

눈부심 저감을 고려한 LED광원 계류장 조명탑 설계에 관한 연구

김동수^{1,a}, 허창수²

¹ 인하대학교 항공산업시스템공학과

² 인하대학교 전기공학과

A Study on the Design of a Floodlighting Tower with LED Source of Light Considering the Reduction of a Glare

Dong-Su Kim^{1,a} and Chang-Su Huh²

¹ Department of Aviation Industry and System Engineering, INHA University, Incheon 402-751, Korea

² Department of Electrical Engineering, INHA University, Incheon 402-751, Korea

(Received February 11, 2015; Revised March 23, 2015; Accepted March 24, 2015)

Abstract: The floodlighting assists the pilot in taxiing the aircraft into and out of the final parking position and provide lighting suitable for passenger to embark and debark and for personnel to load and unload cargo. It is composed of sodium lamps which is consuming high energy. It needs to develop a dedicated LED lamp to replace the existing lamps. In this paper, We propose a suitable asymmetric angle of LED lamps to avoid a pilot's glare and to meet the standard illumination. For this, we analyze asymmetric angle of sodium lamps which are using in airport and confirm whether the illumination distribution and glare index meet the relating standards by using simulation method. Also, we study the needs of asymmetric characteristics of LED ramp by simulating the LED lamps with and without asymmetric characteristics of ramp respectively. With the simulation result, finally we propose the best asymmetric angle of LED lamp to meet the average illumination standard, and avoid a pilot's glare.

Keywords: Floodlighting, Glare, Asymmetric angle

1. 서론

공항에 도착한 항공기는 활주로 및 유도로를 따라서 일정한 공간에 도착하여 승객과 수하물을 내리게 된다. 이곳을 주기장(aircraft stand)이라고 부른다. 주기장은 승객이나 수하물을 항공기에 싣거나 내리도록 하고, 연료를 급유하거나, 항공기에 문제가 없는지를 확인하는

유지보수 등의 업무를 수행하기 위해 공항 내에 지정된 공간을 말한다. 항공기는 자력 또는 토잉(towing)의 방법으로 주기장으로 이동하게 되고 야간이나 저시정 상황에서도 적절한 조도를 확보하여 상기와 같은 업무를 처리하도록 하고 있다.

최근 공항에서는 에너지 사용 합리화를 위해 실내외 조명을 LED조명으로 교체하고 있으며, 교체 결과를 분석해보면 기존 등기구 대비 약 40~50% 정도의 에너지 절감 효과를 거두고 있다. 공항에 설치된 계류장 조명탑 또한 나트륨 광원으로 설치되어 있고 이를 LED광원으로 대체하면 40% 정도의 에너지 절감 효과와 램프 수명을 고려할 때 나트륨 램프 대비 약 5배 정도의 유지보수 비

a. Corresponding author; dskim@airport.kr

용절감 효과가 기대되어 기존 광원을 LED광원으로 대체하는 계류장 조명탑을 개발하고자 한다. 계류장 조명탑은 주기장의 한 쪽 끝부분에 설치되어 약 80 m 정도까지 일정한 조도를 확보하여야 하고, 지상에서 업무가 가능하도록 균제도가 일정해야 할 뿐만 아니라, 주기장을 출입하는 조종사의 눈부심도 고려하여 설계되어야 한다.

현재 설치된 나트륨 램프광원 계류장 조명탑은 설치높이가 지상에서 약 25 m이며 일정한 비대칭 각도를 확보하고 있으며, 25 m 높이에서 각 주기장마다 조도 시뮬레이션과 현장 실측을 통해 국제 민간 항공기구인 ICAO (international civil aviation organization)에서 정한 평균 조도 20 lux 이상과 균제도 1:4 이상을 확보하고 있다. 또한 조종사가 계류장에 진입할 경우에는 항공기 조종석의 높이가 높아 광원을 직접 볼 수 있어, 사람이 광원을 직접 볼 수 있는 조건에 해당하는 눈부심 기준을 적용하여 KS C 3704의 눈부심 지수 50 이하를 유지함으로써 조종사의 눈부심을 최소화하고 있다. 공항에서 사용 중인 나트륨 램프의 눈부심 정도를 KS C 3704의 기준을 적용하였을 경우 눈부심 지수가 50 이하이며, 이 값은 약 15년간 운영 결과 조종사가 계류장으로 항공기를 진입시키기에 적합한 정도라 할 수 있다. 현재 설치된 나트륨 광원을 LED광원으로 교체하기 위해서는 광원의 특성을 고려한 LED투광 등기구의 비대칭 각도 확보가 필요하고 이 비대칭 각도에 따른 평균 조도와 균제도 및 눈부심 지수의 상관관계를 확인하여 최적의 비대칭 각도를 확보할 필요가 있다.

