

명소시 상태에서 휘도 감소에 따른 대비감도 변화

이은진¹, 윤문주¹, 김수현¹, 양계탁², 정주현¹, 김현정¹, 김현일¹, 최은정^{1,*}

¹건양대학교 안경광학과, 대전 302-718

²건양대학교 정보보호학과, 논산 320-711

투고일(2012년 10월 10일), 수정일(2012년 12월 6일), 게재확정일(2012년 12월 15일)

목적: 명소시 상태에서 휘도의 감소에 따른 대비감도 변화에 대하여 조사하였다. **방법:** FACT 시표를 이용하여 명소시 5단계의 휘도 하에서 63명의 대학생에 대한 대비감도를 조사하였다. **결과:** 측정된 대비감도는 모두 정상범위 내에 있었다. 40~10 cd/m²에서 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동하는 것으로 관측되었고, 6 cpd와 3 cpd에 대한 가상적인 두 대비감도 직선들의 교점으로부터 정점은 약 25 cd/m²일때 6 cpd에서 3 cpd로 이동하는 것으로 평가되었다. 휘도가 120 cd/m²에서 10 cd/m²으로 감소하는 동안, 6 cpd에서 대비감도 손실이 가장 컸지만, 1.5 cpd에서의 대비감도는 큰 변화가 없었다. 근사적으로 평가된 25 cd/m² 이상의 휘도에서 대비감도는 18<12<1.5<3<6 cpd의 순으로 높았지만, 25 cd/m²이하의 휘도에서는 18<12<1.5<6<3 cpd의 순으로 높았다. 휘도의 감소에 따른 대비감도의 손실을 대비감도 감소량 및 감소율로도 평가하였다. 대비감도 감소량은 6 cpd에서 가장 컸지만, 감소율은 18 cpd에서 가장 컸다. **결론:** 본 연구에서 활용된 평가법이 대비감도 변화를 평가하는 또 다른 방법으로 활용될 수 있음을 제안한다.

주제어: 휘도, 대비감도, 정점, 공간주파수

서 론

대비(contrast)는 인접한 두 대상의 휘도(luminance)의 차를 그 합으로 나눈 것으로 정의된다. 두 대상 사이의 대비가 낮으면 낮을수록 두 대상은 식별하기 어려워진다. 인접한 두 대상 사이의 대비를 간신히 식별할 수 있을 때, 그때의 대비를 대비역치(contrast threshold)라 한다. 어떤 사람에 대한 대비역치가 낮으면 낮을수록 혹은, 대비역치의 역수가 높으면 높을수록 그 사람은 휘도의 관점에서 두 대상을 보다 잘 식별할 수 있다.^[1] 이 대비역치의 역수를 대비감도(contrast sensitivity)라 정의하고 있다. 대비감도 검사는 얼마나 작은 것까지 잘 분해해 볼 수 있는가를 평가하는 눈의 분해능 검사인 스넬렌 검사와는 달리, 휘도의 관점에서 두 대상을 얼마나 잘 식별해 볼 수 있는가를 평가하는 또 다른 시기능 평가법으로서 임상에서 널리 이용되고 있다. 대비감도는 백내장, 다발성 경화증과 관련된 시신경염, 대뇌이상, 약시, 당뇨망막병증, 약시 등에 영향을 받기 때문에 이에 대한 선별검사(screening test)로서 임상에서 유용하게 활용되고 있다.^[2]

대비감도 검사에 가장 널리 사용되는 대비감도 시표는

사인휘도패턴(sinusoidal luminance pattern)이다. 이때 대비는 사인휘도패턴의 진폭을 평균휘도로 나눈 값과 같다. 따라서 대비감도는 휘도(luminance)에 의존하며, 휘도의 함수로서 표현하고 있다. 일차적으로 대비감도는 망막조도(retinal illuminance)에 의존하지만, 망막조도는 측정하기 까다로우므로 망막조도에 비례하는 외부광원의 휘도로써 대비감도를 표현한다.^[3-5]

