

배경 적응 Weber-Fechner Fraction

이동하, 김종오, 송규익
㈜LG 전자 DND 사업부 영상제품 연구소
경북 대학교 대학원 전자공학과

Background Adjusted Weber-Fechner Fraction

Dong-Ha Lee, Jong-O Kim, Kyu-Ik Sohng
Digital Network Display Research Lab., Digital Display & Media Company, LG Electronics Inc.
Department of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Korea
E-mail : lee412@lge.com

Abstract

The recognition limit of brightness difference in the visual system of human has not been studied systematically. In this paper, endeavor to calculate surround adapted Weber-Fechner fractions based on the crispening effect was added to the traditional Weber-Fechner fractions. It is found that surround adapted fractions have reduced to 1/3 of the traditional fractions. As compared with Breitmeyer's experiments[1], the presented result is a reasonable one. It can be used as some guide to design the digital display system when a designer needs to decide bit count of digital signal in considering of the limit of brightness level, and as the inspection tool of display manufacturing of brightness smear, defect, and so on.

I. 서론

HDTV 방송이 본격화됨에 따라 LCD (Liquid Crystal Display), PDP (Plasma Display Panel), 그리고 DLP (Digital Light Processing) 프로젝터 등 고해상도 디지털 디스플레이의 보급이 증가되고 있다. 디지털 디스플레이의 공간적인 해상도 향상을 위해 주로 신호의 대역폭 향상에 노력하고 있다. 디스플레이 상에서 공간적인 해상도를 뒷받침하기 위해서는 휘도 신호 레벨의 해상도가 충분하여야 하며, 디스플레이에서 요구되는 인간 시각 특성상 감지 가능한 휘도 레벨의 해상도 한계에 대한 이해도 필요하다. 하지만, 이에 대한 체계적인 연구는 미흡한 상태이다.

디스플레이 시스템에 있어서 휘도 레벨의 해상도는 일반적인 Weber-Fechner 의 휘도차 변별 한계치에 근거하고 있다. Weber-Fechner fraction 은 짧은 적응시

간 동안 암 배경(dark surround)에서 인간의 시각에 감지되는 휘도 레벨에 따른 휘도차 변별 한계치를 나타낸다. 그러나, 배경의 레벨이 달라지거나 적응 시간이 길어지면 일반적인 Weber-Fechner fraction 도 달라진다. 한편, 인간 시각 특성의 적응 상태에 따른 상대 밝기(lightness)와 이의 균일척도(uniform scale)에 대한 연구에서 Kaneko[2]는 배경의 휘도 계수(luminance factor)가 상대 밝기 척도에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 이러한 현상을 *crispening* 효과라고 한다.

본 논문에서는 전통적인 Weber-Fechner fraction 을 *crispening* 효과를 근거로 하여 배경에 적용된 Weber-Fechner fraction 값을 계산하였고, 배경에 적용된 Weber-Fechner fraction 은 전통적인 Weber-Fechner fraction 값의 약 1/3 로 감소함을 알 수 있었다. 또한 실험 조건은 약간 다르나 Breitmeyer 등이 행한 실험 결과와 비교해 볼 때, 본 연구에서 계산된 결과가 타당함을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 암 배경 Weber-Fechner fraction 에 대해서 논하고, 3 장에서는 *crispening* 현상에 대해서 설명한다. 4 장에서는 배경 적응 Weber-Fechner fraction 에 대해서 논하고, 5 장에서 결론을 맺는다.

II. 암 배경 Weber-Fechner Fraction

휘도 차이가 인간 시각상 감지되기 위한 휘도차 변별 한계치를 구하기 위해서는 Weber-Fechner fraction 을 이해하여야 한다. 휘도차 변별 측정을 위한 대표적인 실험 방법과, 그 결과 얻어진 휘도차 변별 특성을 그림

1과 2에 나타내었다[3]. 그림 2에서 알 수 있듯이, Weber- 또는 Fechner-fraction 이라 불리는 $\Delta Y/Y$ 의 값은 휘도 Y 값이 낮을 때는 크고, Y 값이 높아짐에 따라 감소한다. 그러나, 100cd/m^2 이상이 되면 포화되어 600cd/m^2 까지 거의 일정한 값을 유지하며 이 범위에서 $\Delta Y/Y$ 의 값은 1.35% 정도이다.

