

지하공간을 위한 자연광 변화 기반 LED 제어시스템 설계 및 구현

이화수*, 권숙연*, 임재현*

*공주대학교 컴퓨터공학과

e-mail:{zooney, sookyoung, defacto}@kongju.ac.kr

A Design and Implementation of LED Control System based on Natural Light Change for Underground Space

Hwa-Soo Lee*, Sook-Youn Kwon*, Jae-Hyun Lim*

*Dept of Computer Science & Engineering, Kongju National University

요 약

최근 도시화가 급격히 진행되면서 도심 공간의 효율적인 이용을 위하여 지하공간의 개발이 새로운 대안으로 주목 받고 있다. 지하공간은 일반적으로 건축 구조상 자연채광의 유입이 불가능한 구조로서 지하 거주자의 심리적, 환경적 문제를 초래하므로 이의 활성화를 위해서는 공간의 질적 제고가 선행되어야 한다. 빛과 조명은 공간의 질을 결정하는 중요한 요소로서 거주자를 위해 건강하고 편안한 환경을 제공하기 위해서는 거주자의 생체리듬과 부합하는 자연광과 유사한 광 환경(색온도, 조도) 서비스를 제공해야 한다. 본 논문은 지하공간을 대상으로 인공조명의 광 환경을 시간의 흐름에 따라 변화하는 자연의 빛과 유사하게 서비스하기 위한 LED제어시스템을 개발한다.

1. 서론

도시의 지상 공간 부족에 따라 공간 이용의 효율을 높이기 위한 방안으로 지하공간의 개발이 이루어지고 있다. 비교적 저조한 지하공간의 관심도는 기반 시설, 저장 시설, 산업 시설 등으로 점차 높아지고 있으며 최근에는 코엑스몰과 같은 복합문화시설이나 광화문 지하박물관처럼 그 활용도 커지고 있다. 그러나 일반적으로 지하공간은 자연환경과의 격리로 인해 불충분한 채광과 환기 등 환경적인 문제점을 내포하고 있고 이는 거주자의 물리적인 스트레스를 발생시킴과 업무의 효율성 및 생산성을 저하시킨다[1].

빛과 조명은 지하공간의 질을 결정할 수 있는 가장 중요한 요소이다. 사람이 오감을 통해 얻는 여러 정보 가운데 전체 정보량의 87%가 시각정보이며 시각과 직접적으로 관계되는 것이 조명이다[2]. 특히, 자연채광은 시 환경의 질을 향상시켜 온화함, 외부세계와의 연계성 향상, 시간과 날씨의 변화를 감지시켜주는 생리적인 장점 등을 수

반한다[3]. 그러므로 지하공간의 환경 개선을 위해서는 자연광의 스펙트럼 특성과 하루의 빛의 리듬, 계절적인 빛의 변화 등을 파악하여 이를 반영한 인공조명을 설계하고 적절하게 배치하며 효율적으로 제어하기 위한 기술 개발이 필요하다[4]. 최근 LED 조명은 자연광 스펙트럼의 대역별 특성을 구현하는 제어기술과 광원자체의 기술 향상에 따라 단순히 어둠을 밝히는 기능조명에서 벗어나, 일출부터 일몰까지 자연광과 유사한 수준으로 자연스럽게 변화하는 광 환경 제공이 가능하다.

이에 본 논문에서는 LED 조명을 이용하여 시간의 흐름에 따라 변화하는 자연의 빛과 유사한 광 환경을 서비스함으로써 지하공간의 거주자에게 건강함과 편안함을 제공하기 위한 조명제어시스템을 개발한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 관련 연구로서 활동 및 장소 유형별 조도, 시간대별 자연광의 색온도와 신체리듬 등의 광 환경 기준 지표에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 LED 제어시스템의 설계 및 구현과정을 자세히 설명한다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후연구방향에 대하여 기술한다.

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(신산업)[10040037, 쌍방향 정보교환기반 복합공간용 인텔리전트 IT조명 시스템 기술 개발] 연구 사업의 일환으로 수행하였음

2. 관련연구

2.1 활동 및 장소 유형별 조도 기준

지하공간은 무창 공간으로 자연광이 유입되지 않는 특성을 가지고 있으므로 인공광원을 이용하여 항상 목표 조도에 부합하는 일정한 조도를 제공해야 한다. 국내 조도

기준 지표는 한국산업규격의 KS 조도기준을 따르며 활동 유형별 조도기준은 표 1과 같다[5].

