

확산적 흐림의 투과율이 시력과 대비감도에 미치는 영향

양석준, 최은정*

건양대학교 안경광학과, 대전 35365

투고일(2015년 8월 3일), 수정일(2015년 8월 31일), 게재확정일(2015년 9월 7일)

목적: 확산적 흐림의 투과율이 시력과 대비감도에 미치는 영향에 대하여 알아보았다. **방법:** 평균연령 22.83±0.50세의 대학생 30명(남 13명, 여 17명)을 대상으로 Optec® 6500으로 시력과 대비감도를 측정하였다. 확산적 흐림의 도구로 백내장 시뮬레이터용 확산필름을 사용하였고, 백내장의 진행 정도나 안개의 농도가 반영될 수 있도록 확산적 흐림의 투과율을 변화시키면서 측정하였다. **결과:** 시력과 확산적 흐림의 투과율은 비례식 $VA(T)=1.84 \times 10^{-2}T-0.65$ 으로 맞추어졌다. 대비감도는 모든 공간주파수에서 감소하였는데, 고공간주파수 대역에서의 대비감도가 더 큰 영향을 받아 정상범위를 먼저 벗어났고 대비감도의 정점은 저공간주파수 방향으로 이동하였다. 대비감도함수들의 교차점으로부터 대비감도가 정상범위를 벗어나는 확산적 흐림의 투과율 및 정점공간주파수의 이동을 산출한 결과, 투과율이 약 78.70%이 되면 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동하는 것으로, 그리고 약 69.71%이 되면 모든 공간주파수에서의 대비감도가 정상범위를 벗어나는 것으로 평가되었다. **결론:** 확산적 흐림의 투과율의 감소는 시력의 저하와 더불어 대비감도의 감소, 정상범위의 이탈 및 정점대비감도 이동 등을 유발시켜 시각적 불편함을 일으킨다는 점에서 백내장이나 안개 운전 시에는 더 많은 주의가 요구된다.

주제어: 확산적 흐림, 백내장 시뮬레이터, 투과율, 시력, 대비감도

서 론

미교정된 굴절이상, 부적절한 굴절교정, 백내장, 안개 등의 상황에서는 시력이 떨어지고 대비감도가 감소하는 등 시각적 능력이 저하되는 것으로 알려져 있다.^[1] 이러한 현상들은 망막이나 신경과 관련된 문제가 아닌 렌즈(각막, 수정체)나 빛을 전달하는 매체와 관련된 광학적 문제로부터 야기되는데, 미교정된 굴절이상이나 부적절한 굴절교정 등과 같은 경우를 광학적 흐림(dioptic blur)이라 하며, 백내장이나 안개 등과 같은 경우를 확산적 흐림(diffusive blur)이라 한다.^[2] 이러한 경우들은 일상생활에서 흔히 접할 수 있지만 피검자 모집이나 다양한 변인의 일관성 있는 통제가 어렵다는 점에서 임상적으로 만족할 만한 실험 결과를 얻기가 쉽지 않기 때문에 그 상황을 모사해줄 수 있는 인위적 흐림을 유발시켜 시각적 능력을 평가하는 방법들이 시도되어 왔다.^[3-8]

광학적 흐림을 유발시켜 시기능을 조사하는 방법으로 운무법을 들 수 있다.^[3,4] 확산적 흐림은 반투명 유리나 액정윈도우(liquid crystal window) 등을 이용하여 유발시킬 수 있는데, 이러한 도구들의 광학적 특성은 백내장으로 인

한 수정체 혼탁이나 안개 등의 광학적 특성과 유사하다고 알려져 있다.^[5] Herse와 Bedell^[6]은 인위적으로 유발된 확산적 흐림, 광학적 흐림, 망막 편심 등의 비교 연구에서 확산적 흐림을 유발시켰을 때는 문자시표와 격자시표, 두 경우 모두에서 대비감도가 유사하게 감소하지만, 광학적 흐림과 망막편심을 유발시켰을 때는 격자시표를 사용했을 때보다 문자시표를 사용했을 때 대비감도가 더 많이 감소한다고 보고하였다. 또한 액정윈도우는 유용한 셔터 및 휘도 필터의 역할을 하므로 백내장과 관련된 유용한 모델을 제공해줄 수 있다고도 제안하였다.^[6] Vivekananda-Schmidt 등^[7]은 정상인에게 확산적 흐림을 유발시켜 건물 내에서의 보행을 관찰한 후, 시기능에 문제가 있는 환자의 안전에 있어서 건물 내부의 디자인이 중요하다는 점을 알렸다. Bedell 등^[8]은 확산적 흐림과 광학적 흐림의 상태에서 문자시력과 버니어 시력을 측정하고, 두 시력은 동일한 양상을 보이면서 저하된다고 보고하였다. Han 등^[5]은 확산적 흐림이 대비감도와 광도의 저하를 유발시켜 시력저하를 일으킨다는 점과 그 특성이 백내장의 수정체와 유사한 광학적 특성을 띤다는 점에 주목하였다. 그리고 액정윈도우에 의한 확산적 흐림이 주변부 시력에서는 두 시표 간에

