

광기여 필름 LED 펜던트 작업조명시스템 주관평가와 성능검증

차 광 석[†], 김 회 서^{*}

현대건설 R&D Center, *단국대학교 건축공학과

Study of Efficiency Test and Subjective Responses about Pendant Task Lighting System Using Phosphor Luminescent Film LED

Kwang Seok Cha[†], Hway Suh Kim^{*}

R&D Center, Hyundai engineering and construction, Kyeonggi-do 446-716, Korea

*Architectural Engineering, Dankook University, Kyeonggi-do 448-701, Korea

(Received December 8, 2010; revision received January 6, 2011)

ABSTRACT: For a long time work or study, pendant task lighting system prepared with phosphor luminescent film LED was developed for eye protection and working efficiency improvement. Developed lighting system was used together with pendant and ambient lighting. Such as, we made comfortable lighting environment system. Evaluation for developed lighting system, that had proceeded to Mock-up test and subjective evaluation. Also It had proceeded that lighting environment analyzed and compatibility valuation of installation. In subjective evaluation, the students have expressed themselves satisfied to phosphor luminescent film LED lighting system. In Mock-up test, It is not problem to intensity of illumination, luminance and color temperature. Therefore, developed LED lighting system was installed at the Daegu apartment. It is having a P.O.E study progress to phosphor luminescent film LED lighting system.

Key words: Phosphor luminescent film LED(광기여 필름 LED), Task lighting(작업조명), Luminous environment(조명환경), Mock-up test(목업 실험), Subjective evaluation(주관평가)

1. 서 론

조명 환경은 빛(조도와 조도 분포, 조도의 형태와 색채), 색채(색상, 채도, 연색, 실내 배색)와 실내의 형태에 의해 생리적, 심리적으로 작업자에게 영향을 미친다. 그러나 현재 장시간 작업에 많이 사용되는 형태의 천정 중앙 직부등과 책상 위 스텐드는 쾌적한 시환경 확보에 많은 문제점을 가지고 있다. 특히 청소년이나 아이들의 경우 이러한 환경에서

장시간 작업이나 학습을 할 경우 글래어 문제는 눈의 피로를 유발하여 작업능률 저하나 시력 저하를 가져오는 경우가 많이 발생한다. 따라서 장시간 작업이나 학습하는 경우 눈의 피로 방지와 작업능률을 높일 수 있도록 작업공간에서 최적의 색온도, 조도, 휘도분포를 확보할 수 있는 조명시스템 구축이 필요하다. 이를 위해 본 연구에서는 광기여 필름 LED 조명과 간접조명을 혼용한 시스템을 구축하여 주관평가를 통한 시환경 기준 검증 후 실제 공동주택에 적용을 통한 시공성 평가도 함께 수행하여 전반적인 조명환경 구축을 검증 하고자 하였다. 주관평가는 광기여 필름 LED 펜던트 조명과 기존 조명 시스템(직부등과 스텐드 혼용)에 대해서 조도, 색온

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-280-7363; fax: +82-31-280-7070

E-mail address: kscha@hdec.co.kr

도, 휘도 글래어 등에 관한 전반적 시환경 평가로 디자인학과 대학생 남녀 각 20명씩을 피시험자로 하여 목업 실험실에서 각 조명환경에 대한 선호도 및 평가실험을 진행하였다.

2. 측정 및 평가

2.1 LED 작업조명 설치 후 시환경 평가 방법

조도분포 측정 방법으로 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 기존 IES나 KS 기준 측정법 3가지를 대상으로 평가를 실시하였다. 주관평가지 목업실험실 구성은 아래와 같이 기존 천정에 형광등을 부착한 직부조명(주백색)환경과 광기여 필름 LED 펜던트 조명환경을 구축하여 Table 1과 같은 작업조건에 따라 피시험자의 주관평가와 시환경 분석 평가를 병행 수행하였다.

