

옥외조명에 의한 글레어의 평가

안소현 <(주)에스제이엘 대표>

1 서론

빛공해를 다룰 때면 어김없이 글레어가 언급되곤 하지만, 실상 국내에서 옥외조명에 의한 글레어에 관한 연구물을 찾기는 힘들다[1]. 너무 밝으면 글레어가 발생한다고 말할 수 있겠지만, <너무 밝다>는 심리적·생리적 반응을 설명하려면 눈과 뇌의 연동 프로세스가 밝혀져야 하고, <너무 밝다>는 반응을 글레어로 규정하려면 발생 여부를 판정할 수 있을 평가포맷이 있어야 할 터이다.

현행 빛공해 방지법의 빛방사허용기준에는 글레어를 판정하는 항목은 없다. 글레어를 빛공해의 한 양상으로 인정하고 방지하려면 글레어 평가식이 마련되어야 하는 바, 평가식 마련을 위해서는 글레어라는 반응을 유발하는 자극의 매개변수를 찾아내어 매개변수별 가중치를 알아내는 것이 우선 작업일 수밖에 없다.

조명 연구의 역사가 일천하고 기술발전예 따라 새롭게 연구가 이루어져야 한다는 통사적 여건, 글레어라는 현상이 까다롭고 복잡한 연구대상이라는 공시적 여건 속에서, 세계적으로 많은 연구가 이루어졌음에도 글레어에 관해서는 아직 선명한 해법이 없다.

본고는 작금까지의 연구 성과를 바탕으로 하여, 글레어에 관한 개괄적 이해를 도모함과 더불어, 옥외조명에 의한 글레어를 평가하는데 변인이 될 매개변수를 살펴보고자 한다. 이 때 글레어의 잠재적 피해자의

특수성에 주의를 기울이고자 한다.

2. 글레어

2.1 글레어의 정의

독일 광선보호위원회(SSK)는 『자연광 및 인공광에 의한 글레어와 그의 위험성』에서 글레어를 다음과 같이 정의한다. “글레어란, 절대적으로 높은 휘도나 과도한 휘도차이에 의해서 혹은 시야에 휘도가 불편하게 분포되어 있음으로 인해서, 불편감이 유발되거나 시각능력의 저하가 일어나는 시각상태를 일컫는다.”[2] 국제조명위원회(CIE)의 정의도 비슷하다. 글레어란, “휘도의 부적합한 분포 혹은 부적합한 수준에 의해 혹은 극단적 대비로 인해 불편감이 유발되거나 시각능력의 저하가 일어나는 시각 상태”[3]이다. 글레어의 개념이 <눈부심>과 <거슬림>, 즉 생리적 현상과 심리적 현상을 포괄하고 있으므로, 글레어를 우리말로 눈부심 혹은 현휘로 표현한다면, 개념이 협소화되고 만다.

글레어의 정의에서 규정되듯 글레어의 발생요인은 크게 세 가지이다. 휘도가 너무 높거나, 휘도가 너무 큰 차이로 바뀌거나, 눈에 보이는 영역 내에 휘도 배치가 부적절할 경우 글레어가 발생한다. 이는 인간의 시각체계의 기능 범위와 기능의 한계에서 연유한다.

인간의 시각체계는 넓은 대역의 휘도에 순응할 수는 있지만 양쪽 극단에 동시에 순응하지는 못하며, 시야 내의 휘도에 따라 순응상태를 지속적으로 변화시킬 수는 있지만, 어두움에 순응하려면 상대적으로 시간이 오래 걸린다.

2.2 글레어의 유형

1910년 허버트 파슨스(JH. Parsons)는 당시 막 창립된 영국 조명기술자협회에서 글레어에 관해 강연하였고, 1929년 스타일스(WS. Stiles)는 광막을 형성하는 특수한 형태의 글레어를 불능글레어, 여타의 글레어를 불쾌글레어로 통칭할 것을 제안하였다. 스타일스가 만든 신조어는 널리 퍼져나갔는데, 그러면서 의도치 않은 부작용을 가져왔다. 마치 이 단어들이 검증을 거친 과학용어인양 수용되었고, 전혀 다른 두 종류의 글레어가 불쾌글레어라는 명칭으로 혼용되고 말았던 것이다. 그래서 2003년 당시 CIE 기술위원회 위원장을 맡고 있던 포스(JJ. Vos)는 「글레어에 대한 성찰」에서 대즐링(dazzling) 글레어를 불쾌글레어로부터 분리시켜 별도의 글레어 유형으로 지칭할 것을 제안하였다(4).

포스의 주장, 그리고 신경생리학 분야의 최근연구에 힘입어 글레어를 크게 세 가지 유형으로 나누어 볼 수 있다. ① 불능글레어란 빛이 눈 안에서 산란되어 표유광(stray light)이 생김으로써 망막에 맺히는 상(像)의 콘트라스트가 감소되는 현상이다. 이를 산란광 글레어 혹은 생리적 글레어라고도 부른다. ② 대즐링 글레어란, 밝은 빛이 망막 전체로 퍼져나가 시각능력 저하와 반사적 회피를 유발하는 현상이다. 대즐링 글레어가 불쾌감을 동반하는 이유는 동공조임근의 과도한 수축으로 홍채에 통각이 유발되기 때문이다. 그리고 ③ 불쾌글레어에는 시각적 광수용체인 추상체와 간상체, 그리고 비시각적 광수용체인 감광성 신경절 세포(ipRGCs)(5) 모두가 관여한다. 망막의 신경절

광수용체들은 복사자료(irradiance data)를 외측슬상핵(LGN)으로 전송하는데, 이러한 삼차신경혈관 경로에 있는 시상(thalamus)에 시각적 불쾌감의 발원지가 있다고 추정된다. 불쾌 글레어는 심리적 글레어로도 지칭되고, 불쾌 글레어의 병증으로는 광기피증이 있다(6).

불능 글레어, 대즐링 글레어, 불쾌 글레어는 글레어의 양상에 따른 분류라고 할 수 있다. 그 밖에도 글레어를 유발하는 빛이 직접광인지 간접광(반사광)인지에 따라 직접 글레어, 간접 글레어로도 분류된다. <네이버 통유리건물 빛반사사건> 간접 글레어가 관건이었다. 글레어의 발생요인에 따라서는 절대적 글레어, 순응 글레어, 상대적 글레어로 분류된다. ① 절대적 글레어란 인간 눈의 순응능력을 초과하는 높은 휘도에 의한 글레어인데, 일반적으로 10,000cd/m² 이상의 빛을 마주할 때 발생한다(7). ② 순응 글레어는 인간의 눈이 갑작스럽고 강한 휘도변화에 순응하지 못해 순응상태가 깨진 결과이다. 예컨대 차량운전자가 대낮에 킴킴한 터널을 지나 밖으로 나왔을 때, 혹은 깜깜한 방에 누워있는데 갑자기 누군가 불이 켜올 때 같은 경우이다. 그리고 ③ 상대적 글레어는 순응이 부분적으로 장애를 일으키는 것인데, 개별 시세포의 자극도가 달라 광수용체 중 일부분만 순응한 것이다. 마주 오는 차량의 전조등에 의한 글레어는 상대적 글레어에 속한다.

