Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange
Vol.9, No.5, May 31 (2023), pp.79-91
http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2023.05.07

A Study on the Analysis of Daylighting System for the Improvement of Lighting Environment Performance in Buildings

건물의 조명환경 성능개선을 위한 채광시스템 연구동향 분석 연구

Suyeon Jung[1], Mingoo Lee [2], Heangwoo Lee [3]

정수연[1], 이민구[2], 이행우[3]

[1] Student, Major of Space Design, College of Design, Sangmyung University, Korea, s201920289@gmail.com

[2] Chief Researcher, Energy-IT Convergence Research Center, KETI, emingoo@keti.re.kr

[3] Assistant professor, Major of Space Design, College of Design, Sangmyung University, Korea, 2hw@smu.ac.kr

Corresponding author: Heangwoo Lee

Abstract: Energy consumption is increasing year after year, and the energy consumption in the building sector accounts for a significant part of the total consumption. The demand for technology development and research to solve increasing lighting energy consumption in buildings is growing, and daylighting systems are receiving much attention as a possible solution. However, there is still a lack of research on daylighting systems compared to building cooling energy. Therefore, this study aims to analyze the trend of daylighting system research related to improving the lighting environment and saving building energy and suggest future research directions for daylighting systems. Academic articles related to daylighting systems published in Korea after 2000 were analyzed, and the main findings are as follows. 1) The main content of most related papers was centered on combining various element technologies. These combinations focused on offering different functions from daylighting systems and integrating other fields, and most results showed improved daylighting performance compared to the single-structured daylighting systems. Also, recent research has begun to integrate IT, one of the core technologies of Industry 4.0, and this trend is expected to continue. 2) Most research on developing daylighting system technologies focused on daylighting control, which requires an optimal combination of operation and control, as mentioned above. 3) Most previous studies on daylighting systems validated the effectiveness of the proposed technologies but only focused on energy savings. These performance evaluations should have also considered the demand and satisfaction of occupants to verify the proper performance of daylighting systems. 4) Most previous works on developing daylighting system technologies did not consider or review economic feasibility (such as initial construction and maintenance costs), which is a major omission in demonstrating their effectiveness and a limitation of previous studies.

Keywords: Daylighting System, Light Environment, Energy Saving, Research Trend

Received: January 23, 2023; 1st Review Result: March 10, 2023; 2nd Review Result: April 06, 2023
Accepted: April 30, 2023

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

요약: 에너지 사용량은 매년 증가하고 있으며, 그중 건물에너지의 사용량은 전체 사용량에 대비해 높게 나타나고 있다. 건물 에너지중 조명에너지의 사용량의 증가 문제로 인한 기술개발 및 연구에 대한 수요가 높아지고 있으며, 이중 채광시스템은 조명에너지 사용량 증가에 대한 하나의 해결책으로 관심이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 채광시스템 관련한 연구분야는 건물부분의 냉방에너지 관련 연구에 비해 상대적으로 부족한 실정이다. 이에 본 연구는 빛환경 개선 및 건물에너지 저감과 관련된 채광시스템 연구의 경향을 분석함으로써, 향후 채광시스템과 관련한 연구 방향에 대한 분석을 목표로 한다. 이에 본 연구는 2000년 이후 발간된 채광시스템 관련 국내논문의 경향을 분석하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다. 1) 채광시스템의 기술개발에 대한 관련 논문의 주요한 내용은 요소기술간의 결합으로 보여지고 있다. 요소기술간의 결합은 채광시스템과는 다른 기능을 가지거나 타분야와의 결합으로 나타나고 있으며, 채광시스템의 단일구조에 의한 것보다 채광성능이 개선된다는 결과가 보여지고 있다. 또한 최근 연구는 4차혁명의 핵심기술인 IT기술과 결합된 연구로 이러한 경향은 지속될 것으로 보인다. 2) 채광시스템의 기술개발과 관련한 연구의 주요한 내용은 채광제어에 대한 수준으로, 앞서서 언급한 가동 및 제어 분야와 적절한 결합이 요구된다. 3) 채광장치의 선행연구는 기술개발에 대한 유효성 검증이 이루어지고 있으나, 에너지저감의 측면에 초점이 맞추어져 진행된 것으로 사료된다. 그러나 채광시스템에 대한 적절한 성능검증이 이루어지기 위해서는 에너지저감 및 재실자의 요구수준 및 만족도에 근거한 성능평가가 반영되도록 개선되야 할 것으로 판단된다. 4) 본 연구에서 수행된 채광시스템과 관련한 개발 연구 기술개발에 대한 초기 구축 비용 및 유지관리 관련 경제성을 검토하고 있지 않고 있으며, 이는 기술개발의 실효성 입증에 부적합하다. 이러한 부분은 선행연구들이 가지는 한계로 보인다.

핵심어: 채광시스템, 빛환경, 에너지저감, 연구 경향

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

에너지에 대한 수요는 산업의 고도화 및 첨단화로 인하여 지속적으로 높아지고 있으며, 특히 인구 급증이라는 키워드와 맞물려 에너지 사용량은 매년 증가하고 있는 추세이다[1][2]. 특히, 건물부분의 에너지 사용량은 급속한 도시화, 기후변화 등의 여러 이유로 꾸준히 증가하고 있는 추세이다[3]. 실제로도 Global Alliance for Buildings and Construction (GABC)에서 2022년에 발표한 “The GlobalABC releases 2022 Global Status Report for Buildings and construction”에 따르면 2021년 건물 및 건설부분의 에너지 사용량은 전체에너지 사용량에 비해 약 37%로 높게 나타나고 있으며, 2020년 대비 약 5%가 증가한 것으로 나타났다[4]. 많은 양의 건물에너지 소비는 에너지 공급 중단, 온실가스 배출 증가, 대기오염 악화 등 많은 문제를 야기할 수 있기에 건물부문의 에너지 저감은 현사회가 해결해야 할 당면한 과제이다[5][6]. 건물부문에서의 조명에너지 사용량은 2022년 U.S. Energy Information Administration에서 발표한 “Annual Energy Outlook 2022” 자료에 의하면 냉방과 난방을 위한 에너지 다음으로 높게 나타나고 있어서 이를 해결하기 위한 다양한 연구가 요구되고 있다[7][8]. 그러나 조명에너지 저감을 위한 연구는 단순 조명의 효율을 높이기 위한 연구가 초점이 맞추어져 진행되어 온 것이

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

사실이다[9]. 즉, 실내공간의 빛환경 및 조명에너지와 연관을 가지는 채광시스템에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다.