III. Crispning 현상

상대 밝기와 이의 균일 척도에 대한 관찰자 시각의 적응 상태의 영향에 관한 연구에서 Kaneko는 배경의 휘도 계수가 상대 밝기 척도에 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 특히, 테스트 샘플의 크기가 작은 경우에는 그 영향이 매우 커지고, 배경의 휘도 계수와 비슷한 휘도 계수를 갖는 그레이 샘플들 간의 상대 밝기 차이에 대한 관찰자의 감도가 증가된다는 확인하였다.

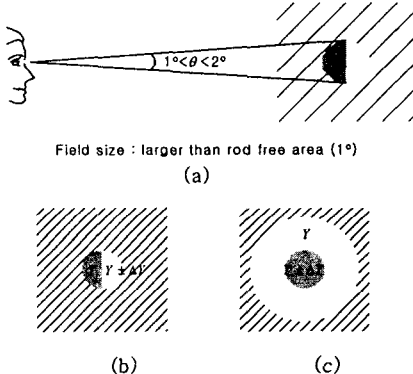


그림 1. 대표적인 테스트 시야: (a) 샘플 시야의 크기; (b) 수직 경계의 원형이분 시야; (c) 2개의 동심원 시야
Fig. 1. Typical test visual fields: (a) Visual field size; (b) circular bipartite field with vertical dividing line; (c) two concentric circular fields.

Takasaki[5]는 그림 3에서와 같이 서로 다른 배경 B1과 B2에서 Munsell 그레이 값 쌍 ($N1-N9$), ($N3-N7$), 및 ($N5-N7$)에 대하여 배경의 휘도 계수가 상대 밝기 척도에 미치는 영향을 측정하는 실험을 수행하여 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 그림 4에서 샘플 S2의 Y_{S2} 값이 배경 B2의 Y_{B2} 값에 근접할 때 Y_{S2} 값의 변화에 따른 샘플 S2의 상대 밝기가 급격하게 변화함을 확인할 수 있다. 이 현상이 crispning 효과이다.

Semmelroth는 밝기와 상대 밝기 시각에 대해 반응하는 시각 메커니즘의 모델[6]과, 이를 이용하여 휘도

계수가 다른 배경에 대해서 균일한 상대 밝기 단계에 대해 더욱 정확하게 적용할 수 있도록 수정 Munsell value 스케일을 조정하기 위한 테이블을 제공하였다.

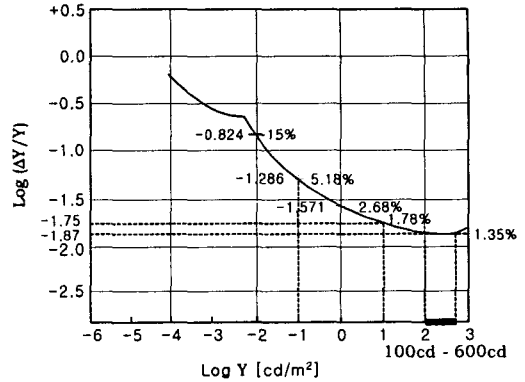


그림 2. 황점의 크기보다 큰 시야에 대해 관찰된 휘도차 변별 특성 그래프[4]
Fig. 2. Discrimination of luminance differences as observed for white stimuli in bipartite field of angular size larger than the rod-free area.

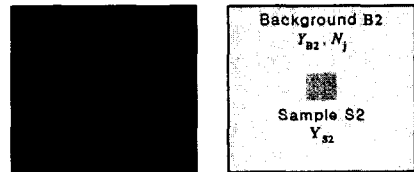


그림 3. Takasaki의 실험에서 관찰자에 제시한 시야
Fig. 3. Visual field presented to an observer for Takasaki's experiment.