<표 1> 지상공간의 활동유형별 조도기준

활동유형	조도범위(lx)
어두운 분위기의시식별 작업장	3-4-6
어두운 분위기의 이용이 빈번하지 않은 장소	6-10-15
어두운 분위기의 공공장소	15-20-30
잠시 동안의 단순 작업장	30-40-60
시작업이 빈번하지 않은 작업장	60-100-150
큰 물체 대상의 시작업 수행	150-200-300
작은 물체 대상의 시작업 수행	300-400-600
매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	600-1,000-1,500
비교적 장시간 동안 매우 작은 물체 대상의 시작업 수행	1,500-2,000-3,000
장시간 동안 힘드는 시작업 수행	3,000-4,000-6,000
휘도 대비가 거의 안되며 작은 물체의 매우 특별한 시작업 수행	6,000-10,000-15,000

* 조도범위 : 최저-표준-최고조도

<표 2> 지하공간의 장소 유형별 조도기준

장소유형	조도범위(lx)	조도기준(KS A 3011)과 유사한 장소
중앙홀·광장	300-400-600	A급 공항청사 - 대합실, 중앙홀 : 300-400-600 A급 역사 - 중앙홀 : 300-400-600
통로·보도	300-400-600	A급 공항청사 - 승강장 통로 : 150-200-300
주차장	일반인 경우 :30-40-60 출입이 많은 경우 : 60-100-150	<표 1>의 조도기준에 준한다.
사무실	<표 1>의 조도기준에 준한다.	
상점	<표 1>의 조도기준에 준한다.	

표 1의 활동유형별 조도기준은 지상 공간을 기준으로 생성된 지표이며, 표 2는 지하공간의 각 장소 유형에 따른 조도기준을 나타낸 것이다[2]. 이러한 활동유형 및 장소 유형별 조도기준은 대부분 지상공간을 대상으로 생성하거나 지하공간이라 할지라도 일부 지상공간의 조도지표가 반영된 것으로 향후에는 지하공간만을 대상으로 한 구체적이고 세밀한 항목별 조도기준 지표가 필요하다.

2.2 자연광의 색온도와 신체리듬

색온도란 흑체라고 하는 이상적인 방사체를 표준으로 이들 빛과 같은 색을 발현할 때의 흑체 온도를 의미하며 단위는 K로 표시한다[6]. 일반적으로 인공조명장치는 광원의 종류 및 설치장소에 따라 자연광의 특정 색온도를 기준으로 설계하여 제작한다. 조명장치의 종류에 따라 측정된 색온도를 살펴보면, 백열전구의 색온도는 1,600~2,300K, 형광등의 색온도는 3500~4,500K 등으로 고정되어 있다. 반면, LED 조명은 RGB 광원의 조합을 통해 색온도를 가변적으로 제어할 수 있다. 표 3은 시간에 따른 자연광의 색온도 변화와 인간의 신체리듬과의 관계를 보여주고 있으며[4], 표 4에서는 공간별 행위에 적합한 색온도를 나타낸 것이다[7].

<표 3> 시간대별 자연광의 색온도 및 신체리듬

시간	색온도	신체리듬
일출	2,000~3,000K	체온이 상승하고, 맥박이 증가한다.
08:00~10:00	4,000~4,500K	부신피질 호르몬 혈중 농도가 최고이다.
10:00~12:00		의사결정, 문제 해결력, 정신 집중력이 최고이다.
정오	5,000~5,500K	헤모글로빈 혈중 농도가 가장 높다.
1:00~3:00	4,000~4,500K	기력, 체력이 일시적으로 저하된다.
3:00~5:00		체온, 맥박, 혈압이 가장 높은 시간이다.
일몰	2,000~3,000K	정신적, 신체적으로 가장 불안정한 상태로, 혈압이 불안정해진다.

<표 4> 공간별 행위에 적합한 색온도

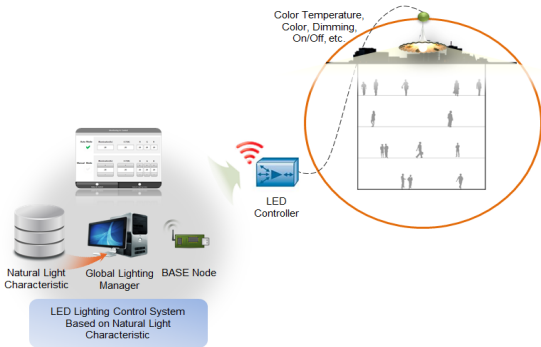
사무실		거실		침실	
행위	색온도	행위	색온도	행위	색온도
휴식활동	3,000K	가족단란	3,000K	취침활동	3,000K
		휴식활동		휴식활동	
		TV 시청	4,000K	TV 시청	
사무활동	4,000K 5,000K	손님접대	4,000K, 5,000K	독서활동	5,000K
		식사활동	5,000K	탈착의	
		취미생활		취미생활	
		가사작업	5,000K, 6,000K	가사작업	