2.3 글레어의 발생

한 마디로 말하자면 글레어는 인간의 시각능력으로도 어쩔 수 없는 상황에 마주했을 때 발생한다. 빛이 눈에 비치면 우선 동공이 반사적으로 축소된다. 동공의 신축성은 눈으로 들어오는 빛의 양을 25분의 1까지 감소시킬 수 있다(8). 그리고 눈에 있는 굴절기관인 각막, 안방수, 수정체, 유리체를 거치면서 여러 시각적 오류가 교정된다. 굴절기관을 거쳐 빛이 망막에

도달하게 되면 빛에 반응하는 광수용체가 작동한다. 수정체를 통과한 빛이 처음 지나가는 망막 층에는 신경절세포가 자리 잡고 있는데, 이 중 1-2%는 시각작용에는 관여하지 않는 감광성 신경절세포(ipRGCs)이다. 멜라놉신이 포함된 이 신경절세포는 생물학적 작용(멜라토닌 분비 및 억제 등)을 일으키는 정보를 시교차상핵(SCN)으로 전송한다[9]. 그리고 망막의 외핵층에는 색채의 지각을 담당하는 6백만 개의 추상체, 명암을 탐지하는 1억 2천만 개의 간상체가 있다. 추상체는 세 가지 형태인데, 각기 색채별로 다르게 반응하는 시각색소를 지니고 있고, 간상체에는 로돕신이라는 시각색소가 있다. 빛은 시각색소에 광화학 작용을 촉발시킨다. 예컨대 간상체에 있는 시각색소인 로돕신은 옵신과 11-시스레티날로 이루어져 있는데, 빛이라고 일컬어지는 파장이 닿으면 11-시스레티날이 전트랜스레티날로 변환된다. 이로써 G단백질과 연동된 2차 전달물질이 활성화되어 감지전위가 생겨나고 거기에서 활동전위가 생겨나는 것이다. 그런데 전트랜스레티날은 다시 11-시스레티날로 되돌아와야 한다. 그래야만 광변환과정이 다시 일어날 수 있기 때문이다. 강한 빛이 들어오면 전트랜스레티날이 활성화되고(명순응), 어두운 곳에 오래 머물면 11-시스레티날이 우위를 점하면서 간상체의 감도가 증가한다(암순응). 이렇듯 1차적으로 동공에서, 2차적으로 망막에서 이루어지는 순응 덕분에 인간의 눈은 $1\text{cd}/\text{m}^2$ 에서 $10^{12}\text{cd}/\text{m}^2$ 에 이르는 휘도대역을 수용할 수 있는 것이다[10].

순응이라는 놀라운 능력은 수 만년 동안의 인류의 진화과정에서 이룩된 것이고, 진화과정의 배경이 된 것은 지구의 빛환경이었다. 인류의 빛환경인 자연광은 주광(day light), 달빛, 별빛이다. 이 중 주광은 선라이트(태양으로부터 직접적으로 내뿜어진 빛)와 스카이라이트(햇빛이 지구의 대기권을 통과하면서 확산 반사된 빛)의 조합광이다. 주광, 달빛, 별빛으로 이루어지는 자연광은 고정되어 있는 것이 아니라 시

간의 흐름에 따라 광량과 파장구성을 달리하는 다이내믹한 리듬을 지닌다. 대낮의 주광은 색온도가 높으면서 동시에 높은 광량을 지니고, 아침과 저녁에는 일정시간 동안 파장의 체계적 전위가 일어난다. 일출과 일몰 시간에는 붉은 파장의 비율이 증가되고, 일출 전과 일몰 후의 시간, 박명에는 청색 파장의 비율이 상대적으로 높다. 그리고 주광이 사라지면 색온도가 낮은 달빛과 별빛이 빛환경을 이룬다.

인류의 빛환경과 시각체계의 작용을 비교해보면, 어쩌서 인류가 일정 파장대역을 빛으로서, 가시광선으로 지각하는지, 어쩌서 우리 눈의 광수용체가 파장별로 다른 감도를 지니도록 구조화되었는지 이해할 수 있다. 인간의 눈은 지상에 도달하는 충분하고 일정량이 보장된 빛의 파장영역에 특화되는 식으로 진화되었고, 그러면서 시간대 별로 자연광의 구성에 의해 시지각을 하고 생체리듬이 조절되는 식으로 광감응을 확립시켜온 것이다[11]. 감광성 신경절세포(ipRGCs)가 신체의 시계 역할을 하고, 간상체와 추상체가 조응하여 빛환경에 순응한다. 어두운 빛환경에서 간상체가 활성화되는 암소시, 간상체와 추상체가 함께 활성화되는 혼합시, 밝은 빛환경에서 추상체가 활성화되는 명소시로의 변위는 환경에 적응해온 인류에게 체현된 최고의 능력이다. 그 어떤 하이테크 카메라도 이 능력을 구현하지는 못한다. 조도계나 휘도계로 측정할 수 있는 것은 순응과는 상관없는 측광량일 뿐이다.

3. 글레어 연구

3.1 100년간의 글레어 연구

불능글레어의 판정은 대상이나 장애물에 대한 시인성을 감소시킬 정도의 광막(veiling)이 망막에 생성되는지를 척도로 한다. 시인성을 담보하는 밝기의 콘트라스트는 대상휘도와 배경휘도의 차이가 배경휘도

에 대해 지니는 비율인데, 망막에 광막이 생김으로써 다시 말해 눈이 밝아진 배경에 순응함으로써, 예전의 배경휘도에서 충분한 밝기차이를 지녔던 대상이 더 이상 제대로 보이지 않게 되는 것이다.

반면 불쾌글레어에 대해서는 정성적 평가결과를 토대로 한 정량적 평가식이 마련되었다. 정성적 평가는 시야 내의 BCD(Borderline between Comfort and Discomfort) 휘도를 기준으로 하든지 혹은 피험자의 반응을 집계하여 적용한다. 피험자의 반응평가에서 애용되는 것이 드 보어(de Boer)의 불쾌등급인데, 9는 <감지하지 못함>이고 1은 <참을 수 없음>으로 숫자가 작을수록 심한 불쾌감을 표시하도록 되어 있다.

지난 100년간 글레어에 대한 수많은 실험과 연구가 이루어졌다. 건축실내조명에서 불쾌글레어를 평가하는 통합글레어등급(UGR), 자연채광에 의한 실내의 불쾌글레어를 평가하는 자연광글레어지수(DGI), 차량조명에 의한 운전자의 불능글레어를 평가하는 임계치증분(TI)은 이미 널리 적용되고 있는 글레어평가 방식이다. 그간 도출된 글레어 평가식을 선별하여 글레어의 유발원, 글레어의 발생원, 글레어의 피해자별로 정리해보면 표 1과 같다.

