

$Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x$ 칼라필터를 통한 시감도 최적화 연구

김용근 · 박현주

동강대학 안경광학과

투고일(2008년 10월 30일), 수정일(2009년 2월 6일), 게재확정일(2009년 3월 6일)

목적: 시감도가 최적화된 투과필터의 칼라위치를 추정한다. **방법:** 시감도 최적화를 위한 칼라를 Y(Yellow), G(green)과 P(Red)를 이용하여 CR-39에 담그기 법으로 $Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x$ 를 제작하였다. 투과광에서 최종 비시감도의 추정방법 모델은 파장에 따른 눈의 시감도와 렌즈의 투과율 세기의 곱($P_f(\lambda)=T(\lambda)\cdot P(\lambda)$)으로 나타낸다. 400~700 nm 영역에서 투과광의 평가는 비시감도 곡선의 면적, Peak, 폭, 최고높이 값으로 평가한다. **결과:** $Y_{1-x}G_x$ 에서 $x=0.04, x=0.08, x=0.10, x=0.12, x=0.14, x=0.5$ 에서 $\beta=S_1/S_0\cdot 100$ 값은 각각 76.1, 77.9, 80.7, 81.6, 80.2, 18.6을 갖는다. $Y_{1-x}P_x$ 에서 $x=1.00, x=0.2, x=0.6, x=0.8$ 에서 $\beta=S_1/S_0\cdot 100$ 값은 각각 74.3, 74.0, 70.5, 33.0을 갖는다. 투과광의 면적과 최고높이를 평가한 결과는 $Y_{1-x}P_x$ 보다 $Y_{1-x}G_x$ 가 더 큰 값을 갖게 되어 비시감도 최적화에 접근하였다. **결론:** 비시감도 최적화는 $Y_{1-x}G_x$ 에서 $X=0.12\sim 0.14$ 의 값을 갖는다.

주제어: 시감도, 비시감도, 최종 비시감도, 시감도 평가지수, 담그기 법

서 론

파장 다르고 광 에너지와 조명 환경에 의해 인간의 눈은 감각 수용 정도가 다르게 지각된다. 이런 수용 환경에 대한 감각의 민감도의 크기를 시감도라 하며, 파장에 따라 시감도의 상대적 크기의 비로 나타낸 것이 비시감도곡선이다. 시감도는 일반 표준화하여 CIE 국제적 표준적 시감도를 정하여 사용하고 있다. 외부 조명 환경 자극 입사광의 크기에 따라 망막에서 수용된 광세기 민감성은 서로 다른 광수용체인 추상체와 간상체에서 각각 다른 방법으로 작동한다. 이런 시각 민감도 연구 분야가 스펙트럼 민감도(spectral sensitivity) 연구 분야이다. 이 분야의 연구 방법은 서로 다른 두 파장 영역의 광에 대한 상대적 역치(threshold intensity)를 이용하여 역치 값을 민감도(sensitivity)로 변환하여 절대적 파장별 민감도 또는 비시감도 [상대적 파장별 민감도 곡선(spectral sensitivity curve)]를 얻어 응용하는 연구들이다. 또한 순응된 광량의 크기에 따라 광 색소의 광흡수 스펙트럼이 서로 다른 양상을 밝힌 정밀 실험으로 노벨상을 수상한 George, Wald에 의해 이루어졌으며, 그 내용은 망막에서 간상체 색소축출^[1]에 의한 실험결과 색소 흡수 spectrum과 간상체의 파장별 민감도가 일치함을 보였다. microspectro-photometry 방법^[2,3]에 의해 세 개의 원추체 색소가 각각 419, 531, 558의 광을

잘 흡수하고, 세 가지 추상체 색소의 광흡수 합성이 추상체 파장별 민감도와 같음을 밝혔다. 시 교정용 렌즈 및 응용분야에서 사용되는 칼라필터 렌즈의 경우 망막의 시감도는 렌즈의 파장별 광 투과량에 의존하게 된다. 그러나 렌즈를 사용하는 눈의 경우 파장별 렌즈의 투과율을 고려한 시감도 특성을 고려해야 한다. 이에 대한 최초의 연구는 본 그룹에 의해 최초 연구인 분광 시감도 분포함수 유도^[4] 연구 외에 아직 보고된 바 없는 실정이다. 특히 칼라필터를 통한 시감도 최적화 연구는 아직 보고된 바 없는 실정이다.