휘도의 감소는 시력의 감소와 더불어 대비감도의 고공간주파수(high spatial frequency)에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.^[6] Losada 등은 휘도의 감소는 고공간주파수에서의 대비감도를 저하시키는 원인이 되며, 이는 주로 광학적인 요인에 기인하는 것이라 보고하였다.^[7] Richards에 따르면 휘도가 낮은 상태에서 작은 글씨를 읽으려면 40대의 경우는 20대의 경우보다 두 배의 휘도가 필요하며 70대의 경우는 아예 읽지 못한다고 하였다.^[8] Tobimatsu 등은 시각자극 유발전위(visual evoked potential, VEP)를 이용한 시각계의 다중채널(multiple channels of the visual system) 연구에서 휘도 변화에 따른 대비감도의 변화가 연령에 따라 다른 이유는 나이에 따라 각 공간주파수 채널의 반응상태가 달라지는데 그 원인이 있다고 보고하였다.^[9]

*Corresponding author: Eun Jung Choi, TEL: +82-42-600-6331, E-mail: ejchoi@konyang.ac.kr

국내에서의 휘도의 변화에 따른 대비(contrast)의 연구사례는 디스플레이, 컬러, 조명 등과 관련하여는 매우 활발하나,^[10-13] 시기능 평가를 위한 휘도의 변화에 따른 대비감도의 변화와 관련된 연구는 매우 미흡한 실정이다.

한편, 대비감도는 연령에도 의존하는 것으로 알려져 있다.^[14] Scharre 등은 3세부터 7세까지의 소아에 대한 대비감도는 성인보다 낮다고 하였다.^[15] Oen 등은 나이가 들면 저주파수에서의 대비감도가 저하된다고 하였으며, 대비감도는 인종, 지역, 민족 등에 따라 다를 수 있으므로 그에 상응하는 정상범위(normal range)를 적용해야 한다고 보고하였다.^[16] 한국인을 대상으로 한 대비감도 연구에서 유등은 60세 이상의 고연령층에서는 20세 미만의 저연령층에서보다 대비감도가 저하된다고 하였다. 또한, 낮과 같은 조건에서는 최대대비감도를 보이는 공간주파수가 6 cpd(cycles per degree)이지만, 밤과 같은 조건에서는 3 cpd로 이동한다고 보고하였다.^[17] Brown 등은 연령관련 황반변성이 있는 경우에는 정점대비감도를 보이는 공간주파수는 저공간주파수 쪽으로 이동하며, 또한 고휘도와 저휘도에서 모두 시력적 불편함을 느낄 뿐만 아니라 휘도의 변화에도 적응하기 어렵다는 연구결과를 발표하였다.^[18]

대비감도의 정점과 고저에 대한 공간주파수의 순위는 일상생활에서는 우선적으로 식별할 수 있는 주 대상을 결정하는데, 그리고 임상에서는 각종 안질환이나 질병을 진단하기 위한 선별검사(screening test)에 널리 이용되므로 대비감도의 연구에 있어서 매우 중요한 주제이다. 특히, 주위환경의 변화로 인한 휘도의 감소는 위험의 인지나 사물의 식별에 결정적 영향을 미치는 중요한 요인임에도 불구하고 국내에서는 이와 관련된 연구가 극히 미흡한 실정이다.

이러한 취지하에 본 연구에서는 휘도의 감소가 대비감도에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하고자 한다. 대비감도는 연령에 따라 변하기 때문에 다양한 연령층을 대상으로 연구를 수행했다면 보다 종합적인 결과를 얻을 수 있었겠지만 피검자들의 모집 등과 관련된 실질적인 어려움 때문에 대상자를 20대의 본교 대학생으로만 한정하였다. 일부의 연구에서는 조도에 따른 대비감도를 연구하는 사례도 있으나 빛이 조명된 물체의 반사율이 물체마다 다르고, 조도각이 달라지면 물체에 의한 반사광의 휘도 또한 달라지기 때문에 관측자가 설사 같은 조도 상태에 있다 하더라도 물체를 관측하는 각도와 그 물체의 반사율에 따라 다른 대비를 느끼게 되므로 조도에 따른 대비감도 연구는 휘도에 따른 연구보다 불완전하다 하겠다.

