

광덕트방식 자연채광 시스템의 산광부에 대한 연구

A study on lighting Diffusion system of Daylight Duct System

송 규 열*
Song, Kyu-Ryol

박 경 우**
Park, Gyeong-Woo

류 한 기***
Ryu, Han-Ki

Abstract

Daylighting system is an alternative to the energy crisis and environment change. And it is possible improvement system of Architectural Space Environment. Accordingly, it is very useful system. Because Daylight Duct System of Daylighting System gives high performance for its price, distribution rate is very high. But Daylighting Duct System is hard to accurate control. Accordingly, it is difficult to maintain continuously Daylight Environment in Interior Spaces. Lighting Diffusion System has been developed that it is Applying the principle of Reflector and prism diffuser for maximize the efficiency of lighting of Daylight Duct Systems through this study. And then compare lighting performance of Existing System and new Lighting Diffusion System through producing a mock-up. Thus, this study was carried out for the purpose of verification for excellence. It is that installed Each Daylighting Duct System for performance evaluation in a laboratory of width 4m, length 10m, height 2.5m. And illuminance was measured at noon on winter solstice(December 22) under clean sky. The actual measurement result was in the following. Newly developed lighting Diffusion system was measured maximum illuminance 399, minimum illuminance 221, average illuminance 141. Synthetically, daylight factor, uniformity factor and illuminance distribution were improved more than existing system. As a result, it was confirmed that was improved lighting Environment in Interior Spaces.

키 워 드 : 자연채광, 태양광, 광덕트방식 시스템, 산광시스템
Keywords : Daylighting, Sunlight, Duct type Daylight system, light Diffusion Device

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 화석연료 수급의 한계성과 유가의 불안정에서 비롯한 에너지 위기와 환경의 변화로 산재생에너지의 수요가 급증하고 있다. 국내 건설시장 역시 건축물 에너지사용량의 절감을 위한 Passive house로 전향과 사용자의 건축환경에 대한 질적 향상 요구 등 다양한 이유로 친환경 설계에 대한 고려와 산재생에너지 적용 비율을 확대하고 있는 추세이다.

2009년 에너지관리공단의 국내 에너지 사용량 분석결과, 국가 총 에너지사용량 중 산업 및 건축물부문 에너지사용량이 61.3%를 차지하고 있으며, 건축물부문 에너지사용량 중 25%의 에너지를 전기조명으로 사용하고 있는 것으로 파악하고 있다. 그러나 조명기구 발열에 따른 냉방부하전력까지 고려하면 전기조명으로 인해 사용되는 실제 에너지 사용비율은 전체 에너지

사용량의 35%가 넘는다고 볼 수 있다.

건축물에 적용하여 조명에너지를 대체할 수 있는 산재생에너지 종류로는 태양광발전, 태양열이용 그리고 자연채광 시스템이 있다. 전자 두 가지의 경우는 태양광을 주로 에너지 측면에서 활용을 하고 있다면, 자연채광 시스템의 경우에는 에너지 측면과 더불어 생활환경 개선 효과를 가진다는 측면에서 큰 차이점을 가진다. 특히, 자연광을 조명으로 직접 활용하므로 연색성이 우수하고, 재실자의 시 환경 개선, 업무효율 및 인체건강 증진, 습기가 많은 지하공간의 살균, 비타민D 합성 등 다양한 효과를 가지고 있어 에너지 절감 외에 여러 가지 목적으로 적용이 가능한 시스템으로 볼 수 있다.

자연채광 시스템의 종류로는 반사거울, 광덕트, 광섬유 방식이 있으나 국내의 경우 설치비용이 상대적으로 낮고, 조명 효율성이 우수한 광덕트방식 자연채광 시스템의 보급률이 가장 높다.