본 연구는 이런 취지에서 칼라필터가 렌즈를 통과하여 눈의 망막에 미치는 최종 분광 비시감도 스펙트럼은 광투과율 스펙트럼과 CIE 분광 비시감도 스펙트럼에 영향을 연구하고, 최종 비시감도 평가 방법을 도입하여 비시감도 최적화에 접근함을 목적으로 하고, 눈에 미치는 최종 비시감도는 본 연구 방법에 의해 평가할 수 있음을 규명하였다.

비시감도 평가 방법

1. 착색칼라 투과율에 따른 비시감도 평가 방법^[5]

눈에 입사한 파장 의존 광의 경우 분광시감도의 파장의존성과 렌즈에 의해 투과된 광의 파장과 세기에 의존하여

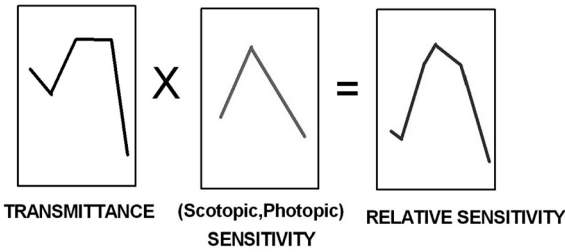


Fig. 1. Multiplication of relative luminous efficiency and transmittance intensity of CR lens.

영향을 받게 된다. 최종 눈에 미치는 광의 민감도는 투과광의 파장 의존 스펙트럼이 영향을 주게 된다. 상대적 분광시각도(분광 비시각도)와 렌즈를 투과한 투과광의 세기의 최대값을 1.0으로 정하고, 같은 파장영역에서 분광시각도와 렌즈의 투과광 세기를 곱하면 파장에 따른 눈에 들어오는 최종 상대적 분광시각도(분광 비시각도)를 얻을 수 있다. 이런 모델을 Fig. 1에 보였다.

먼저 칼라필터 렌즈를 투과한 투과율의 파장 의존성은 입사광의 세기(I_0), 시료의 두께(d) 및 흡수계수(α) 등의 변수에 의한 투과광의 세기(I)는 다음과 같이 지수 함수적으로 감소하는 식으로 표현할 수 있다.

$$T(\lambda) = \frac{I}{I_0} = \exp[-\alpha(\lambda) \cdot d] \tag{1}$$

그러나 렌즈를 투과한 광은 렌즈의 재질의 전자전이 형태에 의한 band 간의 광흡수에 의한 광학적 특성에 기인한 투과광의 세기는 파장에 의존된 스펙트럼을 갖게 된다. 그러므로 렌즈를 통과한 광에 대한 photopic vision 상태에서 최종 분광 비시각도 $P_f(\lambda)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다^[4].

$$\begin{aligned} P_f(\lambda) &= T(\lambda) \cdot P(\lambda) \\ &= e^{-[\alpha(\lambda) \cdot d]} \cdot e^{-(\lambda - \lambda_0)^2 / 2W^2} \\ &= \exp\{-\{(\alpha \cdot d) + (\lambda - \lambda_0)^2 / 2W^2\}\} \end{aligned} \tag{3}$$

(6)식은 Fig. 1의 모델로부터 구한 것이며, 여기서 $T(\lambda)$ 는 렌즈에서 파장에 따른 광투과율 값이고, $P(\lambda)$ 는 photopic vision 상태에서 파장의존 분광 비시각도 곡선이며, $T(\lambda)$ 와 $P(\lambda)$ 의 세기 최고 값은 각각 100이므로 최종 분광 비시각도 $P_f(\lambda)$ 의 세기의 영역은 0~100의 분포 값을 갖게 된다. 그러므로 렌즈를 투과한 파장의존 투과율 스펙트럼은 다시 분광 비시각도 분포함수에 의해 photopic인 경우 상대적으로 중심 영역에서는 가중치가 가장 커서 최대가 되고 그 외 영역에서는 가중치가 상대적으로 낮게 된다.

