

TV 시청 조건에서의 Brightness Function

최성호, 김희철, 장수욱, 김은수, 한찬호*, 송규익
경북대학교 대학원 전자공학과
*경운대학교 멀티미디어 공학부

Brightness Function on TV Viewing Condition

Sung-Ho Choi, Hee-Chul Kim, Soo-Wook Jang, Eun-Su Kim, Chan-Ho Han*, Kyu-Ik Sohng
Department of Electronics engineering, Kyungpook National University
*School of Multimedia engineering Kyungwoon University
E-mail : 98army@palgong.knu.ac.kr

Abstract

When viewing images, the relative luminance of the surround has a profound impact on the apparent contrast of the image. The dark surround causes the image elements to appear lighter than those viewed in an illuminated surround. For this reason, it is worthwhile to briefly review the general results of brightness scaling under a various viewing condition. Two of the most often cited papers on the topic of brightness scaling are Stevens- Stevens and Bartleson- Breneman's function. There are, however, significant differences between the perceptual functions for simple-field and complex-field viewing. In this paper, we research the relationship between Stevens's power law and Bartleson-Breneman's function. We present an appropriate brightness perception function due to TV system viewing conditions. Highlight luminance peak and absolute brightness threshold value in various adaptation levels are obtained from the proposed brightness function. Also, the luminance value of black level to produce the same contrast ratio with variety of display highlight luminance peak is obtained from the proposed brightness function.

I. 서 론

밝기란 물리적인 휘도의 변화에 대응하여 발생하는 밝음 또는 어두움의 감각을 말한다. 인간의 TV 시청시 밝기 인지는 디스플레이 장치 휘도의 절대값 외에 눈의 순응 휘도, 물체 표면의 반사율, 및 휘도

분포 상태의 영향을 받는다. 이 중에서 가장 중요한 요소는 디스플레이 장치 절대 휘도값과 순응 휘도이다.^[3]

인간의 눈은 자동적으로 시야 내의 밝기에 반응하고 순응 수준을 결정한다. 일반적으로 시각계의 순응 수준은 시야 내의 평균 휘도와 관계가 있다. 휘도가 높은 디스플레이 장치를 보더라도 그것을 보는 사람의 눈의 순응 상태에 따라 느끼는 밝기는 다르다. 실제로 일반 가정의 TV 시청 조건하에서 디스플레이 장치를 볼 경우 휘도가 높다고 해서 인간 시각계에서 반드시 높은 밝기로 느껴지는 것은 아니다. 따라서 TV 시청시 눈의 순응 상태에 따른 시각 밝기에 대한 연구가 필요하다.

지금까지, 눈의 순응 조건에 따른 밝기를 정량적으로 표현하는 여러 가지 모델들이 제안되어 있다. 이에는 Stevens 등의 단순 화상(simple fields)에서의 power law 모델과 Bartleson-Breneman의 복합 화상(complex fields)에서의 brightness function 등이 있다.^{[1],[2]} 본 논문에서는 상기 두 연구 결과를 바탕으로 TV 시청시에 적용 가능한 brightness function을 제안하였다. 제안된 brightness function을 이용하면, 단순히 물리적인 휘도를 중심으로 한 디스플레이 명암 대비 평가 방식이 아니라 TV 시청시 눈의 순응 조건에 따른 최대 휘도, 블랙 레벨의 휘도를 결정하여 시각 상에서의 명암 대비에 대한 정량적 근거를 제시하였다.

II. Steven's Power Law

Stevens^[1] 등은 그림 1 에서와 같이 관찰자의 왼쪽 눈은 암상태에 순응시키고 오른쪽 눈은 주위 배경 휘도에 순응시키기 위해서 프로젝터를 이용했다. 오른쪽 눈을 순응 시키기 위해서 시야각 약 58° 가 되는 원도우를 만들고, 그 원도우 중앙에 시야각 5.7° 의 테스트 패치를 만들어 25cm 거리에서 실험을 하였다.

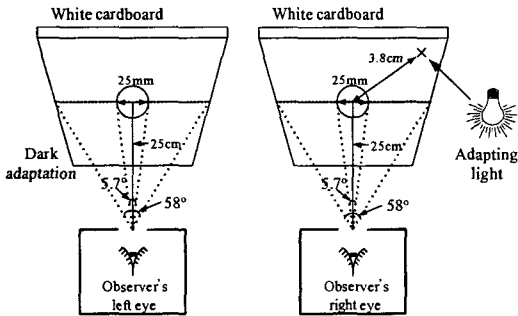


그림 1. Stevens 등의 실험 기구 구성도.

