Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 4 pp.575-584, August 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.4.575

User Experience를 고려한 자동차 전조등 설계 방안

김정룡 · 윤상영 · 민승남 · 이호상

한양대학교 산업경영공학과

The Design Procedure of Automobile Headlamp Considering User Experience

Jung Yong Kim, Sang Young Yoon, Seung Nam Min, Ho Sang Lee

Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

ABSTRACT

The aim of study is to suggest the design procedure of automobile headlamp by considering driver's experience in regard of the visibility and glare during nighttime driving. The characteristics of driver were investigated in terms of the drivers' cognitive ability and reaction time, headlamp specification and visibility, light source and glare. And, the degree of visual discomfort was categorized and recognized as a tool to represent the subjective user experience. The UX point of view was stated when the existing results were seemingly lacking of it. The visual comfort and safety of elderly drivers were also discussed by reviewing the studies of ageing regarding the visibility and driving responses. Finally, this study suggested how to reduce the negative effect of nighttime driving due to the height of headlamp, angle of lighting, color spectrum, discomfort glare, source of light by using the UX perspective and methodology.

Keywords: User Experience, Headlamp, Driver Reaction, Discomfort, Visibility, Glare, Nighttime driving

1. 서 론

지난 10년 동안 국내 교통사고 발생 비율이 점차 감소하고 있다. 특히 야간 운전은 주간 운전에 비해 어두운 주행 환경을 가지고 있으므로 추가적인 위험성이 존재한다(National Highway Traffic Safety Administration, 2005). 2007, 2008년도 국내에서 발생한 전체 교통사고는 각각 211,662건과 215,822건이 발생하였으며, 야간 교통사고는 각각 105,607건과 105,218건으로 전체사고의 약 50%를 차지하고 있다(경찰청, 2009). 그러나 야간 교통량이 주간 교통량보다 적은 것을 감안하면 주간보다 야간의 교통발생 비율이 더 높은 것을 알 수 있다. 또한 밤에 운전하는 것은 낮보다 2~4배 정도 교통사고위험이 증가하며(National Safety Council, 1990~1998, 1999~2004), Sullivan and Flannagan(2002) 연구에서 보면 보행자에 대한 교통사고는 야간에 3~7배가 증가한다고 하였다. 이렇듯 야간 운전의 위험성이 많이 도출되고 있지만 대부분의 연구결과는 실험실 환경 측정에 국한되어 실질적인 야간 운전 경험(User Experience)을 토대로 한 연구는 미흡한 실정이다.

사용자 경험은 전통적으로 철학분야에서의 개념적 연구를 바탕으로 교육학이나 사회학 등에서 주로 다루어져 왔다

교신저자: 민승남
주 소: 426-791 경기도 안산시 상록구 사3동, 전화: 010-4104-2914, E-mail: dukorea@hanyang.ac.kr

(McCarthy and Wright, 2004; Petre, 2006). 특히 최근에는 고도의 기술 발전과 함께 다양한 서비스가 융합된 제품과 시스템이 등장하면서 사용자 경험에 대한 관심이 더욱 증대되고 있다. 그리고 회사마다 제품 설계를 하는데 사용자 경험을 반영하여 다른 회사 제품과 차별화를 이루고자 하는 실정이다(Norman, et al., 1995; Nokia, 2005).

본 연구의 목적은 야간 운전자의 인지반응능력, 시인성, 눈부심에 대한 기존 연구를 토대로 사용자 경험 즉, 운전자의 경험(UX: user experience)을 활용한 전조등 설계방법을 탐색하고, 향후 연구방향을 제시하는 것이다. 이를 위해 기존 연구에서 보여준 운전자 인지반응 연구결과와 정의 등을 살펴보고 UX 관점에서의 새로운 연구방법을 제시하였다.

2. 운전자 인지능력 및 반응시간 관련 연구

2.1 운전자 인지능력

운전자의 시각적 인지능력 연구에 대해서 현장 연구와 실험실 연구로 분류하여, 운전자 경험이 잘 반영된 연구와 잘 반영되지 못한 연구를 구분하였다.

현장 연구로는 운전자가 검은색 옷을 입은 운전자를 인지할 수 있는 최대 속도와 평균거리를 측정한 연구가 있었다. 보행자 충돌을 피할 수 있는 충분한 시간을 확보하려면 자동차 최고 속도를 25~70km/h까지 줄여야 하고(Johansson and Rumar, 1968; Leibowitz, et al., 1998; Sivak, 2002), 자동차 운전자는 평균적으로 15~45m 거리에서 검은색 옷을 입은 보행자를 식별할 수 있다고 하였다(Blomberg, et al., 1986; Johansson and Rumar, 1968; Olson and Sivak, 1983).

Brooks, et al.(2005)는 실험실 연구를 통해 야간 운전 시 주의집중력이 감소하는 것을 발견하였고, Brooks(2005)는 야간 운전 시 인지능력이 약해져서 선택적 인지(selective cognition)가 이루어 지지 않아 전방에 위치한 목표물을 인지하기 어렵다고 하였다. 야간 운전 시뮬레이션을 활용하여 Owens and Tyrrell(1999)은 운전자의 전방 시인성이 감소하여도 운전능력은 거의 감소하지 않는다고 하였다.

이처럼 야간 운전 시 선택적 인지 및 인지능력 감소는 통제된 실험실 환경에서 실시되어 운전자의 실제 도로에서의 경험을 그대로 반영했다고는 보기 어렵다. 그러므로 운전자가 실제와 같은 운전 환경에서 위험에 노출되지 않고 자료를 수집하여 반영할 수 있는 방법을 찾는 것이 바람직하다. 그러나 현실적으로 운전자를 위험에서 보호하기 어려운 경우에는 실제 주행 상황과 유사한 동적 가상현실(VR)을 사용한 동적 운전 시뮬레이터(dynamic driving simulator)의 사용이 대안이 될 수 있을 것이다. 이를 통해 운전자의 주의집중감소, 시인성 감소 그리고 주행 속도가 시인성에 미치는 영향을 운전자의 실제 경험과 유사하게 측정할 수 있을 것이라 기대된다.