표 3의 일출 및 일몰 시간대의 신체리듬은 생리적으로 불안정한 상태이므로 2,000~3,000K의 편안함을 주는 붉은 색 계열의 자연광 색온도를 제공해야 하며, 이는 표 4의 휴식활동, 취침활동 등과 밀접한 연관이 있다. 또한, 오전 시간대인 8시에서 12시 사이에는 신체리듬이 생리적으로 최고 상태를 유지하고 있으므로 집중도가 비교적 높은 사무활동이나 가사작업 등에 적용해야 한다. 그러나 일시적으로 체력이 저하되거나 긴장되는 신체리듬을 보이는 1시에서 5시 사이의 시간대에는 표 3에 정의한 자연광의 색온도를 제공할 경우 적합하지 않은 것을 알 수 있다. 이와 같이 시간대별로 자연광과 유사한 광 환경을 제공할 경우, 지하공간 거주자의 신체리듬에 적합한 건강하고 편안한 조명 환경을 조성할 수 있어 작업 능력과 생산성을 향상시킬 수 있다. 또한, 시간대별 신체리듬과 자연광의 색온도가 부합하지 않는 위와 같은 문제를 해결하기 위해서는 지하공간의 각 장소 유형과 거주자의 활동 등 상황에 따라 적합한 자연광의 스펙트럼 특성을 선택적으로 제공하기 위한 조명제어서비스가 필요하다.

3. LED 조명제어시스템 설계 및 구현

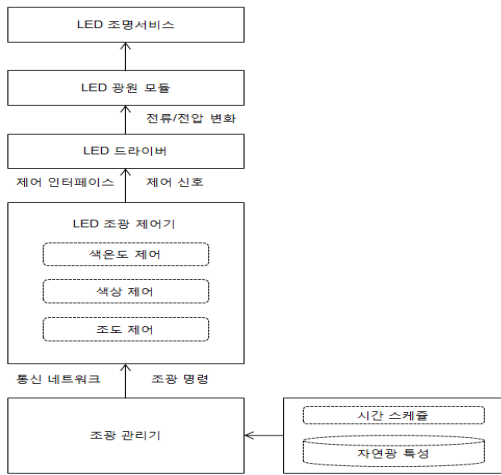
지하공간의 환경 개선을 위해 본 논문에서 제안한 시간대별 자연광 변화에 따른 LED 제어시스템의 개념도는 그

림 1과 같다. 데이터베이스에 저장되어 있는 시간대별 자연광의 스펙트럼 특성에 따라 무선통신 기반의 LED 컨트롤러를 통해 지하공간에 설치한 각 조명장치의 색온도, 조도 등을 정밀하게 제어한다.



(그림 1) LED 조명제어시스템 개념도

3.1 시스템 설계

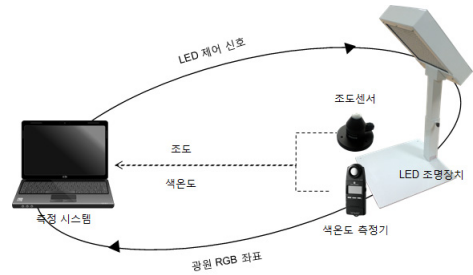


(그림 2) Process of LED Lighting System

그림 2는 LED 조명제어시스템의 각 모듈별 처리 과정을 나타낸다. 먼저 파장 측정기(Spectrometer, Jaz-UML-200) 또는 색온도 측정기(CL-200A)를 이용하여 시간대별 자연광의 특성(파장, 색온도)를 분석하기 위해 1월부터 12월 기간 동안 맑은 날을 기준으로 일출에서 일몰시간대의 파장 및 색온도 데이터를 수집하여 데이터베이스에 저장한다. 그런 다음, 서버 내 구현된 조광 관리기는 데이터베이스에 저장한 자연광의 시간대별 특성 정보를 이용하여 LED 조명을 제어하기 위해 LED 조광 제어기에 제어 메시지를 전송한다. 이때, 메시지 전송은 IEEE 802.15.4 기반의 ZigBee 프로토콜을 이용한다. LED 조광 제어기는 수신한 메시지 정보에 따라 조명장치의 색온도, 조도 등을 제어하기 위해 LED 드라이버로 제어 신호를 전송한 후 전류 조절을 통해 LED 광원 모듈을 변화시킨다. 이러한 처리 과정을 통해 지하 공간 내에 상주하는 거주자에게 시간의 흐름에 따라 변화하는 자연광과 유사한 빛 환경을 서비스함으로써 건강함과 편안함을 제공할 수 있다.