3.2 글레어 발생의 매트릭스

글레어의 평가식은 적용영역과 적용대상에 따른 모델링을 거쳐 산출되었다. 가장 활발하게 연구되었던 어느 정도 합의된 평가식이 개발된 불능글레어는 주로 차량운전자에게 해당되는 것이고, 불쾌글레어에 있어서는 한 편에서는 도로조명과 차량조명, 다른 편에서는 건축실내조명과 자연채광에 의한 글레어의 평가식이 도출되었다. 야외스포츠 경기장 조명에 대해서는 불능글레어와 불쾌글레어를 구분하지 않고 '장애 글레어(disturbing glare)'라는 표현으로 평가식이 마련되기도 하였다.

각기의 평가식이 상응하지 않는 듯 보이는 가장 큰 이유는 산출하는 글레어의 스케일링이 다르기 때문이다. 건축실내조명을 위한 UGR(통합 글레어 등급)에서는 >28 참을 수 없음, <13 거의 감지되지 않음을 나타내고, DGP(주광 글레어 확률)에서는 >0.45 참을 수 없음, <0.30 거의 감지되지 않음인데 반해, 드 보어 등급을 차용한 불쾌글레어 평가에서는 <1 참을 수 없음, >9 거의 감지되지 않음을 지시한다. 그리고 옥외조명에 대한 불능글레어 평가식으로 유럽기준(EN 12464-2)에 포함된 GR(글레어등급)에서는 80-90은 참을 수 없음, 10은 거의 감지되지 않음을 나타낸다.

글레어라는 공통된 현상에 대해 각기 다른 평가식이 도출된 또 다른 이유는 광원과 관찰자의 위치 설정이 적용분야별로 다르기 때문이다. 건축실내조명에서는 광원의 위치가 반구형 돔 안에 있고, 자연채광에서는 창면이 광원이 된다. 차량조명에서는 글레어 광원이 맞은편에서 오는 차선 내부에 있는 것으로 설정해 놓고 있고, 도로조명에서는 가로 조명을 전제로 하여 운전자의 시선을 수평선 1도 아래로 상정한다. 간단히 말하자면 글레어 유발원의 위치와 관측자의 위치를 일정 범위 내에서 지정하여 이를 전제로 산출된 실험결과를 바탕으로 했기에 다양한 평가식이 나온 것이다.

상이한 변환척도, 광원과 관측자의 위치 변이에도 불구하고 모든 글레어 평가식에는 공통된 매개변수가 작용한다. ① 글레어 유발광원에 의해 관측자의 눈에 생성되는 안구표면조도(E_{eye}) 혹은 글레어 유발광원에 의해 생성되는 관측자 시선방향의 휘도(L_{Ω}) ② 관측자 시야로 들어오는 빛의 입사입체각(Ω_{Ω}) ③ 배경 휘도(L_{bg}) 혹은 관측자의 순응휘도(L_{ad}) ④ 글레어유발광원의 광축과 관측자 시선 사이의 각도(θ) ⑤ 관측자의 연령이 그것이다.

관측자의 눈에 생성되는 연직면조도(E_{eye})가 높을수록, 관측자가 순응한 주변휘도(L_{ad} , L_{bg})가 낮을수록

표 1. 지난 100년 간 산출된 글레어 평가식

평가방법	평가대상	평가기준	평가식
인공조명	인공조명	인공조명	글레어 평가식
			$\textcircled{1} UGR = 8 \log \frac{0.25}{L_b} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{P^2} \quad [12]$ $\textcircled{2} GGR = UGR + (1.18 - \frac{0.18}{CC}) \cdot 8 \cdot \log(2.55 \cdot \frac{1 + \frac{E_d}{220}}{1 + \frac{E_d}{E_i}}) \quad [13]$
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} DGP = 5.87 \cdot 10^{-5} E_v + 9.18 \cdot 10^{-5} \log(1 + \sum_{i=1}^n \frac{L_s^2 \cdot \omega_s}{E_v^{1.87} \cdot P^2}) \quad [14]$ $\textcircled{2} DGI = 10 \log \sum_{i=1}^n 0.478 \frac{L_s^{1.6} \cdot \Omega^{0.8}}{L_b + (0.07 \omega^{0.5} \cdot L_s)} \quad [15]$
			$\textcircled{1} L_{veil} = \frac{9.2E}{\theta(\theta + 1.5)} \quad [16]$ $\textcircled{2} \left[\frac{L_{veil}}{E_{gpc}} \right]_{small \angle} = \frac{10}{\theta^3} + \left[1 + \left(\frac{Age}{62.5} \right)^4 \right] \times \frac{5}{\theta^2} \quad [16]$
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} W = 5 - 2 \log \frac{E}{0.02(1 + \sqrt{\frac{L_a}{0.04}}) \cdot \theta^{0.46}} \quad [17]$ $\textcircled{2} W = 9 - 8 \left[\frac{E^{0.5}}{E^{0.5} + (0.0147 \cdot d^{0.47})^{0.5}} \right] \quad [18]$
			$TI = 65 \cdot \frac{L_{veil}}{L_{av}^{0.8}} \left(L_{veil} = k \cdot \frac{E_{gpc}}{\theta^2}, k = 9.05 \cdot \left[1 + \left(\frac{Age}{66.4} \right)^4 \right] \right) \quad [19]$
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} GCM = G = 13.84 - 3.31 \log I_{s0} + 1.3 (\log \frac{I_{s0}}{I_{s8}})^{0.5} - 0.08 (\log \frac{I_{s0}}{I_{s8}}) + 1.29 \log F + 0.97 \log L_b + 4.41 \log h - 1.45 \log \rho \quad [20]$ $\textcircled{2} CBE = \frac{67.1}{L_b^{0.5}} \sum_n \left(\frac{L_i^{1.67} \cdot \omega_i}{8.8 \cdot 10^{-3} \cdot \theta_i^2 + 1.35} \right) \quad [21]$
			$GR = 27 + 24 \log \left(\frac{L_{veil}}{L_b^{0.9}} \right) \quad [22]$ $(L_{veil} = L_{v1} + L_{v2} + \dots + L_{vn}, L_v = 10 \cdot \frac{E_{gpc}}{\theta^2})$ $(L_b = 0.0355 \cdot \rho \cdot E_{h,av} \cdot \pi^{-1})$
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} GI = \frac{I}{\sqrt{A}} \quad [23]$ $\textcircled{2} DG = \log(E_L + E_S) + 0.61 \log \left(\frac{E_L}{E_S} \right) - 0.51 \log(E_A) \quad [24]$ $DB = 6.6 - 6.4 \log DG + 1.4 \log \left(\frac{50,000}{L_S} \right)$
			$\textcircled{1} L_{veil}$ 글레어광원에 의해 생성되는 운전자 눈의 등기광휘도(cd/m ²) E 글레어광원에 의한 운전자의 인구표면조도(lx) θ 운전자 시선과 글레어광원 사이의 각도(degrees) $\textcircled{2}$ 글레어 앵글이 0.1-30° 일 때의 불쾌글레어 등식
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} \textcircled{2} W$ 드브어의 불쾌등급(1:최악, 9:최미함) E 글레어광원에 의한 인구표면조도(lx) L_a 순응휘도(cd/m ²) θ 운전자 시선과 글레어광원 사이의 각도(degrees) d 글레어광원의 지름
			TI 임계치중분 L_{veil} 글레어광원에 의해 발생하는 운전자 눈의 등기광휘도(cd/m ²) L_{av} 배경휘도(여기서는 초기 평균 노면휘도) E_{gpc} 글레어광원에 의한 운전자의 인구표면조도(lx) θ 운전자 시선과 글레어광원 사이의 각도(degrees) k 운전자의 연령에 따라 변하는 상수
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} GCM$ (Glare Control Mark) I_{s0} 연직각 80도의 광도(cd) I_{s8} 연직각 88도의 광도(cd) F 연직각 80도에서 보이는 발광면적(m ²) L_b 배경휘도(cd/m ²) h 발광점 높이 ρ km당 등기구 수량
			$\textcircled{2} CBE$ (Cumulative Brightness Evaluation) ω_i i번째 광원의 입사입체각(sr) θ_i i번째 광원의 글레어 앵글 L_i i번째 광원의 휘도 L_b 배경휘도 n 광원의 수량
자연조명	자연조명	자연조명	$\textcircled{1} GI$ (Glare Index) I 최대광도(cd) A 광도 I 방향과 수직되는 평면의 발광면적 $\textcircled{2} DG$ 불쾌글레어 E_L 글레어 유발광원에 의한 인구표면조도(lx) E_S 주변에 의한 인구표면조도(lx) E_A 글레어 유발광원이 없을 때의 주변조도(lx) DB 드브어의 불쾌등급 L_S 피해자 방향으로의 최대휘도
			GR (Glare Rating) L_{veil} 글레어 광원에 의한 광휘도(cd/m ²) L_b 배경휘도(주변에 의한 광휘도)(cd/m ²) E_{gpc} 인구표면조도(lx) θ 관측자 시선과 광원의 발광축 사이의 각도(degrees) ρ 평균반사율 $E_{h,av}$ 주변의 평균수평조도(lx)