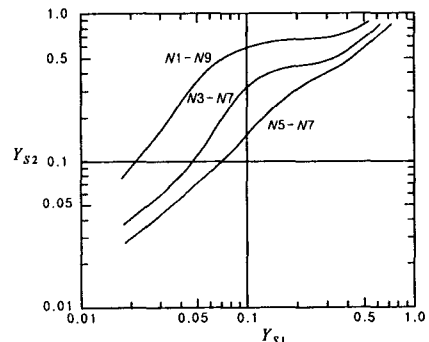


그림 4. 서로 다른 배경 B1과 B2에서의 Munsell 그레이 값 쌍 ($N1-N9$), ($N3-N7$), 및 ($N5-N7$)에 대해서 얻어진 상대 밝기
Fig. 4. Relative lightness of three Munsell gray values ($N1-N9$), ($N3-N7$), and ($N5-N7$) on different backgrounds.

Judd 와 Wyszecki[7]는 Semmelroth 의 테이블을 그래프로 변환하였다. 그 그래프의 일부를 그림 5 에 다시 자세히 그렸다. V_s 축은 수정 Munsell 값 공식에 의해 결정된 그레이 샘플의 Munsell 값이고, V_a 축은 Semmelroth 의 상대 밝기 지수 S 에 매우 근접하도록 배경에 따라 조정된 Munsell 값이다.

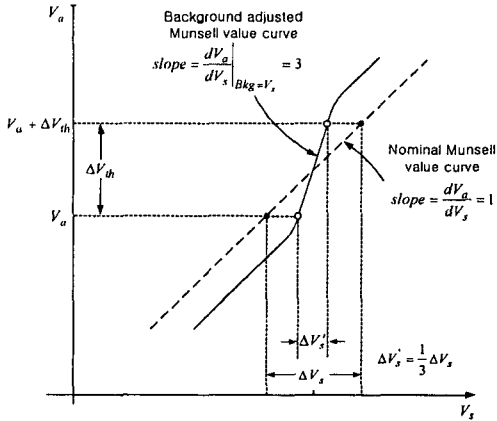


그림 5. Nominal Munsell 값 V_s 에 대한 배경에 적용된 Munsell 값 V_a
 Fig. 5. Background adjusted Munsell value V_a vs. nominal Munsell value V_s .

IV. 배경 적용 Weber-Fechner fraction

Crispining 효과를 고려하여 휘도차 인식 문턱치 값, 즉, Weber-Fechner fraction 을 계산하기 위해서 배경에 적용된 Munsell 값 V_a 와 nominal Munsell 값 V_s 의 관계를 조사하였다. 그림 5 에 나타난 것처럼 Munsell 값 V_a 에서 휘도 차이를 느끼는 문턱치를 ΔV_{th} . 배경에 적용되지 않은 상태에서 ΔV_{th} 에 대응하는 V_s 에서의 문턱치를 ΔV_s 라 하자. 배경에 적용된 상태에서의 ΔV_{th} 에 대응하는 V_s 에서의 문턱치를 $\Delta V'_s$ 라 두면, 그림 5로부터 다음의 관계가 주어진다.

$$\Delta V'_s = \frac{1}{3} \Delta V_s \quad (1)$$

한편, Munsell 값 V 와 휘도 Y 의 관계는 식 (2)와 같다.

$$Y = f(V) \quad , \quad \Delta Y = \frac{df(V)}{dV} \Delta V \quad (2)$$

따라서, 배경에 적용되지 않았을 때와 적용되었을 때의 휘도차 문턱치 ΔY_{th} , $\Delta Y'_{th}$ 는 각각 다음과 같다

$$\Delta Y_{th} = \frac{df(V)}{dV} \Delta V_s \quad (3)$$

$$\Delta Y'_{th} = \frac{df(V)}{dV} \Delta V'_s = \frac{df(V)}{dV} \frac{1}{3} \Delta V_s \quad (4)$$

식 (4)로부터, 눈이 특정 레벨의 그레이 배경에 적용된 경우의 휘도차 인식 문턱치는 암 배경에서 구한 그림 2의 일반적인 Weber-Fechner fraction 값의 1/3 이 됨을 알 수 있다.

