자전거 전조등의 적절한 설치 각도 제시

Suggesting an Appropriate Angle for Installation of Bicycle Headlight

김예림* · 주재승** · 정도준***

Kim, Yerim*, Joo, Jaeseung**, and Jung, Dojoon***

Abstract

In this study, we experimentally investigated the change in the degree of glare disturbance with respect to the installation angle of bicycle headlights. In particular, we aimed to determine the optimal headlight angle that resulted in the least glare from the bicycle driver while securing a visible distance that ensured driver safety. The test subject was riding a bicycle and was requested to look at a bicycle equipped with a headlight facing the approaching direction. Additionally, the angle between the headlight and the ground was changed from 0° to 30° in the downward direction, as the subject was requested to drive repeatedly. The subject's gaze was tracked using an eye tracker to measure the time spent gazing at the headlight. The results were then utilized to evaluate the degree of glare disorder.

Key words : Bicycle, Headlight, Eye tracker, Installation Angle

요 지

본 연구는 자전거 전조등의 설치 각도에 따른 눈부심 장애의 정도를 실험을 통해 알아보고, 운전자의 안전을 위한 가시거리를 확보하면서 동시에 마주 오는 자전거 운전자의 눈부심이 적은 최적의 전조등 각도를 제시하고 있다. 피험자는 자전거에 탄 채로 전조등이 설치된 자전거가 다가오는 방향을 바라보도록 하였고 마주 오는 운전자는 전조등과 지면의 각도를 0°에서 30°까지 하향 방향으로 변경하며 반복하여 주행하였다. 안구추적기로 피험자의 시선을 추적하여 피험자의 시선이 전조등을 주시하는 시간을 측정하였고, 이를 이용하여 눈부심 장애의 정도를 평가하였다.

핵심용어 : 자전거, 전조등, 안구추적기, 설치각도

1. 서 론

도로교통법 37조 1항에서 모든 차 또는 노면전차의 운전자는 야간, 안개 발생 시, 그리고 터널 내부에서 주행할 때 전조등, 차폭등과 같은 등화를 켜야 하는 것으로 규정할 만큼 등화는 어두운 공간에서 운전자의 가시성 확보와 안전을 위해 아주 중요한 역할을 한다. 그러나 밝은 광원은 사람의 안구에 눈부심을 유발하며, 이에 따른 일시적인 불능현황(Disability Glare)을 발생시켜 교통사고를 일으킬 가능성이

커진다.

다수의 연구자는 광원 영향에 따른 눈부심 평가를 위해 실험으로 접근하여 다양한 분야에서 연구하고 있다. 과거 수행된 연구 동향을 살펴보면, Rajaram and Lakshminarayanan (2013)은 미국 미주리주 St.Louis 대학교(UMSL)의 임상안광학과(College of Optometry) 학생 3명을 대상으로 광원의 영향에 따른 안구의 단시 궤적(Horopter)을 추적한 결과 정상적인 시력 조건에서 눈부심이 발생하는 경우 거리감 및 이미지 인식 능력이 매우 감소하는 것을 밝혔다.

*정회원, 국립재난안전연구원 방재기준평가센터 연구원(E-mail: yerim05@korea.kr)

Member, Researcher, Disaster Prevention Assessment Center, National Disaster Management Research Institute

**정회원, 국립재난안전연구원 방재기준평가센터 책임연구원

Principal Researcher, Disaster Prevention Assessment Center, National Disaster Management Research Institute

***교신저자, 정회원, 국립재난안전연구원 연구기획과 시설연구사(Tel: +82-52-928-8080, Fax: +82-52-928-8009, E-mail: fasv96@korea.kr)

Corresponding Author, Member, Research Officer, Research Planning Division, National Disaster Management Research Institute

Anderson and Holiday (1995)는 두 대의 차량 중 한 대의 차량을 정지한 상태로 2 m 앞 마주 보는 차량의 전조등을 하향등에서 상향등으로 반복적으로 변경하여 피험자의 눈부심 영향을 실험하였으며, 저시력에서 눈부심 영향이 큰 것으로 나타나, 영국의 면허 시험 시 야간 운전 조건에서 시력 검사 제도를 도입하는 것이 타당하다는 것을 제시하였다. 또한 Kimlin et al. (2017)은 운전석에서 우측으로 0.22 m 떨어진 지점(자동차 내부 앞 유리창)에 광원을 형성해 고령 운전자의 눈부심에 의한 사물 인지 및 대응 속도 평가를 고령자 26명을 대상으로 실험하였다.