하지만 현재 건축물에 적용하고 있는 광덕트방식 자연채광 시스템은 정밀한 시스템의 제어가 어려워 외부 기상조건에 민감하게 반응하고 광량의 과다유입시 필요이상의 높은 조도를 형성하거나 조명 주변부의 급격한 광량 감소로 조도가 결핍되는 등 쾌적한 실내의 빛 환경을 지속적으로 유지하기가 어려운 문제점

* 정회원, (주)동우E&C 기술연구소 전무, 공학박사
** 정회원, (주)현창네오텍 대표, 영남대학교 건축공학전공 석사과정
*** 정회원, (주)동우E&C 기술연구소 연구원

을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 광덕트방식 자연채광 시스템 산광부의 조명 효율성을 극대화하여 실내의 쾌적한 빛 환경을 조성할 수 있는 산광시스템을 개발하고, 실물모형을 제작하여 기존 시스템과의 성능을 비교해봄으로써 자연채광 시스템에서 산광부의 효율성을 검증하는 것을 목적으로 본 연구를 진행하였다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 광덕트방식 자연채광 시스템의 조명효율성 증대를 위한 산광시스템 개발과 실물모형 성능비교를 통한 실내 빛 환경 개선효과를 분석하고자 한다.

본 연구의 진행순서를 간략하게 요약하면 다음과 같다.

첫째, 자연채광 시스템에 대해 이론적 고찰을 실시하고, 국내 건축물에 가장 보편적으로 적용하는 광덕트방식의 시스템 구성요소를 분석하였다.

둘째, 조명효율성 증대를 위한 방안으로 반사기둥(Reflector)과 프리즘 디퓨저(Prism diffuser)의 원리를 적용한 태양광 원거리 확산 산광시스템을 설계하였다.

셋째, 설계한 산광시스템을 실물모형으로 제작하고, 기존 광덕트방식 자연채광 시스템과 개발한 산광시스템을 장착한 광덕트방식 자연채광 시스템을 동일한 시험조건에서 성능을 측정하여 각 시스템별 평균 주광조도, 실내 주광조도 분포, 균제도, 주광률 등을 종합적으로 분석하고 결론을 도출하고자 한다.

2. 자연채광 시스템의 이론적 고찰

2.1 자연채광 시스템 정의 및 특징비교

자연채광 조명시스템은 빛을 필요로 하는 건축물 내부로 태양광을 채집하여 이를 조명으로 활용하는 장치로 정의할 수 있으며 크게 광 비집속형 방식(No Concentration)과 광 집속형 방식(With Concentration)로 나누어진다. 광 비집속형 방식은 빛을 집속하지 않는 자연채광 시스템으로 반사거울방식, 광덕트 방식이 있으며 광 집속형 방식은 빛을 한 곳으로 집중하여 채집하는 방식으로 렌즈-광섬유 방식, 반사거울-광섬유 방식이 있다.

광 비집속형 방식 중에서 반사거울 방식은 전반사거울을 사용하여 별도의 장치 없이 빈 공간을 통해 빛을 전송시키는 시스템이다. 건축물이 고층화됨에 따라 발생하는 일조권 문제를 해결하기에 적합하나 빛의 전송거리가 25m가 한계인 것으로 알려져 있다.

광덕트 방식은 건축물상단 외부에 채광기를 설치하고 내부로 입사되는 태양광을 광덕트로 전송하는 방법으로 주거 및 지하공간, 전시공간, 강당 등 주간에도 조명이 필요하고, 자연광이

부족한 영역에 적용을 하고 있으며 태양의 고도와 무관하게 채광효율을 유지할 수 있는 장점이 있다.



그림 1. 광 비집속형 방식 비교

한편, 광 집속형 방식 중에서 렌즈-광섬유 방식은 렌즈를 통해 집광된 빛을 광섬유를 사용하여 빛이 필요한 공간까지 전송해 조명에 사용하는 방식이며, 반사거울-광섬유 방식은 반사거울을 이용해 1차적으로 태양광을 모으고, 2차적으로 광섬유로 전송하는 방식이다. 광 집속형 방식은 광전송 거리가 길고 시공이 편리한 장점이 있으나 산란광하에서는 사용이 불가능하고 집광부에 고열이 발생하는 단점이 있다. 1)

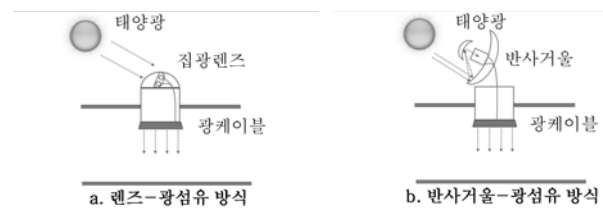


그림 2. 광 집속형 방식 비교

각 자연채광 방식의 특성을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 자연채광 시스템 특징 비교