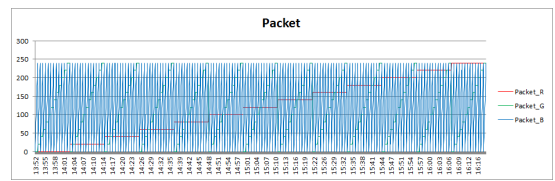
3.2 시스템 구현

3.2.1 RGB 조합에 따른 조명환경DB 생성

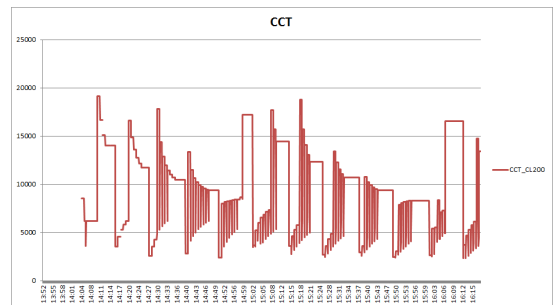


(그림 3) DB생성을 위한 실험환경

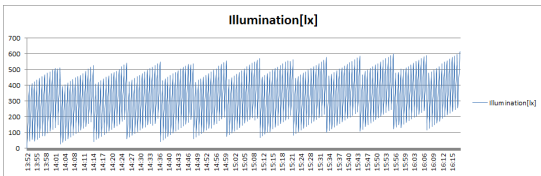
시스템 구현을 위해 본 연구에서는 20×20의 RGB LED 소자를 정사각 배열 형태로 배치한 Prototype 형태의 조명장치를 그림 3의 오른쪽 화면과 같이 제작하였다. 제작한 스탠드형 조명장치의 RGB 조합에 따른 색온도와 조도 변화를 파악하기 위하여 유선형태의 조도센서와 색온도 측정기를 서버에 연동하고 24시간동안 암실 환경 내에서 해당 값을 측정하였다. 먼저 LED 조명장치의 RGB 광원을 0~255의 범위 내에서 20씩 증가시키며 조합한 좌표 정보를 이용하여 제어용 송신메시지 생성 후 컨트롤러를 통해 조명장치를 제어한다. 이때, 조도 센서 및 색온도 측정기는 4초 간격으로 동일한 시점에 조도 정보와 색온도 및 RGB 좌표정보를 측정하여 서버로 전송한다. 전송된 정보는 서버 내 구축되어 있는 조명환경 데이터베이스에 저장된 다음, 시간대별 자연광 변화와 유사한 색온도 등의 서비스 수행 시 유용하게 활용된다. LED 조명장치의 각 RGB 광원을 그림 4와 같이 다양한 비율로 조합함으로써 그림 5의 색온도 정보와 그림 6의 조도 정보를 획득하였다. 그 중 색온도 정보는 RGB 조합의 비율에 따라 불규칙한 패턴을 보였으며, 조도 정보는 RGB 각 광원의 비율에 따른 빛의 양을 합하여 나타난 것으로 규칙적인 패턴으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다.



(그림 4) RGB 조합



(그림 5) RGB 조합에 따른 색온도 변화



(그림 6) RGB 조합에 따른 조도 변화

< 표 5 > 목표색온도 및 조도를 위한 RGB 조합

색온도 지표 (K)	실측정 색온도(K)	조도 지표(lx)	실측정 조도(lx)	RGB 조합
2,000~3,000	2,376	400~450	419	100, 60, 180
4,000~4,500	4,257	400~450	405	240, 220, 40
5,000~5,500	5,214	400~450	446	120, 80, 80

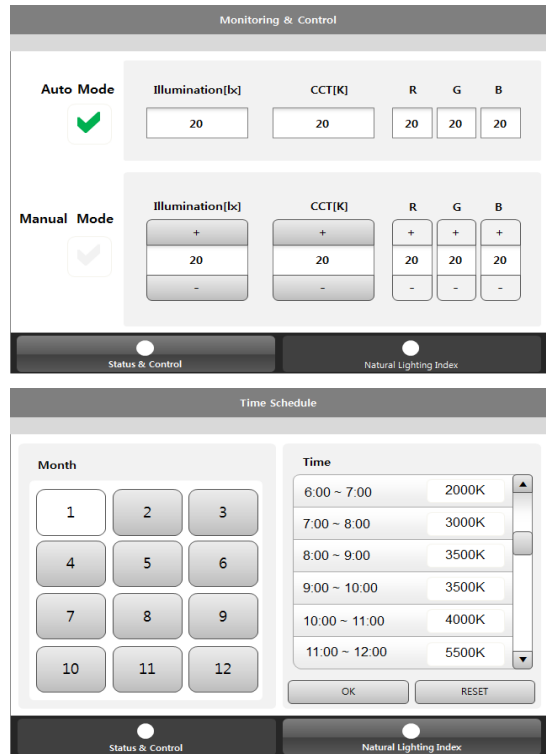
표 5는 시간대별 자연광의 색온도 변화에 따른 지표와 관련연구의 표 2에서 제시한 지하공간의 중앙홀·광장에 적합한 조도 지표 정보를 기준으로 그림 7의 UI를 이용하여 유사한 값을 조명환경DB로부터 검색한 일부 데이터의 예이다.

