

야간운항 중 공항 주변 대형 조명시설에 의한 조종사와 관제사의 시각장애현상에 대한 연구

A Study on the Visual Impairment of Pilots and Controllers caused by Large Lighting Facilities around Airports during Nighttime Flight Operation

전 종진* · 이 현승
공군 항공안전단 비행표준실

Jong-jin Jeon* · Hyun-seung Lee

Flight Standard Office, Aviation Safety Agency, ROKAF, Seoul 06947, Korea

[요 약]

공항 관련 법률에서는 공항 주변에 항공등화의 식별을 방해하거나 조종사와 관제사에게 눈부심을 일으키는 조명의 설치를 제한하도록 하고 있다. 그러나 조명이 조종사 또는 관제사에게 주는 눈부심에 대해서는 정성적인 판단에 기초하여 제한여부를 판단할 뿐, 정량적인 검토는 이루어지지 않고 있다. 이에 이 연구에서는 야간운항 중 공항 주변 대형 조명시설에 의해 조종사와 관제사에게 발생할 수 있는 시각장애현상을 블렌드글레어와 사물인지도 및 식별방해도를 통해 정량적으로 계산하고 확인하였다. 그리고 이를 바탕으로 조명시설에 의한 조종사와 관제사의 시각장애현상을 방지하기 위해 관련 제도의 보완 등을 제안하였다.

[Abstract]

Airport-related laws restrict the installation of lights that obstruct the identification of airport lights or cause glare to pilots and controllers around the airport. However, with regard to the glare that lights give to the pilot or controller, it is only judged whether there is a limit based on a qualitative judgment, and a quantitative review has not been made. Therefore, in this study, visual disturbances that may occur to pilots and controllers due to large lighting facilities around airports during nighttime flight operation were quantitatively calculated and confirmed through disability glare, object recognition, and identification obstruction. And based on this study, it was suggested to supplement the related system to prevent the visual impairment of pilots and controllers caused by lighting facilities.

Key word : Disability glare, Glare, Lighting facilities, Nighttime flight, Visual impairment.

<https://doi.org/10.12673/jant.2021.25.6.466>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 6 November 2021; Revised 1 December 2021

Accepted (Publication) 27 December 2021 (30 December 2021)

*Corresponding Author

Tel: *** - **** - ****

E-mail: jeon.jongjin@hanmail.net

1. 서론

1-1 연구의 배경과 목적

과거 공항은 도심에서 이격되고 장애물의 영향을 덜 받는 위치에 설치되어 운영되었다. 한편 항공교통의 발달로 인하여 항공여행객과 항공화물은 항공운송산업 초기와는 비교할 수 없는 수준으로 증가하였다. 그리고 이는 공항의 확장을 요구하는 한편, 공항 주변에 배후도시가 형성되어 인구가 유입되는 주요 요인이 되기도 한다.

공항의 발전은 공항이 위치한 도시의 확장 개발로 이어지는 한편, 공항과 도심간의 간격이 좁아지는 결과를 초래하였다. 그리고 이로 인하여 공항 주변에는 다양한 목적의 건축물 등 많은 인공장애물이 형성되었는데, 이러한 건축물에는 조명시설이 필수적으로 설치되게 되며, 건축물이 아니더라도 최근 야간 활동인구의 증가에 따라 공항 인근 도심에는 다양한 조명시설이 설치되고 있는 것이 오늘날 공항 주변의 환경이다.

우리의 눈은 조명에 반응하여 다양한 반응을 나타낸다. 우리가 야간에 차량을 운행하는 중 마주 오는 차량의 전조등 불빛에 대한 반응이나 밝은 낮에 주행하던 중 터널에 진입할 때 나타나는 반응 등이 그것이다.

야간에 공항에 접근 및 이착륙하는 항공기 조종사의 눈 또는 공항 주변의 항공기를 관제하는 관제사의 눈도 지상에서의 차량 운전자와 같은 조명에 대한 다양한 반응을 보일 것이다. 그리고 이러한 반응은 야간에 운항하는 항공기의 안전과 밀접한 연관이 있다.

공항 주변에 형성된 건축물은 항공기의 안전한 공항접근과 이착륙에 장애 요인이 될 수 있으므로, 국제민간항공기구(ICAO; International Civil Aviation Organization)와 각 국가에서는 공항 주변에서의 건축물 설치를 법률로써 엄격하게 제한하여 항공기의 안전운항 여건을 확보하고자 노력하고 있다. 그러나 조명시설에 대해서는 연구가 충분히 이루어지지 않아 조명시설로 인한 위험의 정도나 조명설치의 제한조건 등이 마련되지 않은 실정이다.

이러한 현실에서 공항 주변의 개발은 현재에도 계속되고 있고, 이와 같은 개발 과정에서 조명시설, 특히 대형 조명시설의 설치도 꾸준히 증가하고 있다. 이에 야간에 공항주변 대형 조명시설에 의해 조종사 및 관제사에게 발생될 수 있는 시각장애현상에 대해 실증연구를 진행하였다.

1-2 연구의 방법과 논문의 구성

우선 조명과 인간의 눈의 관계를 살펴보고, 공항 주변에 설치되는 조명시설과 관련된 우리나라와 ICAO 및 미국의 기준과 이와 관련된 과거 연구자료를 분석하였다.

이어서 가상의 공항 주변에 가상의 대형 조명시설이 설치되는 경우 해당 공항에 접근하는 항공기 조종사와 관제사의 시각에 대형 조명시설이 어떤 영향을 미치는지 확인하였다. 이는 조

명공학분야의 인증된 공식을 활용하여 계산한 결과를 통해 확인하였다.

끝으로 과거 연구자료 분석과 계산 결과를 바탕으로 공항 주변에 설치되는 대형 조명시설로부터 조종사 및 관제사에게 발생될 수 있는 시각장애현상을 방지함으로써 항공안전을 증진하기 위한 대안을 제시하였다.

II. 조명(빛)과 인간의 눈의 관계

2-1 눈의 구조

인간의 눈은 그림 1과 같이 각막(conea), 동체(pupil), 홍채(iris), 수정체(lens), 유리체액(vitreous humour), 망막(retina)과 시신경(optic nerve)으로 구성되어 있으며, 각막과 동공을 통해 흡수된 빛은 수정체, 유리체액을 거쳐 망막에 이르게 된다.

망막에는 표 1과 같이 간상세포(Rod Cell)와 원추세포(Cone Cell)라는 시각세포가 존재한다. 이들 세포는 빛에 의한 자극을 시신경을 통해 뇌로 신호를 보내는 역할을 담당하며, 뇌는 시신경을 통해 전달된 신호를 시각적 이미지로 해석한다.