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

차이를 일으키지 않으나 중심시력에서는 스넬렌 시력표에서 유의한 과측정치가 발생하며 백내장 환자에게 있어서는 줄무늬 시력표를 사용할 때와 스넬렌 시력표를 사용할 때 유의한 차이가 나타난다고 보고하였다. 특히 백내장 질환이나 안개 등과 같은 확산적 흐림은 시기능에 영향을 미쳐 안전운전 등에 위협적인 요인이 된다는 보고도 다수 있다.^[9,10]

이처럼 확산적 흐림과 관련된 시력 및 대비감도 연구는 여러 연구자들에 의해 꾸준히 수행되어 왔다. 하지만 확산적 흐림에 있어서 시기능의 중요한 정보를 제공해주는 대비감도의 정상범위 이탈이나 정점이동 현상 등에 대한 연구는 전무한 상태이다. 본 연구의 목적은 확산적 흐림의 질기 즉, 확산적 흐림의 투과율이 감소하는 과정에서 대비감도에 어떠한 변화가 나타나는지를 정상범위 이탈과 정점이동 현상을 중심으로 조사하는데 있다.

이러한 연구의 수행을 위해 백내장 환자들이 겪는 시각적 어려움을 정상인들이 체험해 볼 수 있도록 고안된 백내장 시뮬레이터용 확산필름을 이용하여 여러 투과율의 확산적 흐림을 유발시킨 후, 각 투과율에서 시력과 대비감도를 측정하였다. 확산적 흐림의 투과율은 백내장의 진행 정도, 혹은 안개의 질기에 해당하는 안개의 농도를 반영할 수 있는 변수라는 점에서 본 연구는 백내장의 진행 정도, 혹은 안개의 농도에 따른 시력 및 대비감도의 변화에 대한 연구의 기초자료로 활용될 수 있으리라 사료된다.

대상 및 방법

연구에 참여한 대상자들은 평균연령 22.83 ± 0.50 의 대학생 30명(남 13명, 여 17명)으로 전신질환, 안질환, 굴절이상 수술, 기타 안과 관련 수술 경험이 없고, 대비인지(contrast perception)에 영향을 미치는 녹내장, 건성안, 망막 병리적 문제 등이 없는 자들로 선별하였다. 단안교정시력은 0.9이상, 양안교정시력은 1.0이상이었으며, 원용교정굴절력은 구면굴절력 S0.00 D~S-6.00 D, 원주굴절력 C-2.00 D 이내이며, 양안의 굴절력 차이는 구면굴절력 2.00 D 이내이었다. 굴절이상의 교정 시 조절마비제를 사용하지 않았으며, 자동굴절력계(Natural vision-k 5001, Shinnipon, Japan)를 이용한 타각적 굴절검사 후, 포롭터를 이용한 자각적 굴절검사를 실시하여 완전교정값(full correction)을 구하였다.

확산적 흐림의 유발을 위한 도구로는 정상인들이 다양한 안과적 질환을 체험해 볼 수 있도록 고안된 저시력 시뮬레이터(low vision simulators, Fork in the Road, USA)의 한 구성품인 백내장 시뮬레이터(cataract simulator, Fig. 1)용 확산필름을 이용하였다. 확산적 흐림에 대한 정량적인 지표는 확산필름의 투과율로 대표하였다. 시력과 대비감



Fig. 1. Low vision simulators (<http://www.lowvisionsimulators.com>)

도 측정에는 Optec[®] 6500(Stereo Optical Co., Inc., USA)을 사용하였다. 사용된 시력표는 Optec[®] 6500에 내장된 원거리 시력표(No. 2000-042)와 사인파 격자(sine-wave grating)를 이용한 대비감도 시표인 FACT(Functional Acuity Contrast Test) 시표이다.^[11] 측정된 시력은 분수시력으로 원거리 시력표에 따른 시력환산표를 이용하여 소수시력으로 환산하였다. 검사순서는 매뉴얼에 따라 낮은 공간주파수에서부터 시작하였고, 시표의 암기를 최소화하기 위하여 저대비에서 고대비의 순으로 읽도록 하였다.^[12] 대비감도 시표의 패치(patch)는 기울어진 3가지 방향 중 하나의 방향을 답하도록 하였으며, 만일 첫 번째로 오답을 말하게 되면 3교대 강제선택법(three-alternative forced-choice method)을 멈추고 최종적으로 올바르게 응답한 패치의 대비감도 값을 기록하였다.^[13] 피검자가 가장 낮은 대비의 시표를 구별하지 못한 경우는 대비감도가 과대평가되는 것을 방지하기 위하여 대상자에서 제외시켰다.^[14] 한 확산적 흐림의 투과율에서 검사를 끝낸 후, 그 다음 투과율에서의 검사가 수행될 때까지는 30분 이상의 충분한 휴식시간이 주어졌다. 확산필름의 분광투과율은 분광광도계(UV-2450, Shimadzu, Japan)로 가시광선 범위(380~780 nm)에서 5 nm 간격으로 측정하였다.^[15]

결과 및 고찰

1. 확산필름의 광학적 특성

백내장 시뮬레이터에 장입되어 있는 확산필름을 꺼내어 최대 9장까지 겹쳐서 측정한 가시광선 영역(380~780 nm)에서의 파장에 따른 분광투과율(spectral transmittance)을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 파장에 따른 분광투과율의 전반적인 경향을 살펴보면 장파장 대역에서는 비교적 일정한 값을 유지하다가 단파장 대역으로 갈수록 서서히 감소하는 추세를 보이고 있다. 확산필름은 흰색을 띠고 있는데, 이는 백내장 현상을 모사하도록 처리된 확산필름의 표면으로부터 모든 파장의 빛이 산란되기 때문이다.