록, 글레어 유발광원의 광축과 관측자 시선 사이의 각도가 작을수록 심한 글레어가 발생한다. 불능글레어와 달리 불쾌글레어의 강도는 이 요소들의 산출값과 로그함수 관계를 지닌다. 다른 측면에서 보자면, 글레어 유발광원에 의해 생성되는 관측자 시선방향의 휘도가 클수록, 관측자 시야로 들어오는 빛의 입사입체각이 클수록, 관측자가 순응한 주변휘도가 낮을수록 불쾌 글레어 발생 가능성이 커진다.

관측자의 시선과 광원의 발광축 사이의 각도(θ)는 광원과 관측자의 위치관계를 알려준다. θ 가 커진다는 것은 그만큼 발광축이 시야 중심에서 주변으로 밀려나가 있음을 뜻한다. 차량조명에 의한 불쾌글레어 평가식에서 θ 는 각도상의 위치를 특화하는 항으로 평가식의 분모 안에 포함되어 있고, 건축실내조명에서는 θ 에 상응하는 변인으로 위치지수(P)가 포함되어 있다.

관측자의 안구표면조도(E_{eye}), 정확히 말하면 각막조도는 관측자의 시선과 법선을 이루는 평면의 연직면조도(E_v)이다. 글레어 발생에 비중이 가장 큰 매개변수인 안구표면조도는 관측자 시선 방향의 광도(I)와 관측자와 광원 사이의 거리(r)을 통해 산출할 수도 있고, 광원의 휘도(L_s)와 관측자 시야내 입사입체각(ω_s, Ω_s)을 통해 산출할 수도 있다. 광원의 크기가 작을 때는 불쾌글레어 등급이 주로 안구표면조도에 좌우되지만, 광원의 크기가 크거나 관측거리가 짧을 때는 관측자의 안구표면조도 외에도 광원의 최대휘도가 불쾌글레어의 발생요소가 된다는 실험결과가 발표되기도 했다[24].

안구표면조도가 동일하더라도 생기더라도 이것이 글레어를 발생시킬지 여부는 배경휘도, 즉 관측자의 눈이 어느 정도의 밝기에 순응되어 있는지에 달려있다. 여러 실험에 의하면 입사입체각이 10^{-4} sr일 때, 주변휘도가 10cd/m^2 이면 시야내 BCD 휘도는 약 $10,000\text{cd/m}^2$, 주변휘도가 0.1cd/m^2 이면 시야내 BCD 휘도는 약 $1,000\text{cd/m}^2$ 이다[25].

여기에 연령에 따른 변수가 더해진다. 노화된 눈은 특히 혼합시에서 시력이 떨어져 40세 이상에서는 불능글레어의 발생이 급증하고, 노화된 눈은 젊은이들에게는 불쾌감을 주지 않는 안구표면조도로도 불쾌글레어를 느낀다.

필커(S.Voelker)는 이를 다음과 같은 관계식으로 정리하였다[26].

$$Disability\ Glare \sim \frac{E_{eye}^a}{L_{ad}^b \cdot \theta^c}$$

$$Disability\ Glare \sim L_{\Omega}^2 \cdot \Omega_{\Omega}$$

$$Disability\ Glare_{25} \sim (1 + \frac{Age}{70})^4$$

$$Discomfort\ Glare \sim k \cdot \log \left[\frac{E_{eye}^a}{L_{bg}^b \cdot \theta^c} \right]$$

$$Discomfort\ Glare \sim L_{\Omega}^2 \cdot \Omega_{\Omega}$$

$$Discomfort\ Glare \sim Age\ Factor = 9.05 \left[1 + (\frac{Age}{66.4})^4 \right]$$

4. 옥외조명에 의한 글레어

옥외조명을 대상으로 한 글레어 평가는 건축실내조명이나 주광에 의한 글레어 평가와는 다른 특성과 어려움을 지닌다. 우선 차량조명이나 도로조명에 의한 운전자에 대한 글레어를 제외하고 나면, 옥외조명에서는 글레어 유발원과 글레어 피해자의 위치관계가 고정되지 있지 않다는 점을 들 수 있다. 동일한 대상에 대해서도 어느 위치에서 대상을 관측하는가에 따라 글레어가 발생할 수도 있고, 발생하지 않을 수도 있다. 또 한 가지 차이점은 옥외조명의 배경이 되는 조명수준은 주로 혼합시(박명시)라는 점이다. 건축실내조명과 주광에 의한 글레어 평가식이 배경휘도 100cd/m^2 이상의 명소시를 기반으로 산출된 것인 반면, 옥외조명에서의 글레어는 $0.005\text{cd/m}^2 \sim 5\text{cd/m}^2$

를 주변회도로 하는 혼합시를 기준으로 산출되어야 한다.