이 중 간상세포는 시각세포의 대부분을 차지하고 눈의 초점이 모이는 망막의 중심부인 황반을 제외한 망막의 나머지 모든 부분(주변부)에 분포한다. 그리고 빛에 민감하여 명암을 구분하며, 인간이 어두운 환경에서도 사물을 구분할 수 있게 한다.

이에 반해 원추세포는 시각세포의 약 5% 정도이며, 황반을 포함한 망막 전체에 분포하며, 특히 황반은 원추세포로만 구성되어 있다. 그리고 민감하게 반응하는 색의 범위에 따라 L(ρ 세포, red cone), M(Γ 세포, green cone), S(β 세포, blue cone)의 세 종류의 원추세포로 구분되며, 인간이 색상을 구분하고 사물의 윤곽을 뚜렷하게 인지할 수 있게 한다.

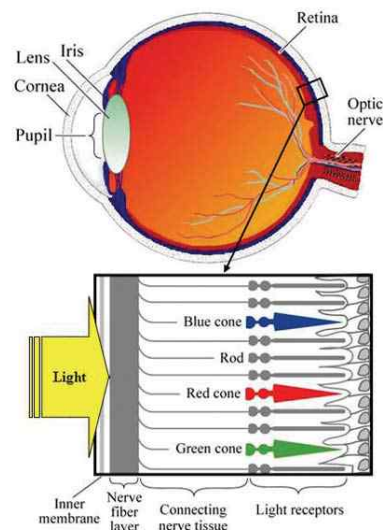


그림 1. 눈의 구조 [1]
Fig. 1. Diagram of the Human Eye

표 1. 간상세포와 원추세포 [2]

Table 1. Rod Cell and Cone Cell

Rod Cell	Cone Cell
Mainly responsible for nighttime vision	Mainly responsible for daytime vision
Distinguish between light and dark	Distinguish color
Detect achromatic colors	Detect chromatic colors
Sensitive to differences in brightness, detects and responds to weak light	Less sensitive to differences in brightness and only responds to light above a certain intensity
Decreased ability to see details	Ability to see details and perceive space
Present in the periphery of the retina	All parts of the retina, including the macula
Slow adaptation to light	Adapts to light quickly and adapts to instantaneous changes in light
One kind	Three types in humans (L/M/S)
Present more cones than rods in the retina	Present mainly in the center of the retina
About 90 million to 92 million pieces	About 4.5 million to 6 million pieces

2-2 눈과 조명(빛)의 관계

빛의 밝기에 따라 사물을 인지하는데 필요한 빛의 양은 달라진다. 이에 인간의 눈은 동공을 둘러싼 홍채의 근육을 움직임으로써 밝은 환경에서는 동공을 축소하여 흡수되는 빛의 양을 감소시키고, 어두운 환경에서는 동공을 확대하여 충분한 빛을 흡수함으로써 사물을 보다 명확하게 인지하려 한다.

이러한 눈의 기능을 통해 인간은 밝은 공간이나 주간에는 사물의 형상, 위치, 색상 등을 세밀하게 인지하고 공간을 지각할 수 있으나, 어두운 공간이나 야간에는 간상세포를 통해 대략적인 사물의 형상과 위치만을 인지할 수 있는 것이다.

그래서 빛이 적은 야간에는 사물을 인지하기 위해 인지하고자 하는 사물이 있는 곳으로 시선을 고정시켜 충분한 빛이 흡수 되도록 한다. 그러나 이러한 상황에서 운전등이나 다른 조명을 통해 갑자기 많은 양의 빛이 눈을 비추는 경우 순간적으로 시력을 상실하거나 이를 방지하기 위해 눈을 감거나 빛이 비추는 방향의 반대방향으로 시선을 돌리는 등의 반응을 보이는 것이다.

또한 빛이 많은 주간에는 사물을 보다 선명하게 인지하기 위해 선글라스, 차광막 등을 이용하여 눈에 흡수되는 빛의 양을 감소시키는 노력을 하기도 한다.

이처럼 인간의 눈은 사물을 인지하는 본연의 기능을 하는데 있어 빛의 양은 매우 민감한 요인이 된다고 볼 수 있다.

III. 공항주변 조명시설에 대한 현행 기준 검토

3-1 우리나라의 기준

우리나라의 공항주변 시설물에 대한 기준은 민간공항(1)과 군사공항(2)에 따라 다른 기준이 적용되고 있다. 먼저 민간공항에서는 『공항시설법』 및 그 부속법령과 국토교통부의 행정규칙 등을 적용한다. 그리고 군사공항에서는 『군사기지 및 군사시설 보호법』 및 그 부속법령과 국방부의 행정규칙 등을 적용하고 있다. 그러나 각각의 기준에서 시설물을 제한하는 구역의 범위는 다르지만, 해당 구역 내에서의 제한사항은 유사하다.

1) 민간공항의 기준

민간공항에 적용되는 관련 기준 중 최상위 기준인 『공항시설법』에서는 ‘항공등화의 인식에 방해가 되거나 항공등화로 잘못 인식될 우려가 있는 등화’를 ‘유사등화’로 정의하며, 이러한 등화의 설치를 금지하고 있다(3). 또한 유사등화가 이미 설치되어 있는 경우에는 유사등화를 가리거나 소등하도록 규정하고 있다(4).

국토교통부 고시인 『항공등화 설치 및 기술기준』에서는 ‘광도, 배열, 색채 또는 레이저방사체 등으로 인하여 항공등화를 식별하는데 혼동을 일으키게 하는 조명’을 ‘유사등화’로 정의하고 있다(5). 또한 표 2와 같이 유사등화의 설치를 제한하는 지리적 범위를 활주로의 종류에 따라 규정하고 있다(6).

또한 국토교통부 훈령인 『항공등화시설의 관리·운영 및 점검지침』에서는 유사등화에 대해 공항의 항공등화시설 관리자는 항공등화를 식별하는 데 혼동을 일으킬 수 있는 지역의 유사등화는 소등, 차폐 또는 변경하고, 공항 내 설치된 모든 조명은 항공교통관제와 항공기 안전운항에 지장을 주지 않도록 위치를 조정하거나 차폐하도록 규정하고 있다(7).