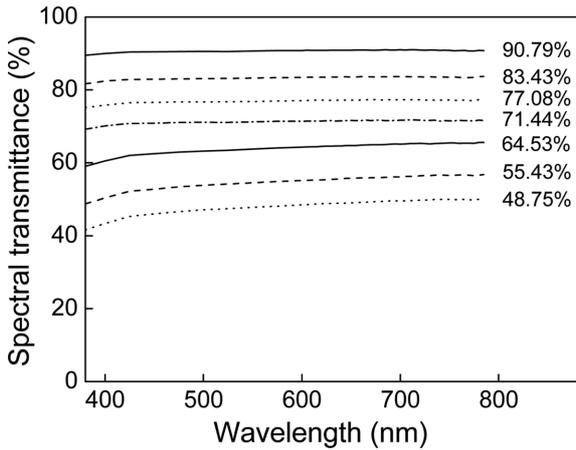


Fig. 2. Spectral transmittance of diffusion films contained in cataract simulator.

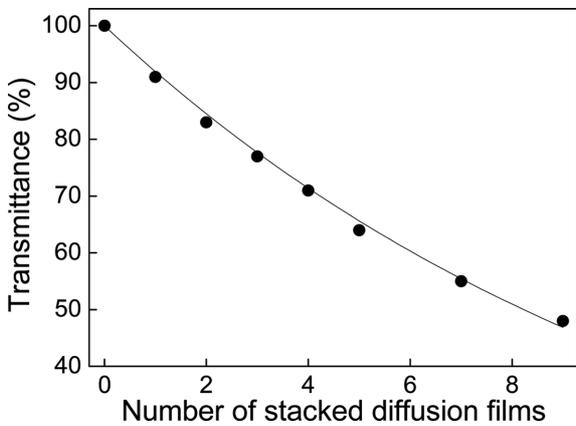


Fig. 3. The relationship between transmittance and the number of stacked diffusion films.

Fig. 2의 각 분광투과율 곡선 우측에 분광투과율로부터 산출한 투과율(transmittance)도 제시하였다.^[16] 이에 따르면 확산필름 1장에 대한 투과율은 90.79%이었고, 2장은 83.43%, 3장은 77.08%, 4장은 71.44%, 5장은 64.53%, 7장은 55.43%, 그리고 9장은 48.75%이었다. 겹쳐진 확산필름 개수와 측정된 투과율 사이의 관계를 Fig. 3에 ●으로 나타내었다. 분광광도학에 따르면 투과율 T 인 확산필름을 연속적으로 n 장 겹쳤을 때 최종투과율 T_{total} 은

$$T_{total} = T \cdot T \cdot \dots \cdot T = T^n \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다.^[17] 따라서 식 (1)을 맞춤곡선(fitting curve)으로 하여 확산필름의 개수와 투과율 사이의 관계를 맞춤하면 확산필름 1장에 대한 평균 투과율을 구할 수 있다. 최소자승법(least square method)을 이용하여 맞춤하였고, 그 결과 확산필름 1장의 평균 투과율이 91.92%임을 알 수 있었다.

2. 확산적 흐림에 따른 시력의 변화

여러 확산적 흐림의 투과율에서 측정된 원거리 시력의 평균을 Table 1의 2열에 나타내었다. Table에서 투과율 100%란 확산적 흐림을 유발시키지 않은 상태 즉, 확산필름을 장용하지 않았을 때의 상태를 말한다. 확산적 흐림을 유발시키지 않았을 때(투과율 100%)의 시력은 1.16 ± 0.21 , 확산필름을 1장 장용하였을 때(투과율 90.79%)는 1.05 ± 0.19 로 측정되었다. 시력은 확산적 흐림의 투과율이 떨어짐에 따라 감소하여 확산필름을 9장 장용하였을 때

Table 1. Visual acuity values and contrast sensitivity values in different transmittances using diffusion films

Transmittance (%)	Visual acuity (Mean±SD)	Contrast sensitivity (Mean±SD)				
		1.5 cpd	3 cpd	6 cpd	12 cpd	18 cpd
100	1.16±0.21	55.73±18.89	90.93±34.68	119.33±47.04	50.30±25.58	23.13±12.53
90.79	1.05±0.19	49.07±22.07	73.03±31.83	80.70±37.46	31.17±16.76	14.17±6.03
83.43	0.94±0.21	43.33±18.94	70.80±31.18	82.17±42.04	24.77±15.21	11.17±6.60
77.08	0.75±0.20	37.93±12.44	55.93±26.90	52.03±33.83	11.50±6.72	4.80±4.54
71.44	0.67±0.22	34.60±12.92	47.47±30.21	34.63±14.87	8.04±5.50	2.37±2.91
64.53	0.54±0.12	28.20±12.56	36.27±28.29	20.67±12.04	1.53±3.54	0.44±1.22
55.43	0.37±0.14	22.00±13.83	20.67±16.38	6.83±10.06	1.02±2.67	0.41±1.80
48.75	0.25±0.07	13.52±11.89	10.87±15.05	1.52±4.49	0.93±2.83	0.00±0.00