2. photopic vision 에서 착색칼라의 비시각도 평가 방법^[6]

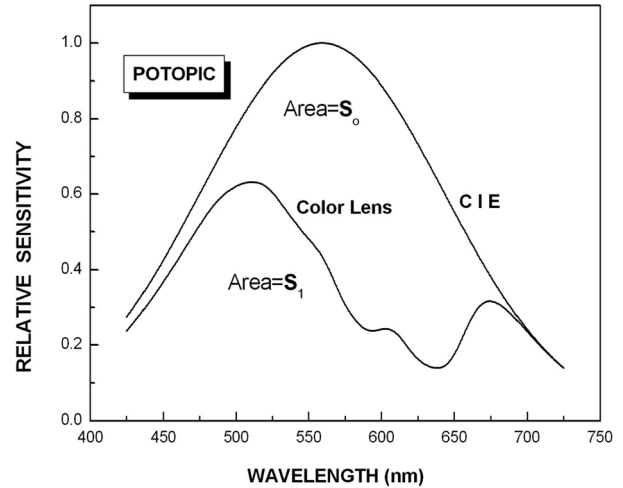


Fig. 2. Curve of final relative luminous efficiency and CIE spectrum.

비시각도 평가 모델 그림인 Fig. 2에서와 같이 photopic vision 에서 CR 렌즈의 시각도 평가 방법은 가시광 영역에서 분광 비시각도 분포함수 $P(\lambda)$ 의 적분 값인 기준면적 (S_0)과 렌즈의 투과율에 따른 보정된 분광 비시각도 $P_f(\lambda)$ 함수의 적분값(S_1)인 면적의 비로 계산하여 평가할 수 있다.

Relative sensitivity photopic vision에서 CR 렌즈의 가시광 영역에서 분광 비시각도 분포함수의 적분 값(S_0)은

$$S_0 = \int_{425}^{725} P(\lambda) \cdot d\lambda \tag{3}$$

이며, 렌즈의 투과율에 따른 보정된 분광 비시각도 $P_f(\lambda)$ 함수의 적분값(S_1)은

$$S_1 = \int_{425}^{725} P_f(\lambda) \cdot d\lambda \tag{4}$$

이며, 이 두 면적의 비 S_1/S_0 가 렌즈의 특성을 평가 할 수 있는 또 다른 지수 이다. 이 값(β)은

$$\beta = \frac{S_1}{S_0} = \frac{\int_{425}^{725} P(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{425}^{725} P_f(\lambda) \cdot d\lambda} \tag{5}$$

으로 표현 할 수 있다. 이 β 값을 렌즈의 시각도 면적 평가 지수라 하자. 또한 photopic에서 최고 peak 높이(h_0)와 비교할 샘플의 최고 peak 높이(h_1)에서 두 비시각도 Peak 높이의 비는

$$\delta = h_1/h_0 \cdot 100 \tag{6}$$

으로 표현되며 h_1/h_0 를 시각도 peak 평가 지수(δ)라 하자.

실 험

CR재질 위에 Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x 착색칼라 시각용으로 사용하는 투과필터를 제작하기 위해 각 칼라 착색용 BPI사 용액 Y(yellow), G(green), P(pink)를 착색 물질로 하였다. 실험용 시료 Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x 칼라 필터렌즈를 제작하기 위해 X 값은 0, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 0.9, 1.0으로 구성하여 비율에 따라 천칭 Suimadzu(AEg-45SM)을 이용하여 총무게를 5g으로 하였고, 물 500에 녹인 착색 출발 물질을 BPI 착색 system에 정착하여 착색 준비를 하였다. 이때 항온조의 온도를 90°로 유지한다. 또한 굴절력이 없는 동일 두께 CR 평면 렌즈를 초음파세척기로 깨끗하게 세척한 다음 착색 system에서 20분 담귀(dipping method) 착색한 다음 냉각수로 세척하여 Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x 착색칼라 투과필터를 제작하였다. 완성된 칼라렌즈 광 투과율은 Fig. 3과 같이 광학적으로 구성된 spectrophotometer(U-3501, Hitachi)로 400~700 nm 파장영역에서 투과율 세기 100%를 최대로 하여 측정하였다.