이에 본 연구는 일차적으로 실내공간의 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템에 관련한 연구들의 분석하여 그 경향을 도출하며, 향후 기술개발을 위한 방향 제시를 목적으로 한다.

1.2 연구의 절차 및 방법

본 연구는 실내공간의 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템 기술의 경향을 분석하기 위하여 [그림 1]에서 나타나듯이 다음의 절차에 의거하여 진행하였다. 첫 단계로 본 연구의 문헌고찰의 단계로 채광시스템의 개념, 종류 특성을 고찰하였다. 또한, 실내 적정 빛환경에 대한 기준을 정리하였다. 두번째 단계로는 본 연구는 채광시스템에 관련한 연구들의 경향을 분석하기 위한 분석프레임을 제안하였다. 마지막으로, 채광시스템 관련 연구를 분석함으로써 최근 국내에서 수행된 채광시스템의 연구 동향을 분석하여 향후 채광시스템 개발 및 연구의 방향을 제언하였다.

[그림 1] 연구의 흐름도

[Fig. 1] Flow Chart of Research

2. 채광시스템 및 실내 빛환경 조도기준 고찰

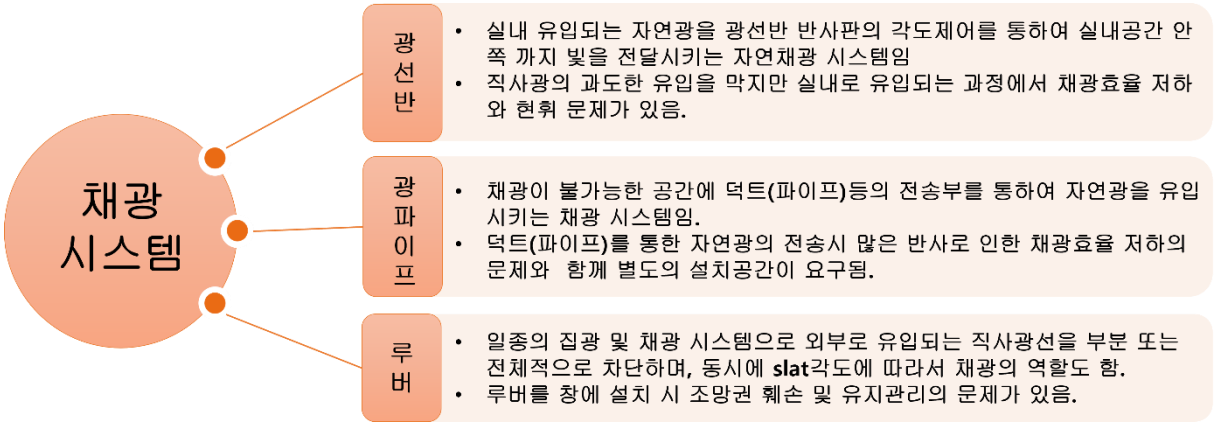
2.1 채광시스템의 개념 및 종류

채광시스템은 채광창에 설치하여 외부의 주광을 실내로 효율적으로 입사키는 것으로, 지하나 실내 깊숙한 곳과 같이 실외의 주광이 유입되지 못한 곳에 자연광이 효율적으로 도달하게 함으로써 쾌적한 시환경을 만든다[10][11]. 이러한 채광시스템은 건물에 적용하기 쉬우며, 효율적인 건물에너지 저감이 가능하다는 장점이 있어서 많이 적용되고 있는 시스템이다[12]. 대표적인 채광시스템은 [그림 2]에서 나타나듯이 광선반, 광파이트, 루버 등이 있으며, 이에 대한 설명은 다음과 같다. 광선반은 반사판의 형태로 채광창의 내부 또는 외부에 부착하여 외부의 자연광을 실내공간 안쪽까지 빛을 전달시키는 일종의 자연채광시스템으로, 조명에너지 저감과 실내 조도분포를 균일하게 하는 장점을 가진다[13]. 그러나 광선반은 반사판의 각도에 따라서 채광효율의 저하와 함께 현휘를 발생시킬 수 있다는 문제점을 가지고 있다[14]. 광파이프는 일반적인 방법으로 채광이 불가능한 공간에 덕트 형식의 전송부를 설치하여 자연광을 유입시켜주는 시스템이다.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

광파이프는 채광의 효율을 높이기 위하여 집광부가 태양을 추적하는 가동이 요구된다. 그러나 광파이프는 자연광 전송시 덕트 내부의 반사가 많아지면 주광의 조도는 감소되는 단점을 가진다. 또한 광파이프는 별도의 덕트를 설치하여야 함에 따라서 내부공간을 많이 차지하며 설치 후 변경이 어렵다는 단점과 함께, 초기 설치비용이 높다는 단점이 있다[15]. 루버는 일반적으로 차양시스템으로 알려져 있으나, 외부에서 실내로 유입되는 자연광이 slat에 의하여 차양과 동시에 채광과 집광의 효과가 이루어져 채광시스템으로도 분류된다[16]. 루버는 슬래트 (slat)의 각도를 조절함으로써 외부로부터 유입되는 직사광선을 차단하며, 겨울에 바람막이 역할을 하여 채광창 유리의 단열성능을 높이는 효과가 있다. 그러나 루버가 외부에 설치될 경우 오염 등에 의해 채광성능 저하가 발생, 유지관리의 어려움이 있다는 단점을 가진다.

이러한 내용을 종합해 보면 채광시스템의 효율을 높이기 위하여 적절한 제어와 가동이 요구되며, 이를 위한 기술은 채광시스템의 성능을 결정짓는 주요한 부분이다[17].