구 분	광 비집속형		광 집속형
	반사거울 방식	광덕트 방식	광섬유 방식
원 리	거울을 이용하여 태양광을 반사시켜 실내로 전달	태양광을 채집하여 덕트로 광을 이송	태양광을 렌즈로 집광하여 광섬유를 통해 빛을 전달
장 점	전송부가 없어 태양광을 그대로 이용	별도의 구동장치가 필요하지 않고 모든 날씨에 빛 전달 가능	설치면적이 적고, 시공이 편리함
단 점	외부 기후조건에 가장 민감	덕트가 지나갈 수 있는 공간 필요	설치비가 고가이며, 집광부에 고열발생
효 율	외부 일사를 이용하므로 일사량에 따라 변화폭이 큼	흐린날에도 산란광을 채집하여 조명으로 활용가능함으로 조명효율성이 가장 우수함	산란광하에서는 사용이 불가능함
설치비용	가장 높음	가장 낮음	중간

1) 김선호 외 1명, 태양광 조명 시스템, 한국정밀공학회지 논문집 제 25권 제10호, pp.34~50, 2008.10

표 1에서 알 수 있듯 광덕트 방식은 타 방식에 비해 설치비용 대비 효율이 우수하고, 외부기후에 대한 영향을 가장 적게 받아 현재 국내의 경우 건축물에서 가장 보편적으로 적용하고 있는 시스템이다. 따라서 본 연구에서는 광덕트 방식에 집중하여 그 구조를 세밀하게 분석하고 자연채광 시스템의 성능과 실내 빛 환경 개선을 위한 방안을 제시하고자 한다.

2.2 광덕트방식 자연채광 시스템

광덕트방식 자연채광 시스템은 집광부, 전송부, 산광부의 3 단계로 구성되어있다.

집광부(Light Collector)는 태양광을 채집하기 위한 부재로 투과율이 높은 PMMA(Polymethylmethacrylate) 소재를 사용한다. 태양의 움직임에 관계없이 고정되어 있는 고정형과 태양의 움직임을 추적하여 집광을 극대화 하는 추적형으로 나눌 수 있으며 형상으로는 피라미드형, 다이아몬드형, 돔형 등 다양한 형태로 개발되고 있다. 최근에는 집광부에 프리즘(Prism)을 적용하여 투과로 인한 광 손실을 줄이고, 빛의 굴절로 수광량을 증대시키는 기술이 상용화과정에 있어 건축물에 적용하는 실적이 증가하는 추세이다.



그림 3. 프리즘이 적용된 집광돔

전송부(Light Transformer)는 채광된 빛을 필요로 하는 곳까지 전송하기 위한 부재로 집광부의 형태에 따라 원통형 또는 사각기둥형으로 제작한다. 반사율로 인한 광 손실을 최소화 하기 위해 알루미늄 표면에 애노다이징(anodizing) 처리를 하여 96% 이상의 반사율을 확보한 고효율 반사시트를 내부 반사면에 부착한 방식이다. 광전송부의 길이, 광전송부의 형태에 따라 광 전송률은 차이가 있으며 단면적이 넓은 사각단면에 직선 형태의 광 전송부가 효율이 가장 우수한 것으로 제시하고 있다.

산광부(Light Diffusion)는 도입된 주광을 실내에 방사하는 부재로 투과율이 높은 PMMA(Polymethylmethacrylate) 소재를 활용한다. 표면에 엠보싱(embossing), 다이아몬드, 프리즘(prism) 형태의 홈(Groove)을 형성하고 빛이 투과할 때 홈의 굴곡에 의해 굴절하는 성질을 활용하여 산란을 유도하는 기능이 있다.

현재 광덕트 시스템의 산광부는 별도의 시스템 없이 홈이 형

성된 PMMA(Polymethylmethacrylate) 소재의 제품으로 광전송부 끝부분을 마감처리 하는 형태이다. 하지만 산광부 재료 자체의 물성만으로 빛을 조절하여 실내 적정 균제도²⁾나 필요조도를 확보하기에는 한계가 있다. 또한 시스템의 특성상 산광부는 자연채광 시스템의 빛 환경을 조절하는 결정적인 역할을 하는 부재이므로 자연채광 시스템 설치공간의 빛 환경을 개선하기 위해서는 산광부에 대한 시스템개선이 최우선적으로 고려되어야 할 핵심요소이다.