관찰자 각각의 눈은 처음 10 분 동안 암상태에 순응이 된다. 그 후 3 분 동안, 왼쪽 눈은 계속 암상태에 순응을 시키고 오른쪽 눈은 주어진 일정한 휘도 레벨에 순응이 된다. 테스트 자극은 2 초 동안 주어지며 테스트 자극과 다른 순응 레벨 사이에는 10 초 간격으로 하였다.

Stevens 등은 주위 휘도 변화에 따른 단순 화상에 서의 밝기 척도를 다음과 같이 모델링 하였다.

$$\psi = k(L - L_0)^\beta \quad (1)$$

ψ 는 특정 관찰 조건에서 휘도 자극 L 이 제시된 경우 관찰자가 느끼는 심리 물리적인 양의 정도이고 단위는 bril 이다. 1 bril 은 암배경 상태에서 40dB 자극에 눈이 느끼는 밝기의 크기이다. L_0 는 관찰자를 다양한 주위 배경 휘도에 순응시킨 후 테스트 자극을 인지 할 수 있는 문턱치값 (threshold)이고, k 및 β 는 관찰 조건에 따른 상수 값이다. 표 1 은 Stevens 등이 구한 눈의 순응 레벨에 따른 k , β , 및 문턱치 값이다. 그림 2 는 Stevens 등이 실험적으로 구한 표 1 과 식 (1)을 사용하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 2 에서 순응 레벨이 높아짐에 따라서 밝기 함수의 기울기가 증가하고, 또한 문턱치 값이 높아짐을 알 수 있다.

표 1. 눈의 순응 레벨에 따른 k , β 및 문턱치 값.(1 mL 는 70dB 이고, 65dB 는 1 cd/m² 이다.)

Adaptation level				L_0		
dB	mL	k	β	dB	mL	
dark			10	0.333	0	
40	0.001	9.60	0.334	30	0.0001	
50	0.01	8.60	0.335	36	0.0004	
60	0.1	7.20	0.342	42	0.0016	
70	1.0	5.60	0.355	48	0.0079	
80	10	3.70	0.380	55	0.0320	
90	100	2.20	0.410	62	0.1600	
100	1000	1.00	0.440	72	1.5800	
110	10000	0.26	0.490	84	25.1000	

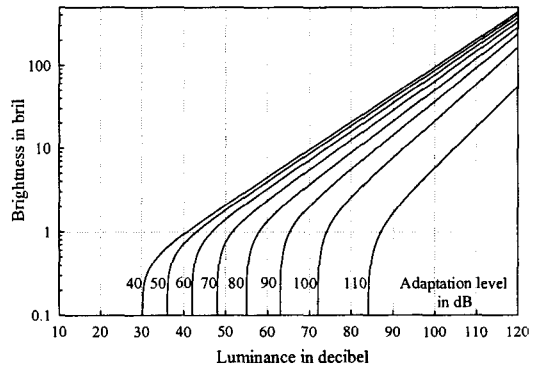


그림 2. 주위 배경 휘도 변화에 따른 눈의 밝기 인지 크기.

III. Bartleson-Breneman's Brightness Function

주변 휘도 변화에 따른 복합 화상에서의 밝기 예측은 Stevens 등이 단순 화상에 대해서 구한 식 (1) 에서와 같은 비교적 간단한 지수 함수의 관계를 따르지 않는다. Bartleson 과 Breneman^[2] 은 surround luminance factor 가 일정할 때, 복합 영상의 휘도가 증가하면 영상의 밝기 명암 대비가 증가하는 현상을 실험적으로 다음과 같이 정량화 하였다.

$$B = 10^\alpha L^\beta / \text{anti log}(\lambda \exp(\delta \log L)) \quad (2)$$

여기서, B 는 눈이 느끼는 밝기 값, L 은 물리적인 휘도 자극치, 그리고 α , β , λ , δ 는 관찰 조건에서 구해지는 상수 값이다. 실험 방법은 20~25cm 크기의 프론트 화상을 35~45cm 거리에서 관찰하였고

이때의 시야각은 약 30° 정도였다. 실험적으로 구한 파라미터는 $\alpha=2.037$, $\beta=0.1401$ 이며, 이때의 λ 및 δ 는 휘도의 함수로써 그림 3 에서와 같다. 여기서 아래 첨자 p 는 프린트(사진)에 대한 것이고 t 는 transparency 에 대한 값이다.