4.1 잠재적 피해자와 평가 기준

현재 국내에서 적용되고 있는 도로조명 표준, 터널 조명 표준, 그리고 빔공해 방지법에 제시된 빛방사허용기준을 전제로 하여, 잠재적 피해자별로 글레어의 평가기준 및 적합성을 도식화해 보면 다음과 같다.

표 2. 잠재적 피해자별 글레어의 평가기준 여부

글레어 유발원	잠재적 피해자					
	차량운전자	보행자	거주자	거주자	거주자	
차량조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇
도로조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇
터널조명	차량운전자	●	보행자	√		
운동경기장 조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇
주차장 조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇
보안조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◆
공원조명			보행자	√	거주자	◆
광고조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◆
장식조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇
옥외직업장 조명	차량운전자	●	보행자	√	거주자	◇

● 평가기준이 있으며 국내에 적용되어 있음
 ● 평가기준은 있으나 국내에 적용되어 있지 않음
 ◆ 국내에 적용되고 있으나 평가기준의 적합성이 확인되지 않음
 ◇ 국내에 적용되지 않고 있으며 평가기준의 적합성이 확인되지 않음
 √ 합의된 평가기준이 없으며 국내에 적용되어 있지 않음

쉽게 발견할 수 있듯이, 보행자에 대해서는 글레어 평가기준도 없고 방지책도 마련되어 있지 않다. 운전자의 시야는 차량지붕으로 차단되어 가로등의 수직각 75°~90°로 제한되는 반면, 보행자에게는 오히려 최대광도 영역의 하향광(0°~75°)이 글레어를 일으킬 수 있다. 또한 발광원의 높이가 도로조명에 비해 상대적으로 낮음으로써 보행자 눈의 위치가 발광원에 가까울 위험을 안고 있기도 하다.

2013년 게이트웨이(gateway) 프로그램의 일환

으로 발표된 「보행자 친화적 옥외조명」에는 보행자에게 글레어를 일으키지 않을 옥외조명의 조건이 제시되어있다(27). ① 시야각 : 보행자에게 시각적 편안함을 주려면 불쾌 글레어에 대해서는 수직각 0°~75°, 불능 글레어에 대해서는 75°~90°의 휘도와 휘도분포를 검토해야 한다. ② 조명장치의 휘도 : 순응이 제대로 이루어져 글레어가 유발되지 않게 하려면, 시야 내의 최대휘도를 낮추는 것이 필요하다. ③ 공간 휘도분포 : 렌즈상의 휘도 패턴에 의해 불쾌감이 야기되거나, 여러 LED 중 하나의 LED가 지나치게 밝은 경우처럼 휘도 분포에 현저한 편차가 있으면 글레어가 증가된다. 옥외조명은 보행자의 시야각에 따라 휘도가 점진적으로 변화되는 옵틱(optic)을 갖는 것이 필요하다. ④ 색온도 : 조도와 휘도가 같더라도 색온도가 높은 광원은 더욱 밝게 인지된다. 달리 말하면 보행자는 광축이 같더라도 색온도가 높은 조명에 대해 글레어를 더 많이 느낀다.

거주자(재실주민)에 대해서 보자면, 빛방사허용기준에 제시된 창면의 최대 연직면조도 제한은 <사적공간이 과도하게 밝아짐>을 방지하기 위한 것이다. 이것이 글레어 방지 역할을 겸할 수는 없다. CIE-150(28)에서는 침입광 평가와는 별도로 글레어 발생방지를 위해 광도 기준이 제시되어 있고, 네덜란드 조명협회에서 제시한 빔공해방지기준(29)에는 광도 제한과 더불어 눈에 보이는 발광면의 크기별 휘도 제한이 명시되어 있으며, 오스트리아 표준(30)에는 글레어에 대해 다음과 같이 써어있다. “광원과의 이격거리가 커서 거주공간을 아주 밝게 만드는 건 아니지만, 거주공간의 이용에 현저한 피해를 주는 경우가 있다. 이런 피해는 거주민이 자신도 모르게 지속적으로 광원 쪽으로 시선을 돌림으로써 발생한다.” 거주민에게 발생할 수 있는 글레어는 창면의 최대 연직면 조도를 제한하는 것으로는 방지할 수 없으므로 독일의 조례 및 오스트리아 표준에는 글레어 평가식이 별도로 마련되어 있다.

4.2 옥외조명에 의한 불쾌 glare의 평가

글레어방지를 위한 평가식을 적용할 때 옥외의 작업공간이나 차량운전자에 대한 글레어 제한은 불능글레어의 한계치를 적용한다. 광막에 의해 시각 작업에 장애가 생기는 것을 막기 위함이다. 반면 특정 시각작업을 위한 공간이 아닐 때는 불쾌 글레어가 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다. 빛공해방지를 위해서라면 옥외조명에 의한 불쾌글레어 평가식이 적용될 수 있다.

글레어 평가의 매개변수 중 하나인 θ (시선과 광축 사이의 각도)는 배제된다. 그 이유는 밝은 광원이 시야에 들어오면 관측자는 광원을 정면으로 바라보는 성향이 있기 때문이다. 이는 망막의 주변부에 있는 간상체가 중심부에 밀집해있는 추상체보다 훨씬 광감도가 높으므로 자신도 모르게 간상체 쪽으로 오는 측광을 피하게 되는 데에서 기인한다. 바꿔 말하면 위치지수는 1로 상정되는 셈이다.

위치변수를 제외시키고 나면 옥외조명에 의해 보행자, 시설이용자, 재실주민이 받게 될 불쾌글레어 평가의 매개변수는 ① 피해자 위치에서의 안구표면조도와 주변휘도, 혹은 ② 피해자 방향으로의 광도, 피해자와의 간격, 주변휘도, 혹은 ③ 유발원의 휘도, 입사입체각, 주변휘도로 압축될 수 있다. 표 1 [주]24에서 제시된 벌로(ID. Bullough)의 평가식은 ①의 안구표면조도와 주변조도를 매개변수로 삼고 있고, 레빈(I.Lewin)의 주장을 바탕으로 CIE150에 도입된 글레어 평가는 ②의 광도를 주요 매개변수로 하며, 독일의 빛공해방지법[31]과 오스트리아의 빛공해방지표준에 적용된 매개변수는 ③의 휘도, 입사입체각, 주변휘도이다.

①②③에 공통된 주변휘도에 있어서, ① 벌로는 주변휘도 대신 주변조도를 매개변수로 하여 평가식을 도출하였고, ② CIE 150에서는 주변휘도를 조명관리구역 구분으로 대신하였다. ③ 독일과 오스트리아

에서 적용하는 평가에서는 배경휘도를 측정하도록 하고 있다.