따라서 본 논문에서는 LED광원 계류장 조명탑 개발에 따라 LED광원의 비대칭 각도를 변화시켜 각도 변화에 따른 조도 기준 확보 여부와 눈부심 지수와 상관관계를 확인함으로써 최적의 비대칭 각도를 제안하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 나트륨 광원의 조도확보 및 눈부심 정도

현재 사용 중인 계류장 조명탑은 항공기를 기준으로 조종사가 주기장에 진입할 때 눈부심을 최소화하기 위해 지면을 기준으로 항공기 조종석 높이보다 최소 2배의 높이에 나트륨 등기구를 설치하여 조명을 제공하고 있다. 이 나트륨 등기구의 램프는 주기장의 크기에 따라 전체 광속을 조정하여 국제 기준을 충족하고 있으며, 조명기구 내에 부착된 반사판을 이용하여 일정한 비대칭 각도를 유지함으로써 계류장 지역의 기준 조도 확보 및 조종사의 눈부심을 최소화하고 있다.

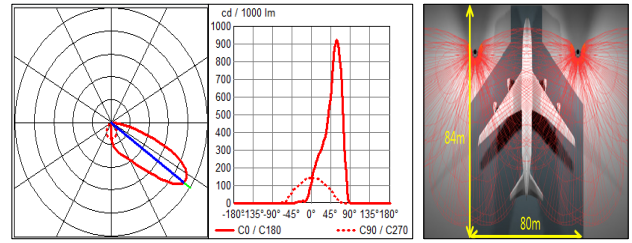
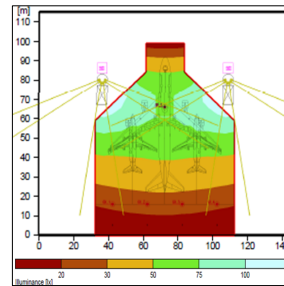


Fig. 1. Asymmetric angle and illumination distribution map of sodium lamp.

Table 1. Illumination result of natrium lamps.

Item	Standard	Simulation Result
Average illumination	20 lx	50 lx
A ratio of average to minimum	1 : 4 below	1 : 3.4 (Minimum 15 lux)



Item	Measurement
GR1	49.4
GR2	49.6
GR3	49.6
GR4	47.2
GR5	55.2

Fig. 2. The measurement locations of glare.

본 논문에서는 항공기가 주기할 수 있는 주기장에 항공기를 중심으로 좌, 우에 각각 계류장 조명등 1기를 설치하고, 1기의 계류장 조명탑에 1 kW 나트륨 램프 6등을 설치하고 기구효율 60%를 적용한 총 광속은 468,000 l m이며, 비대칭 각도는 54도인 광원을 선택하였고, 눈부심 위치는 항공기가 진입하는 기준으로 시뮬레이션하였다.

상기 표 1에서 보는 바와 같이 나트륨 광원으로 설치한 경우에는 비대칭 각도 54도에서 평균 조도 50 lux와 균제도 1:3.4로 기준 조도를 충족함을 알 수 있다. 눈부심 지수의 측정위치는 계류장 조명탑이 설치된 주기장의 가장 먼 끝 부분에서 15 m, 65 m가 떨어진 위치에서 각각 20 m 간격으로 4군데, 주기장 중앙부에 1군데를 지정하여 시뮬레이션을 실시한 결과, 눈부심 지수도 KS C 3704에서 정한 눈부심 지수 50 (just admissible)을 하회하는 수준으로 조종사가 눈부심을 크게 느끼기 어려운 정도로 운영되고 있음을 알 수 있다.