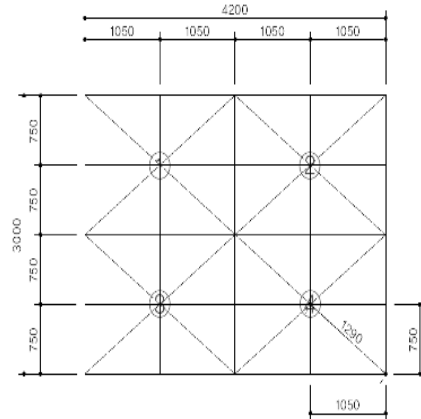
- 1) 실험실 규모 : 4.2 m(W)×3 m(L)×2.3 m(H)
- 2) 측정 높이 : 바닥면 0.8 m(KS, IES 기준 적용)

주관평가를 위한 목업 실험실 시환경 측정을 위해 Fig. 1같이 측정 Point를 구분하여 각각의 지점에 센서를 설치하여 조도 값을 계측하였다.

전반 조도 분포에 대한 측정결과 4점법(IES)과 다점법은 비슷한 조도분포를 나타냈으나 5점법의 경우 다른 측정 방법보다 높게 나타났는데 이는 천장 중앙부에 직부 등이 중앙부에서 위치해 측정된 분포가 높게 나타기 때문으로 분석되었다. 간접조명을 통한 전반조도와 작업조도비는 3 : 1로 장시간 업무에 적합한 시환경을 확보할 수 있는 것으로 평가되었다. 휘도분포 측정평가 결과 또한 측정된 면과 인접한 부위에서 측정값의 차이는 1/3범위 안에 구현되고 작업 면과 멀리 떨어진 장소의 휘도차이도 1/12정도 분석되어 거의 IESNA 휘도권장치 1/10의 조건을 Table 2와 같이 만족하는 것으로 평가되었다.

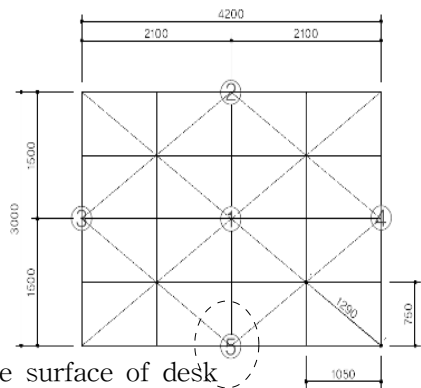
Table 1 Illumination and color temperature in accordance with working environment⁽²⁻⁴⁾

| | Mathematics | Literature | Relaxation |
|-------------------|-------------|------------|------------|
| illumination | 600lx | 450lx | 200lx |
| Color Temperature | 6800K | 4000K | 2200K |



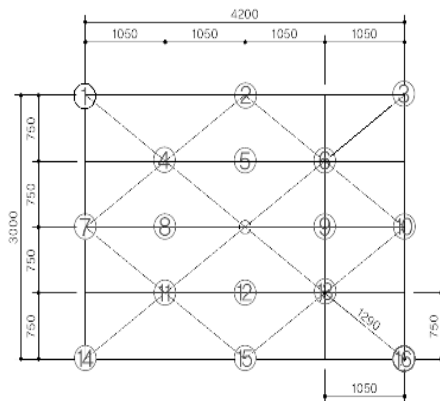
Measuring Point of Luminance(4 Point)

Literature; 411lx, 3600lx, Relaxation; 214lx, 2200lx (4Point IES Standard)



Measuring Point of Luminance(5 Point)

Literature ; 466lx, 3600lx Relaxation 242lx, 2200lx (5 Point KS Standard)



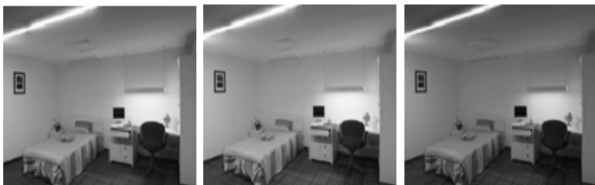
Measuring Point of Luminance(Multi Point test)

Literature ; 467lx, 3600lx Relaxation ; 208lx, 2200lx (Multi point test)

Fig. 1 Result of luminance test.