엄밀히 보면 ①의 안구표면조도와 ②의 광도는 일맥상통한다. 레빈은 광도를 측정하기 위한 기구[32]를 개발하였는데, 이 기구는 조도계와 거리측정기를 조합한 것이었다. 조도계가 장착된 렌즈에 눈을 대고 글레어 유발원을 보면, 안구표면조도가 측정되고 거리측정기가 유발원까지의 거리를 산출하여, 이를 바탕으로 광도가 산출되게 한 것이다. I 칸델라의 광도를 갖는 유발원을 상정해 보면, 다음의 식이 성립된다.

$$E_d = \frac{4\pi I}{A} = \frac{4\pi I}{4\pi d^2} = \frac{I}{d^2}$$

$$I = E_d d^2 \text{ candela}$$

여기서 E_d = 유발원으로부터 d (m)떨어진 지점에서의 조도, d = 유발원으로부터의 거리, I = 유발원의 광도, A = 반지름이 d (m)인 구의 표면적이다.

광도를 매개변수로 삼은 글레어 평가와 비교해볼 때, 안구표면조도를 매개변수로 삼은 벌로의 평가식은 훨씬 세밀하고 정확한 평가를 가능하게 해준다. 글레어 유발광원에 의한 안구표면조도와 주변밝기에 의한 안구표면조도를 구분하여 각각 개별적 측정을 하도록 하여, 이들 간의 가중치 관계식을 찾아내었다. 불쾌글레어 등급을 산출할 때는 최대휘도 50,000cd/m² 이상인 경우에 가중치가 주어진 점도 주목할 만하다.

네덜란드 조명협회에서 제안한 기준은 ②와 ③을 혼합한 방식이다. 눈에 보이는 발광면의 크기를 두 가지로 나누어(0.5m² 이상과 0.5m² 미만) 허용 휘도에 차이를 둬으로써 개별적 입사입체각을 대신한다. 그리고 휘도 제한과 더불어 광도 역시 제한함으로써 결론이 나지 않은 공방에 절충안을 마련한 셈이다[33].

광도제한을 두되, 어떤 도로가에 위치하느냐에 따라 차등을 두고, 평균휘도에 제한을 두되, 눈에 보이는 발광면의 크기에 따라 차등을 두는 현실성을 지닌다.

표 3. 장애광 방지를 위한 광도 제한치

	환경구역					
	E1	E2	E3		E4	
조명기구의 광도	500cd	500cd	600cd	2500cd	1000cd	5000cd
도로등급	모든 도로	모든 도로	S-등급	ME-등급	S-등급	NE등급

표 4. 장애광 방지를 위한 평균 휘도 제한치

	환경구역			
	E1	E2	E3	E4
눈에 보이는 발광면 넓이가 <0.5㎡일 때	60cd/㎡	500cd/㎡	1000cd/㎡	1200cd/㎡
눈에 보이는 발광면 넓이가 ≥0.5㎡일 때	50cd/㎡	400cd/㎡	800cd/㎡	1000cd/㎡

적용의 측면에서 보자면 ① 안구표면조도와 주변조도의 측정을 통해 글레어를 평가하여 글레어 등급에 제한을 두는 방식, ② 조도계와 거리측정기가 결합된 기기를 사용하여 측정하면서, 광도 제한을 주는 방식, ③ 눈에 보이는 발광면의 크기와 발광원으로부터의 거리를 조합하여 입사입체각을 산출하면서, 글레어 유발원의 휘도 제한을 주는 방식으로 압축된다.

독일의 빛공해방지법과 오스트리아의 빛공해방지 표준에서 적용하고 있는 글레어 평가식은 ③에 해당한다. 이를 좀 더 정확히 소개하고자 한다.

입사입체각을 산출하여 적용하는 글레어 평가에서 입사입체각은 $10^{-6} < \Omega_s < 10^{-2}$ 로 제한된다. 입사입체각이 10^{-6} sr 미만이면 이는 점광원으로 눈의 지각 범위를 벗어나게 되어 그럴 때는 눈의 안구표면조도가 결정적 요소가 되며, 입사입체각이 10^{-2} sr을 넘어서면

이는 대형 광고물 같은 대형 평면광원으로서 입사입체각이 더 커져도 글레어 강도에 더 이상 영향을 주지 않게 되기 때문이다.

$$Glare \sim f(L_s, L_{bg}, \Omega_s, \dots)$$

허용되는 휘도를 규정하기 위해 배합변수 k를 상정하면 다음과 같은 평가식이 도출된다.

$$L_{allow} \leq k \cdot \sqrt{\frac{L_{bg}}{\Omega_s}}$$

L_{allow} (광원의 허용휘도)를 구하기 위해 Ω_s (관측자 시야 내의 입사입체각)와 L_{bg} (배경휘도)를 바꿔가며 실험하여 도출된 BCD 값을 대입하면 k값이 구해진다. 독일과 오스트리아에서는 여러 실험결과를 토대로 하여, 배경휘도 $0.1cd/m^2$ 이고 입사각 10^{-4} sr일 때 BCD 휘도 $10^3cd/m^2$, 배경휘도 $0.1cd/m^2$ 이고 입사각 10^{-2} sr일 때 BCD 휘도 $10^2cd/m^2$ 를 기준으로 삼는다.

$$k = 10^3 \times \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{bg}}{\Omega_s}}} = \frac{1000}{10 \sqrt{10}} = 31.6$$

$$k = 10^2 \times \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{bg}}{\Omega_s}}} = \frac{100}{\sqrt{10}} = 31.6$$

이렇게 하여 마련된 $k=32$ 를 기반으로 조명환경구역별, 시간대별 k값을 규정하였다.

평가식의 적용을 위해서 필요한 관측자 시야 내의 입사입체각은 다음 공식에 의해 산출된다(그림 1).

$$\Omega_s = \frac{A_p}{r^2} (sr)$$

기술해설

여기서 r : 광원과 글레어발생지점 사이의 최단거리, A_p : 눈에 보이는 발광면, 즉 글레어 발생지점과 조명기구를 잇는 연결선 상에 있는 연직면으로서 발광면이 관측자 방향으로 투사된 면적이다.

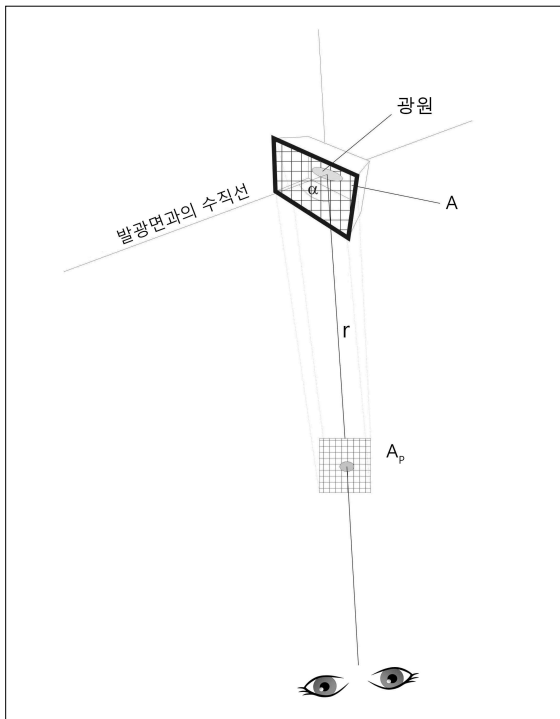
$$A_p = A \cos \alpha$$

여기서 α 는 발광면과의 수직선과 글레어발생지점인 등기구의 연장선 사이의 각도이다.