Table 2. High normal values and low normal values in normal range of contrast sensitivity for normal population in photopic condition

Spatial frequency (cpd)		1.5	3	6	12	18
Normal range	High normal value	90	129	142	95	52
	Low normal value	33	49	55	17	6

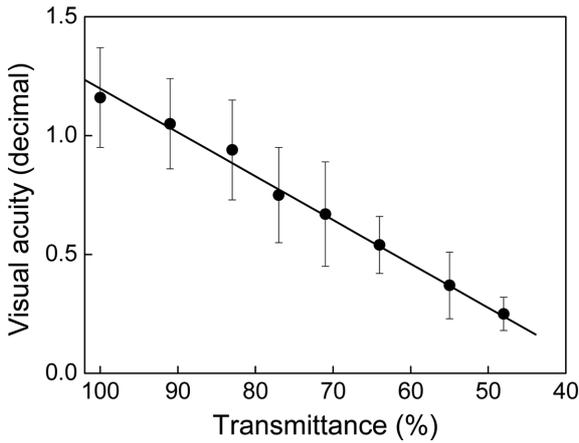


Fig. 4. The relationship between visual acuity and transmittance in diffusive blur induced by diffusion films.

(투과율 48.75%)는 0.25 ± 0.07 까지 떨어졌다.

각 투과율에서 측정된 시력의 값을 Fig. 4에 ●으로 나타내었다. 그림에 따르면 시력은 투과율에 따라 비례하여 감소하는 것으로 보인다. 이에 시험곡선(trial curve)으로 선형함수로 택하고 최소자승법(least square method)을 이용하여 확산적 흐림의 투과율과 시력 사이에 성립하는 정량적인 관계를 맞추어왔다. 그 결과 확산적 흐림의 투과율 T 과 시력 VA 사이에는 식 (1)과 같은 선형적 관계가 성립된다는 결과를 얻을 수 있었다.

$$VA(T) = 1.84 \times 10^{-2}T - 0.65 \quad (1)$$

이러한 확산적 흐림의 투과율과 시력 사이의 비례관계는 Han 등¹⁵⁾의 연구에서도 찾아볼 수 있다. 이들은 확산적 흐림이 중심 및 주변부 시력에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하면서 확산적 흐림을 유발시키는 도구로서 투과율 가변 액정윈도우(liquid crystal window)를 사용하였다. 이때 액정윈도우에 인가되는 전압으로 투과율을 조절하였고, 시력은 시표의 공간주파수로 나타내었다. 이러한 비례관계는 광학적 흐림에서 나타나는 시험렌즈의 굴절력과 시력 사이에 성립하는 지수함수적 혹은 자연대수적 관계와 비교되는 것이다.¹¹⁾

임상적으로 볼 때 백내장 환자의 수정체를 적출한다고 해도 투과율을 측정하기는 어려운 일이다. 따라서 백내장을 모사하는 확산필름의 투과율과 시력 사이의 관계를 나타내는 식 (1)은 백내장 수정체에 대한 근사적인 투과율을 유추할 수 있는 수단이 될 수 있을 것으로 사료된다.

3. 확산적 흐림에 따른 대비감도의 변화

1) 대비감도의 감소

여러 확산적 흐림의 투과율에서 측정된 대비감도의 평균을 Table 1의 3~7열에 나타내었다. Fig. 5는 Table 1의

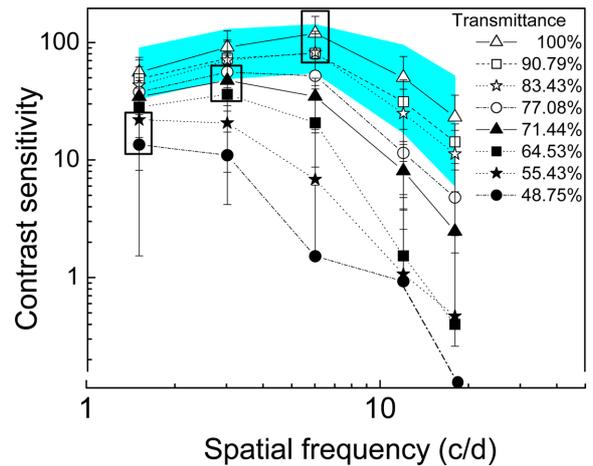


Fig. 5. The effect of induced diffusive blur on the CSF (Contrast Sensitivity Function). Shaded region shows the contrast sensitivity of 90% normal population. Rectangles (□) show the position of the peak of contrast sensitivity at each spatial frequency.

결과를 로그눈금으로 나타낸 것이다. Fig. 5에서 음영으로 표시된 영역은 평소시 정상인에 대한 대비감도의 정상범위(normal range)를 나타낸다. 여기서 정상범위란 Ginsberg 등¹⁸⁾의 연구결과를 바탕으로 Optec® 6500의 제조사인 Stereo Optical Co., Inc.사에서 제시한 것으로서 정상인의 90%가 속하는 대비감도의 범위를 말한다. 이 정상범위에 대한 각 공간주파수별 상한값과 하한값을 Table 2에 제시하였다.^{19,20)} Table 1에서 음영으로 표시된 부분의 대비감도 값은 정상범위에 속하는 값들이다.