2.2 비대칭이 없는 LED투광기의 눈부심 정도

기존에 개발된 LED투광 등기구의 배광 특성을 이용하여 계류장 조명등에 적용하여 조도 기준과 눈부심 정도를 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다. 비대칭 각도가 없기 때문에 투광등 기구 자체를 지상에서 위쪽으로 40도, 70도로 조정하면서 조도 분포, 눈부심 정도를 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 조건은 앞서 2.1에서 언급한 바와 같은 조건이며, LED투광 등기구 260 W 10등을 설치하여 총 광속 231,000 lm이다. 총 광속은 기존 나트륨 광원의 약 50% 수준이지만, LED광원의 비대칭 각도 변화에 따른 평균 조도, 균제도 및 눈부심 지수의 상관관계 확인에는 무리가 없어 총 광속을 조정하여 시뮬레이션하였다.

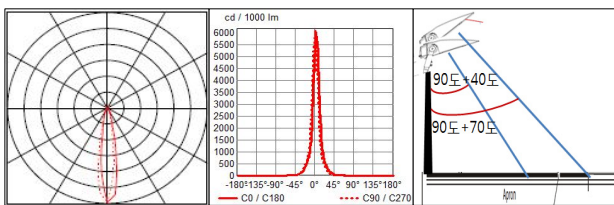


Fig. 3. The concept of angle adjustment of LED fixture without asymmetric angle.

Table 2. Illumination result of LED lamps.

Item	Standard	Result (40°)	Result (70°)
Average illumination	20 lx	30 lx	21 lx
A ratio of average to minimum	1 : 4 below	1 : 30	1 : 23

Table 3. The result of glare measurement.

Item	Result (40°)	Result (70°)
GR1	23.1	54.4
GR2	21.3	51.7
GR3	21.1	48.9
GR4	22.8	55.7
GR5	29.1	50.2

표 2, 3에서 보는 바와 같이 기존 투광등을 사용하면 평균 조도 20 lux 이상은 확보가 가능한 것으로 시뮬레이션 되었으나, 균제도가 기준보다 편차가 심하여 원활한 지상에서의 업무가 곤란한 것으로 확인되었으며, 눈

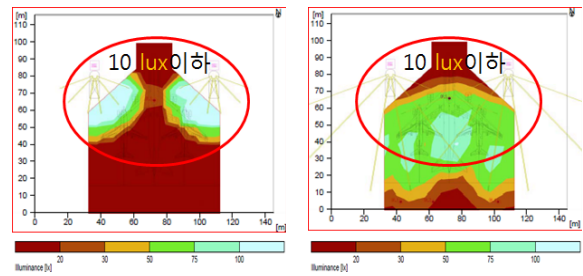


Fig. 4. Illumination distribution map with 40 degree and 70 degree.

부심 지수 또한 50 이상으로 다소 눈부심을 느낄 수 있는 정도로 확인되었다.

무엇보다도 계류장 지역은 항공기가 주기하였을 때 상부 부근에서 승객이 내리거나 짐을 실는 업무가 많이 이루어지므로 상대적으로 높은 조도가 필요하나, 그림 4에서 보는 바와 같이 계류장 상부 부근의 조도가 10 lux 이하로서 지상조업을 하기에는 적합하지 않은 조도를 보임을 알 수 있다. 따라서 현재 개발되어 사용 중인 LED투광등을 공항의 계류장 조명탑에 전용하기에는 한계가 있음을 보여주고 있다.

2.3 비대칭 LED투광 등기구 조도 확보 및 눈부심 정도

비대칭 특성을 갖는 LED투광기가 국내에는 없는 실정이라, 배광곡선의 확보가 곤란하여 해외에서 생산된 비대칭 각도 46도를 갖는 260 W LED투광 등기구를 기본 각도로 설계하였으며, 46도 각도보다 상향 조정되는 경우에는 등기구를 위쪽으로 조정하는 방식으로 각도를 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 조건은 2.2와 동일하며, 비대칭 각도는 46도, 56도, 60도, 65도, 70도로 비대칭 각도를 증가시켰으며, 눈부심 측정 위치는 나트륨 등기구의 측정 위치와 동일한 지점에서 실시하였다. 비대칭 각도의 변화에 따라 시행한 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같았다.