표 5. 글레어 제한을 위한 배합지수의 최대허용치

구역	배합지수 K		
	6~20시	20~22시	22~06시
1	32	32	32
2	96	64	32
3	160	160	32
4	—	—	160

그림 1. 눈에 보이는 발광면(AP)



배경휘도와 글레어 유발원의 휘도는 글레어 발생지점에서 휘도계를 이용하여 측정한다. 주변휘도는 휘도계의 조리개를 가능한 크게 하여 측정하는 것이 좋으며, 평가대상이 되는 글레어 유발원을 점등시킨 상태로 측정한다. 측정방식은 평가 대상을 중심으로 주변 10°의 대표적 지점을 측정하여 평균치를 산출하는 것이다. 산출된 평균휘도가 0.1cd/m² 미만일 때는 0.1cd/m²로 상정한다.

글레어 유발원의 휘도 측정에 있어서는 발광원의 가시 크기가 작아 발광원이 휘도계의 측정시야를 온전히 채우지 못하면 다음 식으로 실제 휘도를 산출한다.

$$L = 100L_{measure}/A$$

여기서 L : 실제 휘도, $L_{measure}$: 측정휘도, A : 발광체가 측정시야에서 차지하는 비율(%)이다.

발광원의 가시 크기가 커서 측정시야를 초과하는 경우에는 발광원을 부분별로 여러 번 측정하여 평균 휘도를 산출한다.

4.3 또 하나의 매개변수 - SPD

옥외조명에 의한 글레어의 주요 매개변수에 하나 더 추가한다면, 분광분포 혹은 파장에너지분포로 지칭되는 SPD(spectral power distribution)를 빼놓을 수 없다. SPD가 매개변수로 작용하는 이유는 옥외조명의 배경이 되는 밝기수준이 대부분 혼합시이기 때문이다. 현재 사용되고 있는 광측(lm, lx, cd, cd/m²)은 모두 명소시를 기준으로 산출된 것이다.

2도 중심 시야에서 에너지에 대한 추상체의 감도를 파장별로 산출한 명소시의 비시감도 $V(\lambda)$ 는, 기준 최고치를 1로 할 때 555nm에서 1이고, 507nm에서는 0.44이다. 바꿔 말하면 1W의 에너지를 가하면 단파장 555nm는 683lm를, 507nm는 301lm의 광속을

발한다. 반면 암소시의 비시감도 $V'(\lambda)$ 를 기준으로 하면 비시감도 1인 507nm는 1,699lm를, 비시감도 0.39인 555nm는 683lm을 발한다. 이렇게 명소시와 암소시에서 각기 다른 파장별 시감도를 기반으로 산출되는 광속이 다르기 때문에, 혼합시에서는 명소시와 암소시의 배합율, 다시 말해 활성화되는 추상체와 간상체의 배합율에 따라 차별적인 광측이 이루어져야 하는 것이다. 20여 년 동안 혼합시의 광측에 관한 여러 연구와 실험, 논의를 거친 결과 2010년 CIE는 혼합시 광측의 권장체계를 발표하였다[34].

혼합시 광측을 하는 간단한 방식은 광원의 S/P비(scotopic/photopic ratio)를 통해서이다. S/P비는 명소시 광속에 대한 암소시 광속의 비이다. S/P비는 광원의 생산업체에서 광원의 사양으로 제시된다. CIE 191(2010), IES TM-12(2012), CIE 206(2014)에서 예시적으로 산출한 S/P비는 LPS(저압나트륨램프) 0.25, HPS(고압나트륨램프) 0.6, LED(cool white) 2.1 MH(메탈할라이드 주광색) 2.4이다[35]. 물론 광원의 색온도와 시스템전력에 따라 S/P는 달라진다.

신광원으로 LED가 널리 보급됨에 따라 옥외조명에 의한 글레어 평가에 있어서 SPD는 더욱 중요성을 지니게 되었다. LED는 기존광원보다 훨씬 작은 발광점에서 동일 광량을 방사할 수 있어 불쾌글레어 유발의 가능성이 클 뿐더러, 청색파장 대역의 에너지 집중도가 클 수 있기 때문이다. 파장분포를 조절할 수 있는 LED의 경우, 암소시 시감도가 높은 단파장(450nm-500nm)의 배율을 높일수록 S/P가 올라가고 혼합시의 휘도도 높아진다. 이는 혼합시 조건에서 에너지 효율을 높일 수 있음을 뜻하지만, 그만큼 글레어의 위험에 노출될 수 있다는 의미이기도 하다.

레아(MS Rea), 벌로(JD Bullough) 등은 단파장의 비중이 큰 광원이 불쾌글레어 발생 확률이 높으며, 이는 간상체뿐만 아니라 480nm에서 최고 감도를 지니는 감광성 신경절세포(ipRGCs)의 작용이 더

해지기 때문이라고 추정한다[36]. 옥외조명에 의한 불쾌글레어를 예측하고 평가하는데 있어서 광원의 분광분포에 주목해야 하는 또 하나의 이유이다.

5. 결 론

본고에서는 옥외조명에 의해 유발될 수 있는 글레어를 진단하는 평가식에 포함될 수 있는 매개변수를 살펴보았다. 옥외조명의 유형에 따라, 글레어의 평가식은 다소 차이가 날 수 있을 것이다. 하지만 보행자와 거주민에게 발생할 수 있는 불쾌글레어에 대한 평가에서 포함되어야 할 필수적인 매개변수가 있음을 확인하였다. 본고에서 특히 강조하고자 했던 사항은, 글레어의 진단은 글레어 유발원의 발광휘도만으로는 제대로 이루어질 수 없고, 발광체의 크기와 거리에 따라 달라지는 입사입체각, 관측자의 밝기감을 좌우하는 배경휘도가 필수적 매개변수라는 점이다. 또한 옥외조명에 의한 글레어 평가는 혼합시를 기반으로 이루어져야 된다는 점에도 유의해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 글레어라는 표제어를 지닌 연구는 거의 모두가 실내불쾌글레어에 관한 것이고, 실내건축조명에 의한 불쾌글레어를 평가하는 UGR 지수를 직간접적으로 차용하고 있다.
- [2] SSK, "Blendung durch natürliche und neue künstliche Lichtquellen und ihre Gefahren. Wissenschaftliche Begründung zur Empfehlung der Strahlenschutzkommission.", 2006, p.7
- [3] CIE S 017 "ILV:International Lighting Vocabulary", 2011, p.62.
- [4] JJ Vos, "Reflections on glare", Lighting Research Technology Vol 35, No.2, pp.163-176, 2003.
- [5] 제3의 광수용체로 불리우는 감광성 신경절세포(intrinsically photosensitive Retinal Ganglion Cells)는 2000년에 처음 발견되었고, 2002년 "감광성 신경절세포"로 명명되었다. 간상체와 추상체 외의 제3의 감광성세포의 존재가 확인됨에 따라 빛의 생물학적 작용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.
- [6] Martin A. Mainster and Patricia L. Turner, "Glare's cause, consequences, and clinical challenges after a century of ophthalmic study", American Journal of Ophthalmology, Vol.153, pp 587-593, 2012.
- [7] SSK, "Blendung durch natürliche und künstliche Lichtquellen", 2006, p.8.
- [8] IFA, Blendung.Theoretischer Hintergrund, 2010, p.2.
- [8] 동공의 직경이 7.7mm에서 1.5mm로 수축됨으로써 입사량이