- 1) 인천국제공항, 김포국제공항, 제주국제공항, 무안국제공항, 양양국제공항, 울산공항 및 여수공항 등 7개 공항과 울진비행장, 정석비행장, 태안비행장이 해당된다.
- 2) 김해국제공항, 대구국제공항, 청주국제공항, 광주공항, 사천공항, 원주공항, 포항공항 및 군산공항 등 8개 공항과 ‘군사기지 및 군사시설 보호법’에 따른 군의 항공작전기지가 해당된다.
- 3) 법률 제17689호 『공항시설법』 제37조(항공등화와 유사한 등화의 제한) ①항
- 4) 법률 제17689호 『공항시설법』 제37조(항공등화와 유사한 등화의 제한) ②항
- 5) 국토교통부 고시 제2018-246호 『항공등화 설치 및 설치기준』 제4조(정의) 16호
- 6) 국토교통부 고시 제2018-246호 『항공등화 설치 및 설치기준』 제7조(일반적용사항) ⑦항
- 7) 국토교통부 훈령 제833호 『항공등화시설 등의 관리·운영 및 점검지침』 제7조(유사등화의 조정과 차폐 또는 변경)

표 2. 유사등화 설치 제한범위

Table 2. Restrictions on installation of similar lights

Runway Type	Restrictions on installation of pseudo-lights
Code number ⁸⁾ 4 Instrument runway	Width: 750 m on each side of the extended runway center line Distance: at least 4,500 m from the runway end and runway threshold
Code number 2 or 3 Instrument runway	Width: 750 m on each side of the extended runway center line Distance: at least 3,000 m from the runway end and runway threshold
Code number 1 Instrument runway or Visual runway	Approach Area ⁹⁾

2) 군사공항의 기준

군사공항에 적용되는 기준 중 최상위 기준인 『군사기지 및 군사시설 보호법』에서는 ‘항공등화의 명료한 인지를 방해하거나 항공등화로 오인할 우려가 있는 등화’를 “유사등화”로 정의하고 있다¹⁰⁾, 그리고 비행안전구역 안에서의 유사등화 설치와 비행장애를 일으킬 우려가 있는 색채유리나 그 밖의 반사물체의 진열을 금지하고 있다¹¹⁾.

3-2 ICAO의 기준

ICAO에서는 공항주변 시설물 등에 대한 기준을 부속서(Annex) 14 『비행장(Aerodrome)』에서 규정하고 있다. 이에 따르면, 항공기의 안전에 위험을 줄 수 있는 지상의 비항공등화는 소등, 차단 혹은 변경되어야 한다.¹²⁾

또한 광도, 배열 또는 색체에 의해 항공등화의 명료한 식별

8) 활주로 길이에 따라 아래와 같이 분류된 번호를 말한다.

Code Number	Runway length
1	Less than 800 m 미만
2	800 m or more and less than 1,200 m
3	1,200 m or more and less than 1,800 m
4	1,800 m or more

(출처: 국토교통부 고시 제2018-751호 『비행장시설 설치기준』 제4조(육상비행장 분류기준) <표1-1>)

9) 장애물 제한표면 중 진입표면(활주로 시단 또는 착륙대 끝의 앞에 있는 경사도를 갖는 가상의 표면)이 지표면에 수직으로 투영된 구역을 말하며, 구역의 길이는 계기접근활주로의 경우 활주로 종단·시단으로부터 60m 떨어진 지점에서 15,000 m, 비계기활주로에서는 활주로 종단·시단으로부터 60 m 떨어진 지점에서 3,000 m이다. (출처: 국토교통부령 제882호 『공항시설법 시행령』 별표 2 ‘장애물 제한표면의 기준’ 2. 다. 6)항)

10) 법률 제16568호 『군사기지 및 군사시설 보호법』 제10조(비행안전구역에서의 금지 또는 제한) ①항 4호

11) 법률 제16568호 『군사기지 및 군사시설 보호법』 제10조(비행안전구역에서의 금지 또는 제한) ①항 4호, 5호

12) Annex 14 『Aerodrome』 Vol. 1 「Aerodrome Design and Operations」 5.3 Lights 5.3.1.1

에 혼란을 초래할 수 있는 지상의 조명은 소등, 차단 혹은 변경되어야 하며, 특히 표 2와 동일한 영역 내에서는 지상의 조명이 공중에 미치는 영향에 주의할 것을 권고하고 있다¹³⁾.

3-3 미국의 기준

미국은 연방항공청(FAA; Federal Aviation Administration)에서 규정하는 기준을 민간영역 및 군사영역에서 모두 적용하되, FAA에서 규정하지 않은 사항 중 군사영역에서 적용하여야 하는 사항은 군(국방부 또는 각 군)에서 별도의 규정을 마련하는 특징이 있다.

한편 이번 연구 과정에서 FAA가 공항 주변의 조명에 대해 규정한 기준은 찾지 못하였으나, 미국 국방부(DoD; Department of Defense)에서 제시한 기준은 확인할 수 있다.

DoD의 『통합시설기준(UFC; United Facilities Criteria¹⁴⁾』에 따르면 조명의 방향은 관제실 및 이착륙 항공기의 방향을 피해야 하며, 조명을 설치한 후 관제탑 관제사가 불쾌한 눈부심을 겪는 경우에는 눈부심이 제거될 때까지 조명을 조절하여야 한다¹⁵⁾.

또한 항공교통관제를 위한 관제탑은 지상의 조명, 반사체 및 이와 유사한 외부조명에 의해 가시성이 손상되지 않는 위치에 있어야 한다¹⁶⁾.

IV. 관련 연구 사례

4-1 기존의 연구 사례

조명시설에 대해서는 다양한 연구가 존재하고 있으나, 조명과 시각의 관계에 대해 수행된 주요 연구 사례는 표 3과 같다. 이를 살펴보면 대부분 조명장치 자체에 대한 연구 또는 지상의 사람이 조명으로 인해 받는 영향 등에 대한 연구임을 알 수 있다. 이 외에도 가로등이나 차량의 전조등과 같이 지상에서 설치, 사용되는 조명에 대한 다양한 연구사례를 확인할 수 있다.

한편 V. B. Nakagawara et. al.(2006)의 연구[1]는 국내외의 조명 관련 연구 중 거의 유일하게 항공분야의 관점에서 조명에 의한 눈부심의 위험성에 착안하여 눈부심과 항공안전의 관계를 분석한 연구로, 조명이 항공기의 운항에 미치는 영향에 대해 유의미한 연구사례라 할 수 있다.

또한 이 연구에서는 1982년부터 2005년 사이에 미국 내 공

13) Annex 14 『Aerodrome』 Vol. 1 「Aerodrome Design and Operations」 5.3 Lights 5.3.1.3

14) 군사용 시설물의 유형별 설계, 건설, 건축 및 설치기준 등을 제시하고 있는 DoD의 규정

15) UFC 3-535-01 『Visual Air Navigation Facilities』 10-4.2.2 Fixed Floodlights Glare Control

16) UFC 3-260-01 『Airfield and Heliport Planning and Design』 Appendix B 「Air Traffic Control Tower Siting Criteria」 B16-2.9 Extraneous Lighting

항에서 발생한 사고/준사고 중 야간에 조종사 또는 관제사에게 발생한 눈부심 등 시각장애로 인한 사고/준사고 사례를 표 4와 같이 확인하였다. 또한 1988년부터 2004년까지 수집된 미국의 항공안전장애보고 중 153건의 야간 시각현상에 대한 보고를 확인하였는데, 그 결과는 표 5와 같다.