[그림 2] 채광시스템의 종류 및 특성

[Fig. 2] Types and Characteristics of Daylighting Systems

2.2 국내외 실내 빛환경 기준 고찰

실내공간의 쾌적한 빛환경 조성은 재실자의 편안함, 작업능력, 생체리듬, 심리적 등 전반적인 영향을 미치는 중요한 요소이다[18]. 또한, 쾌적한 빛환경 조성은 불필요한 조명제어를 차단할 수 있다는 측면에서 에너지 저감에도 유효하다. 이에 실내공간의 적정 빛환경 조성을 위하여 국가마다 기준을 설정하고 있으며, 본 연구는 이러한 기준을 고찰하였다. 그 결과 [표 1]에서 나타나듯이 한국, 미국, 일본은 각각 실내 쾌적한 빛환경 조성을 위한 기준으로 각각 KS A 3011, IES, JIS Z 9110를 제시하고 있음을 알수 있다. 이러한 실내공간의 빛환경 조성을 위한 기준은 조도 단위인 룩스(lx)로 명시하고 있으며, 국가별로 다른 조도 기준을 정하고 있다. 또한, 실내적정 빛환경에 대한 기준은 나이, 성별 등에 따른 선호도가 다르게 나타나고 있다. 10대와 20대의 경우 300lx에서 700lx까지의 조도수준을 선호하며, 30대의 경우에는 500lx에서 1,000lx까지의 빛환경을 선호하는 것으로 나타나고 있다. 또한, 50~60대의 경우는 1000lx를 선호하는 것으로 나타났다[19]. 이러한 내용을 고려시 채광시스템은 각 사용자의 선호환경을 고려하여 가동이 이루어져야 할것이며, 나아가 채광시스템의 기술개발에 대한 성능평가는 다양한

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

선호조도를 고려하여 성능검증이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

[표 1] 실내공간의 적정 조도기준

[Table 1] Appropriate Illuminance Standards for Indoor Spaces

국가	조도기준	시작업 수준	범위 (lx)		
			허용최소조도	허용표준조도	허용최대조도
한국	KS A 3011 (한국)	General	300	400	600
미국	IES (미국)		500	750	1000
일본	JIS Z 9110 (일본)		300	500	600

3. 채광시스템 개발동향 분석 및 제언

3.1 관련연구 도출 및 분석프레임 도출

본 연구는 건물에너지 저감 및 실내 빛환경 개선을 위한 채광 기술의 연구 동향을 분석하기 위하여 선행연구를 고찰하였다. 이를 위하여 본 연구는 다음의 절차를 통하여 선행연구를 선별하였다. 우선 본 연구는 2022년 12월 27일 기점으로 채광시스템을 키워드로 논문을 검색하여 656건의 논문이 도출되었으며, 이후 에너지저감을 키워드로 재검색한 결과 181건으로 나타났다. 또한 본 연구는 181건의 논문 중 에너지 저감 및 빛환경 개선을 목적으로 기술개발의 성격을 가지고 있는 논문은 총 31건으로 나타나 수행되고 있는 연구의 수는 채광분야의 설계, 이론 및 시공과 관련한 연구에 대비하여 적은 수준으로 나타나고 있다. 이후 본 연구는 31건의 논문 중 2000년 이후 발표된 학술지논문으로 기술개발, 성능평가 난이도 및 인용정도를 고려하여 총 8건을 채광시스템 관련 기술개발 동향 분석을 위한 논문으로 선정하였다. 본 연구의 논문검색은 학술연구정보서비스(Research Information Sharing Service)에서 제공하는 논문검색 엔진을 사용하였다. 학술연구정보서비스는 교육부 출연기관인 한국교육학술정보원에서 제공하는 학술연구정보화시스템으로 공신력있는 논문 검색엔진으로 높은 신뢰도를 가지고 있기에 본 연구에 적합한 것으로 사료된다.

본 연구는 선별된 논문을 통하여 채광시스템의 개발 동향을 분석하기 위하여 관련 연구를 고려하여 각각의 논문에 대하여 [표 2]에서 나타나듯이 연구개요, 적용기술, 성능평가를 통한 에너지 저감률, 빛환경 개선율, 경제성 검토를 분석하였다[20].

[표 2] 연구동향 분석 프레임

[Table 2] Research Trend Analysis Frame

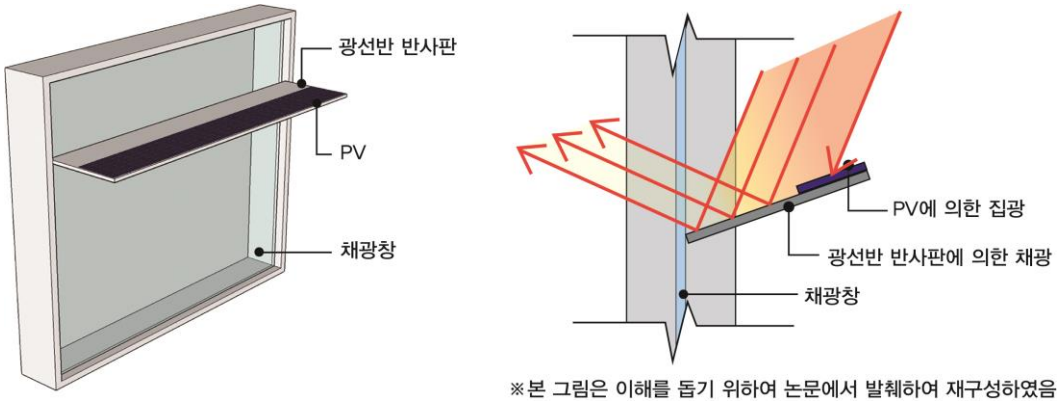
분석지표	내용
연구개요	연구목적 및 채광시스템의 개발 대상에 대하여 분석
적용기술	기술개발을 위하여 적용된 기술 분석
에너지저감률	선행기술대비 에너지 저감률 분석
빛환경 개선률	선행기술대비 보이는 빛환경(실내균제도, 조명률) 개선률
경제성 검토	초기구축 비용 대비 투자수익률 분석, 유지관리 고려

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

3.2 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템 연구 동향 분석

본 연구는 앞서서 선정한 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템의 개발을 목적으로 하는 논문에 대하여 그 경향을 분석하였으며, 이에 대한 내용은 다음과 같다.