CR-39의 재질 내에서 조사 광에 의한 전자전이 가 렌즈의 물성에 따라 다르게 되어 광흡수 특성에 따라 투과율 파장의존성 스펙트럼을 갖게 된다. 투과광은 시료 두께(d)에 의해 지수 함수적으로 감소하게 된다. 입사광의세기(I₀), 흡수계수 α로부터 투과광의 세기는 I는 I = I₀·exp(-αd)로부터 구한 흡수계수 α는

$$\alpha = \frac{2.303}{d} \log\left(\frac{I_0}{I}\right) = \frac{2.303}{d} O.D \quad (7)$$

여기서 O.D는 optical density 값이며, 광 투과율 T(%)는 입사광과 투과광의 세기의 비이므로,



Fig. 4. spectrophotometer (U-3501, Hitachi).

$$T(\%) = \frac{I}{I_0} \times 100 = 100\exp(-\alpha d) \quad (8)$$

로 표현된다.

투과율은 흡수계수와 두께에 의존함을 알 수 있다. 착색 두께는 착색 시간에 의존하게 되며, 착색 시간이 길어지면 일정 포화 상태에 도달하게 되고 더 이상 착색 침투를 멈추게 된다. 이렇게 하여 제작된 칼라 필터렌즈의 파장의존 광투과율 스펙트럼을 분광기인 spectrophotometer(U-3501, Hitachi)로 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 착색 칼라 필터렌즈 광투과율

최대 시감도를 갖는 Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x 착색칼라 필터 렌즈의 위치를 찾기 위해 400~700 nm 영역에서 CIE 표준 명소시(photopic) 비시감도(상대시감도) 광투과율 스펙트럼을 Fig. 5에 보였다.

시감도는 중심파장 555 nm를 중심에서 최고 정점을 이룬 후 장, 단파장으로 갈수록 낮아지므로, 선택 할 착색칼라 필터의 투과율 곡선도 555 nm 중심파장에 오도록 설계해야 한다. 그러므로 555 nm 중심에서 최대 투과 스펙트럼을 갖는 Y(yellow) 칼라가 주가 되고 주변 칼라인 G(green) 및 P(pink) 칼라를 첨가하는 형태의 설계를 통하여 최적 시감도를 얻을 수 있다 그러므로 먼저 Y(yellow), G(green), P(pink) 칼라 필터 렌즈에 대한 투과율 특성 규명이 필요하다.

CR재질 위에 Y_{1-x}G_x, Y_{1-x}P_x 착색칼라 필터 렌즈의 투과율로부터 각각의 시감도를 규명하기 위해 제작된 Y(yellow), G(green), P(pink) 칼라 필터 렌즈를 400~700 nm 영역에서 광투과율 스펙트럼을 spectrophotometer U-3501, Hitachi)로 측정한 결과를 Fig. 6에 보였다.

Y, G, P 3개의 투과율 스펙트럼에서 장파장 쪽의 광투과율이 높은 것은 CR-39 재질의 광흡수가 낮은 특성이며,

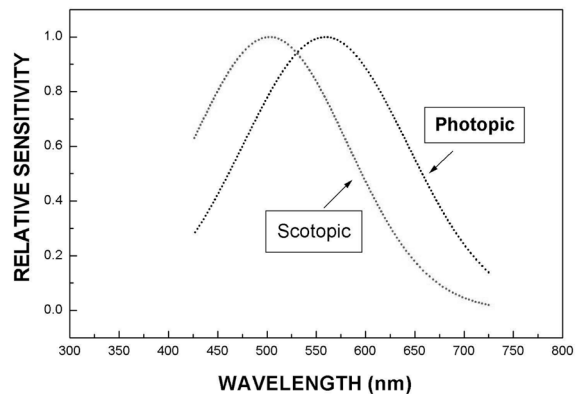


Fig. 5. Transmittance of color lenses.