3. 산광부의 성능개선 모델 제안 및 성능비교

3.1 광덕트방식의 원거리확산 산광부 모델 설계

원거리확산 산광시스템은 빛의 굴절성과 흠을 형성한 PMMA 소재의 물성만으로 실내 빛 환경을 조성해 오던 기존 시스템의 한계성을 극복하고, 전송부에서 도입되는 자연광의 원거리확산을 통해 실내의 적정 균제도와 조도를 확보하는 장치로 조명의 효율성을 증대시켜 전체 시스템 설치 수량 감소와 공사비용 절감, 공사기간 단축의 목표를 달성하기 위한 산광시스템이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 알루미늄의 산광부 프레임, 반사기둥, 리니어 프레넬렌즈, 프리즘 디퓨저로 구성되어 있으며 프레임 내부는 광 손실을 최소화하기 위해 경면반사 처리 된 고효율 반사시트를 부착하였다.

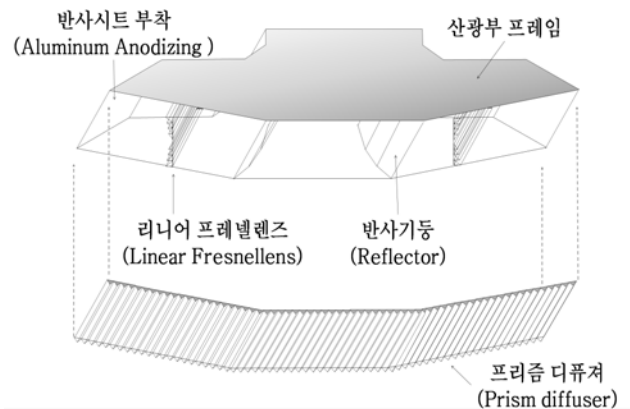


그림 4. 원거리 확산 산광시스템 개념도

반사기둥은 전송부에서 도입된 태양광이 수직면 바닥면에 집중되지 않고 양방향으로 확산될 수 있도록 반사하는 역할을 하며 25°, 45°, 65°의 3가지 반사면으로 분절하여 빛이 다각도로 방사하도록 설계할 필요성이 있다.

그리고 리니어 프레넬렌즈는 평판 투명아크릴 표면에 선형의 흠을 형성하여 다양한 방향성을 가진 빛을 선형의 초점(focus)으로 굴절시키는 역할을 하며 자연광을 원거리로 전송하

2) 조명에서 조도의 균일한 정도를 의미하며, 평균 조도치(Eave)에 대한 최소 조도치(Emin)의 비율로 산정한다.

기위한 집광렌즈로 활용하기 위해 적용하였다. 렌즈의 초점거리(focal length)에 따라 설치위치를 조절 할 수 있으며 볼록렌즈에 비해 부재가 가볍고 가공이 쉽다는 장점이 있다. 그러므로 반사기둥의 전면부에 설치하여 빛을 집광하고 프레넬렌즈에 의해 집광된 빛은 프레임 양쪽의 경사면에서 반사되어 원거리 조명으로 활용한다.

한편 프리즘 디퓨저는 표면에 45°의 홈을 균등하게 배열하여 최종적으로 빛이 실내로 방사될 때에 확산광 형태의 조명효과를 연출하고, 재실자의 글레어를 억제하며, 조도부족으로 인한 실내 음영공간이 발생하는 것을 방지하기 위한 용도로 설계하였다.

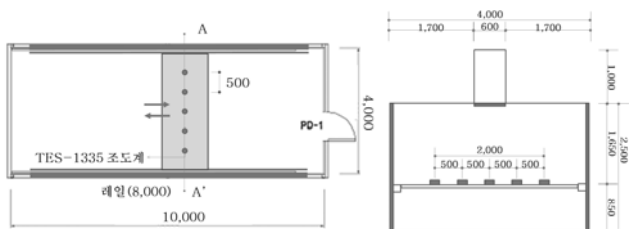
3.2 시험성능 기준

성능평가를 위한 시험실은 일영으로부터 제약이 없어야 함으로 주변에 자연채광 유입을 방해할 수 있는 모든 요소의 배제가 필요하다. 본 연구를 위해 설치한 시험실은 경북 칠곡군 동명면에 위치한 사과밭 부지를 임대하여 설치하였다.