암 배경에서 구해진 그림 2에서와 같은 일반적인 Weber-Fechner fraction 값을 상기 해석을 근거로 다시 그려보면, 그림 6과 같다. 그림 6에서 점선은 일반적인 Weber-Fechner fraction이고, 실선은 배경에 적용된 Weber-Fechner fraction이다. 이 실선은 식 (4)에 근거하여 일반적인 Weber-Fechner fraction을 1/3로 줄여서 그린 것이다.

이 그래프에서 비교하려는 두 샘플의 휘도와 비슷한 배경에 적용된 경우, 샘플의 휘도가 100cd/m² 이상에서 휘도차 감지 문턱치가 0.45%이고, 10cd/m² 부근에서는 0.57%, 1cd/m² 근방에서는 0.9%, 0.1cd/m²에서는 1.7%이다.

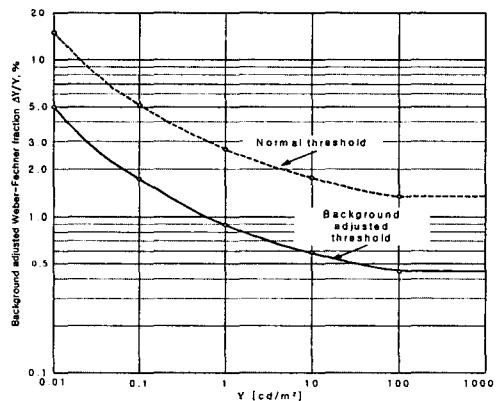


그림 6. 배경에 적용된 경우의 Weber-Fechner fraction

Fig. 6. Background adjusted Weber-Fechner Fraction.

이 실험을 위해서는 현재 사용되는 개인용 컴퓨터와 그래픽 카드로는 구현이 불가능하다. 그 이유는 그래픽 카드의 D/A 변환기가 8 bit 시스템으로 구성되어 있어서 어두운 영역에서의 표현 가능한 그레이 레벨 해상력이 실험에 요구되는 해상력에 크게 미달하기 때문이다.

또한, 현재 대부분의 디스플레이 시스템은 감마 값이 2.2로 제작되어 있기 때문에 미세한 휘도 차이를 표현하는데 부적합하다. 따라서, 본 연구에서는 실험 조건은 약간 다르나, Breitmeyer 등이 행한 실험 결과와 비교하였다.

Breitmeyer 등이 행한 평균 휘도가 17cd/m^2 인 $4^\circ \times 6^\circ$ 크기의 공간 내에서 정형적으로 변화하는 공간 주파수를 1.1m 거리에서 관찰할 때 얻어진 콘트라스트 변별 문턱치 실험 결과를 그림 7에 보였다. 그림 7(a)의 그래프는 정상적인 교정 시력을 가진 20세의 여성에 대한 실험 결과이고, (b)는 실험의 목적을 미리 알고 있는 숙달된 전문가인 Breitmeyer 자신에 대한 실험 결과이다.

일반인의 경우, 그림 7(a)에서 제시된 패턴의 공간 주파수가 가장 예민한 주파수인 2.8cpd (cd/deg.) 근방에서 최소 문턱치가 0.5%이고, 0.5cpd에서는 0.8%임을 알 수 있다. 일반적인 Weber-Fechner fraction 데이터는 $1^\circ\sim 2^\circ$ 시야를 2분할하여 실험한 것이기 때문에 시표의 공간 주파수는 약 1~2cpd 정도에 해당한다. 따라서 그림 7(a)에서 1.5cpd에 대한 값을 0.5cpd와 2.8cpd 값의 중간 값으로 읽으면 약 0.6%가 된다.