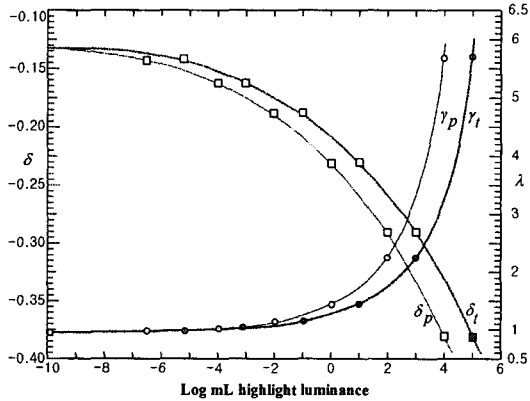


그림 3. Bartleson-Breneman 이 실험적으로 구한 최대 휘도에 따른 λ 및 δ .

이 파라미터들과 식(2)를 사용하여 프린트 화상의 highlight luminance 에 따른 밝기를 그래프로 그려 보면 그림 4 에서와 같다. 이 그림에서도 화상의 휘도가 밝아수록 brightness contrast 가 증가 함을 알 수 있다. 또한 Stevens 등의 단순한 화상에 대한 실험 결과와는 달리 복잡한 화상의 경우, brightness contrast 커브의 모양이 단순한 감마 특성을 가지지 않음을 볼 수 있다.^[3]

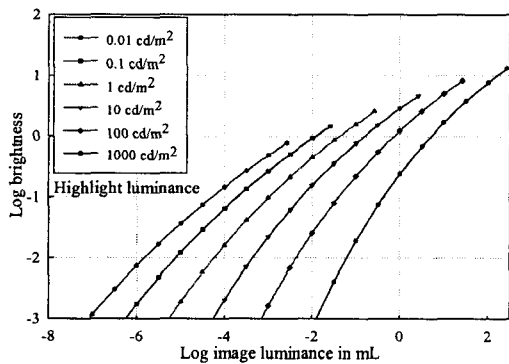


그림 4. Bartleson-Breneman 이 실험적으로 구한 프린트 화상의 휘도에 따른 brightness contrast 커브.

IV. 제안된 Brightness Function

Bartleson^[4]은 9 개의 복합 화상을 표준 관찰 조건하에서 최대 화이트 휘도 변화에 따른 눈의 순응 휘도를 실험적으로 구하였고, 그 결과는 그림 5 에서와 같다. 그림 5 에서 최대 휘도와 눈의 순응 휘도 사이에 약 12dB 의 차이가 있음을 알 수 있다.

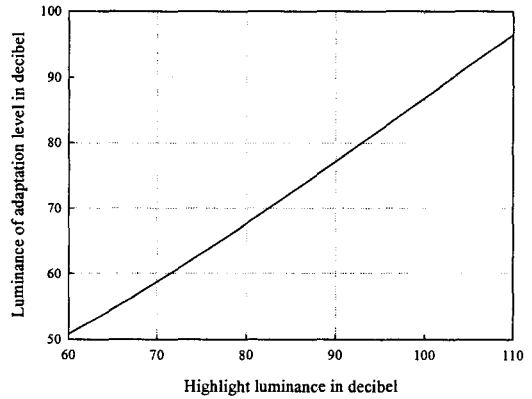


그림 5. Bartleson 이 실험적으로 구한 최대 휘도값 변화에 따른 눈의 순응 레벨.

일반 가정에서 TV 시청 조건은 단순 화상이 아니라 복합 화상이므로, 본 연구에서는 그림 5 를 이용하여 눈의 순응 레벨에 따른 밝기 특성을 식 (3)과 같이 모델링 하였다.

$$B = K \frac{10^\alpha (L - L_0)^\beta}{\lambda \exp(\delta \log(L - L_0))} \quad (3)$$

여기서, B 는 눈이 느끼는 밝기, L 은 물리적인 자극치, L_0 는 문턱치 값, $\alpha = 2.037$, $\beta = 0.1401$, 그리고 λ, δ 는 그림 3 의 파라미터 값이다.

Stevens 등이 구한 밝기는 심리 물리적 단위인 bril 로 표시했고, Bartleson-Breneman 은 임의 척도의 밝기 단위를 사용하였다. 인간 시각 특성상 눈의 순응 휘도와 동일한 테스트 휘도 자극치를 관찰자에게 보여 주면 단순 화상이든, 복합 화상 이든 동일한 밝기로 느낄 것이다. 그러므로 본 논문에서는 식 (1)과 식 (2)를 순응 휘도 레벨에서 일치시킬 수 있는 K 함수를 구하였다. 실험적으로 구한 K 는 다음과 같다.

$$K = 3.2762 + 0.0013 \times \exp(0.0774 \times L_0) \quad (4)$$

여기서, L_a 는 눈의 순응 레벨에 따른 decibel 값이고, K 는 brightness 스케일 매칭 함수이다.