대상 및 방법

연구의 취지에 동의하며 특별한 안질환이 없는 평균연

Table 1. Measured data for subjects

Subject data	Number	Mean(SD)	Range
Age (Years)	63	23.0(±2.6)	20 to 30
Gender mix	63	21 males; 42 females	
Sphere power (D)	63	-2.26(2.02)	0.00 to -8.00
Cylinder power (D)	28	-1.02(0.61)	-0.25 to -2.25
Cylinder Axis (°)	24	With-The-Rule	180±10
	4	Against-The-Rule	90±10
Corrected visual acuity	63	1.2(0.1)	1.0 to 1.5

령 23.0(±2.6)세의 대학생 63명(남자가 21명, 여자가 42명)을 피검자로 하여 실시하였다. 피검자들의 굴절이상을 분류하였을 때 35명이 근시안, 28명이 근시성 난시안으로 근시의 범위는 0.00 D부터 -8.00 D로 평균근시도 -2.26±2.02 D이었으며, 난시의 범위는 -0.25 D부터 -2.25 D로 평균난시도 -1.02±0.61 D이었다. 모든 검사는 굴절이상을 교정한 후 시행하였고, 양안의 교정시력은 1.0이상으로 측정되었다(Table 1).

대비감도는 Vistech contrast sensitivity system의 functional acuity contrast test(FACT) chart(Stereo optical Co., USA)를 사용하여 양안으로 검사를 수행하였다. 연출된 휘도는 명소시에 해당하는 120, 100, 80, 40, 10 cd/m²이며, 휘도 측정을 위해 사용된 기기는 GOSSEN사의 MAVO-SPOT 2 USB이다. 본 연구에서 제시된 휘도는 FACT 시표의 각 패치(patch)에 대하여 측정된 휘도들의 평균값이다. 한 피검자가 다양한 휘도 하에서 대비검사를 받아야 하므로 시표의 암기를 방지하기 위해 저휘도에서부터 측정하였으며, 측정 시에는 충분한 순응이 이루어질 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 인공동공(artificial pupil)을 사용하지 않았다.

결과 및 고찰

연구 대상자에 대한 5단계의 명소시 휘도 하에서 측정된 대비감도의 평균값을 Table 2에 제시하였다. Table 2에서 음영으로 표시된 부분은 FACT 대비감도의 정상범위(normal range)에 대한 각 공간주파수에서의 상한값(high normal) 및 하한값(low normal)을 나타낸다.^[19] Fig. 1은 5단계의 휘도 하에서 측정된 대비감도 평균값을 로그눈금으로 나타낸 것이다. 그림에서 음영으로 칠해진 부분은 대비감도의 정상범위를 나타낸다. Table 2와 Fig. 1로부터 휘도가 감소하면 대비감도가 감소하고, 측정된 모든 휘도 하에서 대비감도가 정상범위 내에 있다는 것을 알 수 있다.

Table 2. Contrast sensitivities, decrements and decrement rates of contrast sensitivity at various luminances

Spatial frequency (cpd)	Luminance (cd/m ²)	Contrast sensitivity	Decrement (cd/m ²)	Decrement rate (%)
1.5		90		
	120	66.2 ± 16.9		
	100	65.8 ± 16.0	-0.4	-0.6
	80	66.2 ± 17.1	0.0	-0.1
	40	65.4 ± 15.6	-0.8	-1.2
	10	59.5 ± 18.7	-6.7	-10.1
		33		
3		129		
	120	91.7 ± 18.4		
	100	91.7 ± 17.8	0.0	0.0
	80	87.5 ± 20.9	-4.2	-4.6
	40	79.3 ± 20.0	-12.4	-13.5
	10	68.8 ± 18.8	-22.9	-24.9
6		49		
	120	109.3 ± 28.9		
	100	109.3 ± 25.5	0.0	0.0
	80	107.3 ± 30.6	-2.0	-1.8
	40	85.0 ± 31.0	-24.3	-22.2
	10	63.5 ± 24.4	-45.8	-41.9
12		55		
		95		
	120	62.7 ± 22.6		
	100	58.1 ± 20.1	-4.6	-7.3
	80	55.7 ± 18.6	-7.0	-11.2
	40	43.0 ± 23.4	-19.7	-31.5
18		17		
		52		
	120	27.5 ± 11.8		
	100	25.9 ± 10.3	-1.6	-6.0
	80	25.5 ± 12.3	-2.0	-7.3
	40	16.6 ± 8.4	-10.9	-39.6
	10	8.9 ± 6.5	-18.9	-67.6
	6			