시험실의 벽면과 천장면은 샌드위치 패널로 구성하였으며 규격은 4m(W) x 10m(L) x 2.5(H)로 천장 광덕트 삽입을 위한 개구부와 관계자 출입문을 제외하고 장방향 폐쇄형으로 제작하였다. 또한 실내 전체 조도를 측정하기 위해 레일선반을 장착하여 지면으로부터 수직으로 0.85m 높이로 평행이동하면서 조도를 측정할 수 있도록 구성하였다.

표 2. 시험실 및 시험방법

구분	내용	비고
시험실 위치	경북 칠곡군 동명면	평지
시험실 규격	10m _w 1 × 4m _w 2 × 2.5m _h	40m ²
시험실 반사율	바닥 25%, 벽체 68%, 천장 68%	장방향 밀폐식
조도계	TES-1335	분해능 0.01Lux
측정방법	h=0.85m, 양측벽면에 수평이동용 레일설치 (h = 작업면 조도)	수평거리 이동에 따라 조도 측정



성능시험 대상은 원거리확산 산광시스템을 장착한 광덕트

시스템과 PMMA 소재의 일반 산광부를 장착한 기존 시스템을 1:1 사이즈 실물모형으로 제작 후 설치하고 산광부 외에 집광부(600mm x 600mm)와 광전송부(600mm x 600mm x 1000mm)는 크기, 재료, 형태를 모두 동일하게 제작해 산광부 외 시험조건은 모두 동일하게 조성하였다.



a. 기존시스템

b. 원거리 확산 산광시스템

그림 5. 기존시스템과 원거리확산 산광시스템 비교

3.3 성능측정

채광성능 평가를 위한 실물모형의 측정시점은 동지(2010. 12. 22)를 기준으로 측정하였다. 태양의 남중고도가 가장 낮은 시기이므로 동지기준의 성능평가 결과가 최소한으로 확보할 수 있는 성능치라고 판단하였기 때문이다.

측정시각은 12시 정오 청천공(운량: 1.0) 상태에서 실시하였으며 측정점은 지면으로부터 수직으로 0.85m 높이의 레일선반 위에 5개의 조도계를 설치하고 0.5m 간격으로 총 8m의 구간을 수평이동하며 측정하였다.

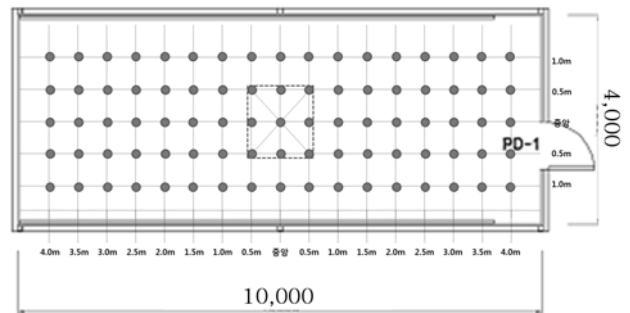


그림 6. 조도측정 지점

0~400,000Lux까지 측정이 가능하고, 측정범위 ±3% rdg, ±5 dgt인 TES-1335 조도계를 사용하였으며, 실내 조도변화를 각 지점별 5초 간격으로 3회 측정된 값의 평균값을 산정하여 기록하였다. 실내조도 측정과 동시에 옥외에 설치된 조도 측정장비로 청천공 평균조도를 측정하여 실내 조도 성능비교 기준으로 설정하였다. 측정에 사용된 모든 장비는 동일한 제조사의 동일모델 제품을 사용하였다.³⁾

3.4 측정결과 및 분석

실물모형 성능비교를 위해 외부조도 측정과 동시에 실내 작업면 주광조도분포를 측정하였다. 실내주광조도 측정 시 외부조도는 27,700Lux이고, 청천공 조건에서 측정하였다. 그림 7은 실물모형의 중앙지점에서 양방향으로 0.5m 간격으로 수평이동하며 장방향 17개 x 단방향 5개 총 85개 지점을 측정한 조도를 입체로 나타낸 조도분포 그래프이다.