한편, 숙달된 사람의 실험 결과인 그림 7(b)에서는 공간 주파수 0.5cpd에서 변별 문턱치가 0.6%이고, 2.8cpd에서는 변별 문턱치가 0.3%정도이다. 이 그래프에서도 마찬가지로 방법으로 공간 주파수 1.5cpd에 대한 값을 내삽하여 읽어보면 약 0.45%가 된다.

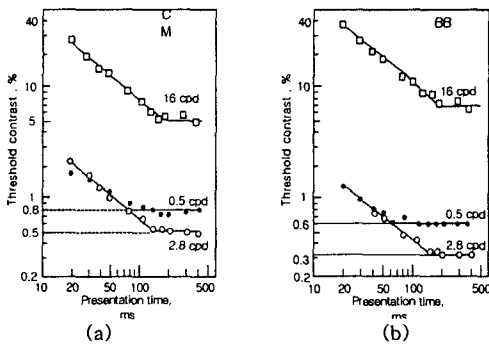


그림 7. 공간 주파수 0.5, 2.8, 및 16 cpd에 대한 문턱치 콘트라스트 [1]

Fig. 7. Threshold contrast in percent at spatial frequencies of 0.5, 2.8 and 16 cpd as a function of stimulus duration.

따라서, 본 연구에서 계산한 배경에 적용된 때의 휘

도 변별 한계치를 나타낸 그림 6에서 휘도 17cd/m^2 인 경우의 변별 한계치인 약 0.5%와 거의 일치함을 알 수 있다. 비록 간접적이긴 하지만, 본 논문에서 계산한 crispening 효과를 고려하여 배경에 적용된 Weber-Fechner fraction이 타당함을 확인할 수 있었다.

V. 결론

본 논문에서는 디스플레이 시스템에 적용하기 위해서 배경에 적용된 경우의 인간 시각 특성상 감지 가능한 휘도 레벨의 변별 한계치를 계산하였다. 이 계산에는 전통적인 Weber-Fechner fraction과 인간 시각 특성의 crispening 효과를 이용하였다. 계산 결과, 배경에 적용된 Weber-Fechner fraction은 전통적인 Weber-Fechner fraction 값의 약 1/3로 감소함을 알 수 있었다. 이를 Breitmeyer 등이 행한 실험 결과와 비교해 볼 때, 본 연구에서 계산된 결과가 타당함을 확인할 수 있었다.

지금까지는 2° 시야 크기에 대해서만 논했고, 간접적으로 결과를 확인하였다. 추후, 직접적인 실험환경을 구축하여 본 논문의 결과를 확인하고, 시표의 크기에 따른 배경 적용 Weber-Fechner fraction에 대한 연구가 계속 진행되어야 한다.

참고 문헌

- [1] B. G. Breitmeyer and L. Ganz, "Temporal studies with flash gratings: Inferences about human transient and sustained channels," *Vision Res.*, vol. 17, pp. 861-865, 1977.
- [2] T. Kaneko, "A consideration of the Cobb-Judd lightness function," *Acta Chromatica*, vol. 1, no. 103, 1964.
- [3] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science, Concept and method, Quantitative and Formulae*, 2nd Edition, pp. 567-570, John Wiley & sons, New York, 1982.
- [4] H. R. Blackwell, "Contrast thresholds of human eye," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 36, pp. 624-643, 1946.
- [5] H. Takasaki, "Lightness change of grays induced by change in reflectance of gray background," *J. Opt. Soc. Am.* vol. 56, no. 504, 1966.
- [6] C. C. Semmerlroth, "Prediction of lightness and brightness on different backgrounds," *J. Opt. Soc. Am.* vol. 60, no. 1685, 1970.
- [7] D. B. Judd and G. Wyszecki, *Color in Business, Science and Industry*, 3rd edition, Wiley, New York, 1975.