국내는 Kang and Kim (2011)이 약천후 시 노면 빛 반사로 인한 눈부심 방지를 위하여 고령자용 변환빔을 개발하고 이를 65세 이상 고령자 15명과 비교군 20대 6명, 30~60세 10명을 대상으로 실험을 진행하였으며, 고령자에서 선호도가 높고, 눈부심이 가장 낮은 광원을 선정하였다. 또한, Lee et al. (2012)은 아파트 단지 내 지하 주차장 출차 차량의 전조등 영향으로 인하여 발생하는 저층 세대의 눈부심 피해를 방지하기 위한 공공 다세대 주택 설계 조건을 제시하였다.

최근 녹색교통 수단과 취미 활동의 목적으로 자전거 이용 빈도가 높아짐에 따라 야간 주행을 위한 전조등의 수요가 증가하였다. 자전거는 차량과 다르게 이용자가 설치 시 각도를 임의로 설정할 수 있어 올바른 각도로 설치할 경우 마주 오는 사람에게 영향을 덜 미치는 장점이 있으나, 대부분의 자전거 이용자는 더 밝고 넓은 각도의 제품을 구매하여 설치하는 경우가 많다. 눈부심을 유발하는 고휘도의 광원이 주변 곳곳에 분포되어 있어 눈부심에 의한 교통사고의 위험 또한 곳곳에 내제되어 있는 상황이다. 그러나 대부분의 눈부심 영향 관련 선행 연구는 자동차 전조등에 국한되어 있고, 자전거 전조등의 설치 각도에 따른 눈부심 정도의 연구는 미미한 실정이다. 따라서 본 연구는 실험을 통해 자전거 전조등의 적절한 설치 각도를 제시하고자 한다.

2. 실험 설계

2.1 실험 방법

본 연구에서 자전거 야간 주행 시 전조등이 마주 오는 사람에게 끼치는 영향을 분석하기 위하여 Fig. 1과 같이 두 사람이 자전거를 타고 있는 상황을 가정하였다. 전조등을 바라보는 피험자는 안전을 위해 자전거에 탑승 후 정지한 상태로 전방을 주시하게 하였으며, 맞은편 50 m 지점에서는 전조등을 설치한 자전거가 피험자가 방향으로 시속 10 km로 주행하도록 하였으며, 전조등 설치 각도는 Fig. 1과 같이 수평일 때 0°를 기준으로 5°씩 하향 설치하여 30°까지 실험을 수행하였다. 또한 거리를 식별하기 위해 자전거부터 피험자 방향으로 5 m 간격의 라바콘 5개(총 20 m)를 배치하였다. 실험 현장 예시는 Fig. 2에 나타내었다.

또한 본 연구의 피험자는 근시·난시, 백내장·녹내장

Fig. 1. Experimental Method about Glare of Headlights when Riding a Bicycle at Night

Fig. 2. A Picture of a Bicycle Driving Experiment at Night

등의 안구 질병이 없는 정상시력을 보유한 35세 남성 1명으로 진행되었으며, 전조등 설치 각도별 각각 1회씩 실험을 수행하였다. 일반적으로 다양한 피험자를 대상으로 실험을 수행하여 그 경향성을 제시하는 것이 합당하나, 다수의 연구에서 저시력 및 백내장, 녹내장 등에서 정상시력 보다 눈부심 장애가 더 높은 것으로 보고되고 있다. 따라서 정상 시력의 보유자에서 눈부심 장애가 발생한다면, 저시력 또는 안구 질병 보유자에게도 영향이 있는 설치각도라 판단하여 1인 피험자를 대상으로 분석을 수행하였다.

2.2 실험 장비

본 연구에서 피험자의 눈부심 영향을 관측하기 위하여 안구의 움직임을 추적하는 안구추적기(Mobile Eye Tracker)를 활용하였다. 안구추적기는 피험자의 시선을 추적하는 장비로서 각막에 적외선을 반사시켜 동공의 X, Y 좌표, 각막 반사광의 X, Y 좌표, 동공의 X, Y 지름, 잠재기(Latency) 측정이 가능하다(Kim et al., 2005).

따라서 사물에 대한 시선 집중도와 응시하고 있는 위치를 알아내고 피험자의 반응 및 상호작용 분석에 활용할 수 있는 장점이 있어 본 연구에 활용하였으며(Nam et al., 2020), 전조등을 바라보는 피험자가 안구추적기를 착용하고 눈부심 정도에 따라 참을 수 없는 단계에서는 시선을 회피하기를 권고하였다.