김정민 외 3명에 의하여 2018년에 수행된 “PV 부착 광선반의 채광성능 및 에너지 저감 기초 연구[21]”는 [그림 3]에서 나타나듯이 연구는 광선반 일부에 PV가 부착된 형태의 광선반을 제안하여, 광선반 반사판에 부착되는 PV 면적의 집광 및 조명에너지 저감의 효율 성능을 분석함으로써 PV 부착 광선반의 성능검증 및 적정규격 도출을 목적으로 하고있다. 본 논문에서는 빛 에너지를 전기에너지로 변환시켜주는 모듈인 PV를 광선반에 부착 후 PV 부착면적과 각도에 따른 성능평가를 진행하였다. PV의 집광량이 증가하기 위한 적정각도는 하지, 동지에 대한 적정규격을 도출하고 있으며, 건물에너지 저감효율은 광선반의 반사판 일부분에 PV를 부착하는 것으로 나타나고 있다. 본 연구는 PV 미부착 광선반보다 PV부착 광선반이 23.7%~58.1% 저감되며, 유효한 것으로 파악되며, 특히 PV부착면적 65.7% 광선반은 부착면적 100% 광선반보다 에너지 저감효율이 15.2% 높게 나타나고 있다. 이는 단순 건물외피의 적용보다 건물외피 요소기술간 조합을 통하여 건물외피의 효율을 높이고 있는 것으로 분석된다.



[그림 3] PV적용 광선반의 개념 및 원리

[Fig. 3] Concept and Principle of PV Applied Light Shelf

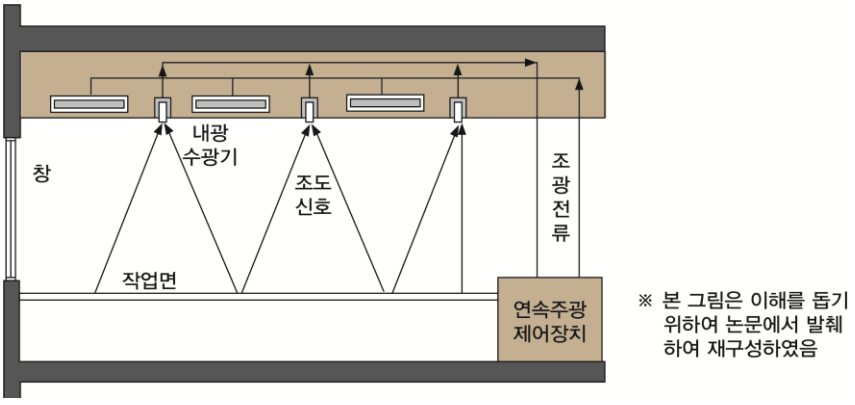
김재향 외 1명에 의하여 2022년에 수행된 “전기변색 외피시스템 적용 업무공간의 채광 성능 분석[22]”은 세계 각국의 친환경 건축인증 제도인 LEED, BREEAM, CASBEE, G-SEED의 기준을 통하여 스마트윈도우의 가시광선투과율(VLT) 조절에 따른 채광성능 검토를 하였으며, 쾌적한 실내 채광환경을 유지할 수 있는 스마트 윈도우 VLT 범위에 대한 고찰을 진행하였다. 연구 대상은 실내 빛 환경에 직접적으로 영향을 주는 VLT의 범위가 가장 넓은 스마트 윈도우를 대상으로 하였으며, Ray-tracing방식을 사용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 분석결과 한국의 친환경 건축물 인증제도 G-SEED의 평균 주광률을 기준으로 하였을 경우 오피스에서 확보되어야 하는 최소한의 전기변색 스마트 윈도우 VLT는 25%이며, 계절별 유지되어야 하는 전기변색 스마트 윈도우의 최소 VLT가 되출되었다. 또한 VLT가 증가할수록 평균주광률은 정비례 하였으며, 균제도는 0.21~0.22가 유지되었다. 이러한 부분은 채광창의 일사를 조절시에도 실내 균제도를

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

유지할수 있는 기술로 그 의미가 있다.

한상필에 의하여 2012년에 작성된 “실내조명환경의 시각적 쾌적성 확보 및 조명부하 저감을 위한 채광제어방법에 관한 연구[23]”는 선행연구의 결과를 토대로 채광이 이루어지고 있는 창으로부터의 제어에 따른 실내조명환경의 변화를 시각적 쾌적성과, 채광조건에 따른 실내인공조명의 전력소비량을 비교하였다. 실험은 다양한 조명환경을 SD법 7단계로 13개 항목을 평가를 진행하였으며, 실험조건은 실내 중심의 창측부터 실의 안측까지 12지점에서 측정한 평균조도가 700lx로 제시하여 조명패턴 8개의 조건을 가지고 평가를 진행하였다. 본 연구는 채광조건의 변화와 채광제어에 따른 실내조명환경의 변화를 시각적 쾌적성 측면에서 검토하여 ACModel에 근거한 방식이 채광제어와 실내 창측에서 조명가미 방식으로 시각적 쾌적성을 확보하는 것을 입증하였으며, 채광조건에 따른 시각적 인상평가의 비교와 균일조명과 합성조명에 의한 소비전력량을 비교하였을 때 기준 조도 700lx를 확보하기 위해서는 인공조명의 사용이 적은 조건에서는 높은 전력감소가 있었다는 것을 알 수 있다.”

김정태 외 2명에 의하여 2005년에 수행된 “통합 채광시스템의 건물 냉난방 에너지 성능평가[24]”는 [그림 4]에서 나타나듯이 자연광 유입에 따라 비례적으로 운용된 인공조명의 연동제어기법 제안하며, 이를 일반적 사무소 공간에 적용하였을 때 예상되는 연간 전반조명에너지 및 냉방부하의 정량적 절감량을 분석하여 그 유효성을 입증하고 있다. 본 논문은 인공천공돔의 담천공 상태에서 측정된 각 건물입면변수별 주광률 수치를 이용하여 프로그램을 구성하여 성능평가를 진행하였다. 그 결과 유입되는 자연광에 대응해 연속적으로 조광되는 조명제어 시스템은 최소의 조명에너지로 최적의 조명환경을 제공할 수 있으며, 실내공간의 이용에 융통성과 편리성 증대가 가능함을 입증하고 있다. 이에 따라 작업면의 조도 600lx 기준으로 연속조광방식을 통합제어운용할 경우 자연채광으로 인하여 약 70%의 인공조명 에너지 절감 효과가 나타나였으며, 자연광 유입에 따라 인공광원이 점멸되어 광원으로부터 발열량이 감소하여 냉방에너지 절감량을 분석하였을 때 연간 30% 정도의 냉방 부하 절감 효과가 나타났고, 겨울철 채광부를 통하여 유입되는 일사취득열량이 난방부하를 대체하는 효과 평가시 연간 70%이상의 난방부하가 절감되는것으로 나타났다. 이는 채광시스템을 단독으로 사용하여 실내설비기기와 통합된 구조를 가지도록 함으로써 에너지 저감 효율을 높이고 있다.