2.2 운전자 인지반응시간

인지반응시간 측정방법은 손가락에 의한 버튼 트리거(trigger)방법, 제동신호 작동 그리고 교통신호 변경에 따른 반응시간 측정방법이 적용되고 있으며, 최근에는 운전 시뮬레이터(driving simulator)을 이용한 방법도 활용되고 있다.

Gazis, et al.(1960)는 운전자의 반응시간을 실제 6개의 교차로 교통신호가 변경되었을 때 운전자가 반응하는 시간을 측정하였으며 그 결과 운전자의 반응시간은 0.6~2.4초라 하였다. Wortman and Matthias(1983)는 교차로 상황에서 85percentile 운전자의 반응시간을 1.5~2.1초로 보고하였다.

McGee, et al.(1983)는 인지반응시간을 3단계(perception, decision, brake reaction)로 구분하여 실험실 상황에서 측정하였다. 그 결과 85percentile 운전자는 목표물을 감지한 후 브레이크 조작까지의 반응시간이 3.2초로 보고하였다.

이와 같이, 운전자 인지반응시간은 실제 운전 환경과 실험실 환경의 결과에서 약 1초의 차이를 나타내고 있다. 이러한 결과는 실제 운전 상황에서의 운전자의 경험과 실험결과의 차이를 보여주고 있다. 즉, 실험 환경에서 운전자가 심리적으로 압박을 느끼지 못해 인지반응시간이 느린 것으로 판단된다. 이러한 경우 역시 실제 운전 상황을 고려하여 인지반응시간을 측정해야 하고, 안전 상의 문제가 야기되는 경우 동적 운전 시뮬레이터를 활용하여 그 차이를 최소화하는 노력이 필요하다.

3. 전조등 특성과 시인성 관련 연구

전조등의 가장 중요한 역할은 야간 운전조건에 적절한 전방 시인성(visibility)을 확보하고, 운전자로 하여금 전방에 위치한 보행자, 자전거 등의 목표물을 인지하기 위한 시간을 확보하는 것이다.

자동차의 전조등 관한 연구는, 좌우로 넓은 광폭 및 넓은 시야를 제공하는 가스방전식 전조등(HID)이 야간 안전성을 높일 수 있다고 보고되었고(Hamm and Steinhart, 1999; Rosenhahn and Hamm, 2001; Derlofske, et al., 2001, 2002), 목표물 조도(targets illuminance)가 높은 경우, 가

스방전식 전조등은 시인성을 높을 수 있다고 보고되었다(Derlofske and Bullough, 2004). 그러므로 가스방전식 전조등은 실제 운전 상황에서 전조등의 광폭(좌우 시야 확보 여부 등) 등의 자료를 수집하여 운전자 경험에 의한 평가를 고려해야 할 것이다.

가스방전식 전조등과 할로겐 전조등의 차이점은 전광속(total luminous flux)과 분광구조(spectral composition)의 차이점에 있다. 가스방전식 전조등과 할로겐 전조등의 분광(spectrum)에 대한 차이점을 구체적으로 보면 표 1과 같다. 가스방전식 전조등은 시원한 빛의 색에 가깝고, 할로겐 전조등은 따뜻한 색에 가까운 분광형태를 나타난다고 보고되었다(Derlofske and Bullough, 2004).

표 1. 자동차 전조등의 광특성(Derlofske and Bullough, 2004)

Characteristic	Filtered Lighting Conditions			
	Warm	Halogen simulating	HID	Cool
S/P ratio	1.02	1.57	1.69	2.04
Transmission	57%	59%	58%	58%
CCT	2740K	3755K	3884K	5037K
Chromaticity (X,Y)	0.47, 0.44	0.40, 0.40	0.39, 0.38	0.35, 0.36

S/P: scotopic/photopic, Transmittance: 투과율, CCT(상관색 온도): Correlated Color Temperature, Chromaticity: 색도(3자극치)

Christoph(2009)는 가스방전식 전조등과 할로겐 전조등의 인지거리 및 인지시간을 평가하였다. 9단계 척도방법을 적용한 일반도로 주행 실험을 통해, 가스방전식 전조등은 최대 인지거리가 약 71.25m이고, 할로겐 전조등은 최대 인지거리가 약 34.35m로 나타났다. 즉, 가스방전식 전조등은 할로겐 전조등보다 최대 인지거리가 36.35m 길게 나타났다[그림 1]. 가스방전식 전조등이 할로겐 전조등보다 인지시간에서 1.31초 빠른 것으로 분석되었기 때문에 교통안전에 매우 효과적이라 하였다.

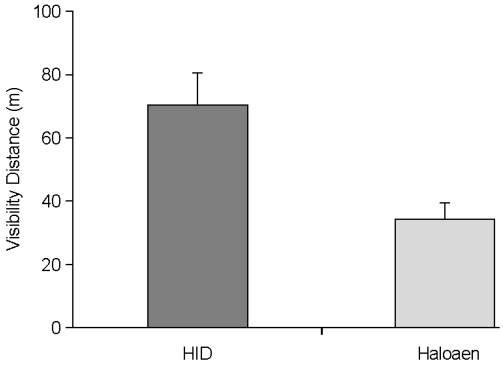

그림 1. 전조등에 따른 시인성 거리(Christoph, 2009)

Bullough(2009)는 보행자 인지거리를 가스방전식 전조등과 할로겐 전조등으로 구분하여 연구한 결과, 가스방전식 전조등 상황에서는 약 20m 전방의 보행자를 인식할 수 있었으며, 할로겐 전조등은 약 13m 전방의 보행자를 인식할 수 있다고 보고하였다[그림 2].