이를 통해 야간비행 중 조종사와 관제사는 밝은 빛의 영향으로부터 눈부심, 실명 등 일시적인 시각장애를 받으며, 가장 영향이 큰 단계는 지상이동과 접근/착륙단계임을 통계적으로 확인하였다. 이 중 지상이동에서의 시각장애는 맞은 편에서 오는 항공기의 조명에 의한 현상이고, 접근/착륙단계에서의 시각장애는 공항 외부의 조명에 의한 현상으로 설명하였다 [1].

결론적으로 V. B. Nakagawara et. al.(2006)은 지상이동 항공기 조종사는 다른 항공기 조종사나 관제사에게 영향을 주지 않는 수준으로 조명을 낮추어 사용하고, 공항운영자는 조종사나 관제사의 시각장애 방지를 위해 비행경로를 포함한 공항 인근의 위험한 조명을 제거하여야 함을 주장하였다 [1].

표 3. 기존 연구 목록

Table 3. List of Existing Studies

Researcher	Content of studies
Park, Ji Cheol et. al. (2013)	A Study on the Eco-friendly Lighting Design - Targeting of 'Gimpo Airport SKY PARK Lotte Mall [11]
Kangwon National University (2013)	Development and application of lighting equipment installation management standards [12]
Dong-su Kim et. al. (2015)	A Study on the Design of a Floodlighting Tower with LED Source of Light Considering the Reduce of a Glare [13]
Youngjin Kim et. al. (2018)	A Study on the Characteristics of Night Lighting Affecting Light Pollution [14]
Hee-Kyung Yun et. al. (2019)	Study on the Standard Guidline of Environmental Impact Assessment Focusing on Light Pollution [15]
V. B. Nakagawara et. al. (2006)	Aircraft Accidents and Incidents Associated With Visual Disturbances From Bright Light During Nighttime Flight Operation [1]
T. M. Aslam et. al. (2007)	Principles of disability glare measurement: and ophthalmological perspective [16]
Carolyn Tatulla et. al. (2017)	Determination of Veiling Luminance for Peripheral Visual Objects [17]

표 4. 야간 눈부심에 의한 비행단계별 사고/준사고 현황 (1982~2005, 미국)

Table 4. Status of accidents/incidents by Flight Stage due to Night Glare (1982~2005, USA).

Phase of flight	Accident	Incident	Total
Taxiing	6	15	21
Takeoff / Departure	3	2	5
Enroute	4	1	5
Approach / Landing	17	10	27
Total	30	28	58

표 5. 야간 눈부심에 의한 비행단계별 항공안전장애보고 현황 (1988~2004, 미국)

Table 5. Status of Aviation Safety Hazard Reporting by Flight Stage due to Night Glare (1988~2004, USA).

Phase of flight	Report	Ratio
Taxiing	90	58.8%
Takeoff / Departure	8	5.2%
Enroute	11	7.3%
Approach / Landing	41	26.8%
Other	3	1.9%
Total	153	100%

4-2 기존 연구의 한계

기존의 연구는 대체로 지상의 조명이 지상의 차량이나 보행자 또는 주변 건물에 미치는 영향에 대해 수행되었다. 이러한 연구에서는 조명으로부터 영향을 받는 차량, 보행자, 건물 등은 근거리에서 위치하고 있다. 그러나 공항 인근의 조명으로부터 영향을 받는 항공기 조종사와 관제사는 조명으로부터 원거리에서 위치하고 있다. 이처럼 대부분의 선행 연구들은 조명이 항공기 운항과 항공기 조종사 또는 관제사에 미치는 영향에 참고하기에는 한계가 있다는 점은 아쉬움으로 남는다.

V. B. Nakagawara et. al.(2006)의 연구[1]는 야간에 조종사 또는 관제사가 눈부심을 겪는 경우 항공안전에 위험을 초래함을 통계자료를 통해 확인하고 있으나, 조명시설의 설치로 인해 조종사 또는 관제사가 겪는 눈부심의 정도 등의 영향에 대해서는 연구되지 않았다.

또한 김동수 등(2015)의 연구[13]도 공항에서의 조명과 눈부심의 관계를 고려하여 수행된 연구이나, 조명의 영향을 받는 대상은 지상의 항공기 조종사 또는 항공기 주변의 작업자로, 조종사나 관제사에 미치는 영향은 연구되지 않았다.

V. 대형 조명시설이 조종사와 관제사의 시각에 주는 영향

5-1 분석의 시행

야간에 시계비행 방식으로 활주로에 접근하는 조종사는 활주로등, 진입등, 진입각지시등 등과 같이 활주로 주변에 설치된 항공등화를 주시하며 접근한다. 따라서 접근경로에 다른 조명이 없다면 조종사는 이러한 항공등화를 선명하게 식별할 수 있고 활주로에 안전하게 접근할 수 있다.

또한 야간에 공항에 접근하는 항공기를 관제하는 관제탑 관제사의 경우, 항공기의 항법등과 착륙등을 통해 항공기의 위치를 식별한다. 조종사의 경우와 마찬가지로 공항 주변에 다른 조명이 없다면 관제사는 항공기의 항법등과 착륙등을 선명하게 식별할 수 있고 안전하게 관제업무를 제공할 수 있다.

그러나 공항 주변에 강한 빛을 방출하는 대형 조명시설이 존재하게 된다면, 이 조명은 조종사와 관제사가 항공등화 또는 항공기를 식별하는데 영향을 줄 것이다. 이는 V. B. Nakagawara et. al.(2006)의 연구[1]에서도 확인되며, 이러한 이유로 공항 주변에는 항공등화의 식별을 방해하거나 관제사에게 눈부심을 야기하는 조명의 설치가 제한되는 것이다.

이에 이번 연구에서는 그림 2와 같이 가상의 공항과 그 주변에 가상의 대형 조명시설들이 설치되는 경우를 가정하였다. 그리고 그림 2의 해당 대형 조명시설의 설치 전과 후에 가상의 비행경로로 시계비행규칙(VFR; Visual Flight Rule¹⁷⁾)에 따라 공항에 접근하는 항공기 조종사와 이를 관제하는 관제탑 관제사의 시각에 미치는 영향을 분석하였다. 설치되는 대형 조명시설은 지방자치단체에 의해 활발히 조성되고 있는 체육공원의 축구장과 야구장의 조명탑을 가정하였다.

