☼	150-200-300
		☼, ☼	50-75-100
		☼, ☼	200-300-500
		☼	150-200-300
주방	전반	☼	60-100-150
		☼	100-150-200
		☼	150-200-300
침실	전반	☼	60-100-150
		☼	300-400-600
		☼	300-400-600

* ☼ : Piezoelectric, ☼ : Electric Powermeter, ☼ : PIR

4. 시뮬레이션

본 논문은 그림 3과 같이 가로 3.6m, 세로 4.7m의 테스트베드를 구축하고 2개의 LED 조명을 지면으로부터 2.5m에 설치하여 특정일의 24시간 RTP 요금으로부터 제한한 시스템의 조명에너지 비용을 산출하였다. 2개의 LED는 75mW, 100mW, 100mW의 RGB 20×20으로 이루어진 조명으로 해당 조명의 조도는 조명으로부터 40cm 떨어진 지점에서 측정하였다. 이때 조명의 목표조도는 표

4와 같이 시간대별로 사용자의 상황이 변화하는 것으로 가정하여 표 3의 기준에 따라 설정하였으며, 블라인드는 7:00~20:00까지는 Open 상태로 설정하고 이외의 시간은 Close로 설정한다. 단, 사용자의 수동 블라인드 제어가 가능하며, RTP 요금의 단계에 따라 시스템은 Open/Close를 조절한다. 이때 시간대별로 변화하는 RTP 요금은 1~3단계로 나누었으며, 단계에 따라 조명의 목표조도를 최소-표준-최대로 변경하여 가변적으로 운영하였다.



(그림 3) 시나리오 그림

<표 4> 시나리오에 따른 조명 에너지량

시간	SMP	CP	조도		상황/블라인드	RTP (원)	전력 (W)
			조명1	조명2			
0	109.54	2.95	5	3.4	수면/ Close	103.4	26.06
1	150.9	3.17	4.4	4.1		141.3	26.06
2	104.99	3.29	4	4.4		99.7	26.06
3	147.09	3.33	3.7	4.7		138	26.06
4	79.43	3.35	3.6	5.1		76.6	26.06
5	79.43	3.32	19.7	8.7		76.5	26.06
6	104.3	3.32	119.1	34.2	99.1	26.06	
7	105.71	3.22	187.9	54.8	TV시청/ Open	100.3	28.67
8	109.31	3.08	247.4	76	작업 (싱크대)	103.4	28.67
					식사		28.67
9	110.73	2.86	375.6	111.5	독서/ Close	104.4	52.64
10	133.76	11.33	537.6	137.4	독서/ Open	136.5	31.4
11	133.76	11.05	834.1	181.6		136.1	28.67
12	137.95	12.86	1112.6	218.5	외출	142.3	26.06
13	127.03	11.31	1151.4	208.9		130.3	26.06
14	127.03	10.88	962.2	189.9		129.7	26.06
15	133.74	12.6	786.1	173.4		138.1	26.06
16	130.21	12.65	594.2	134.3		135	26.06
17	129.31	12.71	415	95		134.2	26.06
18	127.03	10.99	135.1	31.8	작업/ (싱크대) Open	129.9	34.01
					식사		31.28
19	127.17	11.26	19.4	9.2	운동	130.4	36.74
20	127.39	11.25	3.4	5.9	TV시청/ Close	130.6	31.28
21	127	13.15	3.3	5.8		132.7	31.28
22	114.53	11.48	3.5	6		119.2	31.28
23	110.73	11.88	3.5	5.8		116.3	31.28

표 4의 RTP는 그림 1의 과정에 따라 하루전 고지 RTP로 연산되었으며, 이때 연산에 사용된 조정계수는 0.6897이고, 주택용에 사용된 용도별 가중계수는 1.3173으로 사용되었다. 조명의 목표조도는 RTP 76.5~142.3원까지의 요금을 각각 단계별로 76.5~98.43, 98.43~120.36, 120.36~142.3의 3단계로 구분하였다. 이때 시나리오의 독서 상황에서 블라인드는 사용자의 수동 제어에 의해 Close상태로 전환되었으나 10:00부터 RTP의 단계가 3단계로 변화되면서 시스템에 의해 강제로 Open되도록 시물레이션 한다.

시물레이션 결과 24시간동안의 상황변화에 따른 조명 에너지량은 764.65W로 30일간의 조명에너지 비용으로 환산하였을 때 총 2537.10원으로 산출되었다. 만일 목표조도를 상황별 최대조도로 유지하여 동일한 조건에서 조명 에너지량과 비용을 산출하면 이는 각각 885.64W와 3204.47원으로 제안한 시스템보다 15.82%의 전력소비량 증가와 26.3%의 비용 증가가 초래된다. 또한 시스템은 사용자의 작업 상황에 따라 가변적인 조도를 자동으로 디밍하여 편리함을 유지시킬 수 있었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

스마트그리드에서 운영될 주택용 전기요금제는 전력의 공급상황에 따라 가변적으로 전기요금을 산정하는 RTP 요금제가 반영될 예정이다. RTP 요금제에서는 전력에너지 비용을 감소시키기 위해 전력생산 단가가 비싼 시간대의 전력소비를 이전 혹은 감소시켜야 한다. 이에 본 논문은 주거공간에서 LED 조명의 목표 조도를 RTP의 요금 단계에 따라 최저, 표준, 최고 수준으로 디밍하는 시스템을 설계하였다. 제안한 LED 제어시스템은 KSA 3011과 IES를 참조하여 목표조도를 설정하였고, 각 공간에서 발생할 수 있는 상황에 따라 가변적으로 조도의 범위를 조절하였다. 이때 사용자 행위의 인지는 공간 및 위치를 인식하기 위한 PIR 센서, 가전기기의 사용을 인지하기 위한 Electric Powermeter 센서, 사용자의 의자 착석 여부를 인지하기 위한 Piezoelectric 센서를 사용하였다. 또한 외부의 조도를 반영하여 조명부하를 저감시키기 위하여 시간대에 따라 블라인드의 자동 Open/Close를 제어하였으며, Illumination 센서로부터 현재 조도를 센서링하여 LED를 제어하였다. 이를 통해 사용자의 작업에 적합한 상황별 조도를 자동으로 제어하여 편리함을 제공하면서도 RTP 요금에 반응하여 조명에너지 비용을 감소시킬 수 있었다. 향후에는 공간내 사용자를 식별하여 사용자별 조명의 선호도를 반영한 RTP 요금제 기반의 LED 조명 제어시스템 연구가 계속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 추혜용, 이정익, 유병곤, "OLED 조명 기술 동향", 전자통신동향분석, 제24권, 제6호
- [2] "제17차 녹색성장위원회 및 이행점검결과 보고대회"
- [3] 서울시, "세계적 LED조명 메카도시 서울 비전"

- [4] 주진환, 강신욱, 권학철, 이석규, 박주현, "PIR을 이용한 에너지 절감형 자동조명 제어 시스템 개발", 한국조명·전기설비학회, 제24권, 제2호
- [5] 고종민, 송계주, 김영일, 정남준, 김상규, "스마트그리드 기반의 실시간요금제 및 DR운영시스템 구현", 대한전기학회, 제59권, 제11호
- [6] 김명호, 김유욱, "유비쿼터스 기반 에너지 절약형 가로등 디밍제어 시스템", 대한전기학회
- [7] 고동수, "스마트 그리드의 핵심인 실시간 요금제의 미국 사례와 시사점", 산업연구원
- [8] 이정은, 최안섭, "주거공간의 실내공간별 조도기준을 위한 빛환경 연구", 조명·전기설비학회, 제19권, 제3호