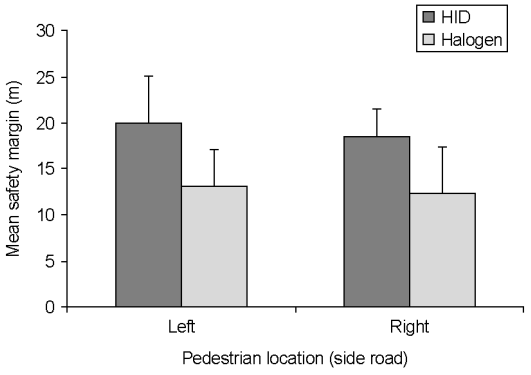

그림 2. 보행자 위치별 전조등 인지거리(Bullough, 2009)

전조등 특성과 시인성은 운전자의 다양한 운전상의 경험이 존재할 것을 고려하여, 전조등의 광특성 뿐만 아니라 도로별(국도, 고속도로), 날씨(우천, 안개 등) 등에 의한 조명환경의 변화 등 외부 환경과의 상관관계를 고려한 운전자 시인성이 측정될 수 있다면 운전자의 실제 운전 경험에 상응한 결과를 도출할 수 있을 것으로 예상한다.

4. 눈부심에 대한 관련 연구

최근에는 많은 운전자들이 야간 운전에서 좋은 시야를 가지기 위해 가스방전식 전조등의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 하지만, Bullough, et al.(2003)은 가스방전식 전조등이 기존의 할로겐 전조등과 같은 조도(운전자 눈에서의 밝기)라 할지라도, 가스방전식 전조등의 분광특성으로 인해 눈부심이 더 발생하는 것으로 보고하였다.

눈부심은 '거슬릴 정도로 불편한 밝은 빛(harsh uncomfortably bright light)'으로 정의하고 있다(Merriam Webster Dictionary). 눈부심과 같이 강한 빛은 산란이 발생하여 사물을 보는 것을 어렵게 할 수 있으며, 이러한 현상은 안개나 연기 속에서 더욱 심하게 발생하게 된다.

전조등의 눈부심에 대한 법적 기준이 마련되어 있지만, 많은 자동차 운전자들은 눈부심을 호소하고 있는 실정이다. 그러므로 운전자의 전방 시인성 향상을 위해 전조등에서 강한 빛을 발생시키는 것과 그로 인해 상대 운전자에게 발생

하는 눈부심 사이에서의 균형점(trade-off)를 찾는 것이 필요하다.

눈부심은 불능눈부심(disability glare), 불쾌눈부심(discomfort glare)로 구분될 수 있으며, 불능눈부심은 강한 광원이 눈으로 들어와서 시인성(visibility)를 감소시키는 것으로 정의되고 있고, 불쾌눈부심(discomfort glare)는 운전자가 느끼는 불쾌감의 정도로 정의되고 있다(Rea, 2000). 따라서 야간 운전 시 운전자들이 경험하는 눈부심을 두 가지로 구분하여, 눈부심이 야간 운전에 미치는 영향에 대한 조사를 실시하였다.

4.1 불능눈부심(Disability Glare)

일반적으로 전조등의 광도가 높을수록 운전자의 시야는 좋아지지만, 대향차 운전자에게는 불능눈부심(disability glare)으로 작용할 수 있다. Dunipace, et al.(1974) Perel, et al.(1983)는 정면에서 오는 차량 전조등의 눈부심으로 인해 사물의 감지거리가 15~60m까지 감소한다고 보고하였다. 이러한 현상은 빛의 균일 장막(uniform veil of brightness)에 의한 대비 감소(contrast reduction)로 설명될 수 있다(Stiles and Crawford, 1937; Fry, 1954). 단일 눈부심 광원에 의해 감소되는 휘도(luminance)는 다음과 같이 식 1로 계산될 수 있다.

$$L_v = \frac{9.2E}{\theta(\theta+1.5)} \qquad \text{(식 1)}$$

Lv: 감소되는 휘도(cd/m^2)
E : 눈부심 조도(lx)
θ : 광원과 눈위치 각도(degree)

일반적으로 불능눈부심에 관한 분광분포(SPD: spectral power distribution)의 영향은 크지 않다고 알려져 있다. Jehu(1954)는 흰색의 전조등과 노란빛의 전조등 사이에서는 불능눈부심으로 인한 차이가 발생하지 않는다고 하였다.

전조등의 크기가 불능눈부심에 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않았다. Miles(1954)은 작은 크기의 전조등이 큰 전조등보다 강한 눈부심을 발생시킬 수 있으며, 이로 인해 운전능력에 나쁜 영향을 미치는 것으로 보고하였다. Flannagan(1999)은 광원(glare source)이 0.3~0.6도 정도 낮게 비추어도 운전능력에 영향을 미치지 않는다고 보고하였다.

불능눈부심은 실제 운전자의 안전성을 확보하기 위해 고려해야 할 매우 중요한 요인이지만, 눈부심 노출시간, 운전지속시간, 실제 도로 환경, 차량에 종류 등에 따른 실제 운전자 환경과 경험을 고려할 때 발생하는 오차의 범위에 대한 논의가 있어야 보다 현실적인 수치를 사용할 수 있을 것이다.

4.2 불쾌눈부심(Discomfort Glare)

접근하는 차량의 전조등에서 나타나는 눈부심 조도는 도로의 지형적인 변화에 따라 주행 중에 0~10 lx까지 변화하게 된다(Alferdinck and Varkevisse, 1991). 그리고 그림 3에서 나타난 것과 마찬가지로 대향차 또는 후행차 전조등에 의해 발생하는 눈부심에 대해, 눈에 띄지만 받아들일 수 있는 정도의 눈부심이라고 답변한 경우가 각각 57%, 54%로 나타났다. 눈부심이 운전에 방해가 된다고 답변한 비율은 각각 31%, 30%로 나타났다(Santokh and Mike, 2004).