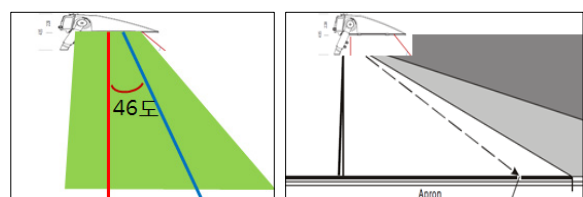


Fig. 5. The concept of LED fixture with asymmetric angle.

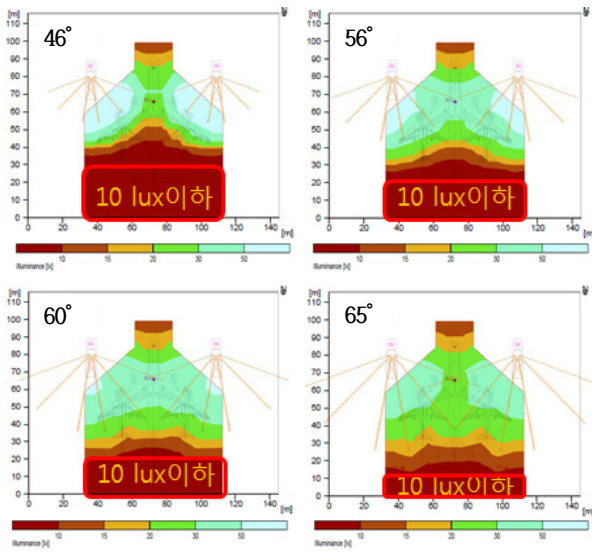


Fig. 6. Illumination distribution map of LED fixtures at each degrees.

Table 4. The result of illumination simulation.

Item	Standard	46°	56°	60°	65°	70°
Average illumination	20 lx	22.5lx	22lx	22lx	21lx	19.7lx
A ratio of average to minimum	1 : 4 below	1:21	1:9	1:6.5	1:4	1:3

Table 5. The result of glare simulation.

Item	46°	56°	60°	65°	70°
GR1	26	36	39	46	52
GR2	25	37	40	45	49
GR3	26	37	40	45	49
GR4	26	36	40	46	52
GR5	38	43	46	46	46

그림 6과 표 4, 표 5에서 보는 바와 같이 비대칭 각도를 높이면 계류장전체 지역에 대한 평균 조도와 균제도가 기준값에 수렴함을 알 수 있다. 그러나 비대칭 각도가 70도를 넘으면 균조는 향상되나 전체적인 평균 조도가 떨어지고 눈부심 지수가 높아져 적용하기에도 다소 곤란한 것으로 시뮬레이션 되어 비대칭 각도를 무한정 높일 수도 없음을 확인하였다. 비대칭 각도 65도에서 실제 계류장 지역에 적용하면 그림 7, 그림 8과 같은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다.

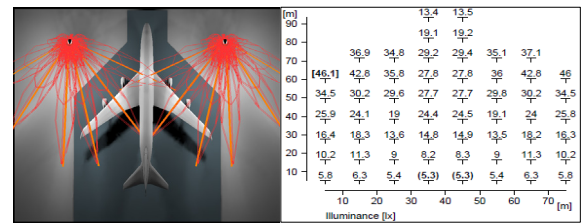


Fig. 7. Illumination distribution within ramp area.

Table 6. The simulation result of glare distribution.

GR1	46.4		GR4	46.5	
GR2	45.2		GR5	46.7	
GR3	45.3		-	-	-

그림 7과 표 6에서 보는 바와 같이 계류장 지역의 평균 조도가 20 lux 이상이 되고 조도가 고르게 분포되고 있음을 알 수 있으며, 지상에서 6 m의 높이에서 측정하는 눈부심 지수 또한 기존에 공항에서 설치 운영 중인 나트륨 광원의 눈부심 지수인 그림 2에서 보여 지는 값보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 아울러, 계류장 지역의 전체적인 조도를 증가시키면 정밀한 작업이 필요한 경우의 조도도 확보가 가능함을 예측할 수 있다.