Table 2 Average of mock-up test (5Point KS standard)

| Case | Point① | Point② | Point③ | Point④ | Point⑤ |
|--------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| Mathe-matics | 410 lx | 423 lx | 427 lx | 410 lx | 658 lx |
| Relaxa-tion | 198 lx | 212 lx | 218 lx | 199 lx | 367 lx |
| Case | Wall | Ceiling | Door | Book | Desk side |
| Mathe-matics | 82.0 cd/m ² | 21.7 cd/m ² | 79 cd/m ² | 116 cd/m ² | 139 cd/m ² |
| Relaxa-tion | 55 cd/m ² | 12.3 cd/m ² | 6.7 cd/m ² | - | 96.84 cd/m ² |



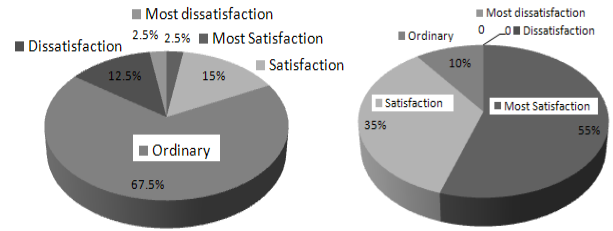
(Mathematics) (Literature) (Relaxation)

The average illuminance : 600 lx 450 lx 200 lx
 The Color Temperature : 6600 K 4000 K 2200 K

Fig. 2 Installation figure of LED pendant lighting.

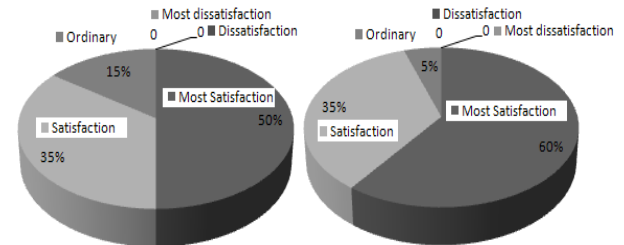
2.2 간접조명과 LED 펜던트 작업조명을 혼용한 주관평가 실험 결과

광기여 필름 LED 펜던트 조명과 간접조명을 혼용한 조명시스템에 대한 주관평가는 실내디자인을 전공하는 남녀 대학생으로 구성된 피험자로 목업 실험실에서 개인별 선호도 및 작업조건에 따른 조명환경 만족도에 대한 비교 실험을 진행 하였다. 평가 작업시 Table 1과 같이 3개의 조명환경과 일반 천정 직부등과 책상 스탠드 조명을 혼용한 조명환경을 연출하여 1분 단위로 변경하면서 각각의 상황에 따른 피시험자가 느끼는 눈부심, 조도, 심리적 안정감 등을 쾌적성 5단계(매우만족, 만족, 보통, 불만족, 매우불만족)로 나누어 설문 평가방식으로 진행 하였다. 각각의 조명환경 연출기준은 사전 교육을 통하여 설명하였고 조명환경 연출을 무작위로 설정 함으로서 동일 조건 반복을 피하여 한사람씩 객관적 평가가 될 수 있도록 하였다. 평가결과 남녀학생들 모두 기존 조명보다는 개발된 광기여 필름 LED 조명환경에 대한 선호도가 매우 높은 것으로 분석 되었으며 작업환경에 따른 조명설정 기준에 대해서도 Fig. 3과 같이 남녀 학생모두 만족도가 높게 평



(a) Luminous environment of existing task lighting (b) Luminous environment of phosphor fluorescent film LED pendant lighting

Fig 3 Satisfaction estimated of Luminous environment.