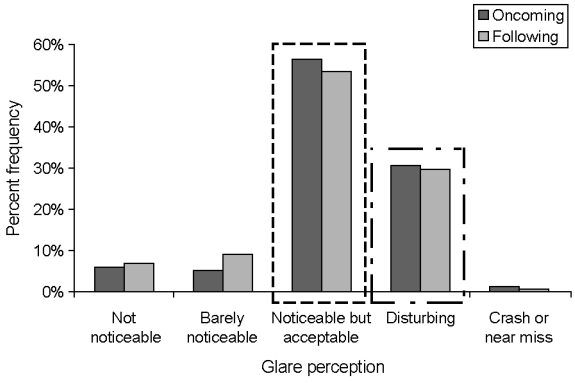

그림 3. 대향/후방차량 전조등으로 인한 눈부심 반응
(Santokh and Mike, 2004)

운전자들은 0.1 lx의 조도 변화를 알아차릴 수 있으며, 1 lx에서 3 lx의 조도는 대향차 운전자에게 눈부심을 유발할 수 있는 충분한 밝기라고 보고되었다(Bhise, et al., 1977; Rumar, 2001). 또한 3~10 lx의 값은 참을 수 없는 정도의 조도로 평가하고 있으며(Schmidt and Bindels, 1974; Olson and Sivak, 1984; Alferdinck and Varkevisser, 1991; Flannagan, et al., 1992; Flannagan, 1999; Lehnert, 2001), 그 이상은 견디지 못하는 것으로 보고되었다. 그러므로, Fisher(1974)는 전조등의 빛 세기를 줄이는 것이 상대 운전자의 불편함을 줄일 수 있는 한가지 방법이라 하였다. Theeuwes and Alferdinck(1996)는 0.3~1 lx 조도에 노출된 운전자에 대한 현장 실험을 실시한 결과, 운전자가 느끼는 불편함과 눈부심 조도 사이의 연관성을 찾아냈고, 0.55 lx 이상에서는 운전능력의 추가적인 저하는 나타나지 않았다.

이러한 불쾌눈부심 평가방법으로 표 2와 같이 9점 척도

의 De Boer scale이 많이 사용되고 있다(De Boer, 1967). Sivak, et al.(1992)는 운전자의 눈에서 측정되는 대향차 전조등의 조도 수준 한계를 1 lx로 제안하고 있는데, 이것은 De Boer scale의 3(disturbing)~5(just acceptable) 사이값을 가지게 된다고 하였다. 또한 전조등의 특성값을 이용하여 De Boer scale 값을 예측하고자 하는 모델들이 개발되었으며, Schmidt and Bindels(1974)가 개발한 식은 식 2와 같다.

표 2. De Boer scale(De Boer, 1967)

Visual response	Rating
Unnoticeable	9
	8
Satisfactory	7
	6
Just admissible	5
	4
Disturbing	3
	2
Unbearable	1

$$W = 5 - 2\log\frac{E}{0.02\left(1+\sqrt{L/0.04}\right)\theta^{0.46}} \qquad \text{(식 2)}$$

W : De Boer scale
L : 휘도(cd/m^2)
E : 눈부심 조도(lx)
θ : 광원과 눈위치 각도(degree)

De Boer scale은 실제 운전 환경에서 평가가 쉽고, 스케일 자체가 운전자 경험을 바탕으로 만들어져 있는 것이다. 그러나 이를 정량적으로 예측하기 위한 식 2는 조도계를 이용하여 눈앞에서 측정된 값을 이용하므로, 정량적인 수치를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 운전자의 개인적 특성을 반영하는 변수가 없어 시력차이, 안경착용 여부와 같은 개인적 특성을 반영하지 못하게 된다. 그러므로 현재까지는 주관적 De Boer scale를 사용하는 것이 운전자의 경험을 반영할 수 있는 도구이고, 추후 이러한 주관적 스케일과 정량적 자료간의 상관관계를 면밀히 연구하는 것이 필요하다.

4.3 연령별 시인성 및 눈부심 반응성 관련 연구

연령과 관련된 시력 변화는 야간 운전의 위험을 악화시킨다. Owens and Brooks(1995)는 교통사고 데이터를 분석한 결과 고령자일수록 야간에 보행자에 대한 교통사고를 내는 비율이 높다고 하였다. 또한 Wood(1998), Van(2004) 고령 운전자들이 운전 인구에서 차지하는 비율이 빠르게 증가하고 있고, 이들은 심각한 충돌사고와 연관된다고 하였다.

젊은 사람들과는 다르게, 고령자는 야간시력이 좋지 않으며, 몇몇의 고령자는 밤에 운전하는 것을 꺼려한다고 보고되었다(Kosnik, et al., 1990; Shinar and Schieber, 1991; Schieber, 1994).

Warren, et al.(1989) 연구에서는 연령이 증가할수록 낮은 조도하에서 운전수행 능력이 떨어지고, 이것은 고령자가 운전 시 전방 감지능력이 감소한다고 하였다.

Santokh and Mike(2004)는 연령대에 따른 눈부심에 대한 불편도를 평가하였다. 대향차의 광원에 대해 방해(disturbance)라고 평가한 연령대별 분포가 그림 4에 나타나 있다. 55세 이상 운전자들이 대향차의 전조등에 대해 방해라고 답변한 비율이 낮아지는 것으로 나타났다. 불편도의 경우 연령이 높아질수록 낮아지는 것은 고령자들의 시각적 특성과 함께 대향차 광원에 대해 익숙해지는 것으로 설명된다. 광원에 대해 익숙해지는 현상은 Sivak, et al.(1989)의 연구결과로 뒷받침될 수 있다. 그의 연구에서는 미국 운전자와 독일 운전자를 대상으로 불편도 인식 정도를 조사하였고, 독일 운전자가 동일 조도의 광원에 대해 미국 운전자보다 더 불편하다고 답변을 하였다. Sivak, et al.(1989)은 이러한 현상을 미국보다 유럽 차량 전조등의 조도가 전반적으로 낮은데서 기인하는 것으로 설명하고 있으며, 고령 운전자도 장기간 광원을 보면서 익숙해졌기 때문에 불편도가 오히려 30~40대에 비해 낮게 나타난 것이라고 하였다. 그러나 Sanders, et al.(1990)는 연령과 불쾌눈부심 감각 사이에는 개인차가 크기 때문에 연령과는 큰 관계가 없다고 하였다. 그러므로 불쾌눈부심의 경우도 실제 운전 상황에서의 고령자를 개인특성에 따라 그룹별로 구분(안경착용유무, 시력 등)하여 측정하는 것이 보다 현실적인 결과를 얻을 수