- 25분의 1까지 줄어 들 수 있다.
- H. Moshhammer, "Medizinische Beurteilungsgrundlagen der passiven Blendung", 2013, p.7.
- [9] 망막세포의 구성 및 작용에 관해서는 다음 논문에 상세히 설명되어 있다.
- F. Behar-Cohen et al., "Progress in Retinal and Eye Research", Elsevier Vol. 30, pp.239-257, 2011.
- H. Moshhammer, "Medizinische Beurteilungsgrundlagen der passiven Blendung", 2013.
- [10] SSK, "Blendung durch natürliche und künstliche Lichtquellen", 2006, p.8.
- [11] "Variations in natural light", www.handprint.com
- [12] CIE 117 "Discomfort glare in interior lighting", 1995. EN 12464-1 "Lighting of Indoor Work Places", 2011.
- [13] CIE 147 "Glare from small, large and complex sources", 2002.
- [14] J. Wienold and J. Christoffersen, "Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras", Energy Build Vol.38, pp. 743 - 757, 2006.
- [15] P. Chauvel, JB. Collins, R. Dogniaux, J. Longmore, "Glare from windows: current views of problem", Lighting Research and Technology, Vol.14, No.1, pp.31-46, 1982.
- [16] CIE 146 "CIE equations for disability glare", 2002.
- [17] HJ. Schmidt-Clausen and J. TH. Bindels, "Assesment of Discomfort Glare in Motor Vehicle Lighting", Lighting Reseach and Technology Vol. 6, 1974.
- [18] K. Manz, "Vorlesungsskript Optische Technologien im Automobil", 2008.
- [19] CIE 115 "Recommandations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic", 1995.
- CIE 140 "Road lighting caculations", 2000.
- CIE 115 "Lighting of roads for motor and pedestrian traffic", 2010.
- [20] CIE 31 "Glare and Uniformity in road lighting installations", 1976.
- [21] C.A. Benett, "Discomfort glare: Parametric study of angularly small source," Journal of Illuminating Society, 1977.
- IESNA RP-8 "Roadway Lighting", 1980.
- C.A.Bennet, "Discomfort Glare: Dynamic Roadway Lighting Parametric Stuides", Kansas State Experimental Station, Special Report 153, summer, 1983.
- [22] CIE 112 "Glare evaluation system for use within outdoor sports and area lighting", 1994.
- CIE S 015 "Lighting of outdoor work places", 2005.
- EN 12464-2 "Lighting of outdoor work places", 2007.
- [23] EN 13201-2, "Road lighting, Part 2: Performance requirements", 2004.
- [24] JD. Bullough et.al., "Predicting discomfort glare from outdoor lighthing installations", Lighting Research and Technology 40, pp.225-242, 2008.
- JD. Bullough, "A method for estimating discomfort glare from exterior lighting systems", ASSIST Vol. 9, issue 1, pp. 1-7, 2011.
- JD. Bullough, "Luminance versus luminous intensity as a metric for discomfort glare", SAE International Warrendale, 2011.
- [25] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft(LiTG), "Empfehlungen fuer die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen kuenstlicher Lichtquellen", 2011.
- [26] S. Voelker, "Blendung-Ein Rueckblick ueber 100 Jahre Forschung", Licht 2012 Tagungsband, pp. 476-483, 2012.
- [27] NJ. Miller, RN. Koltai, TK. McGowan, "Pedestrian Friendly Outdoor Lighting", 2013. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/2013_gateway_pedestrian.pdf
- [28] CIE 150 "Guide on the Limitation of the Effects of obtrusive light from Outdoor lighting installations", 2003.
- [29] nsv(Niederlandse Stichting Voor Verlichtingskunde), "Algemene richtlijn betreffende lichthinder", 2011.
- [30] OeNorm O 1052 "Lichtimmissionen. Messung und Beurteilung", 2012.
- [31] "Hinweise zur Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen" (Beschluss der Laenderausschusses fuer Immissionsschutz vom 10.Mai 2000).
- [32] ILewin, "Further Consideration of Obtrusive Light", Lighting Sciences Inc. http://dmdeng.com/pdf/learning/Further_Consideration_of_Obtrusive_Light.pdf, 2007.
- [33] 옥외조명에 의한 불쾌글레어를 평가하는 척도로 광도가 적합한지 아니면 휘도가 적합한지에 관한 논의는 다음 논문을 참고할 수 있다.
- John D. Bullough, "Luminance versus Luminous intensity as a Metric for Discomfort Glare", 2011. http://www.researchgate.net/publication/216817145_Luminance_versus_Luminous_intensity_as_a_metric_for_discomfort_glare
- Peter D.Hiscocks, "Measuring Light", 2011. <http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astromy/light-pollution/photometry.pdf>
- [34] CIE 191 "Recommended system for mesopic photometry based on visual performance", 2010.
- [35] CIE 206 "The effect of spectral power distribution on lighting for urban and pedestrian areas, 2014.
- IES TM-12-12 "Spectral Effects of Lighting on Visual performance at Mesopic Lighting Levels", 2012.
- [36] JD. Bullough, "Spectral sensitivity for extrafoveal discomfort glare", Journal of Modern Optics, Vol.56, No.13, pp.1518-1522, 2009.
- MS. Rea, LC. Radetsky, JD. Bullough, "Toward a model of outdoor lighting scene brightness", Lighting Research Technology, Vol. 43, pp.7-30, 2011.
- JD. Bullough, et al., "Influence of spectral power distribution on scene brightness at different light levels", Leukos, Vo. 10, No.3, pp.3-9, 2014.

◇ 저 자 소 개 ◇



안소현 (安素賢)

1960년 10월 10일생. 1979년 연세대 문과대 독문학과 졸업. 1985년 2월 연세대 문과대 독문학과 졸업(석사). 1994년 연세대 본대학원 독문학과 졸업(박사). 연세대 강사. 현재 (주)에스제

이엘 대표. 에스제이엘 조명기술연구소 소장. 독일조명 기술협회(LiTG) 회원.