1. 휘도 감소에 따른 대비감도 정점의 이동
 대비감도함수(contrast sensitivity function, CSF)에는 정

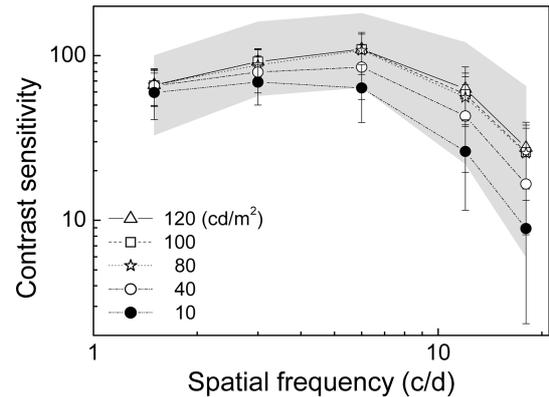


Fig. 1. Contrast sensitivity as a function of spatial frequency at various luminances.

점(peak)이 존재한다. 대비감도함수의 형태와 정점의 존재는 ① 눈렌즈(eye lens)와 망막에서 발생하는 물리적 과정으로 인한 광학적 MTF(optical modulation transfer function), ② 신경처리 과정으로 인한 측면억제과정 MTF(MTF of lateral inhibition process), ③ 광수용체의 들뜸을 발생시키는 광자수의 통계적 요동으로 인한 광자노이즈(photon noise), ④ 뇌로 전달되는 신호에서 나타나는 통계적 요동으로 인한 신경노이즈(neural noise) 등이 복합되어 나타나는 것으로 알려져 있다.^[20-22]

휘도가 감소하면 이 정점은 저공간주파수(low spatial frequency) 쪽으로 이동하는 것으로 알려져 있는데, 본 연구에서도 이러한 정점의 이동 현상이 관측되었다. Fig. 1에 따르면 구간 120~40 cd/m²에서 CSF는 6 cpd에서 정점을 갖는 전형적인 종모양(bell-shaped)을 한다.^[2] 그러나 10 cd/m²에서는 그 형태는 비슷하나 정점은 3 cpd로 이동해 있다. 즉, 대비감도 정점은 구간 40~10 cd/m² 사이에서 6 cpd에서 3 cpd로 이동한다는 사실을 알 수 있다.

대비감도함수의 정점이 저공간주파수 쪽으로 이동하는 현상은 고공간주파수일수록 휘도 변화에 민감한 광학적 MTF의 특성에 기인하는 것으로 해석할 수 있다.^[7] 이는 대비감도에 기여하는 측면억제과정 MTF가 휘도의 변화에 따라 그 함수의 모양이 변하지 않는 것과는 달리, 광학적 MTF는 휘도가 변할 때 저공간주파수에서보다 고공간주파수에 더 큰 변화를 일으키는 가우스 함수의 형태를 갖기 때문이다.^[23] 이러한 휘도의 감소에 따른 대비감도 정점의 저공간주파수 방향으로의 이동 현상은 여러 연령층의 한국인을 대상으로 한 연구에서도 관측되었다. 이 연구에서는 낮과 같은 조건(표적조명 84~88 lx)과 밤과 같은 조건(표적조명 6~7 lx)으로 구분하여 대비감도를 측정하였는데, 두 조건에서 CSF 형태는 유사하나 대비감도의 정점은 낮과 같은 조건에서 6 cpd이었다가 밤과 같은 조건에서는 3 cpd로 바뀐다고 보고하고 있다.^[17]

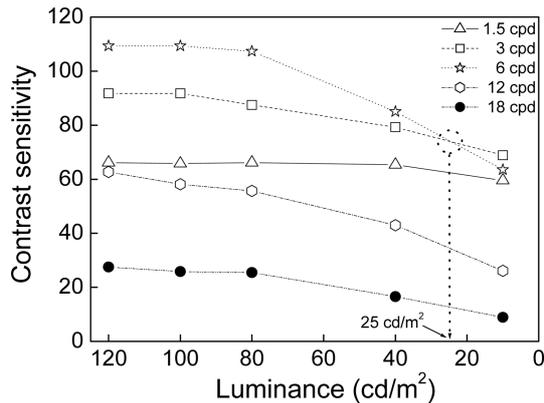


Fig. 2. Contrast sensitivity as a function of luminance at various spatial frequencies.