따라서 비대칭 각도 65도에서의 시뮬레이션 결과인 그림 6과 표 4와 실제 계류장 지역에 적용한 결과인 그림 7과 표 6에서 보여주는 바와 같이 주기장 전체의 평균 조도와 균제도가 국제 기준에 충족하고 조종사의 눈부심을 최소화 할 수 있는 최적의 비대칭 각도를 65도로 조정하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

현재 사용 중인 나트륨 램프를 LED광원으로 교체하는 것은 에너지의 합리적 사용을 통한 탄소배출 저감

을 위해 필연적인 사항이라 할 수 있다. 공항에서 운영 중인 주기장의 특성상 LED투광 등기구로 대체하면서 국제 기준에서 정한 조도 기준을 충족하고, 조종사의 눈부심 최소화를 위해 시뮬레이션을 실시한 결과 개발되는 LED투광 등기구가 비대칭 특성을 갖지 못하는 경우에는 평균 조도 20 lux 이상은 확보가 가능하나, 균제도 확보가 곤란하여 실질적으로 주기장에서 필요한 업무를 수행하는데 적합한 조명을 제공하기가 어려운 것으로 확인되었고, 눈부심 정도도 KS C 3704의 50(just admissible)보다 높아 항공기 출입 시에 조종사가 눈부심을 크게 느낄 수 있을 정도로 사용이 곤란함을 확인하였다. LED투광 등기구의 광원 자체를 비대칭으로 구성하고 그 각도를 상향 조정하면서 측정된 결과 일정 각도까지는 평균 조도가 올라가면서 균제도가 향상됨을 확인할 수 있었고, 눈부심 지수도 높아졌으나, 65도 각도에서는 눈부심 지수가 조종사의 눈부심을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라, 평균 조도, 균제도가 국제 기준을 충족하면서도 현재 사용 중인 나트륨 램프 광원과 유사한 특성을 보여 기존 나트륨 램프를 LED광원으로 교체하기 위한 최적 비대칭 각도임을 확인할 수 있었다. 비대칭 각도를 65도 이상으로 높일 경우에는 평균 조도가 다소 떨어지는 점과 눈부심 지수가 높아지는 점을 확인할 수 있었으며, 이는 적합한 비대칭 각도라고 보기에는 무리가 있다고 판단하였다.

따라서 공항 계류장 조명탑의 LED투광 등기구를 개발함에 있어 비대칭 각도를 65도로 설정하는 것이 합리적이라는 결과를 얻게 되었다.

4. 결론

계류장 조명탑에 설치하기 위한 LED투광 등기구는 비대칭 각도를 갖지 않고서는 관련 기준에서 정한 조건을 충족하지 못하여 사용이 곤란하고, 비대칭 각도가 낮은 경우에는 조도기준 충족이 곤란하므로 적절한 비대칭 각도의 확보가 필요하며, 시뮬레이션 결과 65도의 비대칭 특성을 갖는 투광등기구를 사용하여야 할 것으로 사료된다. 또한 등기구 자체도 어느 정도의 aiming 각도 조절이 가능함을 고려한다면 본 논문에서 제시한 비대칭 각도는 관련 기준 충족 및 조종사의 눈부심을 최소화하는 합리적인 제안이라 할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 논문 작성에 아낌없는 지도를 해주신 허창수 지도 교수님과 LED투광 등기구의 시뮬레이션을 위해 프로그램과 시뮬레이션을 도와주신 (주)삼진이아이씨 관계자분들께 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] Autumn Annual Conference 35 (2011)
- [2] KS C 3704 "The illumination standard of Outdoor Tennis Court and Baseball Stadium " Korean Agency for Technology and Standards 18 (1999)
- [3] Aerodrome Design Manual Part 4 "Visual Aids Fourth Edition