(a) Male Student (b) Female Student

Fig. 4 As compared satisfaction measurement with male and female student.

가되었다.

또한 Fig. 4와 같이 남학생보다는 여학생의 만족도가 더 높은 것으로 분석되었는데 이는 색에 대한 민감도가 여학생이 더 크기 때문으로 사료된다.

선호도 조사결과 대부분이 각 작업환경에 따른 모드 설정 값에 대해 대체적으로 만족하는 것으로 평가 되었으며 특히 수리 작업의 경우는 30%의 학생이 매우 만족하는 것으로 평가되었다. 만족과 매우 만족을 포함할 경우 약 70~80%의 학생이 선호하는 것으로 분석되었다. 이는 세심한 작업과 두뇌의 빠른 회전을 요하는 경우 심리적으로 안정을 줄 수 있는 높은 색온도와 조도를 더 선호하는 것으로 판단된다.

Fig. 5와 Table 3에서 보듯이 대부분의 평가자들은 기존 조명환경에 대해서는 보통을 선정하였고 일부 불만족으로 답한 학생도 있었다. 그러나 광기여 필름 LED 조명시스템에 대한 색온도 및 조명환경 선호도가 67% 이상 높은 것으로 분석 되었고 특히 수리분야에서는 80% 이상의 남녀학생 모두가 만족하고 있으며 불만족을 표시하는 학생은 없는 것으로 분석되었다.

광기여 필름 LED 펜던트 작업조명의 등기구 색온도 평가는 설정 기준 값에 대해서 단계별로 색온도 값을 평가한 결과 실험값이 Table 4와 같이 설정 값

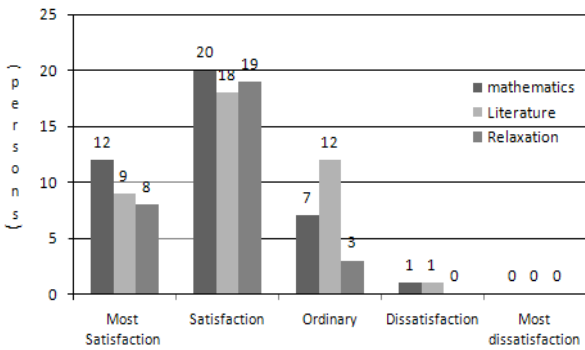


Fig. 5 The satisfaction analysis results regarding an improvement environmental illumination.

Table 3 An individual preference evaluation for male and female student (40 students)

(Unit : %)

| | Mathematics | Literature | elaxation | The others |
|-------|---------------|------------|-----------|------------|
| | (Male/Female) | | | |
| 4500K | 0/0 | 85/80 | 10/0 | 5/20 |
| 6800K | 60/60 | 5/0 | 20/20 | 15/15 |
| 2200K | 15/12.5 | 0/7.5 | 75/62.5 | 10/17.5 |

Table 4 Color temperature data of phosphor luminescent film LED lighting⁽²⁻⁴⁾

| | A set point | Measuring average | ΔK |
|-------------|-------------|-------------------|------------|
| Mathematics | 6800K | 6450K | 350K(-5%) |
| Literature | 4500K | 4288K | 212K(-5%) |
| Relaxation | 2200K | 1987K | 213K(-9%) |

보다 350 K~212 K 낮은 색온도를 나타내는 것으로 분석되었다. 이 값은 초기 설정한 색온도 범위 보다 5% 오차가 발생하였으나 주관평가 실험의 색온도 범위에 충족하여 주관평가 실험에는 문제가 없었다.^(2,3) 그러나 휴식의 경우는 낮은 색온도와 적정 조도를 동시에 구현하기에 마감재의 색채와 반사율 문제로 색온도 구현에 10%의 오차 범위가 나타났다. 그러나 이번 주관평가 결과 학생들의 휴식 시 환경에 대한 선호도는 Fig. 5와 같이 오차범위가 큰 영향을 제공하지는 않는 것으로 분석되었다.