Table 1의 3~7열에서 대비감도가 가장 큰 값을 갖는 경우는 투과율 100% 즉, 확산적 흐림이 유발되지 않았을 때이다. 이 경우 각 공간주파수별 대비감도는 1.5 cpd: 55.73 ± 18.89 , 3 cpd: 90.93 ± 34.68 , 6 cpd: 119.33 ± 47.04 , 12 cpd: 50.30 ± 25.58 , 18 cpd: 23.13 ± 12.53 이다. 확산적 흐림의 투과율이 감소함에 따라 대비감도는 감소하였는데, 대비감도가 가장 낮게 측정된 단계는 투과율 48.75%일 때 즉, 확산필름이 9장 겹쳐진 경우이었다. 이때 각 공간주파수에서의 대비감도는 1.5 cpd: 13.52 ± 11.89 , 3 cpd: 10.87 ± 15.05 , 6 cpd: 1.52 ± 4.49 , 12 cpd: 0.93 ± 2.83 , 18 cpd: 0.00 ± 0.00 이다.

이상으로부터 확산적 흐림이 유발되면 모든 공간주파수에서 대비감도가 감소된다는 결과를 얻을 수 있다. 이러한 대비감도의 감소는 휘도의 변화나 광학적 흐림 등에서도 나타나는 현상이다.^{11), 19)}

2) 정상범위의 이탈

Table 1과 Fig. 5에서 음영으로 나타낸 부분은 정상범위를 나타낸다. 이를 근거로 투과율 100%, 90.79%, 83.43%

일 때는 모든 공간주파수 1.5 cpd, 3 cpd, 6 cpd, 12 cpd, 18 cpd에서 대비감도가 정상범위에 속해 있음을 알 수 있다(Table 1에서 음영으로 표시되어 있는 부분). 하지만 투과율 77.08%일 때는 1.5 cpd, 3 cpd의 두 경우에만 정상범위 내에 있고, 6 cpd, 12 cpd, 18 cpd의 경우에는 정상범위를 벗어나 있다. 투과율 71.44%일 때는 1.5 cpd에서만 정상범위 내에 있고, 나머지 공간주파수 3 cpd, 6 cpd, 12 cpd, 18 cpd에 대해서는 모두 정상범위를 벗어나 있다. 투과율 64.53%, 55.43%, 48.75%일 때는 모든 공간주파수에 대해서 정상범위를 벗어나 있다.

이상을 정리하면 확산적 흐림이 유발되면 각 공간주파수별로 대비감도가 감소되는 정도는 다르며, 이 때문에 각 공간주파수별로 정상범위를 벗어나는 투과율이 달라진다고 할 수 있다.

이제 확산적 흐림이 유발될 때 각 공간주파수별로 대비감도가 정상범위를 벗어나는 투과율을 정량적으로 분석하도록 한다. 이를 정확히 알아보기 위해서는 다양한 대비를 연출하는 검사장비 및 세분화된 간격의 투과율 하에서의 검사가 필요하다. 하지만 이러한 연구에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대비감도함수들의 교차점 계산을 이용한 근사적 분석방법을 이용하여 각 공간주파수별로 정상범위를 벗어나는 투과율을 아래와 같이 근사적으로 평가하였다.^[19]

예를 들어, 공간주파수 6 cpd의 경우, 대비감도가 정상범위를 벗어나는 투과율은 다음과 같이 구할 수 있다. 즉, Table 1로부터 대비감도를 벗어나기 직전과 직후의 투과율 및 대비감도 측정값을 좌표(투과율, 대비감도)으로 나타내면, 정상범위를 벗어나기 직전의 좌표는(83.43, 82.17), 정상범위를 벗어난 직후의 좌표는(77.08, 52.03)으로 쓸 수 있다. 따라서 이 두 좌표를 지나는 직선방정식을 구한 후, 이 직선방정식에 6 cpd에서의 대비감도 정상범위의 하한값인 55를 대입하면 대비감도가 정상범위를 벗어나는 확산적 흐림의 투과율을 구할 수 있다. 이와 같은 가상적인 대비감도 직선들의 교차점 계산을 이용한 근사적 평가를 실시한 결과, 6 cpd에서 정상범위를 벗어나는 확산적 흐림의 투과율은 근사적으로 77.71%임을 알 수 있었다. 마찬가지로 방법으로 각 공간주파수별로 대비감도가 정상범위를 벗어나는 확산적 흐림의 투과율을 구하면 1.5 cpd: 69.71%, 3 cpd: 72.46%, 6 cpd: 77.71%, 12 cpd: 79.70%, 18 cpd: 78.28%라는 결과를 얻을 수 있었다. 투과율이 높은 순으로부터 나열하면 다음과 같다.

$$12 \text{ cpd} > 18 \text{ cpd} > 6 \text{ cpd} > 3 \text{ cpd} > 1.5 \text{ cpd} \\ (79.70\%) > (78.28\%) > (77.71\%) > (72.46\%) > (69.71\%) \quad (2)$$