휘도의 감소에 따른 대비감도 정점의 이동은 가로축을 휘도, 세로축을 대비감도로 하여 나타낸 휘도에 따른 대비감도 그래프 Fig. 2에서 보다 분명히 확인할 수 있다. 그림에 표시되어 있는 점원(dot circle)에서 6 cpd와 3 cpd에 대한 두 대비감도 가상적 직선이 교차하면서 대비감도 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동하는 것을 볼 수 있다.

만일, 휘도를 연속적으로 변화시키면서 측정한다면 정확한 휘도값을 측정할 수 있겠으나 이는 매우 긴 시간을 요하는 작업일 것이다. 본 연구에서는 Fig. 2의 구간 40~10 cd/m²에서 6 cpd와 3 cpd에 대한 대비감도를 잇는 가상의 두 직선에 대한 교차점을 이용하여 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동할 때의 휘도를 근사적으로 평가하기로 하였다. 이러한 시도를 통해 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동할 때의 휘도는 근사적으로 대략 25 cd/m²이라는 사실을 밝혀낼 수 있었다.

2. 휘도의 감소에 따른 대비감도 손실

1) 휘도 감소에 따른 대비감도 손실 비교

CSF의 결과를 보여주는 Fig. 1 및 Table 2에 따르면 휘도가 120 cd/m²에서 80 cd/m²까지 감소할 때 각 공간주파수에서의 대비감도 손실은 그리 크지 않은 것으로 관측된다. 한편, 휘도 40 cd/m²에서는 저공간주파수에서보다 고공간주파수에서의 대비감도가 큰 영향을 받는 것으로 관측된다. 휘도 10 cd/m²에서 1.5 cpd에 대한 대비감도는 120 cd/m²일 때와 비교하여 거의 감소되지 않은 것으로 관측되지만, 3 cpd에 대한 대비감도는 약간 감소한 것으로 관측된다. 그러나 6, 12, 18 cpd에 대한 대비감도는 크게 떨어져 거의 정상범위의 하한값에 근접해 있음을 알 수 있다.

이러한 결과는 주위환경이 어느 정도 어두워져도 공간주파수가 작은 1.5 cpd이나 3 cpd인 대상들은 식별하는데

큰 어려움이 없지만, 6, 12, 18 cpd인 대상들은 식별하는데 어려움이 발생하기 시작한다는 것을 의미하는 것이다. 이를 일상생활에서의 시생활과 견주어보면, 밝을 때는 큰 글씨와 작은 글씨를 모두 잘 읽을 수 있지만, 주위환경이 어느 정도 어두워지게 되면 큰 글씨는 여전히 읽을 수 있더라도 작은 글씨는 읽기 어려워진다는 것으로, 이는 우리의 경험과 일치하는 것이다.

2) 각 휘도 구간에서 대비감도가 높은 공간주파수의 순서

보다 정확한 측정을 통해서 얻어질 수 있는 값이지만, 앞서 근사적으로 평가한 25 cd/m²를 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동하는 근사적인 휘도라고 평가한다면, 휘도 120~25 cd/m² 범위에서는 6 cpd에서의 대비감도가 가장 높고 3 cpd에서의 대비감도가 두 번째로 높지만, 휘도 25~10 cd/m² 범위에서는 순서가 바뀌어 3 cpd에서의 대비감도가 가장 높고 6 cpd에서의 대비감도가 두 번째로 높다. 즉, 대비감도가 높은 공간주파수의 순서는 다음과 같다.

$$120 \sim 25 \text{ cd/m}^2: 18 < 12 < 1.5 < 3 < 6 \text{ cpd}$$

$$25 \sim 10 \text{ cd/m}^2: 18 < 12 < 1.5 < 6 < 3 \text{ cpd}$$

이는 근사적으로 25 cd/m² 이상의 휘도에서는 공간주파수가 6 cpd 정도인 대상을 식별하기가 가장 쉽지만, 휘도가 25 cd/m² 이하로 떨어지면 공간주파수 6 cpd 정도인 대상보다는 그 간격이 2배 정도 넓은 공간주파수 3 cpd 정도인 대상이 식별하기 쉽다는 것을 의미하는 것이다.