3. 현장 적용에 따른 시공 적합성 평가

대구 공동주택 세대에 적용된 광기여 필름 LED

조명은 팬던트 타입으로 작업면에 적합한 배광분포 구현이 가능하도록 등기구사이즈와 설치 높이를 시뮬레이션 분석과 실측을 통해 선정하였다. 또한 등기구 발열 부하 최소화를 위해 안정기 천정속 마감 방법을 구축하여 조명시공에 따른 시공성 및 안정성 검증을 진행 하였다. 마감재 반사율에 따른 조도와 휘도 및 색온도 변화 재현성 평가도 진행하여 현장시공에 따른 문제점 발생이 없도록 Fig. 6, Fig. 7과 같이 시공되었다.

LED 조명기구 콘텐서 설치는 Fig. 6과 같이 80 mm×350 mm로 타공하여 6 kg 이상 고정할 수 있도록 보강재를 설치하고 프레임 간섭이 생기지 않게 직경 30 mm 볼트로 고정, 천정 속에서 전체 하중 이상을 지지할 수 있도록 하였다.

대구 공동주택 176세대에 적용된 광기여 필름 LED

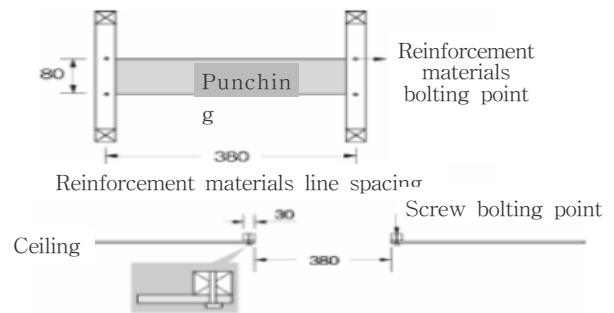


Fig. 6 A condenser fixture within the ceiling.



(a) Installing shape at apartment house in daegu (in 2008)



(b) luminous environmental scene as working mode

Fig. 7 Various scene of illumination and color temperature and installed lighting fixture.

팬던트 조명은 Table 5과 같이 제작하여 장시간 작업시에도 눈부심을 최소화하고 작업 면 위에 조도가 고르게 분포하도록 하여 조도대비가 발생하지 않도록 하였다. 또한 Fig. 7(b)에서 보듯이 광기여 필름 LED 작업조명시스템은 작업환경에 따라 다양한 Scene 연출 변화로 조명환경을 조절할 수 있도록 조도, 색온도의 설정 조작을 무선 및 유선으로 변환이 가능한 485통신 제어 시스템으로 구축하였다. 그리고 전반조명을 간접이 아닌 Table 6과같이 직부 등으로 설치할 경우 작업조명과 배광분포 상호간 간섭이 발생할 우려가 있어 조명기구 설치 위치를 Fig. 8과 같이 시뮬레이션 분석을 통해 직부 등을 천정 중앙에서 약간 뒤에 설치, 디밍을 통한 조도 조절로 Table 7과같이 작업 면에서의 권장 조도비나 휘도비 문제는 해결 하였으나 전체 작업 공간에서의 균일한 시환경 확보에는 문제가 있는 것으로 분석되었다.

세대에 적용한 광기여 필름 LED 팬던트 조명시스템 성능에 대한 평가는 Fig. 9와 같이 평가 실험을 실시하여 Table 7과 같은 결과를 얻었다. 조도비와 휘도비 모두 KS나 IESNA 기준 적정 범위와 유사하게 평가되어 장시간 작업 시환경에 바람직한 것으로 분석되었다.