이에 따르면 고공간주파수에 해당하는 18 cpd, 12 cpd

에서의 대비감도가 정상범위를 먼저 벗어나고, 그 다음 중간 공간주파수에 해당하는 6 cpd에서의 대비감도가 정상범위를 벗어나며, 마지막으로 저공간주파수에 해당하는 3 cpd, 1.5 cpd에서의 대비감도가 정상범위를 벗어남을 알 수 있다. 즉, 확산적 흐림이 유발되면 고공간주파수에서의 대비감도가 저공간주파수에서의 대비감도보다 크게 영향을 받는다. 이러한 사실은 눈렌즈(eye lens)에서 발생하는 물리적 과정으로 인한 광학적 MTF(optical modulation transfer function)에 기인하는 것으로 설명될 수 있다.^[21]

3) 정점공간주파수의 이동

Barten의 시각계 내부잡음에 기초한 눈의 공간대비감도(spatial contrast sensitivity of the eye based on internal noise in the visual system) 모델에 따르면 명소시 대비감도함수(contrast sensitivity function, CSF)의 형태(shape)는 6 cpd에서 정점(peak) 즉, 최댓값(maximum)을 갖는 전형적인 종모양(bell-shaped)을 한다.^[22] 이러한 정점의 존재는 동일한 휘도(luminance)의 차를 갖는 다양한 공간주파수의 패턴이 있다면 우리의 눈은 공간주파수 6 cpd인 패턴을 가장 잘 식별할 수 있음 의미한다.^[19] 하지만 CSF의 전반적인 형태와 정점공간주파수 f_p 는 굴절이상이나 안과적 질환이 있을 때 저공간주파수 방향으로 이동한다고 알려져 있다.^[23-26] 여기서 정점공간주파수 f_p 란 대비감도가 정점(최댓값)을 가질 때의 공간주파수를 말한다.

대비감도의 정점이 고공간주파수에서 저공간주파수의 방향으로 이동하는 현상은 연령에 따른 대비감도 연구에서도 관측되었다.^[27] 이에 따르면 낮 조건과 밤 조건에서의 대비감도를 측정하였는데, 두 조건에서 모두 CSF 형태는 유사하였으나 정점은 낮 조건에서 6 cpd이었다가 밤 조건에서 3 cpd로 이동하였다. 정점공간주파수 f_p 의 이동은 인위적으로 유발된 광학적 흐림에서도 나타났는데, 6 cpd에서 3 cpd로의 이동은 0.50~1.00 D 사이에서 나타나는 것으로 보고되었다.^[11] CSF의 형태와 정점공간주파수 f_p 는 임상에서 각종 안질환이나 질병을 진단하기 위한 선별검사(screening test)에 널리 이용되고 있다는 점에서 시기능을 평가는 매우 중요한 지표로 활용된다.^[28]

대비감도의 정점이동 현상은 본 연구에서도 관측되고 있다. Table 1 및 Fig. 5에 따르면 투과율 100%, 90.79%, 83.43%일 때 f_p 는 6 cpd이다. 그러나 투과율 77.08%, 71.44%, 64.53%일 때는 3 cpd로 이동하며, 투과율 55.43%, 48.75%일 때는 1.5 cpd로 이동한다. Fig. 5에서 대비감도의 정점을 □으로 나타내었다.

투과율의 감소에 따른 정점공간주파수 f_p 의 이동을 시각적으로 수월하게 이해할 수 있도록 대비감도를 투과율의 함수로 나타내었다(Fig. 6). 그림을 보면 투과율에 따른 대

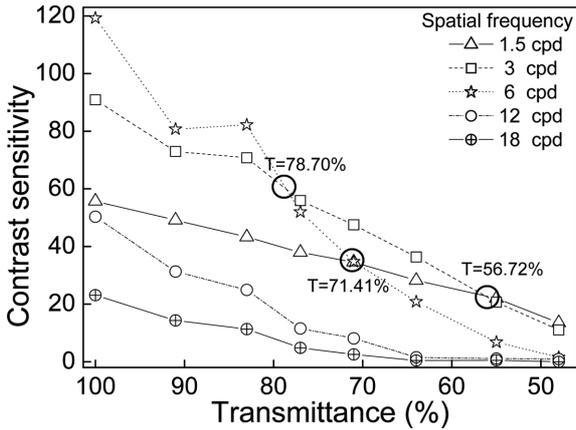


Fig. 6. The relationship between contrast sensitivity and transmittance of diffusive blur. Intersection points of two hypothetical lines related with contrast sensitivity were showed as solid circle(○).

비감도 변화의 추세 즉, 기울기는 공간주파수별로 각기 다르다는 것을 알 수 있다. 이 때문에 대비감도함수들은 서로 교차하게 된다.

Fig. 6에서 대비감도함수는 세 번 교차하는데 이러한 교차점에 ○을 표시하였다. 각 교차점에서의 투과율과 대비감도 값은 정상범위의 이탈에서 사용하였던 대비감도함수들의 교차점 계산을 이용하여 산출하였다.^[19] 계산 결과에 따르면 첫 번째 교차점에서의 투과율과 대비감도는 (78.70%, 59.73)이었고, 두 번째 교차점의 경우는 (71.41%, 34.57), 세 번째 교차점의 경우는 (56.72%, 22.88)이었다. 이 세 교차점 중에서 첫 번째 교차점은 정점이 6 cpd에서 3 cpd로, 세 번째 교차점은 정점이 3 cpd에서 1.5 cpd로 이동하는 점이다.