3) 휘도 감소에 따른 대비감도 감소량 및 감소율 비교

휘도의 감소에 따른 대비감도의 손실에 대한 영향을 좀 더 알아보기 위하여 120 cd/m²에서의 대비감도를 기준으로 한 대비감도 감소량(decrement)과 이 대비감도 감소량을 120 cd/m²에서의 대비감도로 나눈 대비감도 감소율(decrement rate, %)을 각각 정의하여 비교해보았다. 그 결과를 Table 2의 4열과 5열, 그리고 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다. 이로부터 다음과 같은 사실도 알아낼 수 있었다.

Fig. 3에 따르면 1.5 cpd에 대한 대비감도는 구간 120~40 cd/m² 사이에서 감소량이 -0.8 cd/m²로 거의 변하지 않다가, 40 cd/m²에서 10 cd/m²로 떨어질 때는 감소량이 두드러진다. 그렇다하더라도 그 양은 다른 공간주파수에 대한 대비감도 감소량에 비하면 상당히 적은 편이다. 이는 어느 정도로 휘도가 감소되더라도 저공간주파수를 갖는 대상을 식별하는 데 어려움이 없다는 뜻과 같다.

두 휘도 120 cd/m² 일 때와 10 cd/m² 일 때의 대비감도 감소량을 비교해보면 6 cpd에서의 대비감도 감소량(-45.8 cd/m²)이 가장 크고 1.5 cpd에서의 대비감도 감소량(-6.7

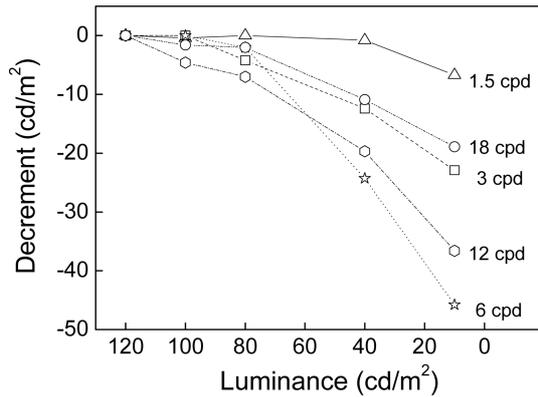


Fig. 3. Decrement of contrast sensitivity as a function of luminance at various spatial frequencies.

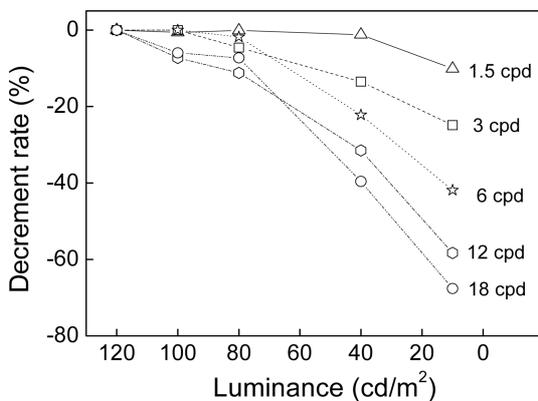


Fig. 4. Decrement rate of contrast sensitivity as a function of luminance at various spatial frequencies.

cd/m²)이 가장 적다. 이를 순서대로 나열하면 다음과 같다 (Table 2의 4열, Fig. 3).