그림 3의 데이터와 식 (3) 및 식 (4)를 이용하여 TV 시청 조건에 맞는 눈의 순응 레벨에 따른 밝기 특성을 구하면 그림 6과 같다. 여기서 B 가 0.1이 되는 경우를 블랙 휘도의 문턱치 값으로 하였다.

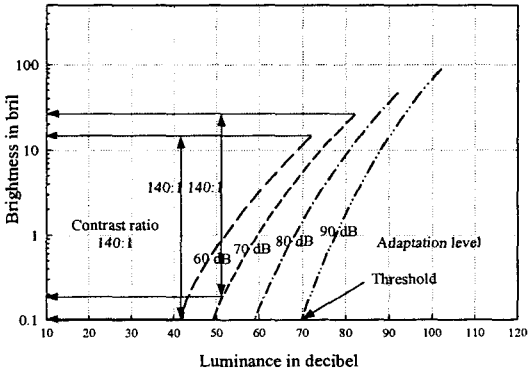


그림 6. 눈의 순응 레벨에 따른 최대 휘도, 밝기 특성 커브.

그림 6에서 디스플레이 장치의 최대 휘도 값이 71.5dB 이면 눈의 순응 레벨은 60dB가 되며 블랙의 휘도는 42dB가 된다. 그 경우 시각 명암 대비는 약 140:1이다. 만약 디스플레이 장치의 최대 휘도 값이 71.5dB에서 82.6dB로 약 11dB만큼 증가 했을때, 동일한 140:1의 시각 명암 대비로 보이기 위해서는 블랙의 휘도는 51dB가 된다. 식 (3)을 이용하여 최대 휘도에 따른 블랙 휘도 문턱치값을 구하면 그림 7에서와 같다.

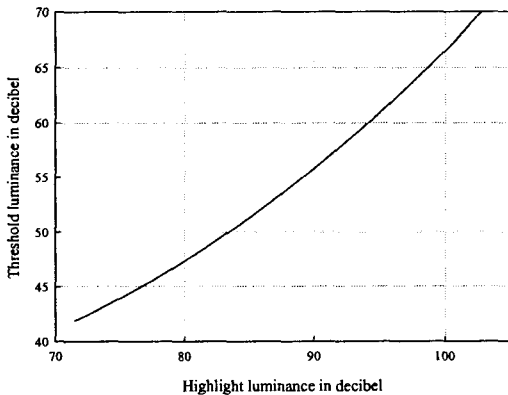


그림 7. 최대 휘도에 따른 블랙 휘도 문턱치값.

그림 6 및 그림 7을 요약 정리하면 표 2와 같다. 표 2에서 눈의 순응 휘도가 60dB에서 90dB로 증가하면, 시각 감마는 약 2.1에서 약 1.7로 감소하고 시각 명도 대비는 증가함을 알 수 있다.

표 2. 눈의 순응 레벨 변화에 따른 최대 휘도, 시각 감마, 및 블랙 휘도의 문턱치값.

눈의 순응레벨 (dB)	최대 휘도(dB)	시각 감마	블랙 휘도 문턱치 값 (dB)
60	71.5	약 2.1	42
70	82.6	약 1.9	49
80	92.3	약 1.8	58
90	102.9	약 1.7	70

V. 결론

Stevens 등의 power law와 Bartleson-Breneman의 brightness function을 바탕으로 TV 시청시에 적용 가능한 brightness function을 제안하였다. 제안된 brightness function은 TV 또는 PC 모니터 등을 시청할 때 주위 조건에 따라 적절한 명암 대비를 위해서 요구되는 블랙의 최저 휘도 및 최대 휘도를 예측하는데 사용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. C. Stevens and S. S. Stevens, "Brightness Function: Effects of Adaptation," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 53, pp. 375-385, 1963.
- [2] C. J. Bartleson and E. J. Breneman, "Brightness Perception in Complex Fields," *Opt. Soc. Am.*, vol. 57, pp. 953-957, 1967.
- [3] 송규익, *색채 디스플레이 공학 강의 자료*, <http://avalab.knu.ac.kr>, 2003.
- [4] C. J. Bartleson, "Optimum Image Tone Reproduction," *J. of SMPTE.*, vol. 84, pp. 613-618, 1975.