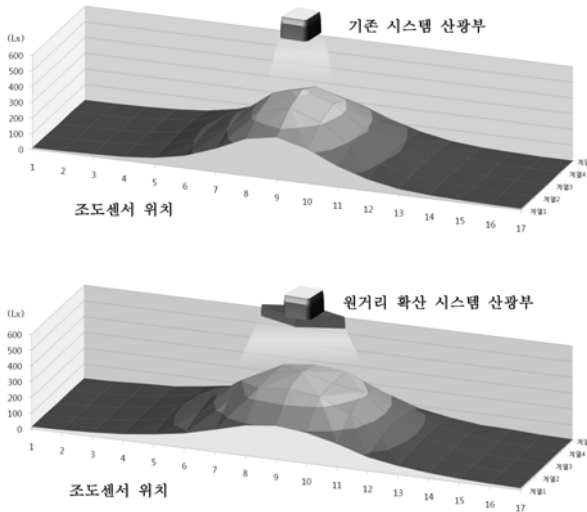


그림 7. 각 실물모형의 조도분포 그래프

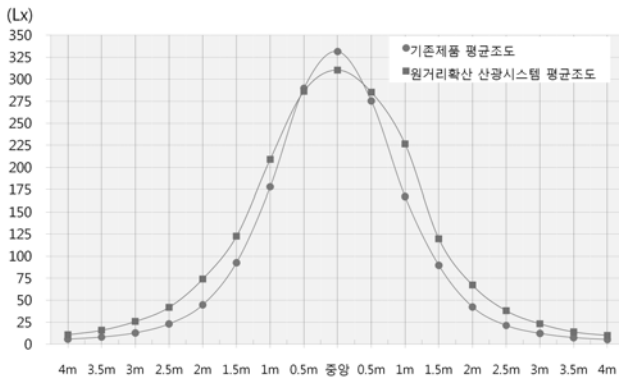


그림 8. 각 시스템 별 평균조도 비교 그래프

주광조도의 평균값을 그래프로 비교해 분석하면 기존 제품의 경우 중앙부에 조도가 집중되는 반면 주변부는 급격하게 조도가 줄어들어 기울기가 급하고, 원거리확산 산광시스템의 경우 중앙부는 기존 시스템보다 조도가 낮지만 양방향 0.5m 지점부터 조도역전 현상이 일어나 전체적으로 기존 시스템보다 조명기기로써 효율성이 우수한 것을 알 수 있다.

자연채광 시스템의 유효조명면적을 중앙부에서 양방향으로 3m 구간으로 설정하고 주차장법 시행규칙 제11조 『지하주차장의 주차공간 평균조도(20lx)』 기준을 적용하여 각 시스템의 성능 및 빛 환경을 분석하였다.

표 3. 조도, 균제도 및 평균주광률 분석

구분	외부 조도	평균 조도	최소 조도	최대 조도	균제도	주광률 (%)
원거리 확산 시스템	27,700 Lux	141Lux	22Lux	399Lux	0.16	0.50
기존 시스템	27,700 Lux	122Lux	6Lux	419Lux	0.05	0.44

원거리 확산 산광부 시스템의 평균주광조도는 141Lux, 최대조도는 399Lux, 최소조도는 22 lux로 유효조명면적(중앙부에서 양방향 3m구간) 전 구간이 20Lux 이상의 조도를 형성하여 한 개의 시스템 설치만으로도 지하주차장 주차공간의 조도기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

기존 시스템의 경우 평균주광조도는 122Lux, 최대조도는 419Lux, 최소조도는 6Lux로 유효조명면적 중 중앙부에서 양방향으로 2.5m까지의 구간만 20Lux 이상의 조도를 형성하였고, 구간 내 일부지점에서 20Lux 미만의 조도가 측정되었다. 따라서 기존제품 설치치 1개 시스템 외에 별도의 인공조명 시스템을 설치해야 지하주차장 주차공간의 조도기준을 만족하는 것으로 분석되었다.