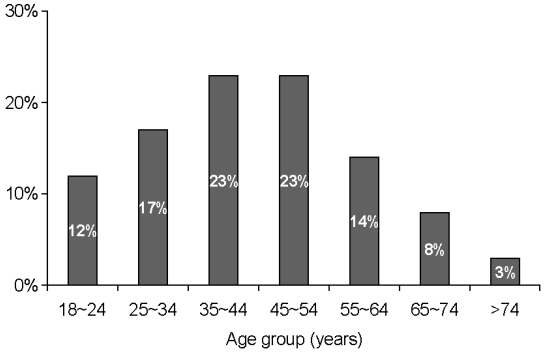

그림 4. 연령대별 대향차의 눈부심을 불편하다고 답변한 비율 (Sivak 외, 1989)

있을 것이다.

4.4 자동차 전조등에 대한 법적 기준

자동차 전조등에 대한 비대칭 할로겐 전조등 기준은 국내·외 동일한 기준을 적용하고 있으며 cut-off line이 형성된다. 아래 표 3은 비대칭 할로겐 전조등에 대한 조도 기준으로 UNECE R 112와 동일하며, 자동차 전조등의 조도 기준은 각 측정점별 요구 기준을 만족하여야 한다[그림 5](국가법령정보센터, 2010).

표 3. 국내외 전조등 조도 기준(국가법령정보센터)

Point on measuring screen	Required illumination in lux
Headlamps for right-hand traffic	Halogen headlamp
Point B 50 L	≤ 0.4
Point 75 R	≥ 12
Point 75 L	≤ 12
Point 50 L	≤ 15
Point 50 R	≥ 12
Point 50 V	≥ 6
Point 25 L	≥ 2
Point 25 R	≥ 2
Any point in zone III	≤ 0.7
Any point in zone IV	≥ 3
Any point in zone I	≤ 2

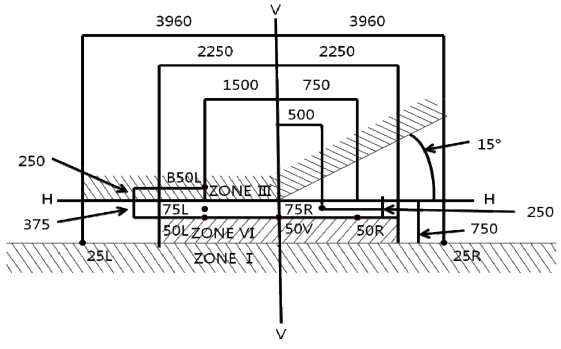

그림 5. 전조등 조도 기준(전조등 배광 측정점)

국내 전조등 기준은 국외 기준을 동일하게 반영하여 사용하고 있다. 그러나 도로의 형태, 전조등의 설치높이 등에 대한 운전자가 실제로 경험하는 국내 도로 환경이 반영되지 않은 실정이다. 그러므로 통행량이 빈번하고 야간 운전 시 운전자들이 대향차량 전조등에 대한 눈부심을 호소하는 현실에서 운전자들의 직접적인 경험을 토대로 한 법적 기준의 검토가 필요한 상황이다.

5. UX를 고려한 설계를 위한 제언

자동차 전조등은 야간에 전방에 위치한 물체와 주위 환경과의 대비조건을 통해 사물을 쉽게 인식할 수 있도록 시인성을 증대시키는 동시에, 대향차 운전자에게 발생하는 눈부심을 최소화시키는 것이 가장 중요한 제작요건이다. 본 연구에서는 기존 연구결과를 토대로 눈부심과 전방 시인성의 관계를 운전자의 반응과 경험 측면에서 정리하였고, 많은 부분에서 운전자 경험이 구체적으로 반영되지 못한 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 아래 항목들에 대하여 운전자 경험을 고려한 연구를 제안 하였다.

5.1 전조등 최대 설치높이

전조등의 최대 높이를 실제 운전자 눈높이 기준으로 설계를 하는 방안이다. 특히, 대형자동차 및 SUV 차량에 대한 전조등 최대 설치높이가(1.8m 이하) 있으나, 운전자의 눈부심이 발생할 수 있다. 그러므로 도로별(국도, 고속도로), 차량별로 실제 상황에서의 설치높이를 최근 제작된 차량의 높이와 운전자의 눈높이를 고려하여 현재의 기준에서 눈부심이 발생하는 이유를 구체적으로 지적하고 이에 대한 대안을 제시할 수 있을 것이다.

5.2 전조등 조준방법

전조등 조준방법을 운전자의 눈부심이 발생하는 각도를 기준으로 재설계하는 방안이다. 눈부심 각도를 피하는 방법으로는 도로의 폭을 증가시켜 각도를 피하는 방법이 적용될 수 있고, 실제 또는 모의 운전 상황에서의 대향차에서 오는 눈부심 각도를 현장 실험을 통해 조사한다면, 전조등의 높이를 조정하기 위해 차량의 하드웨어를 개선하는 것보다 간편하게 눈부심 감소 효과를 기대할 수 있을 것으로 예상한다.

5.3 전조등 색도범위

전조등 색도범위를 제한하는 방안이다. 색도범위에 대한 것은 주변 환경과 어울려진 색도범위를 운전자 경험을 토대로 결정할 수 있는데, 예를 들어 터널에 조명을 설치할 경우 시인성을 향상시키기 위해서 푸른색 색도범위를 사용했으나, 주관적인 불쾌감이 있어 자연광 색조로 변경되고 있다. 이와 같이 눈부심뿐 아니라 감성적으로 선호하는 색도를 발견하

여 제공해 줌으로써 실제적인 혹은 감성적면에서 전조등에 대한 부담감을 줄여 주는 방법도 고려해 볼 수 있을 것이다.