3. 실험 결과

본 연구는 전조등의 설치 각도 0°에서 하향 30°에 따라 피험자의 시선을 추적하여 맵핑하고 핵심성과지표(Key Performance Indications, KPI)로 나타난 결과를 Table 1에 나타내었으며, Table 1에서 Light는 전조등을 주시한 시간을 의미하며, White space는 전조등을 제외한 다른 공간을 주시한 시간을 의미한다. 또한 Entry time은 진입시간, 즉 처음 주시하는 시간을 나타내며, Dwell time은 체류시간, 즉 주시하고 있는 총 시간을 의미한다. 각도별 분석 결과를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

3.1 설치 각도 0° 및 5°

본 연구에서 안구추적기를 이용하여 자전거 전조등 눈부심 영향 실험 중 전조등 설치 각도 0°일 때 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Figs. 3(a)~3(e)는 피험자의 시선을 추적하여 맵핑한 결과이다. 이때 전방 50 m 지점일 때의 시선을 Fig. 3(a)로 나타내었으며, 피험자와의 간격이 10 m 좁혀질 때마다의 시선을 Figs. 3(b)~(e)까지 나타내었다.

실험 결과를 살펴보면 Figs. 3(a)~3(e)에서 나타나듯이 피험자의 시선이 한곳에 머무르지 못하고 심하게 흔들리는 것을 알 수 있다.

설치 각도 0°에서는 Light의 Entry time은 (-)로써 진입시간

Table 1. Result of KPI Analysis by Headlight Angle (Unit: Micro Second)

Classification		Installation angle						
		0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
Light	Entry Time	-	-	28,212.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	Dwell Time	0.0	0.0	896.2	22,105.7	23,515.0	23,499.7	24,062.4
White Space	Entry Time	0.0	0.0	0.0	9,210.7	23,698.7	265.5	24,145.5
	Dwell Time	2,638.6	24,362.2	31,183.8	3,302.4	3,833.9	3,435.1	1,941.5

Fig. 3. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for 0° of Headlight Angle

Fig. 4. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for 5° of Headlight Angle

은 확인이 불가능한 것으로 나타났으며, Dwell time은 0 ms로 나타나 실험 시작과 동시에 전방을 주시하지 못하는 것으로 분석되었다. 또한 Fig. 4는 설치 각도 5°일 때의 실험 결과를 나타내었다. 설치 각도 5°에서 Entry time은 (-), Dwell time은 0 ms로 0°와 같은 결과를 나타내어 실험 시작과 함께 자전거 전조등으로 인해 전방 주시가 어려운 것으로 나타났다.

3.2 설치 각도 10°

Fig. 5는 전조등 설치 각도 10°일 때를 나타낸다. Fig. 5(f)의 Light 상자 및 Table 1의 Entry time에 나타나듯이 실험 시작 후 28,212.9 ms 후에 전조등을 주시한 것으로 나타났으나, Dwell time이 896.2 ms로 매우 짧은 시간을 주시하여 전조등 설치 각도 10°의 경우도 전방을 주시하기 어려운 것으로 판단된다. 전방을 주시하는 시간은 전체 시간의 2.6%로 매우 짧으며, 나머지 90.5% (31,183.7 ms)의 시간이 전조등을 회피하여 주변으로 시선을 돌리는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 5(e)에 나타나듯이 자전거가 피험자에게 가까워지면 광원에 의해 피험자의 시선은 매우 흔들리는

것으로 나타났다.

3.3 설치 각도 15°

전조등 설치 각도 15°의 실험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 15°의 경우 Fig. 6(f)의 Light 상자 및 Table 1의 Entry time이 0 ms인 것으로 보아 실험 시작과 동시에 전방의 전조등을 주시를 할 수 있는 것으로 보이며, 전방 50 m 거리에서는 눈부심 장애가 발생하지 않는 것으로 판단된다. 또한 Dwell time이 22,105.7 ms로 전체 실험 시간 중 84.1%를 안정된 상태로 전방을 주시하는 것으로 나타났다. 그러나 Fig. 6(e)에서 보이듯이 설치 각도 10°와 마찬가지로 피험자에게 다가왔을 경우 시선의 교란이 심해져 가까운 거리에서는 눈부심 장애가 발생하는 것으로 나타나 전조등 각도 15°일 경우도 마주 오는 사람에게 큰 영향을 미칠 수 있는 것으로 판단된다.

3.4 설치 각도 20°

전조등 설치 각도 20°일 때의 실험 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(f)에서 Entry time이 0 ms로 실험 시작과 함께

Fig. 5. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for the 10° of Headlight Angle

Fig. 6. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for the 15° of Headlight Angle

동공 떨림이 발생하는 것으로 보아 근거리에서는 영향이 있는 것으로 판단된다.