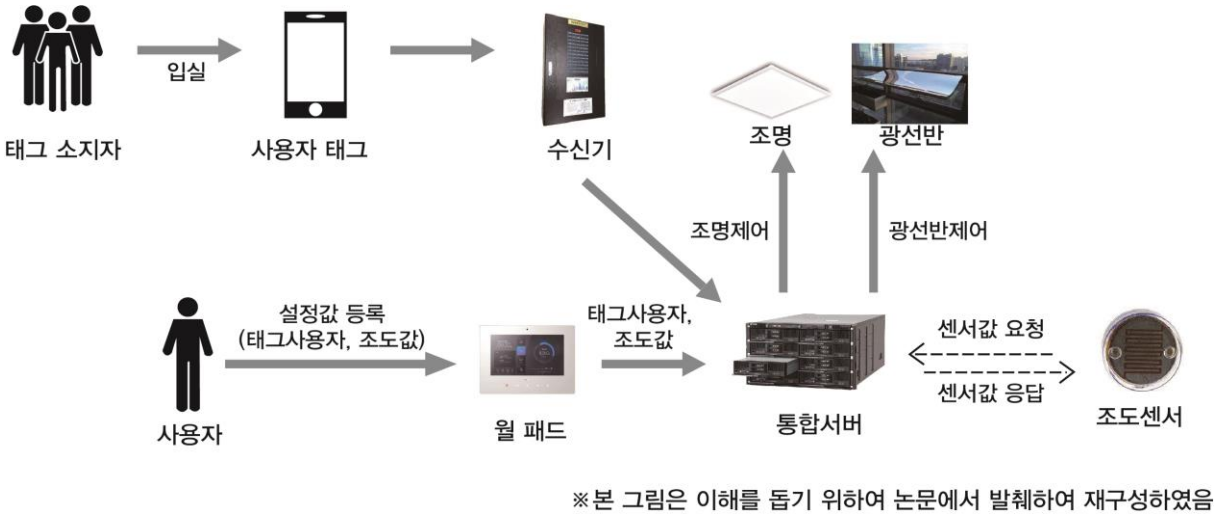


[그림 4] 설비기기 통합 채광시스템의 구조

[Fig. 4] Structure of Daylighting System With Integrated Equipment

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

서태원 외 2명에 의하여 2012년에 수행된 “주거공간 내 사용자인식기술 적용 조명에너지 저감 광선반 시스템 연구[25]”는 [그림 5]에서 나타나듯이 광선반 시스템과 사용자인식 기술에 대한 고찰을 기반으로 사용자인식기술 적용 광선반 시스템 제안을 목적으로 하며, 제안된 사용자인식기술 적용 광선반 시스템을 에너지 저감 성능 관점에서 사용자인식 기술이 미적용된 광선반과 비교 평가하였다. 사용자인식 기술이란 사용자의 이름, 나이, 성별, 요구사항 등 사용자에 관한 정보를 토대로 사용자의 상황이나 요구에 대한 서비스를 검색 및 분석하여 사용자 중심의 서비스를 제공한다. 본연구를 통해 사용자미인식 고정형 시스템에 대비해 사용자인식 고정형 시스템은 1인 사용자B, 2인 사용자BC의 경우 내부형 타입 적용시 13.4%가 저감되며, 1인 사용자C의 경우 13.4%의 조명에너지가 저감된 것 알 수 있었으며, 사용자미인식 고정형 광선반에 대비해 사용자인식 가동형 시스템은 1인 사용자B, 2인 사용자BC의 경우 외부형 및 혼합형 타입20%, 내부형 타입13.4%가 저감되는 것으로 나타났다.

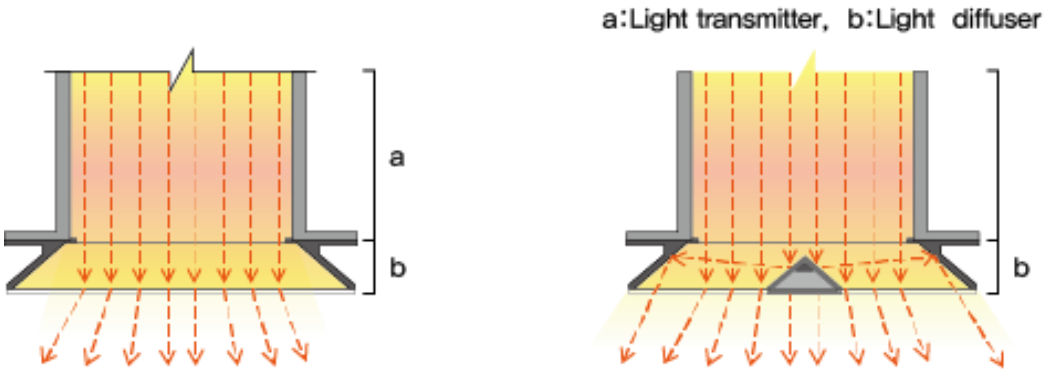


[그림 5] 사용자인식 기술 적용 광선반 기술 구조

[Fig. 5] Light Shelf Technology Structure With User Recognition Technology Applied

이한솔 외 5명에 의하여 2018년에 수행된 “광덕트의 채광성능 개선을 위한 이중반사형 산광부 개발[26]”은 [그림 6]에서 나타나듯이 광덕트 산광부의 채광효율을 극대화하여 실내의 쾌적한 빛 환경을 조성할 수 있는 산광부의 형태 및 구조를 개발하며, 이후 기존 상광부와의 채광성능을 비교 분석하여 광덕트 산광부의 설계를 위한 기초자료 구축을 하였다. 본 논문은 기존 광덕트 산광부의 중앙부 조도 집중 현상에 따라 조도가 불균일하게 분포되는 문제점 개선을 위해 자연광의 실내 방출 범위를 증가시키는 이중반사형 산광부를 제안하였으며, 이는 하부 및 상부의 연속된 반사로 확산된 빛을 실내로 유입함으로써 채광성능 개선이 가능하였고, 하부 반사판은 산광부에 의해 산광부 중앙으로 밀집되는 주광을 차양하여 실내 빛환경 개선이 가능하다는 것으로 나타났다. 또한 산광부 형태에 따라 실내 빛 환경 변화를보여주며 실내 평균조도 상승 및 채광성능 개선이 가능하며, 이중산광부는 기존타입에 비해 하지, 중간기, 동지에 대해 74.4%, 76.9%, 81.0%의 채광효율이 높게 나타나고 있어 이중반사형 산광부는 유효한 시스템으로 판단된다