시뮬레이션 평가 분석은 Fig. 10과 같이 2가지 조건에 대한 분석을 실시하였으며 Fig. 10(a)는 전반

Table 5 A component of phosphor luminescent film LED lighting

| | |
|----------------------------|--------------------------|
| Using power | AC 110 V/220 V, 50/60 Hz |
| Power consumption | 3~63 W |
| Size(mm) | 900(L)×200(W)×35(H) |
| Recommended Temperature(℃) | -10~40℃ |
| Light source | LED 420 ea/63 W |
| Color temperature | 3,000 K~6000 K |
| Body | Aluminum Case |

Table 6 Ambient lighting specification

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| | Ceiling lighting (Round tpye) |
| A luminous source | Fluorescence lamp |
| Power consumption(W) | 36 W×2(ea) |
| Size | 570(W)×80(t) |
| ect. | Dimming Control |

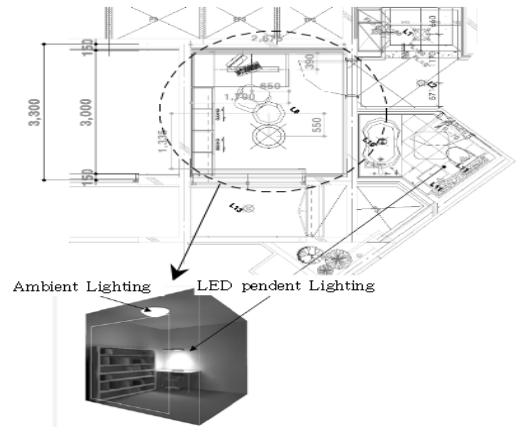


Fig. 8 A ceiling lighting installation change position.

Table 7 Measure after construction, and it is average data

| Case | Point① | Point② | Point③ | Point④ | Point⑤ |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Mathe-matics | 318 lx | 635 lx | 276 lx | 257 lx | 397 lx |
| Relaxa-tion | 80 lx | 245 lx | 67 lx | 68 lx | 108 lx |

| Case | Wall | Ceiling | Door | Book | Desk side |
|--------------|------------------------|------------------------|------|------------------------|-------------------------|
| Mathe-matics | 63.1 cd/m ² | 16.8 cd/m ² | - | 83.6 cd/m ² | 107.4 cd/m ² |
| Relaxa-tion | 12.8 cd/m ² | 10.3 cd/m ² | - | - | 53.84 cd/m ² |

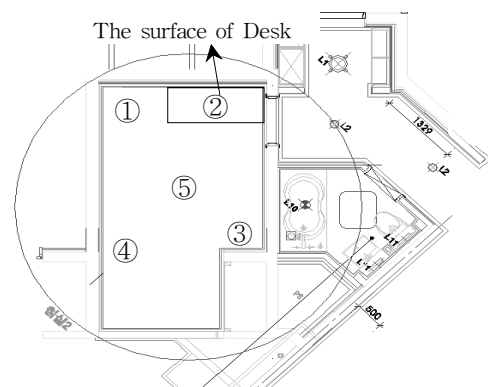
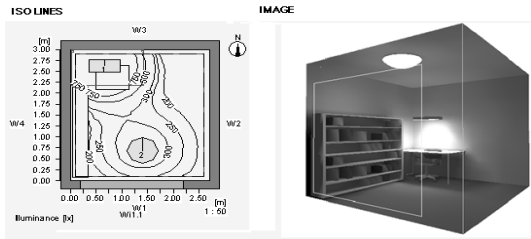
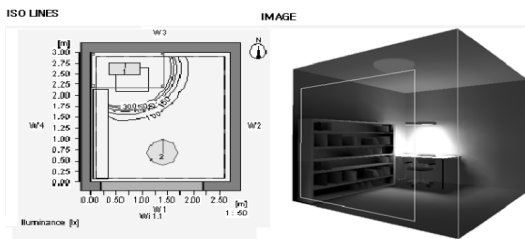


Fig. 9 A measurement point in room (29/06/07).