5.4 눈부심에 대한 불편도

눈부심에 대한 불편도를 실제 운전 상황에서 측정하여 전조등의 조도를 보다 현실적으로 재조정할 여지가 있는지를 결정하는 것이다. 눈부심에 대한 불편도는 눈부심 노출시간, 실제 도로 환경, 운전지속시간 등과 같이 실제 운전 경험을 고려하는 변수들을 고려하여야 하고, 주관적 불편도를 측정하는 De bore scale을 사용하여 개인적 차이(시력차이, 안경착용 여부 등)를 고려한다면, 운전자의 실제 경험을 고려한 기준으로 세부 조정이 될 것으로 예상된다.

5.5 전조등 광원

전조등 광원은 운전면허를 취득한 사람들 중에서 시각적 기능이 떨어지는 사람(고령자, 색약자 등)도 고려하여 광원에 대한 적합성을 판단하는 것이 매우 중요하다. 그러나, 한편으로는 고령자들의 경우, 신체기능의 약화로 인해 눈 안의 빛의 산란 증가와 입사되는 빛이 감소되어 젊은 층보다 빛을 적게 받아들여, 오히려 눈부심을 적게 느끼며 불편함을 적게 호소하기도 한다. 그러므로 불편, 불능눈부심에 관한 설계부분은 고령 운전자들보다는 젊은 운전자들에게 초점을 맞추는 것이 타당하고, 시인성을 고려한 광원의 강도는 고령 운전자에 초점을 맞추어 설계하는 것이 합리적인 방법이라고 할 수 있다. 이때 발생할 수 있는 결과가 서로 상이한 경우, 시인성과 눈부심을 동시에 극대화 시킬 수 있는 최적점을 발견하기 위한 노력이 추가되어야 할 것이다.

5.6 향후 방향

자동차 전조등은 광원(light source)과 전자제어기술의 발전에 따라 할로겐 전조등, 가스방전식 전조등, AFLS (adaptive front-lighting system), 가스방전식 전조등이 적용되고 있으며, 특히 유럽에서는 ADB(adaptive driving beam) 전조등이 검토되고 있다. ADB 전조등은 배광분포를 고려하여 대향차 및 후방차량에 의한 눈부심을 억제하는 전조등으로 그림 6과 같이 배광분포를 조절하는 실드(shield)가 작동하여 눈부심을 적게 만들어 주는 시스템이다(교통안전공단, 2010).

ADB 전조등에 대한 UX 관점에서의 검토가 이루어져, 국내 활용여부에 대해 사용자 중심적 판단이 이루어져야 할 것이다. 특히 시인성을 증대시키는 전조등 관련 기술들은 눈부심을 증가시키는 경향이 있으므로, 새로운 기술이 법적 기준을 통과한 경우라도 실제 도로 현장에서는 운전자에게 불편함과 안전상의 위협이 될 수 있다는 사실을 간과하지 않아야 한다. 그러므로, 새로운 전조등 기술을 현장에 적용하기에 앞서 과연 운전자들이 실제 도로 환경에서 어떠한 경험을 하고 있는지를 측정하고 분석할 수 있는 연구방법을 개발하고 그 결과를 토대로 전조등의 판매와 사용이 이루어져야 할 것이다. 진정한 의미의 UX를 고려한 자동차 전조등 설계 및 제작이 이루어진다면 야간 운전 시 발생하는 사고와 불편을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대한다.

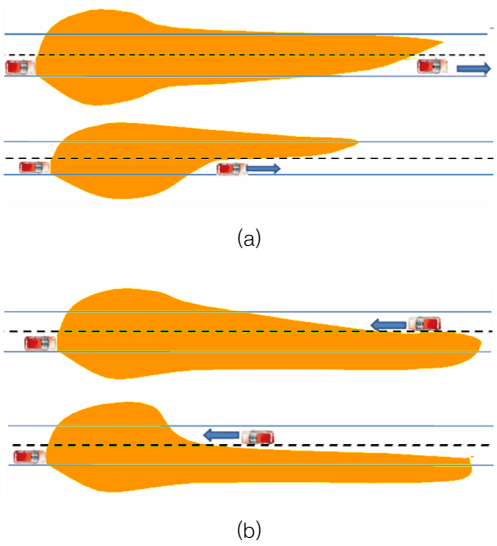

그림 6. ADB(adaptive driving beam) 전조등(a: 선행차에 접근 시, b: 대향차가 접근 시)

6. 결 론

본 연구에서는 기존 연구를 통해 야간 운전 시 발생하는 시각-인지능력의 감소와 자동차 전조등으로 인해 발생하는 눈부심 현상을 조사하여, 향후 자동차 전조등 제작 시 UX를 어떻게 고려하는 것이 바람직한지에 대해 토의하였다. 특히, 눈부심 감소와 시인성 개선을 위해 전조등의 설치높이, 조준방법, 색도, 전조등의 밝기 등을 고려할 수 있는 방안을 제언하였다. 결론적으로, 운전자의 실제 상황에서의 경험이 가장 고품질의 자료라는 것을 인식하고, 이를 최대한 반영할 수 있는 방법을 사용하는 것이 보다 안전하고 효율적인 자동차 전조등을 설계하는 방법이라고 할 수 있다.

참고 문헌

경찰청, http://www.police.go.kr/infodata/morgue_police.jsp.

국가법령정보센터, http://www.law.go.kr.

교통안전공단, 자동차 전조등 신기술 동향, 보고서, 2010.

Alferdinck, J. W. A. M. and Varkevisser, J., *Discomfort Glare From D1 Headlamps of Different Size*, Soesterberg, Netherlands: TNO Institute for Perception, Report IZF 1991 C-21, 1991.