3.5 설치 각도 25° 및 30°

Fig. 8은 전조등 설치 각도 25°, Fig. 9는 설치 각도 30°일

Fig. 7. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for the 20° of Headlight Angle

Fig. 8. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for the 25° of Headlight Angle

Fig. 9. Result of Eye Mapping and KPI Analysis for the 30° of Headlight Angle

때의 실험 결과를 나타낸다. 25°와 30°의 동공을 추적하여 맵핑한 결과에서 나타나듯이 피험자의 시선은 매우 안정적으로 전방을 주시하는 것으로 나타났다. 25°와 30°의 KPI 결과를 살펴보면 설치 각도 25°와 30° 모두 전조등을 실험 시작과 동시에 주시(Light의 Dwell Time)하여 25°일 때 23,499.7 ms와 30°일 때 24,062.4 ms 동안 지속되었으며, 전체 대비 각각 84.9%, 92.2%를 주시하는 것으로 나타났다. 따라서 전조등을 25° 이상 하향 설치하면 눈부심 장애를 일으키지 않는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 자전거 전조등으로 인한 눈부심 장애의 발생 정도를 알아보기 위해 안구추적기를 이용하여 야간 실험을 통해 분석하였다. 설치 각도 0°(수평)~15°(하향 설치)일 때 피험자는 광원에 의해 극심한 눈부심 장애가 발생하는 것으로 나타났다. 특히, Table 1에서 0°의 결과를 살펴보면 Light의 Dwell time은 0 ms White space의 Dwell time이 2,638.6 ms의 시간을 나타내는데, 이는 실험이 진행되고 있는 동안 대부분 눈을 감고 있는 것으로 판단된다. 이 같은 경우 광원이 장거리에 위치하더라도 상대방에게 큰 피해를 미칠 가능성이 있다.

다음으로 설치 각도 20° 이상일 때부터 전방을 주시하는 것이 점차 안정되는 것으로 나타났다. 그러나 20°의 경우 광원이 피험자에게 가까워지면 시선의 흔들림 현상이 발생하는 것으로 보아 불쾌감을 느낄 수 있는 각도로 판단된다. 따라서 설치 각도를 25° 이상 하향 설치하는 것이 마주 오는 사람에게 눈부심 영향을 미치지 않는 적절한 설치 방법이라 할 수 있다.

마지막으로 설치 각도를 과도하게 하향 설치하는 경우 운전자의 안전을 위한 가시거리 확보가 어렵다. Na et al. (2016)에 따르면 시간당 10 km의 속도로 주행 중인 자전거의 급제동거리는 평균 1.0 m로 제시하고 있다. 따라서 자전거 전조등의 설치 각도는 25°~30°(삼각함수로 단순 계산한 가시거리: 1.9 m~1.6 m)로 하향 설치하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다.

본 연구는 1인 피험자를 대상으로 실험을 수행하여 분석결과를 제시한 점에서 일반화가 어려운 한계가 있다. 본 연구는 정상시력을 보유한 피험자에서 눈부심 장애가 발생한다면 저시력 또는 안구질환 보유자에서 눈부심 장애가 더 큰 것으로 가정하고 실험을 진행하였으므로, 추후 추가실험을 통하여 다양한 피험자 조건에서 가정을 검증할 필요가 있는 것으로 판단된다.

References

- Anderson, S.J., and Holiday, J.E. (1995). Night driving: Effects of glare from vehicle headlights on motion perception. *Ophthalmic and Physiological Optics*, Vol. 15, No. 6, pp. 545-551.
- Kang, B.-D., and Kim, H.-G. (2011). Evaluation of glare and forward visibility of headlamp for elder friendly vehicle. *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Engineers*, Vol. 24, No. 4, pp. 1-6.
- Kim, G.H., Kim, J.-H., Na, D.L., Kim, G.S., and Lee, J.H. (2005). An exploratory investigation of internet ad effects using eye tracker. *The Korean Journal of Advertising*, Vol. 16, No. 5, pp. 179-194.
- Kimlin, J.A., Black, A.A., and Wood, J.M. (2017). Nighttime driving in older adults: effects of glare and association with mesopic visual function. *Investigative ophthalmology & visual science*, Vol. 58, No. 5, pp. 2796-2803.
- Lee, D.-H., Kim, J.-H., and Song, K.-D. (2012). Evaluating glare of the lower part of apartment due to automotive headlight coming from a underground parking lot in an apartment complex. *Journal of KIAEBS*, Vol. 6, No. 1, pp. 57-62.
- Na, G.H., Joo, J.S., and Jung, D.J. (2016). Risk of empirical experiments riding a bicycle. *Journal of KOSHAM*, Vol. 16, No. 6, pp. 159-164.
- Nam, S.-B., Byun, H., and Bae, J.-S. (2020). Verification of sponsorship effect based on reputatuon of professional golfers using eye-tracker. *The Korean Journal of Sport*, Vol. 18, No. 2, pp. 785-793.
- Rajaram, V., and Lakshminarayanan, V. (2013). A note on image degradation, disability glare, and binocular vision. *Journal of Modern Optics*, Vol. 60, No. 14, pp. 1187-1192.

Received	October 7, 2021
Revised	October 12, 2021
Accepted	February 5, 2022