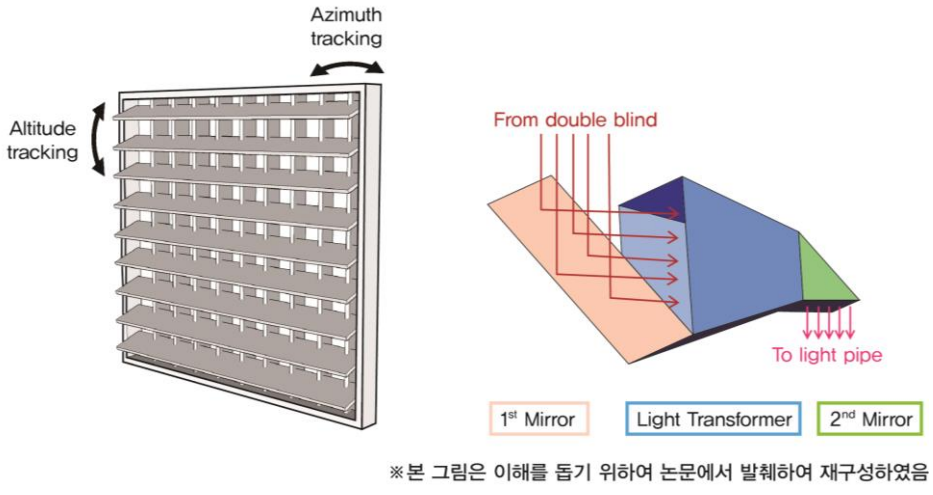
Copyright ⓒ 2023 KCTRS



[그림 6] 이중 반사형 광파이프의 산광부 기술 구조

[Fig. 6] Technical Structure of Light Diffuser of Double Reflective Light Pipe

박주헌 외 1명에 의하여 2006년에 수행된 “도서관 열람공간의 방위 및 루버시스템에 따른 주광성능 평가[27]” 는 대상공간의 전면창에 대한 직사일광의 사입면적비와 주광률 및 실내의 조도분포를 산출하여 일반적으로 사용되고 있는 루버 형태인 수직루버와 수평루버 및 격자루버를 각각 다른 방위로 배치하여 다양한 조건에서의 주광성능을 평가하였다. 실내로 들어오는 직사일광에 의한 주광성능 평가를 위해 전면창의 면적에 대한 일사면적의 비율을 산출하여 각 루버 설치에 따른 직사일광 제어를 평가하였으며, 남향의 경우 연평균 일사면적비는 루버 미설치 보다 루버가 설치된 경우 61.1~ 87.1%의 절감효과가 있음을 입증하고 있다. 서향의 경우 31.1~44%가 감소, 동향의 경우 35.3~45.4%의 저감의 효과를 입증하고 있다. 이러한 연구결과는 채광시스템의 효율을 높이기 위해서는 적절한 제어뿐만 아니라 채광시스템의 형태를 가변화시키는 기술이 필요하다는 것을 의미하고 있다.



[그림 7] 이중블라인드 적용 광파이프의 구조 및 원리

[Fig. 7] Structure and Principle of Double Blind Applied Light Pipe

강은철 외 2명에 의해 2013년에 작성된 “이중 블라인드 광파이프 주광 조명시스템 효율 및 조명에너지 절감량 평가 연구[28]”는 [그림 7]에서 나타나듯이 이중 블라인드 주광 조명 시스템 설계자료를 기반으로 태양을 2축으로 추적하는 이중 블라인드

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

집광장치와 덕트형 광 전송장치, 산광장치로 구성된 이중 블라인드 광파이프 주광조명 시스템을 실증 건물에 적용하고 시스템에 대한 성능평가를 진행하였다. 블라인드 광파이프에 집광장치를 설치하여 낮 동안 주광을 실내 조명에 활용하며, 집광 후 전송장치를 통해 실내로 연결된 산광장치를 이용해 태양빛을 전송하는 기술을 사용하였다. 블라인드 광파이프 주광 조명시스템의 평균 효율은 11.67%로 나타났으며, DBLP시스템의 실측 효율과 이론적 효율로 비교했을 때 최대 15.3%의 효율이 이론적 효율에서 높게 나타났으며, DBLP 시스템의 일일평균 조명에너지 저감량을 평가하였을 때 32W 형광등 4대를 6.4시간 사용하는 만큼의 조명에너지 저감효과가 나타났다. 이는 채광시스템의 효율을 높이기 위하여 단일 요소기술의 적용이 아닌 차양 및 채광 요소기술간 조합을 통해 그 성능을 높이고 있다는 것이 파악된다.

3.3 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템 연구 동향 및 방향 제언

본 연구는 2000년 이후 채광기술 관련 기술개발 성격을 보이는 논문의 경향을 [표 3]에서 나타나듯이 분석하였으며, 이에 대한 종합된 결과는 다음과 같다. 첫 번째, 3장 1절에서 언급하였듯이 채광은 건물에너지 저감에 주요한 기술이나, 개발 성격을 가진 논문은 계획 및 시공에 대한 연구에 대비하여 상대적으로 부족한 실정으로 파악된다. 두 번째, 채광시스템 관련 개발성격을 가진 논문의 경향은 요소기술간의 결합 및 제어기술로 요약할 수 있다. 요소기술 간의 결합은 단일 채광시스템에 의하여 에너지 저감 및 빛환경 개선을 하는 것이 아니라 다양한 분야 및 기능을 채광시스템으로 도입하여 기술개발을 진행함으로써 채광의 성능을 개선하고 있는 것이 특징이다. 실제로도 이러한 다양한 요소기술간 결합을 통한 채광시스템은 에너지 저감의 효율은 [표 3]에서 보듯 선행기술에 대비하여 그 유효성을 나타나고 있는 것으로 사료된다. 또한 채광시스템의 연구동향의 주요 키워드는 채광제어기술에 대한 내용으로 채광의 방식을 개선하고자 하는 연구가 수행되고 있다. 이러한 채광제어 기술의 경우에도 결과적으로는 여타의 분야를 조합한 결과이며, 이러한 점을 고려시 채광시스템의 연구동향은 채광 단독에 의한 연구가 아닌 융합된 연구를 지향하고 있음을 알수 있다. 세 번째, 채광시스템은 에너지 저감의 역할뿐만 아니라 실내의 적절한 빛환경을 개선하는 것이 주요한 부분이나, 선행된 연구들은 실내 빛환경 개선에 대한 부분을 고려하지 않고 있다. 이는 채광시스템에 관련한 주요기술이 에너지 저감에 초점이 맞추어져 있다는 것을 의미한다. 네 번째, 선행된 채광시스템 개발은 경제성 검토가 이루어지지 않고 있다. 이러한 부분은 연구결과의 실효성에 직결되는 내용은 문제시될 수 있다.