한편 계기비행규칙(IFR; Instrument Flight Rule¹⁸⁾)에 따라 공항에 접근하는 항공기 조종사는 바깥의 지형보다는 항공기의 계기를 보면서 비행하기 때문에 VFR로 비행하는 항공기 조종사에 비해 시각에 미치는 영향이 적을 것으로 판단되었기에 이번 연구에서는 검토하지 않았다.

비록 IFR로 비행하는 항공기에 대한 영향은 검토하지 않았지만, IFR로 비행하는 항공기가 활주로에 근접하여 활주로를 확인하고 착륙여부를 마지막으로 결심하게 되는 지점은 그림 2에서의 '지점 L' 전후에 해당된다. 따라서 해당 지점 이후 활주로에 도달할 때까지 IFR로 비행하는 항공기 조종사의 시각에 조명이 미치는 영향은 VFR로 비행하는 항공기 조종사에 대한 영향과 동일할 것이라 판단한다.

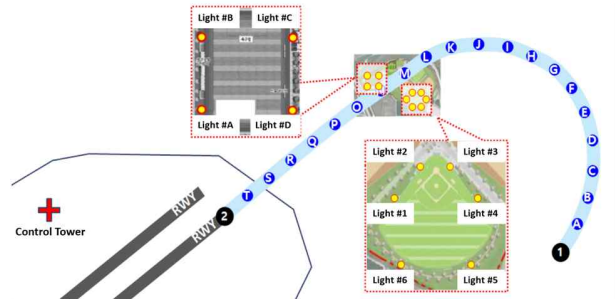


그림 2. 가상의 대형 조명시설과 비행경로
Fig. 2. Virtual large lighting facility and flight path

공항 주변의 조명이 조종사나 관제사에게 미치는 영향은 정량적으로 평가할 수 있는데, 이는 불능글레어, 사물인지도 및 식별방해도를 계산하여 비교함으로써 확인할 수 있다. 불능글레어란 조명의 의한 눈부심을 나타내며, 사물인지도는 사물을 배경과 구별하여 인지할 수 있는 능력을 나타내고, 식별방해도는 눈부심이 사물의 식별을 방해하는 정도를 나타낸다.

이 중 불능글레어와 사물인지도에 대해서는 국제조명위원회(CIE; Commission Internationale de l'Éclairage¹⁹⁾)에서 제시하였거나 및 R. B. Gibson(2003)의 연구[18] 등에서 제시된 다음의 공식을 사용하였다.

$$L_{vl} = K \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{\theta_i^2} \right) \quad (1)$$

L_{vl} : 불능글레어 수치(cd/m^2)

K : 연령 상수(이번 연구에서는 age = 37.8 적용)

$$K = 9.15 \left(1 + \left(\frac{age}{66.4} \right)^4 \right)$$

E_i : i 번째 위치에서의 휘도(cd/m^2)

$$E_i = \frac{I_i}{d^2} \cos \theta$$

I_i : 설치된 광원의 조도(cd)

d : 설치된 광원과 측정지점간의 거리(m)

θ : i 번째 광원과 눈을 연결하는 직선이 관측방위를 이루는 각^o)

$$C = \frac{|L_{object} - L_{back}|}{L_{back} + L_{vl}} \quad (2)$$

C : 사물인지도

L_{object} : 보고자 하는 사물의 휘도(cd/m^2)

L_{back} : 배경의 휘도(cd/m^2)

L_{vl} : 불능글레어 수치(cd/m^2)

17) 조종사가 육안으로 지형지물 등을 확인하며 비행할 때 준수해야 할 규칙이다.

18) 조종사가 항공기에 탑재된 항법장비 등의 계기에 따라 비행할 때 준수해야 할 규칙이다.

19) 오스트리아 빈에 본부를 두고 있는 빛, 조명, 조명기기, 색 분야를 관장하는 국제위원회로, CIE는 프랑스어 명칭에 따른 약어이며, 영문으로는 International Commission on Illumination이다.

이번 연구에서 불능글레어는 조명이 조종사나 관제사의 시야범위에 들어오면서부터 벗어나기까지의 구간에서 조종사나 관제사가 겪는 눈부심을 평가하였다. 이 중 조종사의 시야범위는 비행경로의 각 지점에서 활주로를 바라보는 시선축선의 좌우 각 60°로 한정하였다. 그리고 관제사의 시야범위는 관제탑에서 비행경로의 각 지점에 위치한 항공기를 바라보는 시선축선의 좌우 각 60°로 한정하였다. 또한 연령 상수(K)는 군에서 항공기 조종과 항공교통관제를 수행하는 연령층(19세~50세)의 연령별 K 값의 평균($K_{average} = 10.11$)과 이에 해당하는 연령인 37.8세를 적용하였다.

또한, 사물인지도는 조종사의 경우에는 활주로에 설치된 항공등화시설 중 진입각지시등(PAPI; Precision Approach Path Indicator²⁰), 활주로등(REDL; Runway Edge Light²¹), 진입등(ALS; Approach Light System²²) 및 시단등(RTHL; Runway Threshold Light²³)을 인지할 수 있는지를 평가하였고, 관제사의 경우에는 항행등을 점등한 항공기를 인지할 수 있는지를 평가하였다.

조종사와 관제사의 시야범위에 대형 조명시설 등 고광도의 광원이 존재한다면 조종사가 활주로의 항공등화를 식별하거나 관제사가 항공기의 항행등을 식별하는데 방해가 될 것이다. 위에서 제시한 불능글레어와 이에 따른 사물인지도의 변화를 분석하는 것도 중요하지만, 불능글레어로 인해 목표물을 관측하는데 어느 정도의 방해가 받는지도 분석할 필요가 있다. 이를 위해 사용된 아래의 공식은 목표물의 휘도와 불능글레어의 강도를 비율적으로 계산하여 분석한 공식이다. 이 공식을 통하여 대규모 조명시설의 광도를 어느 정도까지 조정해야 하는지 혹은 허용할 수 있는지에 대한 판단을 할 수 있다.

$$D = \frac{L_{vl}}{L_{object}} \tag{3}$$

D: 식별방해도

L_{object} : 보고자 하는 사물의 휘도(cd/m^2)

L_{vl} : 불능글레어 수치(cd/m^2)

$$L_{vl} = K \sum_{i=1}^n \left(\frac{E_i}{\theta_i^2} \right)$$

E_i : i 번째 위치에서의 휘도(cd/m^2)

θ_i : i 번째 광원과 눈을 연결하는 직선이 관측방위를 이루는 각(°)

20) 정밀접근이 이루어지는 활주로에 설치되어 착륙을 위한 진입각을 표시하는 항공등화이다.

21) 활주로의 가장자리를 표시하는 항공등화이다.

22) 활주로에 착륙하기 위한 최종접근방향과 활주로부터의 거리를 표시하는 항공등화이다.