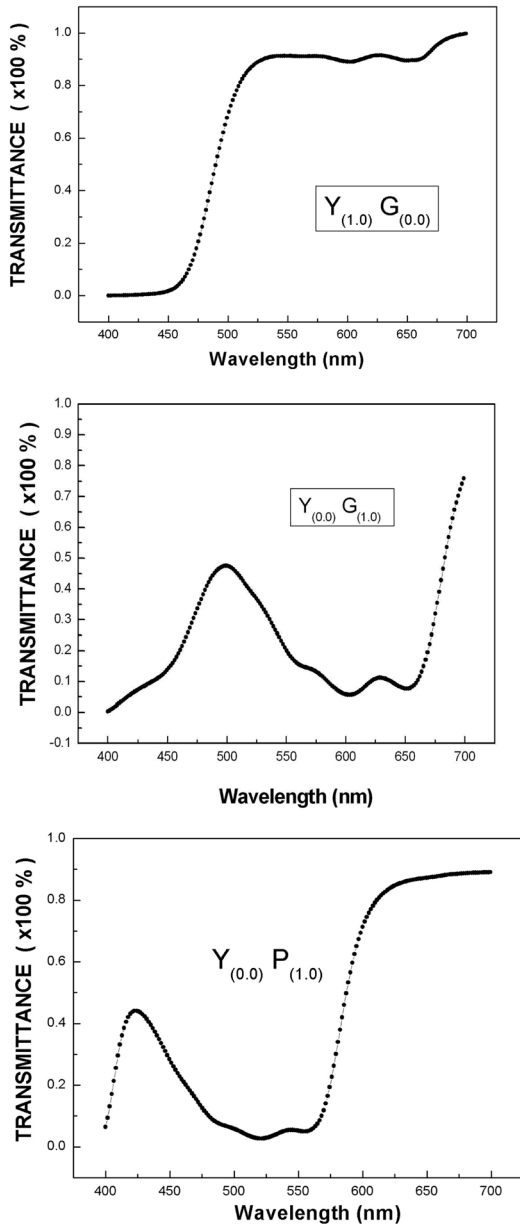


Fig. 6. Transmittance of YGP color filter lenses.

낮은 투과율 파장영역의 스펙트럼은 전이금속의 ion화에 의한 CR렌즈 모체 내에서 배위(ligand)를 형성하여 에너지 분리에 의한 광흡수에 의한 band 이다^[6,7]. 이런 가시광 영역의 광흡수에 의한 band 위치에 따라 다양한 색상을 형성하게 된다. G, P의 투과 스펙트럼에서 500~650 nm 영역의 band는 ion화 에너지 분리 band이며, 착색시간이 클수록 peak가 커지는 현상이 나타나 색조의 명도가 변화됨을 볼 수 있다.

Y(yellow) 착색칼라 필터 렌즈의 경우, CR 렌즈의 350 nm 광 흡수 edge와 400~450 nm 영역의 황색칼라의 광 흡수가 겹쳐 투과율은 스펙트럼 500 nm 이상 장파장 영역에서 높게 나타나고 있다. 단파장 영역에 큰 흡수가 일어나 마

치 cut-off의 filter 형처럼 됨을 알 수 있다. 500 nm 이상의 장파장에서 흡수가 극히 작은 완전 투과형이며, 이들 스펙트럼 합성 광은 노란색 색조를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 앞의 스펙트럼청색과 정반대 에너지 흡수대를 갖게 되어 서로 보색 관계임을 알 수 있다. 광 흡수의 착색 시간의존성은 500 nm 이상 장파장에서 착색시간에 무관하고, 500 nm 이하의 단파장에서 착색시간 의존성이 나타난다. Cut-off의 filter 및 단파장 흡수형의 스펙트럼을 이루고 있어 눈의 contrast를 높여 주는 대표적 칼라렌즈이다.