[표 3] 채광시스템 관련 연구동향 분석결과 종합

[Table 3] Synthesis of Research Trend Analysis Results

저자	연구목적	개발 주요기술	성능평가 고려요인		경제적 검토
			에너지 저감	실내빛환경 개선	
김정민 외 3명	PV부착 광선반의 성능검증 및 적정규격 도출	요소기술 간 결합(채광+집광)	고려 (15.2~58.1% 저감)	미고려 (균제도 저하)	미검토
김재향 외 1명	스마트 윈도우 VLT 조절에 따른 채광성능 검토	요소기술 간 결합(채광+IT)	고려 (VLT를 통한 간접 고려)	일정수준 유지 확인	미검토

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

한상필	채광제어 방식에 따른 시각적 쾌적성, 전력소비량 비교	채광제어기술	고려 (인공조명사용량 도출을 통한 확인)	일정수준 유지 확인	미검토
김정태 외 2명	연동제어기법 적용시 에너지 절감량 분석	요소기술 간 결합(채광+연속조광)	고려 (약 70%저감)	미고려	미검토
서태원 외 2명	사용자인식기술 광선반 에너지저감성능 검증	요소기술 간 결합(채광+IT)	고려 (13.4~47.5% 저감)	미고려	미검토
이한솔 외 5명	이중반사형 광덕트 산광부 개발 및 성능평가	채광제어기술 (이중반사)	고려 (74.4~81.0% 저감)	고려 (70~77.4% 개선)	미검토
박주헌 외 1명	루버의 형태별 주광성능 평가	루버시스템 제어기술	고려 (61.1~87.1% 저감)	미고려	미검토
강은철 외 2명	블라인드 광파이프 주광조명시스템 성능평가	요소기술 간 결합(채광+차양)	고려 (32W 형광등 4대 기준 6.4시간 사용만큼 저감)	미고려	미검토

이러한 채광시스템의 동향을 고려하여 향후 채광시스템을 개발을 위한 연구를 수행시 다양한 학문과 분야를 융합함으로써 그 효율을 증대할 수 있는 방안을 고려해야 할 것이다. 또한, 제안하는 채광시스템의 유효성을 검증함에 있어서 실내공간의 쾌적도 및 경제성을 고려함으로써 연구의 실효성을 높여야 할것이다.

4. 결론

본 연구는 실내공간의 빛환경 개선 및 건물에너지 저감을 위한 채광시스템 동향을 도출하기 위하여, 2000년 이후 출판된 학술논문지 중 채광시스템 기술개발 관련 논문을 대상으로 그 경향을 분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 채광시스템 기술개발 관련 논문의 주요한 내용은 요소기술간 결합으로 나타나고 있다. 요소기술간의 결합은 채광시스템과 다른 기능을 가지거나 타분야와의 결합으로 채광시스템 단일구조에 의한 것보다 채광성능이 개선되는 결과를 나타내고 있다. 그리고 최근 4차혁명의 핵심인 IT기술과 결합된 연구로 인해 이러한 경향은 지속될 것으로 보인다. 둘째, 채광시스템 기술개발은 채광제어 기술이다. 이러한 부분은 효율적인 채광성능을 위하여 채광설비를 제어하는 것으로 앞서서 언급한 가동 및 제어 분야와 적절한 결합이 요구된다. 셋째, 채광성능 기술개발에 대한 성능검증은 주요한 부분이나, 기 수행된 연구에서는 에너지저감의 측면에 초점이 맞추어져 진행된 것으로 사료된다. 그러나 채광시스템에 대한 성능검증은 재실자의 만족도에 근거한 성능평가가 반영되도록 개선되어야 할 것으로 판단된다. 넷째, 기수행된 채광시스템 개발 연구에서는 기술개발에 대한 초기 구축 비용 및 유지관리 관련 경제성을 검토하고 있지 않으며, 이는 결국 기술개발의 실효성 입증에는 부적합하다. 이러한 부분은 선행 연구들이 가지는 한계로 사료된다.

본 연구는 채광시스템 관련 선행연구를 분석하여 그 경향을 도출하였다는 점에서 유의미하다. 그러나 채광시스템의 기술개발의 연구의 양과 수준은 부족한 것으로 사료된다. 건물에서의 채광시스템은 에너지 저감에 주요한 역할을 하고 있기에 많은 연구가 이루어져야 할 것이며, 요소기술간 결합 및 경제성 검토를 반영시 반영함으로써 첨단화 및 실효성 높은 연구가 되도록 하여야 할 것이다.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

5. 감사의 글

This work was supported by a National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT; NRF-2020R1C1C1004704). / This work was supported by the Energy Demand Management Core Technology Development of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning(KETEP) granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea (No. 20212020900380)

References

[1] X. Li, Y. Zhou, S. Yu, G. Jia, H. Li, W. Li, Urban heat island impacts on building energy consumption: A review of approaches and findings, Energy, (2019), Vol.174, pp.407-419.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.183

[2] S. I. Beak, H. M. Lee, S. Y. Jung, H. W. Lee, Analysis of Research Trends in PV Application of Movable Building Envelopes for Efficient Building Energy Reduction, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2022), Vol.8, No.10, pp.13-24.
DOI: http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2022.10.02