23) 활주로의 시단(始端)을 표시하는 항공등화이다.

5-2 분석결과

1) 조종사에 대한 영향 분석

VFR로 접근하는 항공기 조종사의 시각에 눈부심을 유발하는 광원은 조종사가 활주로를 바라보았을 때 시야 범위 내에 존재하면서 조종사를 향해 빛을 발산하는 조명이다. 위 그림 2의 가정사항에 따라 조종사의 시야범위, 3차원 공간을 고려한 상대적 위치와 광도 및 입사각 등을 고려하여 수행된 이번 연구 결과에서는 조명 #1, 조명 #2, 조명 #5, 조명 #6, 조명 #A 및 조명 #B가 해당된다.

이들 조명이 조종사에게 영향을 주는 눈부심의 정도는 항공기의 위치에 따라 달라지지만, 그림 3에서와 같이 항공기가 Base Leg의 중간인 '지점 G'를 지나는 시점부터 Final 경로에 맞춰 Roll Out을 마치는 '지점 L'사이 구간의 값이 다른 구간의 값보다 상대적으로 높은 값을 나타낸다.

이는 해당 구간에서 조종사-조명-활주로가 일직선을 이루며 조종사의 시야범위 내에 조명이 위치하기 때문이다. 그리고 이를 통해 공항 주변의 대형 조명시설은 조종사에게 눈부심을 유발하는 위험요인이라고 판단할 수 있다.

조종사의 사물인지도 변화는 그림 4와 같이 확인된다. 이에 따르면 항공기가 대형 조명시설을 통과한 이후인 '지점 O'부터 활주로에 도달할 때까지의 구간에서 조종사의 사물인지도는 대형 조명시설의 유무에 관계없이 동일한 수준을 유지한다.

그러나 '지점 A'부터 '지점 N'까지의 구간에서의 조종사의 사물인지도는 대형 조명시설 설치 전에 비해 낮아진다. 이를 통해 공항 주변의 조명으로 인해 조종사가 활주로의 항공등화시설을 인지하는 능력이 저하될 수 있음을 확인할 수 있다.

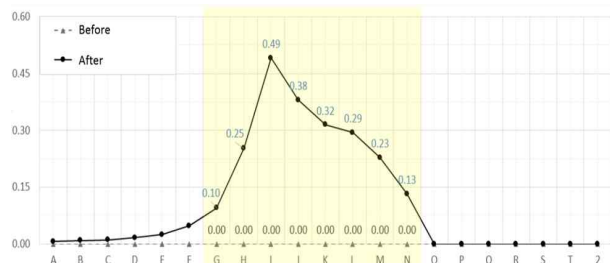


그림 3 조종사에 대한 불능글레어 계산결과
Fig. 3 Calculation result of Disability Glare for the Pilot

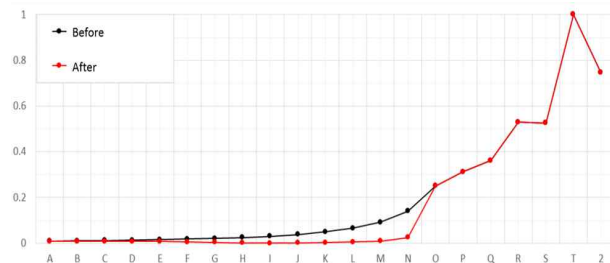


그림 4. 조종사의 사물인지도 계산결과
Fig. 4. Calculation result of Pilot's Object Recognition

한편 조종사가 항공등화시설을 식별함에 대한 식별방해도도는 그림 5에서부터 그림 9까지와 같은데, 이는 그림 3에서의 불능글레이 계산결과와 유사한 양상을 나타낸다. 이 중 진입등의 식별방해도도가 다른 항공등화에 비해 낮은 이유는 진입등의 광도가 다른 항공등화에 비해 크기 때문이다. 하지만 이 결과를 통해 공항 주변의 대형 조명시설은 조종사의 항공등화에 대한 명료한 식별을 방해함을 확인할 수 있다.

이와 같이 공항 주변의 대형 조명시설은 조종사에게 눈부심을 유발하고, 조종사의 항공등화에 대한 명료한 식별에 악영향을 미치는 위험요인임을 확인할 수 있다. 이에 이러한 공항 주변의 대형 조명시설은 관련 법령에서 명시하고 있는 ‘유사등화’에 해당되므로, 야간에 공항에 접근하는 항공기의 안전을 위해 그 설치가 엄격히 제한되어야 한다.

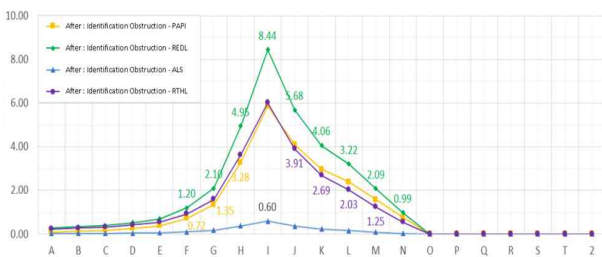


그림 5. 조종사에 대한 식별방해도 계산 결과 (항공등화 종합)
Fig. 5. Calculation result of Pilot's Identification Obstruction (Total of 4 Airport Lights)

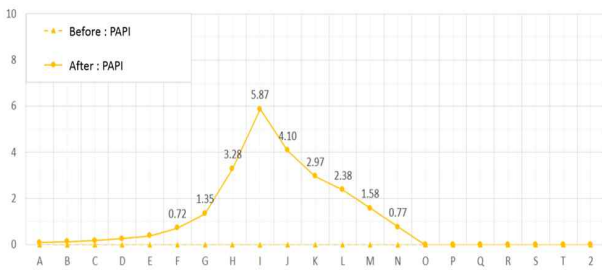


그림 6. 조종사의 식별방해도 변화(진입각지시등)
Fig. 6. Changes in the degree of Pilot's Identification Obstruction (PAPI)

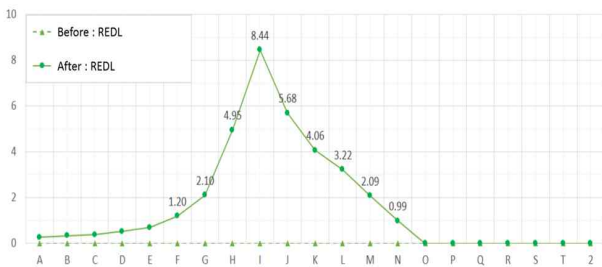


그림 7. 조종사의 식별방해도 변화(활주로등)
Fig. 7. Changes in the degree of Pilot's Identification Obstruction (REDL)