이상을 정리하면 확산적 흐림의 투과율이 78.70%이 되면 대비감도의 정점은 6 cpd에서 3 cpd로 이동하며, 투과율이 더 낮아져서 56.72%가 되면 대비감도의 정점은 3 cpd에서 1.5 cpd로 이동한다고 결론지을 수 있다.

지금까지 살펴본 결과를 정리하면 다음과 같다. 확산적 흐림의 투과율이 감소하면 대비감도는 감소하는데, 특히 고공간주파수에서의 대비감도가 더 큰 영향을 받아 정상범위를 먼저 벗어나면서 이와 더불어 정점이 저공간주파수 방향으로 이동한다고 결론지을 수 있다.

본 연구에서는 이러한 확산적 흐림에서의 대비감도 감소 현상을 정량적으로 분석하였으며, 그 결과 확산적 흐림의 투과율 감소에 따른 대비감도의 정상범위 이탈 및 정점공간주파수 f_p 의 이동은 아래와 같이 정리할 수 있었다.

- 79.20% : 12 cpd 대비감도 정상범위 이탈
- 78.70% : 6 cpd에서 3 cpd로 정점이동

- 78.28% : 18 cpd 대비감도 정상범위 이탈
- 77.71% : 6 cpd 대비감도 정상범위 이탈
- 72.46% : 3 cpd 대비감도 정상범위 이탈
- 71.41% : 6 cpd와 1.5 cpd 대비감도 순위 변화
- 69.71% : 1.5 cpd 대비감도 정상범위 이탈
- 56.72% : 3 cpd에서 1.5 cpd로 정점이동

결론

백내장 시뮬레이터용 확산필름을 이용하여 여러 확산적 흐림의 투과율에 따른 대비감도의 변화를 알아보았다. 확산적 흐림의 투과율이 감소하면 시력은 투과율에 비례하여 감소하였다. 대비감도 역시 감소하였는데, 저공간주파수에서의 대비감도보다 고공간주파수에서의 대비감도가 더 큰 영향을 받아 정상범위를 먼저 이탈하였으며, 대비감도의 정점은 저공간주파수 방향으로 이동하였다. 이러한 결과를 투과율과의 관계를 통해 정량적으로 분석하였으며, 그 결과 투과율이 77.71%가 되면 우리 눈의 시기능에서 가장 중요한 역할을 하는 6 cpd에서의 대비감도가 정상범위를 이탈하고, 69.71%가 되면 모든 공간주파수에서의 대비감도가 정상범위를 이탈함을 알 수 있었다. 또한, 78.70%일 때는 대비감도의 정점이 6 cpd에서 3 cpd로 이동하며, 56.72%일 때는 정점이 3 cpd에서 1.5 cpd로 이동함을 알 수 있었다.

본 연구에서 도출된 결과들은 백내장을 모사하는데 사용된 확산필름을 이용한 결과이고, 또한 근사적 방법으로 도출된 결과이기 때문에 실제 임상적 상황을 정확히 반영한다고 할 수 없을 것이다. 하지만 본 연구에서의 정량적 결과가 실제 백내장 질환이나 안개 상황에서 시기능 평가를 수행할 때 기초자료로 유용하게 쓰일 수 있기를 바라며, 보다 실질적인 상황과 검사장비를 활용한 정확한 연구의 수행 시 유용하게 활용될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- [1] Chung ST, Jarvis SH, Cheung SH. The effect of dioptric blur on reading performance. *Vision Res.* 2007;47(12): 1584-1594.
- [2] Herse PR, Bedell HE. Contrast sensitivity for letter and grating targets under various stimulus conditions. *Optom Vis Sci.* 1989;66(11):774-781.
- [3] Choi WS, Park SB. The variation of visual acuity for a artificial myopia concerned with the fogging technique. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 1996;1(2):43-47.
- [4] Shan Y, Moster ML, Roemer RA, Siegfried JB. Abnormal function of the parvocellular visual system in anisometric amblyopia. *J Pediatr Ophtholmol Strabismus.* 2000;