[3] Y. Zhang, B. K. Teoh, M. Wu, J. Chen, L. Zhang, Data-driven estimation of building energy consumption and GHG emissions using explainable artificial intelligence, Energy, (2023), Vol.262.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125468

[4] THE GLOBALABC RELEASES 2022 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION, Global Alliance for Buildings and Construction 2022
Available from: https://globalabc.org/news/globalabc-releases-2022-global-status-report-buildings-and-construction

[5] Y. Liu, J. J. Jung, Effect of Thermal Bridges on the Indoor Thermal Environment of Passive Buildings in Cold and Dry Climate Zones, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2022), Vol.8, No.3, pp.1-14.
DOI: http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2022.03.01

[6] S. Wenninger, C. Kaymakci, C. Wiethe, Explainable long-term building energy consumption prediction using QLattice, Applied Energy, (2022), Vol.308.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118300

[7] ANNUAL ENERGY OUTLOOK 2023, U.S. Energy Information Administration, (2023)
Available from: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/

[8] M. W. Ahmad, M. Mourshed, D. Mundow, M. Sisinni, Y. Rezgui, Building energy metering and environmental monitoring – A state-of-the-art review and directions for future research, Energy and Buildings, (2016), Vol.120, pp.85-102.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.059

[9] J. W. Kwon, M. W. Hwang, A Study on the improvement of the High-efficiency Electric Product Subsidy for Lighting Appliances, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, (2017), Vol.31, No.6, pp.27-33.
DOI: http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2017.31.6.027

[10] H. S. Kim, A Study on the Developement of Light Duct System for Utilization of Daylighting on Underground Space, The Korean Solar Energy Society, (1996), Vol.16, No.3, pp.37-45.

[11] D. S. Kim, J. H. Yoon, W. C. Shin, K. H. Lee, Evaluation of Daylighting Performance and Design of a Curved-Lightshelf by the Ray Tracing Method, Journal of the Korean Solar Energy Society, (2011), Vol.31, No.4, pp136-141.
DOI: https://doi.org/10.7836/kses.2011.31.4.136

[12] P. Ihm, Artificial Lighting Energy Saving by Daylighting in Office Building, Korean journal of air-conditioning and refrigeration engineering, (2004), Vol.16, No.6, pp.608-613.

Copyright ⓒ 2023 KCTRS

[13] J. T. Kim, H. G. Shin, G. Kim, Design and Performance Evaluation of Horizontal Light-Redirecting Devices in offices, Journal of the Architectural Institute of Korea (JAIK), (2003), Vol.19, No.3, pp.177-184.

[14] M. W. Jang, H. W. Lee, J. H. Seo, Y. S. Kim, A Study on the Application of the Prism Sheet to Improve the Daylighting Performance of the Light Shelf, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, (2018), Vol.30, No.9, pp.401-412.
DOI: https://doi.org/10.6110/KJACR.2018.30.9.401

[15] J. Y. Shin, G. Kim, J. T. Kim, A study on light pipe system technology and its application, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, (2009), Vol.9, No.1, pp.69-76.

[16] A. Kirimtat, B. K. Koyunbaba, I. Chatzikonstantinou, S. Sariyildiz, Review of simulation modeling for shading devices in buildings, Renew Sustain Energy Reviews, (2016), Vol.53, pp.23-49.
DOI: https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020

[17] H. W. Lee, Complex Building Envelope Technology Trend for Indoor Light Environment Improvement, Architectural Institute of Korea, (2018), pp.33-36.

[18] J. Seo, A. Choi, Analysis of Indoor Illuminance Distribution by Lighting Dimming Control Systems with Indoor Reflective Louver System, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, (2022), Vol.36, No.11, pp.1-8.
DOI: https://doi.org/10.5207/JIEIE.2022.36.11.001

[19] J. S. Yang, J. H. Kim, A Study on White LED Lighting of Interior Space for the Readability by Age, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, (2013), Vol.27, No.1, pp.1-9.
DOI: http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2013.27.1.001

[20] B. C. Kim, S, H. Kim, K. S. Yoon, Investigation of Research & Development Trends for Sunlight System, New & Renewable Energy, (2007), pp.260-263.

[21] J. M. Kim, H. W. Lee, J. H. Seo, Y. S. Kim, A Preliminary Study on Lighting Performance and Energy Savings of a PV-Attached Light Shelf, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, (2018), Vol.30, No.8, pp.376-387.

[22] J. H. Kim, S. H. Han, Daylighting Performance of Office Space Applied with Electrochromic Façade System, LHI journal of land, housing, and urban affairs, (2022), Vol.13, No.1, pp.131-140.
DOI: http://doi.org/10.5804/LHIJ.2022.13.1.131

[23] S. P. Han, 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, (2012), Vol.32, No.6, pp.100-105.
DOI: http://dx.doi.org/10.7836/kses.2012.32.6.100

[24] J. T. Kim, H. T. Ahn, G. Kim, Building Energy Savings due to Incorporated Daylight-Glazing Systems, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, (2005), Vol.19, No.6, pp.1-8.
DOI: https://doi.org/10.5207/JIEIE.2005.19.6.001

[25] T. W. Seo, H. W. Lee, Y. S. Kim, A Study on Light-Shelf System using Context Awareness Technology for EnergySaving in Housing, Architectural Institute of Korea, (2012), Vol.23, No.11, pp.357-365.

[26] H. S. Lee, H. W. Lee, C. Y. Park, Y. I. Kim, C. H. Park, H. I. Jang, Development of Double Reflective Light Diffuser for Improved Lighting Performance of Light Duct, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, (2018), Vol.12, No.3, pp.290-301.
DOI: https://doi.org/10.12972/jkiaebs.20180025

[27] J. H. Park, K. S. Kim, An Evaluation of Daylight Performance in the Reading Room of a Library according to Different Azimuths and Louver Systems, Journal of the Korean Solar Energy Society, (2006), Vol.26, No.3, pp.45-51.

[28] E. C. Kang, S. Y. Yoo, E. J. Lee, Evaluation Study of a Double Blind Light Pipe Daylighting System Efficiency and an Illumination Energy Reduction, Journal of the Korean Solar Energy Society, (2013), Vol.33, No.1, pp.89-95.
DOI: http://dx.doi.org/10.7836/kses.2013.33.1.089

Copyright ⓒ 2023 KCTRS