Bhise, V. D., Farber, E. I., Saunby, C. S., Troell, G., M, Walunas, J. B. and Bernstein, A., *Modeling vision with headlights in a systems context*. Society of Automotive Engineers Congress and Exposition, Detroit, MI: Society of Automotive Engineers (Paper 770238), 1977.

Blomberg, R., Hale, A. and Preusser, D., Experimental evaluation of alternative conspicuity-enhancement techniques for pedestrians and bicyclists. *Journal of Safety Research*, 17, 1-12, 1986.

Brooks, J. O., The actual and estimated ability of younger and older drivers to see and steer in challenging conditions: A test of the selective degradation hypothesis. Unpublished Ph.D. dissertation, Clemson University, *Clemson*, SC. 2005.

Brooks, J. O., Tyrrell, R. A. and Frank, T. A., The effects of severe visual challenges on steering performance in visually healthy young drivers. *Optometry and Vision Science*, 82, 689-697, 2005.

Bullough, J. D., V. Derlofske, J., Dee, P., Chen, J. and Akashi. Y., *An Investigation of Headlamp Glare: Intensity, Spectrum and Size* (DOT HS 809 692). Washington, DC: National, Highway Traffic Safety Administration. 2003.

Bullough, J. D. and Skinner, N. P., Pedestrian Safety Margins Under Different Types of Headlamp Illumination. *Lighting Research Center*, 2009.

Carlo, A. P., Cavallotti. and Cerulli. L., Age-related changes of the human eye. *Humana Press*, 2008.

Christoph Schiller, Holger Sprute, Andreas Groh, Marvin Boll and Tran Quoc Khanh., *HID vs. Tungsten Halogen Headlamps*: Driver Preferences and Visibility Distance. SAE 2009-.1-0550, 2009.

De Boer, J. B., Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist. *In Public Lighting*. Eindhoven, Netherlands: Philips Technical Library, 1967.

Dunipace, D. W., Strong, J. and Huizinga, M., Prediction of nighttime driving visibility from laboratory data. *Applied Optics*, 13(11), 2723 -2734, 1974.

Evans, L., Traffic safety. Bloomfield Hills, MI: *Science Serving Society*, 2004.

Fisher, A. J., The luminous intensity requirements of vehicle front lights for use in towns. *Ergonomics*, 17(1), 87-103, 1974.

Flannagan, M. J., *Subjective and Objective Aspects of Headlamp Glare: Effects of Size and Spectral Power Distribution*, Report UMTRI-99-36. Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute, 1999.

Fry, G. A., Evaluating disability effects of approaching automobile headlights. *Highway Research Bulletin*, (89), 38-42, 1954.

Gazis, R. D. Herman., and A. Maradudin - JSTOR The problem of the amber signal light in traffic flow. *Operations Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 112-132, 1960.

Hamm, M. and Steinhart, R., Xenon light and its impact on traffic safety aspects, PAL *'99 Symposium Proceedings*, 1999.

Jehu. V. J., A comparison of yellow and white headlamp beams. *Light and Lighting*, 4(10), 287-291, 1954.

Johansson, G. and Rumar, K., Visible distances and safe approach speeds for night driving. *Ergonomics*, 11, 275-282, 1968.

Kosnik, W. D., Sekuler, R. and Kline, D. W., Self-reported visual problems of older drivers. *Human Factors*, 32, 597-608, 1990.

Lehnert P., Disability and discomfort glare under dynamic conditions: The effect of glare stimuli on human vision. *Progress in Automobile Lighting Symposium*, Darmstadt, Germany: Darmstadt University of Technology pp. 582-592, 2001.

Leibowitz, H. W., Owens, D. A. and Tyrrell, R. A., The assured clear distance ahead rule: Implications for nighttime traffic safety and the law. *Accident Analysis and Prevention*, 30, 93-99, 1998.

McCarthy, J. and Wright, P., Technology as Experience. *MIT Press*. 2004.

McGee, H. W., Hooper, K. G., Hughes, W. E. and Benson, W., *Highway Design and Operations Standards Affected by Driver Characteristics*. Volume II: Final Technical Report. Vienna, Virginia. Bellomo-McGee, Inc. Report No. FHWA-RD-83-015, 1983.

Miles, P. W., Visual effects of pink glasses, green windshields and glare under night driving conditions. American Medical Association Archives - *Ophthalmology* 51, 15-23, 1954.

National Highway Traffic Safety Administration., Motor vehicle traffic crash fatality counts and injury estimates for 2004 (DOTHS 809923). Washington, DC: U.S. Department of Transportation. Available from http://www.nhtsa.dot.gov, 2005.

National Safety Council., Accident facts. Chicago, 1990-1998.

National Safety Council., Injury facts. Chicago, 1999-2004.

Norman, D. A, Miller, J. and Henderson, A., What you see, some of what's in the future, and how we go about doing it: HI at Apple Computer. Proc. CHI 1995, *ACM Press* (1995), 155, 1995.

Nokia Corporation., *Inspired Human Technology*. White paper available at http://www.nokia.com/NOKIA_COM_1/About_ Nokia/ Press/White_Papers/pdf_files/backgrounder_ inspiredhu- man_ technology.pdf, 2005.

Olson, P. L. and Sivak, M., Discomfort glare from automobile headlights. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 13(3), 296-303, 1984.

Olson, P. L., Driver Perception-Response Time. The Society of Automotive Engineers. *Technical Paper Number*, 890731, 1989.

Olson, P. L. and Sivak, M., Comparison of headlamp visibility distance and stopping distance. *Perceptual and Motor Skills*, 57, 1177-1178, 1983.

Owen, D. A., Effects of Age and Illumination on Night Driving: A Road Test. *Human factor*, vol 49, No 6, 1115-1131, 2007.

Owens, D. A. and Brooks, J. C., *Drivers' vision, age, and gender as factors in twilight road fatalities* (Rep. No. UMTRI-95-44). Ann Arbor: University of Michigan Transportation Research Institute, 1995.