- 37(2):73-78.
- [5] Han SH, Chung GW, Lee JB, Lee YG. The effect of diffusion blur on central and peripheral vision in normal adults. *J Korean Ophthalmol Soc.* 1996;37(5):80-84.
- [6] Herse PR. Physical and psychophysical properties of a liquid crystal diffuser. *Optom Vis Sci.* 1990;67(7):558-561.
- [7] Vivekananda-Schmidt P, Anderson RS, Reinhardt-Rutland AH, Shields TJ. Simulated impairment of contrast sensitivity: performance and gaze behavior during locomotion through a built environment. *Optom Vis Sci.* 2004;81(11):844-852.
- [8] Bedell HE, Patel S, Chung ST. Comparison of letter and vernier acuities with dioptric and diffusive blur. *Optom Vis Sci.* 1999;76(2):115-120.
- [9] McGwin G Jr, Chapman V, Owsley C. Visual risk factors for driving difficulty among older drivers. *Accid Anal Prev.* 2000;32:735-744.
- [10] Elliott DB, Hurst MA, Weatherill J. Comparing clinical tests of visual function in cataract with the patient's perceived visual disability. *Eye.* 1990;4:712-717.
- [11] Kim CJ, Choi EJ. Effects of Induced dioptric blur on visual acuity and contrast sensitivity. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2014;19(2):261-270.
- [12] Kim CJ, Kim HJ, Kim JM. Comparison of Contrast Sensitivity at Near Between Functional Progressive Addition Lenses and Single Vision Lenses. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2010;15(4):381-388.
- [13] Hohberger B, Laemmer R, Adler W, Juenemann AG, Horn FK. Measuring contrast sensitivity in normal subjects with OPTEC 6500: influence of age and glare. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2007;245(12):1805-1814.
- [14] Larsson E, Rydberg A, Holmström G. Contrast sensitivity in 10 year old preterm and full term children: a population based study. *Br J Ophthalmol.* 2006;90(1):87-90.
- [15] Choi EJ, Lee SU, Lee EJ, Yoon MJ, Jeong JH, Kim CJ, et al. Empirical fitting curve for luminous transmittance in tinted lenses using superposition of exponential decay curves. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2011;16(3):283-291.
- [16] Choi EJ, Jeong JH, Kim HJ, Seo W, Ju YJ. Tinted-time dependence of the total spectral transmittance in CR-39 plastics color lenses. *Sae Mulli.* 2009;59(3):272-277.
- [17] Skoog DA, Leary JJ. Principles of instrumental analysis, 4th ed. New York: Saunders College Publishing, 2004; 123-127.
- [18] Ginsburg AP, Evans DW, Cannon MW Jr, Owsley C, Mulvanny P. Large-sample norms for contrast sensitivity. *Am J Optom Physiol Opt.* 1984;61(2):80-84.
- [19] Lee EJ, Yoon MJ, Kim SH, Yang GT, Jeong JH, Kim HJ, et al. Changes of contrast sensitivity with decreasing luminance in photopic conditions. *J Korean Ophthalmic Opt Soc.* 2012;17(4):411-417.
- [20] Stereo Optical. Functional Acuity Contrast Test: Instruction Manual. Chicago: Stereo Optical Company, 2006;16.
- [21] Barten PGJ. Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality. Washington: SPIE Optical Engineering Press. 1999;2-40.
- [22] Barten PGJ. Contrast sensitivity of the human eye and its effects on image quality. Washington: SPIE Optical Engineering Press. 1999;27-40.
- [23] Arden GB. The importance of measuring contrast sensitivity in cases of visual disturbance. *Br J Ophthalmol.* 1978;62(4):198-209.
- [24] Ginsburg AP. Contrast sensitivity and functional vision. *Int Ophthalmol Clin.* 2003;43(2):5-15.
- [25] 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.
- [26] Oen FT, Lim TH, Chung MP. Contrast sensitivity in a large adult population. *Ann Acad Med Singapore.* 1994; 23(3):322-326.
- [27] You YC, Choi TH, Lee HB. Normal contrast sensitivity for various ages. *J Korean Ophthalmol Soc.* 2003;44(1): 150-156.
- [28] Owsley C. Contrast sensitivity. *Ophthalmol Clin North Am.* 2003;16(2):171-177.

Effects of Transmittance of Diffusive Blur on Visual Acuity and Contrast Sensitivity

Seok-Jun Yang and Eun Jung Choi*

Dept. of Optometry, Konyang University, Daejeon 35365, Korea

(Received August 3, 2015; Revised August 31, 2015; Accepted September 7, 2015)

Purpose: To investigate the effects of the transmittance of diffusive blur on visual acuity and contrast sensitivity. **Methods:** Visual acuity and contrast sensitivity were measured by using Optec[®] 6500 in Healthy 30 subjects aged 22.83 ± 0.50 (male 13, female 17) who were recruited from university students. Cataract simulator was used as a tool for diffusive blur. Visual acuity and contrast sensitivity were measured with varying the transmittance of diffusive blur in order to simulate progression of cataract and concentration in fog. **Results:** Visual acuity was reduced proportionally with decreasing the transmittance of the diffusive blur as follows: $VA(T) = 1.84 \times 10^{-2} T - 0.645$. Contrast sensitivity was decreased in all spatial frequencies. Contrast sensitivity in a high spatial frequency band was a greater effect and was off the normal range of contrast sensitivity. The peak of contrast sensitivity was moved in the direction to low frequency. From an intersection point of contrast sensitivity function, we could calculate the transmittance of the diffusive blur being off the normal range and the shift to peak spatial frequency. The peak of contrast sensitivity function was observed to move from 6 to 3 cpd at transmittance of about 78.70%, the contrast sensitivities for all frequencies at transmittance of about 69.71% were deviated from the normal range. **Conclusions:** The transmittance of diffusive blur causes a reduction in visual acuity and contrast sensitivity, a deviation of normal range of contrast sensitivity, and a shift of peak contrast sensitivity. Therefore the more attention is required when suffering from cataracts or driving in fog.

Key words: Diffusive blur, Cataract vision simulators, Transmittance, Visual acuity, Contrast sensitivity