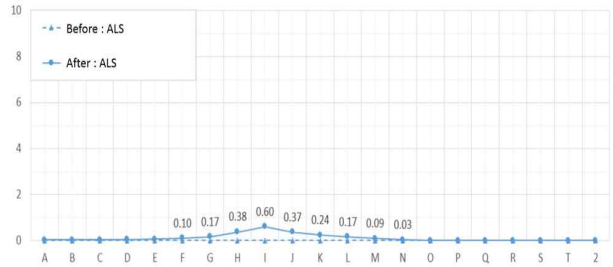


그림 8. 조종사의 식별방해도 변화(접근등)
Fig. 8. Changes in the degree of Pilot's Identification Obstruction (ALS)

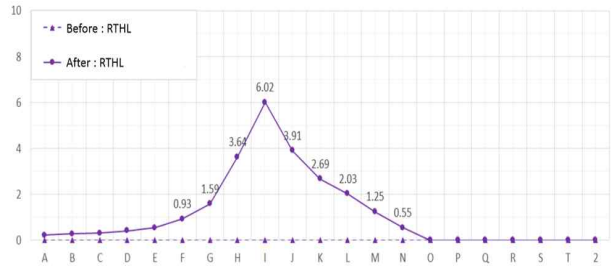


그림 9. 조종사의 식별방해도 변화(시단등)
Fig. 9. Changes in the degree of Pilot's Identification Obstruction (RTHL)

2) 관제사에 대한 영향 분석

VFR로 접근하는 항공기를 관제하는 관제사의 시각에 눈부심을 유발하는 광원은 관제사가 항공기를 바라보았을 때 시야 범위 내에 존재하면서 관제사를 향해 빛을 발산하는 조명이 위 그림 2의 가정사항에 따라 관제사의 시야범위, 3차원 공간을 고려한 상대적 위치와 광도 및 입사각 등을 고려하여 수행한 이번 연구의 결과에서는 조명 #3, 조명 #4, 조명 #C 및 조명 #D가 해당된다.

이들 조명이 관제사에게 영향을 주는 눈부심의 정도는 항공기의 위치에 따라 차이는 있지만, 그림 10에서와 같이 항공기가 Base Leg에 진입하는 '지점 E'부터 활주로에 최종접근하여 착륙을 하기 직전인 '지점 R'까지 거의 모든 비행구간에서 눈부심이 발생한다. 이는 항공기가 대형 조명시설을 통과하였더라도 관제사의 시야 범위에는 해당 조명이 계속 존재하기 때문이다. 그리고 이 결과에 따르면 공항 주변의 대형 조명시설은 관제사에게 눈부심을 유발하는 위험요인이라 할 수 있다.

관제사의 사물인지도 변화는 그림 11과 같은데, 관제사의 경우에는 대형 조명시설 설치 후 위 그림 2의 모든 비행구간에서 사물인지도는 낮아지는 것으로 나타난다. 이에 공항 주변 대형 조명시설은 관제사가 공항 주변의 항공기를 인지하는 능력을 상당히 저하시키는 요인이 됨을 확인할 수 있다.

관제사가 공항 주변 항공기의 항행등을 식별함에 있어 대형 조명시설이 미치는 식별방해도도는 그림 12와 같이 계산되었다. 조종사와 마찬가지로 관제사의 경우에도 식별방해도도는 불능글레이 계산결과와 유사한 양상을 보인다. 그리고 이 결과를 통해 공항 주변 대형 조명시설은 관제사가 항공기를 명료하게 식별하는 것을 방해함을 확인할 수 있다.

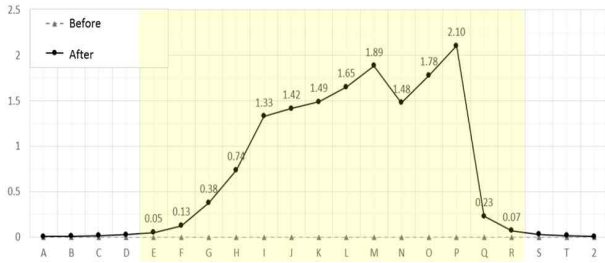


그림 10. 관제사에 대한 불능글레어 계산결과
 Fig. 10. Calculation result of Disability Glare for the Controller

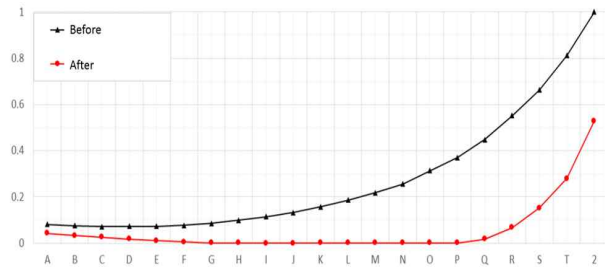


그림 11. 관제사의 사물인지도 계산결과
 Fig. 11. Calculation result of Controller's Object Recognition



그림 12. 관제사에 대한 식별방해도 계산결과
 Fig. 12. Calculation result of Controller's Identification Obstruction

이처럼 공항 주변의 대형 조명시설은 관제사에게도 조종사의 경우와 동일하게 눈부심을 유발하고 공항 주변 항공기의 식별을 방해하는 등 악영향을 미치는 요인임을 알 수 있다. 비록 우리나라의 관련 법령과 ICAO에서는 조명에 의한 관제사의 시야제한에 대해 규정하고 있지는 않으나, 미국의 관련 기준에서와 같이 관제사가 눈부심을 겪거나 가시성을 훼손받는 조명시설이 공항 주변에 설치되는 것은 엄격히 제한되어야 할 것이다.

VI. 결 론

6-1 공항 주변 대형 조명시설에 의한 조종사와 관제사의 시각장애 현상 방지를 위한 제한

이번 연구 과정에서 조명시설의 설치방향에 따라 조종사와 관제사에게 미치는 영향이 달라짐을 알 수 있었다. 이에 공항

주변 대형 조명시설을 설치하는 경우 다음의 사항을 고려할 것을 제안한다.

- (1) 조명의 방향은 조종사의 시점에서는 비행경로에서 활주로를 바라보는 시선의 범위를 벗어나고, 관제사의 시점에서는 관제탑에서 항공기를 바라보는 시선의 범위를 벗어나도록 설정
- (2) 조명을 설치하기 전과 후의 조종사와 관제사에 대한 불능글레어, 사물인지도 및 식별방해도의 차이가 최소화되도록 계획
- (3) 위의 사항을 고려한 방향 설정 후 조명이 필요한 시설물(경기장 등)과 조명 배치
- (4) 지형여건 등으로 위의 고려가 불가능한 경우
 - (가) 조명의 사용시간을 항공기 운전자 및 관제시설 운영자와 협의하여 제한
 - (나) 조명의 직접광 및 반사광이 조종사 또는 관제사의 시야에 미치지 않도록 차광설비 구비

또한 조명시설 설치에 대해서는 공항운영자(공항당국) 뿐만 아니라 항공기 조종사와 항공교통관제사의 검토, 의견청취 및 이들과의 협의를 제도화하고, 이러한 과정은 조명시설이 요구되는 시설물 설치의 계획단계에서부터 진행되도록 하는 등 관련 제도의 보완이 요구된다.