Owens, D. A. and Tyrrell, R. A., Effects of luminance, blur, and age on nighttime visual guidance: A test of the selective degradation hypothesis. *Journal of Experimental Psychology*: Applied, 5, 115 -128, 1999.

Rea, M. S., *Lighting Handbook: Reference and Application*, 9th edition. New York, NY: Illuminating Engineering Society of North America, 2000.

Perel, M., Olson, P. L., Sivak, M. and Medlin. J. W., Motor vehicle forward lighting (SAE paper 830567). *Society of Automotive Engineers International Congress and Exhibition*, February 28-March 4, Detroit, MI, 1983.

Petre, M., Minocha, S. and Roberts, D., Usability beyond the Website: an Empiricallygrounded E-commerce Evaluation Instrument for the Total Customer Experience. *Behavior & Information Technology*, Vol. 25, No. 2. pp. 189-203, 2006.

Rosenhahn, E. and Hamm, M., *Measurements and Ratings of HID Headlamp Impact on Traffic Safety Aspects, Lighting Technology Developments for Automobiles*, SAE Technical Paper Series, # 2001-01-0302, 2001.

Rumar, K., Intensity of high-beam headlights. *Progress in Automobile Lighting Symposium*, Darmstadt, Germany: Darmstadt University of Technology pp. 829- 848, 2001.

Rumar, K., *Aworldwide perspective on future automobile lighting*. Ann Arbor: University of Michigan Transportation Research Institute. Rep. No. UMTRI-2001-35, 2001.

Rumar, K., Dirty headlights - Frequency and visibility effects. *Ergonomics*, 17, 529-533, 1968.

Santokh, S. and Mike, P., *drivers' perceptions of headlight glare from oncoming and following vehicles*. Report No. DOT HS 809 669, 2004.

Schieber, F., Age and Glare Recovery Time for Low-Contrast Stimuli. *Human factor and Ergonomics society*, General Sessions, pp. 496 -499(4), 1994.

Schieber, F., *Recent developments in vision, aging, and driving: 1988-1994* (Rep. No. UMTRI-94-26). Ann Arbor: University of Michigan Transportation Research Institute, 1994.

Schmidt-Clausen, H. J. and Bindels, J. T. H., Assessment of discomfort glare in motor vehicle lighting. *Lighting Research and Technology*, 6(2), 79-88, 1974.

Shinar, D. and Schieber, F., Visual requirements for safety and mobility of older drivers. *Human Factors*, 33, 507-519, 1991.

Sivak, M., Olson, P. L. and Zeltner, K. A., Effect of prior headlighting experience on ratings of discomfort glare. *Human Factors*, 31(4): 391-395, 1989.

Sivak, M., How common sense fails us on the road: Contribution of bounded rationality to the annual worldwide toll of one million traffic fatalities. *Transportation Research* Part F, 5, 259-269, 2002.

Sivak, M., Helmers, G., Owens, D. A. and Flannagan. M., *Evaluation of Proposed Low-Beam Headlighting Patterns* (UMTRI-92-14). Ann Arbor, MI: University of Michigan, 1992.

Sullivan, J. M. and Flannagan, M. J., The role of ambient light level in fatal crashes: Inferences from daylight saving time transitions. *Accident Analysis and Prevention*, 34, 487-498, 2002.

Stiles, W. S. and Crawford, B. H., The effect of a glaring light source on extrafoveal vision. *Proceedings of the Royal Society of London*, Series B, Biological Sciences 122(827), 255-280, 1937.

Theeuwes, J. and Alferdinck, J. W. A. W., *The Relation Between Discomfort Glare and Driving Behavior*, Report DOT HS 808 452. Soesterberg, Netherlands: TNO Human Factors Research Institute, 1996.

Derlofske, J. and V. Bullough, SAE. *Headlamp Parameters and Glare"* SAE SP-1875, Lighting Technology Developments for Automobiles, Technical Paper Series, #2004-01-1280, 2004.

Derlofske, J. V., Bullough, J. and Hunter, C., Evaluation of High Intensity Discharge Automotive Forward Lighting for Off-Axis Visual Performance, PAL '*01 Symposium Proceedings*, 2001.

Derlofske, J. V., Bullough, J. and Hunter, C., Visual Benefits of high-Intensity discharge Automotive Forward Lighting, SAE SP-1668, *Advanced Lighting Technology for Vehicles*, SAE Technical Paper Series, # 2002-01-0259, 2002.

Warren, W. H., Blackwell, A. W. and Morris, M. W., Age differences in perceiving the direction of self-motion from optical flow. *Journal of Gerontology*: Psychological Sciences, 44, P147-P153, 1989.

Wartman, R. H. and Matthias, J. S., *An Evaluation of Driver Behavior at Signalized Intersections*. Final Report. Tucson, Arizona. Arizona Transportation and Traffic Institute, 1983.

Wood, J. M., Tyrrell, R. A. and Carberry, T. P., Limitations in drivers' ability to recognize pedestrians at night. *Human Factors*, 47, 644 -653, 2005.

Wood, J. M., Vision research, driving and the elderly. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 18, 469-470, 1998.

저자 소개

김 정 룡 jungkim@hanyang.ac.kr
The Ohio State University 산업공학과 박사
현 재: 한양대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: 인체공학, 생리심리학, PUI 디자인

윤 상 영 jazz_blue @nate.com
한양대학교 산업공학과 박사수료
현 재: 한양대학교 대학원 산업공학과 박사과정
관심분야: 운전자 생체신호, 생체역학, 감성공학

민 승 남 dukorea@hanyang.ac.kr
한양대학교 산업공학과 박사수료
현 재: 한양대학교 대학원 산업공학과 박사과정
관심분야: 인체공학 제품 디자인, 생체신호, UI/UX 디자인

이 호 상 lhsang@ts2020.kr
한양대학교 산업공학과 박사수료
현 재: 한양대학교 대학원 산업공학과 박사과정
관심분야: 자동차 등화 장치 설계, 생체신호, UI/UX 디자인

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 07월 05일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 07월 16일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 07월 16일