균제도의 경우 원거리확산시스템과 기존시스템 각각 0.16, 0.05로 나타나 한국산업규격의 운전자에 대한 균제도 기준(중합균제도 0.4, 차선축 0.7)과 비교시 기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

평균 주광률은 원거리확산 시스템의 경우 0.50%, 기존시스템의 경우 0.44%로 원거리확산 시스템의 주광률이 기존시스템 보다 높은 것으로 분석되었다.⁴⁾

전체적으로 원거리확산 산광부 시스템을 설치했을 경우 기존 제품을 설치했을 경우보다 주광조도 및 균제도, 주광률이 향상되어 실내조명의 빛 환경이 개선되는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 광덕트방식 자연채광 시스템의 중앙부 조도 집중현상과 거리별 급격한 조도 감소 문제점을 개선하기 위한 방안으로 태양광을 원거리로 확산시키는 산광시스템을 개발하였다. 또한 성능평가방법 중 가장 신뢰도가 우수한 실물시험

3) 백승현 외 4명, 모형축척에 따른 사무소 공간의 자연채광 성능에 관한 비교분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 6권 2호, 2006, p.193

4) 손호근 외 1명, 공동주택 지하주차장의 자연채광 적정성 검토, 대한건축학술발표대회 논문집 제1권, pp.646, 2008

을 통해 기존시스템과의 성능비교를 실시하였으며, 측정결과 분석적으로 신뢰성을 검증하였다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다.

기존 광덕트방식 자연채광 시스템의 산광부에 대한 성능개선을 위해 알루미늄 프레임 내부에 반사기둥과 프레넬렌즈, 프리즘의 원리를 적용한 태양광 원거리 확산 산광시스템을 개발하였다.

본 연구에 제안된 원거리확산 산광시스템을 실물모형으로 제작·설치하여 동지(12월 22일) 청천공 정오(12시) 기준으로 실 전체면적 40m² 조도분포를 분석한 결과 기존 시스템보다 중앙 조도는 낮지만, 중앙부에서 양방향 0.5m구간부터 조도역전 현상이 일어나 기존 시스템보다 평균주광조도가 높게 측정되었고 전체적으로 조명효율성이 상승하는 것으로 확인되었다. 남중 고도가 가장 낮은 동지기준의 결과이므로 춘추분 또는 하지 시기에는 조명효율성이 동지 기준보다 향상될 것으로 예상된다.

각 시스템 별 세부성능을 비교한 결과 원거리 확산 산광시스템을 적용한 경우 평균조도 141Lux를 확보할 수 있으며, 최소 조도가 22Lux로 한 개의 시스템 설치로 12m²의 지하주차장 주차공간의 조도를 확보 할 수 있는 것으로 확인된 반면에 기존 광덕트방식의 경우 평균조도 122Lux, 최소조도 6Lux로 한 개의 시스템 설치로 12m² 면적의 주차공간 조도기준을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

본 연구결과를 바탕으로 향후 Ray-Tracing, Radiance 등 다양한 변수의 적용이 가능한 Simulation Program을 활용한 시험과 휘도, 색온도, 색도를 통한 채광성능 비교 분석 연구가 요구 될 것이며, 지역별·계절별에 따른 태양고도변화, 설치장소에 따른 천장면 높이변화 등 오차요인을 분석하는 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 강용혁, 국내 신재생에너지 기술의 동향과 전망, 한국물리학회, 물리학과 첨단기술, pp.43~44, 2007.9
2. 김선호, 김병철, 태양광 조명시스템", 한국정밀공학회지, 제25권 제10호, pp.33~40, 2008.10
3. 백승현 외 3명, 모형축척에 따른 사무소 공간의 자연채광 성능에 관한 비교분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 제6권 제2호, pp.191~194, 2006
4. 손호근, 이경희, 공동주택 지하주차장의 자연채광 적정성 검토, 대한건축학술발표대회 논문집, 제1권, pp.643~646, 2008
5. 임병찬, 사무소건물에서 자연채광에 의한 조명에너지 절약의 평가, 설비공학논문집, 제16권 제6호, pp.608~613, 2007.4
6. 경희대학교 채광조명시스템연구센터, <http://light.khu.ac.kr> (2011, 02 자료검색)
7. A. Thanachareonkit, Comparing daylighting performance assessment of buildings in scale models and test modules, Solar Energy 79, pp.168~182, 2005

8. Kandilli, "Solar Illumination and Estimating Daylight Availability of Global Solar Irradiance", Energy sources, Vol.30, pp.1127~1140, 2008