$$1.5 < 18 < 3 < 12 < 6 \text{ (cpd)} \quad (A)$$

하지만, 휘도 120 cd/m² 일 때와 10 cd/m² 일 때에서의 대비감도 감소율을 비교해보면, 18 cpd에서의 대비감도 감소율(-67.6%)이 가장 크고, 1.5 cpd에서의 대비감도 감소율(-10.1%)이 가장 적은 것으로 나타났다. 대비감도 감소율을 순서대로 나열하면 다음과 같이 공간주파수가 크면 클수록 그 영향이 크다는 사실을 알 수 있다. 즉, 대비감도 감소율은 공간주파수에 의존하고 있음을 알 수 있다 (Table 2의 5열, Fig. 4).

$$1.5 < 3 < 6 < 12 < 18 \text{ (cpd)} \quad (B)$$

결국, 대비감도의 감소량 (A)와 감소율 (B)를 비교해보면 절대적인 양인 대비감도의 차에 해당하는 대비감도 감소량은 6 cpd에서 가장 크지만, 상대적양인 대비감도의 감소율을 비교해보면 18 cpd에서 가장 크다는 것을 알 수 있다. 이는 비록 대비감도의 감소량이 (A)와 같더라도 각 공간주파수에서의 대비감도가 다르기 때문에 비록 적

은 감소량을 보인 18 cpd에서의 감소율이 가장 크므로, 이러한 관점에서는 고공간주파수일수록 휘도의 변화에 보다 더 민감하다고 해석할 수 있겠다.

결론

일상생활에서는 실질적인 시기능의 평가도구로서, 그리고 임상에서는 각종 안질환이나 이를 유발시키는 관련 질병의 진단을 위한 선별검사의 도구로서 널리 활용되고 있는 공간대비감도함수를 우리나라 20대의 젊은이들을 대상으로 명소시 범위에서의 여러 휘도 하에서 측정하였고, 그 결과로서 시기능의 중요한 정보를 제공해주는 대비감도의 정점에 대한 이동과 각 휘도 구간에서의 대비감도의 고저에 따른 공간주파수의 순위를 도출할 수 있었다.

실제로 보다 완전한 연구의 수행을 위해서는 다양한 공간주파수와 대비를 연출하는 검사장비나 검사시표가 요구되지만 국내의 실정은 이를 충족시키지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 가상적인 대비감도 직선들의 교점을 이용한 근사적 평가법과 대비감도의 감소량 및 감소율 비교법을 통하여 휘도에 따른 대비감도의 변화에 대한 연구를 수행하였고, 이러한 방법이 대비감도 분석의 한 방법으로 활용될 수 있음을 제안하고자 한다.

또한, Oen 등¹⁵⁾이 지적하였다시피 대비감도는 인종, 지역, 민족 등에 따라 차이가 있으므로 국내에서도 한국인의 실정에 맞는 대비감도의 기준에 대한 연구 또한 수행되어야 하며, 이를 위해서는 국내에서도 자체 제작된 대비감도 검사시표나 이와 관련된 도구에 대한 연구 및 개발도 활성화되어야 할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- [1] Owsley C. Contrast sensitivity. *Ophthalmol Clin N Am.* 2003;16(2):171-177.
- [2] Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *British J Ophthalmology.* 1978;62(4):198-209.
- [3] Moon P, Spencer DE. On the Stiles-Crawford effect. *J Opt Soc Am.* 1944;34(6):319-329.
- [4] Jacobs, DH. The Stiles-Crawford effect and the design of telescopes. *J Opt Soc Am.* 1944;34(11):694-694.
- [5] Kim YG. A Model of Pupil's Change with Luminance. *J Korean Oph Opt Soc.* 1996;1(2):7-11.
- [6] Rabin J. Luminance effects on visual acuity and small letter contrast sensitivity. *Optom Vis Sci.* 1994;71(11):685-688.
- [7] Losada MA, Navarro R, Santamara J. Relative contributions of optical and neural limitations to human contrast sensitivity at different luminance levels. *Vis Res.* 1993;