G(green) 착색칼라 필터 렌즈의 광 흡수는 500 nm 영역에서는 광흡수가 낮아 상대적으로 투과량이 많은 영역이며, 550~670 nm 영역에서는 광 흡수가 일어나 투과량이 낮아지며, 이 영역의 스펙트럼에서 분리된 band들은 전이금속의 이온에 의한 에너지 band 간의 광 흡수 전이 에너지에 해당하는 피크들이다. 이것은 450~550 nm 양 끝단의 광흡수와 450~550 nm 영역의 투과량의 증가에 의한 물체색은 G(green) 칼라를 이룬다.

P(pink) 착색칼라 필터 렌즈는 앞의 녹색 G(green) 착색칼라와 정반대의 광흡수와 투과 스펙트럼을 보이며, 물체색은 녹색과 서로 보색 관계에 있음을 보여주고 있다. 가시광 양단 450 nm 영역 및 600 nm 이상 영역에서 광 투과율이 높은 상태이고, 520~530 nm 영역 파장에서 광 흡수가 높아지는 분광 특성을 나타내고 있으며, 520~550 nm 중심의 3개의 흡수 band는 앞의 Y, G 칼라 렌즈에서와 같이 전이금속의 ion에 의한 에너지 분리 band 간의 광 흡수 band이다. 광흡수 및 광투과 스펙트럼은 착색 시간에 따라 600 nm 이상 장파장에서는 거의 일정하고, 400 nm, 550 nm 영역에서는 착색 시간의존성을 보여 준다.

Y(yellow) 착색칼라 필터 렌즈의 경우 단파장 영역에서 광흡수가 크므로 CIE 표준 시감도 파장 의존성에 있어 이 영역에 낮은 시감도를 갖게 된다. 이런 결점을 보완하기 Y(yellow) 착색칼라에 G(green) 착색칼라를 첨가함으로써 해결 할 수가 있다. 이런 설계 방법으로 $Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈를 x값에 따라 제작하여 x값에 따른 400~700 nm 파장 영역에서 투과율 스펙트럼은 Fig. 7에 보였다.

Y(yellow) 착색칼라에 G(green) 착색칼라를 첨가량(x)이 커질수록 흡수 band 에지가 단파장 쪽으로 이동하고, x=0.1에서 부터는 G(green) 착색칼라의 단파장 영역의 스펙트럼이 나타나기 시작하고 x가 커질수록 이 영역의 투과율 세기도 커짐을 볼 수 있다. Y(yellow) 착색칼라와 G(green) 착색칼라가 같은 비율인 x=0.5에서 두 투과광 스펙트럼 특성은 G(green) 착색칼라의 영향으로 550~650 nm 영역의 광흡수는 낮음을 볼 수 있다.