조명과 광기여 필름 LED조명을 혼용한 경우로 작업 면이 750lx, 주변이 200 lx~300 lx 범위로 분석되어 시환경 권장 조도비 1/3의 범위에 포함, 장시간 작업에 적합한 시환경 구현이 가능하다. 그러나 Fig. 10(b)와 같이 팬던트 조명만 점등하는 경우는



(a) Turn on the all lighting fixtures



(B) Turn on the pendent LED lamp

Fig. 10 Result of simulation test.

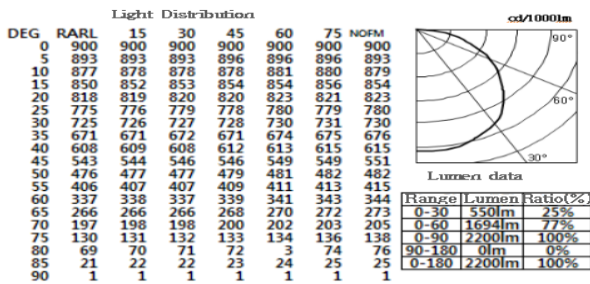


Fig. 11 Distribution curve of Phosphor Lumine-scent Film LED luminous intensity.

작업 면에 집중된 조도분포로 눈의 피로 발생이 예상된다. 광기여 필름 LED 조명 배광분포 측정 결과는 Fig. 11과 같이 분석 되었다.

4. 결 론

LED 조명의 개발은 대부분 전기조명 에너지절감 측면에서 개발되었으나 고 휘도로 등기구 클레어가 발생하는 등 작업자 시환경에 많은 문제점을 발생하여 실제 사용하는 데는 제약이 많았다. 따라서 이를 개선하기 위해 2007년부터 2년간 (주)KDT, (주)필룩스와 공동 개발된 광기여 필름 LED조명은 장시간 조명환경에 노출되어도 작업자의 집중력 향상 및 눈의 피로를 최소화하는데 중점을 두었으며 등기구 위치에 상관없이 등기구 클레어발생도 방지하는 시스템으로 Fig. 11과 Fig. 12와 같이 구축하였다. 그러나 실제 시공에는 현장 여건상 천정 Down light를 적용한 시스템으로 구축되었다. 시스템 개



Fig. 12 Optimized image of LED lighting system.

발 및 평가는 시뮬레이션과 목업 실험을 통한 주관평가 및 시환경 평가 분석으로 설정 값에 대한 적합성을 검증하였으며 공동주택 세대에 실제 시공설치로 현장평가와 시공 편리성 및 작업 시환경의 재현성도 검증하였다. 그리고 목업 실험과 현장 시공을 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 팬던트 타입 조명기구 설치로 작업자 여건에 맞게 등기구를 조절, 최적의 작업 시환경 구현.
- (2) 장시간 작업에 적합한 색온도, 조도 휘도비에 대한 적정성 검증을 목업 실험과 주관평가를 통해 설정 값과 실험 결과가 일치하는 Data 도출.
- (3) 등기구 발열로 인한 작업자의 불쾌감 문제는 방열 성능이 우수한 알루미늄으로 프레임 제작하고 발열이 큰 안정기는 등기구와 분리, 천정 속에 매입함으로 해결.

참고문헌

1. Banu Manav/Cengiz Yener, Effect of Different Lighting Arrangements on Space Perception, Architectural Science Review, 1999.
2. Choi, A.-S., Park, B.-C. and Chang, J.-H., 2007, A Study on the Perferences and Associated Images in Changes Colors and Patterns of LED Luminaries, Architectural Institute of Korea Journal, Vol. 23, No. 6, pp. 255-262.
3. Lee, J.-S. et al., 2010, A study on Hebitability Evaluation of LED Lighting, Architectural Institute of Korea Journal, Vol. 26, No. 3, pp. 219-226.
4. Marks, rea, Ph. D, Lighting Handbook, IESNA, 8th Edition, pp. 112-117, 145, 517-518.
5. The secrets of color, Junhich Normur, 1994, Thema 2.
6. Corporation KDT LED Lightibg brochure, 2008, pp. 2-4.