6-2 연구의 의의와 한계 및 향후 연구과제

이번 연구 이전에는 대형 조명시설이 공항 주변에 설치될 경우 조종사와 관제사에게 눈부심이 발생할 것이라는 추측은 가능하였지만 눈부심의 영향에 대한 정량적 연구는 이루어지지 않았었다. 이로 인하여 공항 주변의 대형 조명시설의 설치를 제한하는데 있어 관련 법령에 명시된 ‘유사등화의 설치 제한’이라는 규정을 뒷받침할 만한 근거를 찾기 어려워 주관적인 판단에 의존하는 한편, 항공안전의 관점에서 위험요인이 상존하는 결과를 초래하였다.

이에 공항 주변에 설치된 대형 조명시설이 야간에 항공기 조종 및 관제업무를 수행하는 조종사와 관제사의 시각에 미치는 영향을 정량적으로 분석해 보기 위해 이번 연구를 진행하였다. 공항 주변 대형 조명시설이 조종사와 관제사의 시각에 악영향을 미침을 정량적으로 확인한 이번 연구결과를 바탕으로 앞으로 공항 주변에 설치될 대형 조명시설의 영향에 대해 보다 객관적인 검토와 판단이 가능할 것이라 기대한다.

다만 이번 연구에서는 계산과정의 복잡성과 연구시간의 부족 등으로 인하여 대형 조명시설의 빛이 지표면에 반사되어 형성되는 반사광의 영향, 항공기의 선회각, 강하각 등 다양한 비행자세에서의 영향 및 조종사, 관제사의 연령분포에 따른 영향 등에 대한 분석을 생략하였다. 향후 이에 대한 연구가 추가로 진행되어 이번 연구의 결과를 보완하게 된다면 공항 주변에 설치되는 대형 조명시설에 대한 영향을 보다 정확하게 판단할 수 있을 것이다.

또한 공항 주변 대형 조명시설의 영향에 대해 충분한 데이터

를 추적하여 정량적으로 분석하는 한편, 조종사와 관제사를 대상으로 설문조사를 실시하는 등의 과정을 통해 조명시설의 영향을 지수화하는 추가 연구가 요구된다. 그리고 이를 바탕으로 현행 ‘유사등화의 설치 제한’이라는 추상적인 규제를 벗어나 조명시설의 설치가 제한 또는 금지되는 객관적인 기준이 제시되도록 관련 제도의 보완과 지속적인 후속 연구가 이루어지길 기대한다.

References

- [1] Van B. Nakagawara, Ron W. Montgomery and Kathryn J. Wood, "Aircraft Accidents and Incidents Associated With Visual Disturbances From Bright Light During Nighttime Flight Operation," Civil Aerospace Medical Institute, FAA, OK and Office of Aerospace Medicine, FAA, DC, USA, Final Report DOT/FAA/AM-06.28, Nov. 2006.
- [2] Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Cone_cell
- [3] 대한민국 법률 제17689호 "공항시설법" 및 이 법의 시행령, 시행규칙
- [4] 국토교통부 고시 제2018-246호 "항공등화 설치 및 설치기준"
- [5] 국토교통부 고시 제2018-751호 "비행장시설 설치기준"
- [6] 국토교통부 훈령 제833호 "항공등화시설 등의 관리운영 및 점검지침"
- [7] 대한민국 법률 제16568호 "군사기지 및 군사시설 보호법" 및 이 법의 시행령, 시행규칙
- [8] Annex 14 "Aerodrome" Vol. 1 'Aerodrome Design and Operations,' ICAO, Montreal, Canada
- [9] UFC 3-535-01 "Visual Air Navigation Facilities," DoD, DC, USA
- [10] UFC 3-260-01 "Airfield and Heliport Planning and Design" Appendix B 'Air Traffic Control Tower Siting Criteria,' DoD, DC, USA
- [11] Park, Ji Cheol and Chung, Kang Wha, "A Study on the Eco-friendly Lighting Design - Targeting of 'Gimpo Airport SKY PARK Lotte Mall'," *Journal of Digital Design*, Vol 13, No. 4, pp. 149-158, Oct. 2013.
- [12] 김훈, 한종성, 안소현, 김현지, 조숙현, 이민욱, 류지현, "조명기구 설치관리 기준 개발 및 적용 연구," 강원대학교 산학협력단, 환경부 학술연구용역 최종보고서, 2013
- [13] Dong-su Kim and Chang-su Huh, "A Study on the Design of a Floodlighting Tower with LED Source of Light Considering the Reduce of a Glare," *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, Vol 28, No. 4, pp. 271-275, Apr. 2015.
- [14] Youngjin Kim and Jooyun Kim, "A Study on the Characteristics of Night Lighting Affecting Light Pollution," *Journal of the Korea Institute of the Spatial Design*, Vol 13, No. 4, pp. 39-50 Aug. 2018.
- [15] Hee-Kyung Yun, Tae-Bong Choi, Bu-Kyung Kim and Hoon Kim, "Study on the Standard Guideline of Environmental Impact Assessment Focusing on Light Pollution," *Journal of Environmental Impact Assessment*, Vol 28, No. 1, pp. 63-70, Jan. 2019.
- [16] T. M. Aslam et al., "Principles of disability glare measurement: and ophthalmological perspective," *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, Vol 85, pp. 354-360, Jun. 2007.
- [17] Carolin Tatulla et al., "Determination of Veiling Luminance for Peripheral Visual Objects," in *Proceeding of the Lux Europa 2017*, Ljubljana, Slovenia, pp. 207-211, 2017.
- [18] R. B. Gibbons, "Glare Modeling Formulae," Virginia Tech Transportation Institute, Virginia Polytechnic Institute and State University, VA, USA, 2005.



전 종 진 (Jong-jin Jeon)

공군중령, 공군 항공안전단 비행체계개발과장
 한국항공대학교 항공교통물류학과 항공교통학박사
 ※ 관심분야: 항공정책, ANS/ATM, 비행절차설계, 공항시설, 항공학적검토, UAM/UTM



이 현 승 (Hyun-seung Lee)

공군 전기군무주사, 공군 항공안전단 비행장/비행안전연구개발담당
 한양대학교 전기공학과 공학석사
 ※ 관심분야: 공항시설, 항공등화, 항공학적검토