Packet_R	Packet_G	Packet_B	Illumination	CCT_laz	CCT_CL
80	80	180	395.8225	6903.5	4292
80	80	200	430.63225	7395.75	4292
80	80	180	398.5735	7119.5	4292
80	80	200	430.63225	7395.75	4292
80	80	180	398.5735	7119.5	4292
80	80	160	365.6325	6903.5	4292
160	120	200	427.912	7560	4325
160	120	140	441.52925	8912.33333	4325
160	120	120	408.5295	6713.75	4325
160	120	100	376.1765	6264.25	4325
160	120	120	408.5295	6713.75	4325
160	120	100	376.1765	6264.25	4325
160	120	200	427.912	7560	4325
160	120	140	441.52925	8912.33333	4325
220	180	40	367.48525	6398	4336
220	180	40	367.48525	6398	4336
220	200	40	378.49975	6433.25	4345
220	200	40	378.49975	6433.25	4345

(그림 7) 색온도 및 조도 검색용 UI

3.2.2 사용자 인터페이스

제안한 시스템의 GUI 설계 화면은 그림 8과 같이 Status & Control과 Natural Lighting Index 등의 기능으로 간단하게 구성하였다. Status & Control 화면에서 사용자가 Auto Mode로 설정한 경우, 현재 시간을 기준으로 계절별/시간대별로 측정기를 통해 수집 및 데이터베이스에 저장한 자연광의 스펙트럼 특성 정보를 활용하여 Prototype 형태의 LED 조명장치의 RGB 조합을 통해 색온도와 조도를 조절한다. 사용자가 조명환경을 재구성하고자 할 경우에는 Manual Mode를 선택하여 RGB 색좌표, 색온도, 조도에 해당하는 각 필드에 원하는 값을 입력하거나 증가 및 감소 버튼을 클릭하여 조절하도록 설계하였다. Natural Lighting Index 화면은 계절별/시간대별 자연광의 색온도 지표를 출력하는 화면으로서 사용자가 Month 영역의 해당 월을 클릭하면 시간대별 자연광의 색온도 정보를 확인할 수 있으며 수정 또한 가능하도록 설계하였다. 이러한 모니터링 및 제어기능, 조명환경지표의 확인 및 수정 등이 용이한 GUI 구현을 통해 제안한 시스템의 성능을 확인한다.



(그림 8) LED 조명제어시스템 UI

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 지하공간을 대상으로 시간의 흐름에 따라 변화하는 자연광과 유사한 조명 환경을 제공하기 위한 LED제어시스템을 설계하였다. 제안한 시스템은 지하공간의 조명 환경을 개선하여 거주자의 심리적, 생리적 문제를 해결하고 건강함과 편안함을 제공함으로써 삶의 질을 향상시키는데 활용될 수 있다. 향후에는 계절별/시간대별의 스펙트럼 특성 정보를 기본적으로 반영할 뿐만 아니라 지하공간의 각 공간 및 활동 유형을 센서를 통해 인지하고 이에 적합한 특정 색온도, 조도 등을 선택적으로 반영하여 서비스하기 위한 센서 기술, 상황인지기술 등의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 최우영, 이상훈, 박용호, 이상호, “지하공간 근무자의 근무환경에 대한 연구” 대한건축학회 창립60주년기념 학술발표대회논문집.
- [2] 김세동, 류승기, “지하생활공간 개발 요소기술 연구”, 한국건설기술연구원.
- [3] 김건, “지하공간에서의 빛과 조명, 그 역할과 당위성”, 대한건축학회지.
- [4] 노시청, “감성조명의 이해”, 한국디자인학회.
- [5] 한국산업규격, “KS 조도기준 (KSA 3011-1993)”.
- [6] 최홍규 외 7인, “조명설비 및 설계”, 성안당.
- [7] 장준호, 이순지, 박병철, 최안섭, “주관평가를 통한 공간별 적합 색온도에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집.