같은 방법으로, CIE 표준 시감도 파장 의존성에서 중심 파장 보다 장파장 영역에 속하는 P(pink) 착색칼라를

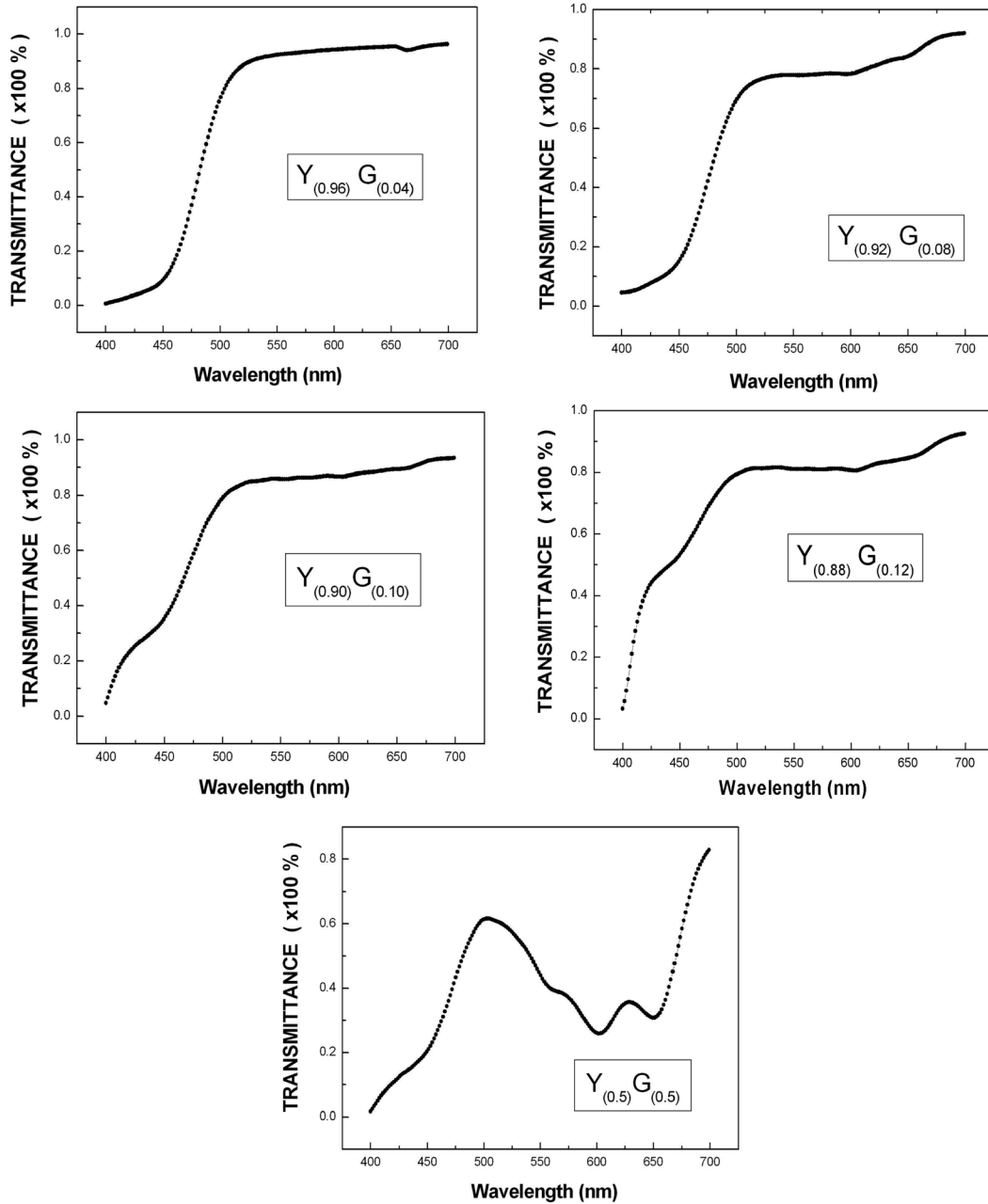


Fig. 7. Transmittance of Y_{1-x}G_x color filter lenses.

Y(yellow) 착색칼라에 첨가하는 Y_{1-x}P_x 착색칼라로부터 시감도를 높일 수 있다. 또한 425 nm 영역의 투과 스펙트럼도 시감도를 높일 수 있다 이런 설계 방법으로 Y_{1-x}P_x 착색칼라 필터 렌즈를 x값에 따라 제작하여 x값에 따른 400~700 nm 파장 영역에서 투과율 스펙트럼은 Fig. 8에 보였다.

x=0.1인 P(pink) 착색칼라의 425 nm 영역의 투과 스펙트럼은 제4 원색을 만드는 band 이다. Y(yellow) 착색칼라에 첨가하는 P(pink) 착색칼라 량이 많아질수록, 500~600 nm 영역에서는 P(pink) 착색칼라의 광 투과 스펙트럼으로 변화를 보이고 있다. 특히 P(pink)의 량(x)이 커질수록 시감

도 중심파장인 555 nm 영역의 광 투과 스펙트럼이 매우 낮아 시감도 증가시키는 설계에는 의미가 없다. 그러나 425 nm 영역의 투과 스펙트럼도는 시감도 증가시키는 설계에는 의미가 있으므로 P(pink) 착색칼라 적은(x=0.2, 0.4) 량이 필요하다.