- 33(16):2321-2336.
- [8] Richards OW. Effects of luminance and contrast on visual acuity, ages 16 to 90 years. *Am J Optom Physiol Opt.* 1977;54(3):178-184.
- [9] Tobimatsu S, Akazawa K, Kurita-Tashima S, Nakayama-Hiromatsu M, Kato M. Age-related changes in pattern visual evoked potentials: differential effects of luminance, contrast and check size. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1993;88(1):12-19.
- [10] Moon CH. Enhancement of the bright room contrast ratio in a plasma display panel. *J Korean Vacuum Soc.* 2010;19(1):28-35.
- [11] Kim ES. Brightness Function for visual contrast and gamma of display. *J Korean Soc Color Studies.* 2009; 23(1):59-67.
- [12] Cho KM, Kim JH, Namgoong JN, Kim HS. Image quality evaluation of CRT displays using SQRI method. *Hankook Kwanghak Hoeji.* 2000;11(2):85-90.
- [13] Lee KH. Optimization of design and manufacture of screen to improve brightness and contrast for CRT. Master Thesis. Kyungpook National University, Daegu, 2003; 25-6.
- [14] Ginsburg AP. A new contrast sensitivity vision test chart. *Am J Optom Physiol Opt.* 1984;61(6):403-407.
- [15] Scharre JE, Cotter SA, Block SS, Kelly SA. Normative contrast sensitivity data for young children. *Optom Vis Sci.* 1990;67(11):826-832.
- [16] Oen FT, Lim TH, Chung MP. Contrast sensitivity in a large adult population. *Ann Acad Med Singapore.* 1994; 23(3):322-326.
- [17] You YC, Choi TH, Lee HB. Normal contrast sensitivity for various ages. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2003;44(1): 150-156.
- [18] Brown B, Garner LF. Effects of luminance on contrast sensitivity in senile macular degeneration, *Am J Optom Physiol Opt.* 1983;60(9):788-793.
- [19] Functional Acuity Contrast Test: Instruction Manual. Stereo Optical Company, INC. Chicago, 2006:16.
- [20] Bracewell R. The Fourier transform and its applications, 1st Ed. New York: McGraw-Hill, 1965;35-66.
- [21] Field DJ. Relations between the statistics of natural images and the response properties of cortical cells. *J Opt Soc of Am A.* 1987;4(12):2379-2394.
- [22] Vries HL. The quantum character of light and its bearing upon threshold of vision, the differential sensitivity and visual acuity of the eye. *Physica.* 1943;10(7):553-564.
- [23] Bracewell R. The Fourier transform and its applications, 1st Ed. New York: McGraw-Hill, 1965;168-173.

Changes of Contrast Sensitivity with Decreasing Luminance in Photopic Conditions

Eun Jin Lee¹, Moon Joo Yoon¹, Soo-Hyun Kim¹, Gye Tak Yang², Ju-Hyun Jeong¹,
Hyun Jung Kim¹, Hyun il Kim¹, and Eun Jung Choi^{1,*}

¹Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 302-718, Korea

²Dept. of Information Security, Konyang University, Nonsan 320-711, Korea

(Received October 10, 2012; Revised December 6, 2012; Accepted December 15, 2012)

Purpose: To investigate changes of contrast sensitivity with decreasing luminance in photopic conditions. **Methods:** Contrast sensitivities for 63 university students were investigated at 5 different luminance levels using FACT chart. **Results:** All contrast sensitivities measured were in the normal range. The peak of contrast sensitivity function was observed to move from 6 to 3 cpd between 40 and 10 cd/m². From an intersection point of two hypothetical lines related with contrast sensitivity for 6 and 3 cpd, we could evaluate that the peak moved from 6 to 3 cpd at about 25 cd/m². When luminance decreases from 120 to 10 cd/m², contrast sensitivity loss at 6 cpd was most, while contrast sensitivity at 1.5 cpd changed little. We could evaluate that at luminance of more than 25 cd/m² evaluated approximately, contrast sensitivity was high in the following order of spatial frequency: 18 < 12 < 1.5 < 3 < 6 cpd, while at luminance of less than about 25 cd/m² as follows: 18 < 12 < 1.5 < 6 < 3 cpd. Contrast sensitivity losses with decreasing luminance were also evaluated using the decrements and decrement rates of contrast sensitivity. The decrement of contrast sensitivity was the greatest at 6 cpd, while the decrement rate was the greatest at 8 cpd. **Conclusions:** We propose that evaluation methods used in this research may be available as another methods to evaluate the changes of contrast sensitivity.

Key words: Luminance, Contrast sensitivity, Peak, Spatial frequency