2. Y_{1-x}G_x와 Y_{1-x}P_x 착색칼라 필터 렌즈 최종 비시감도 평가

Photopic vision 상태에서 CIE 표준 상대 분광감도 곡선의 분포함수 P(λ)에 대한 최고점의 높이(height), 파장(peak), 최고 높이 절반위치에서 폭(width) 및 400~700 nm

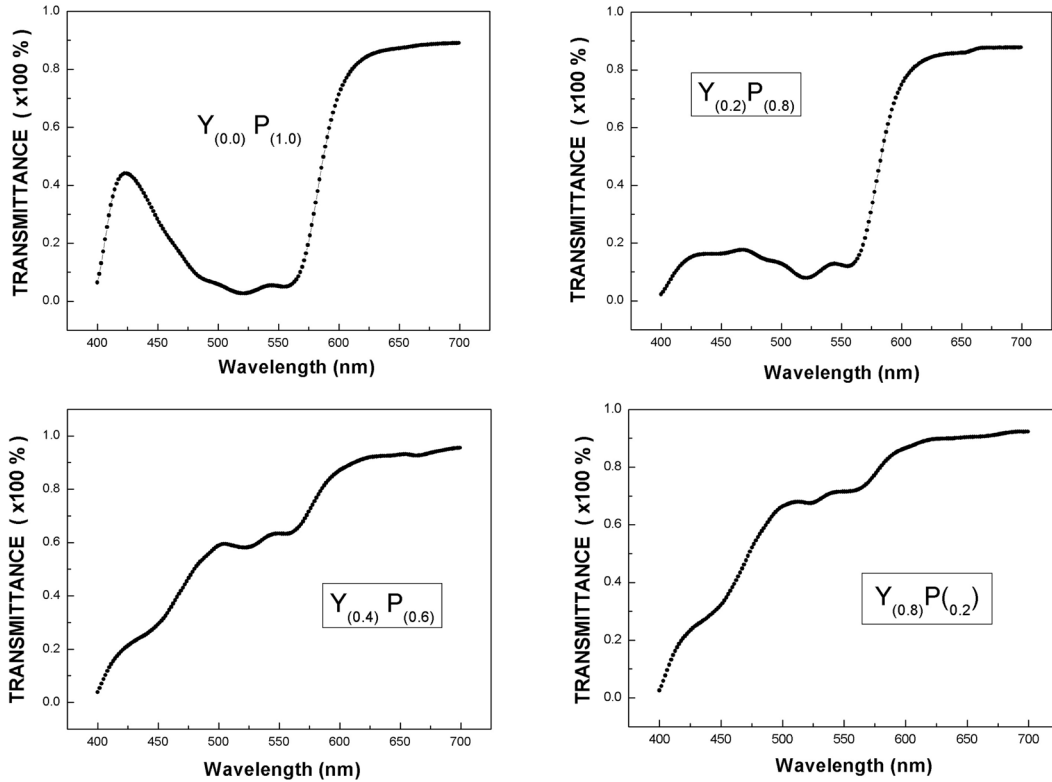


Fig. 8. Transmittance of color filter lenses.

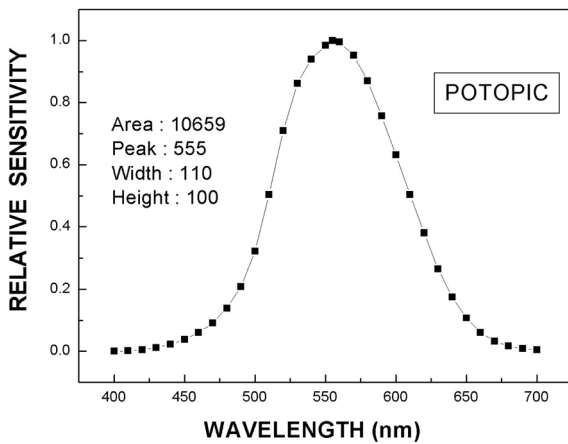


Fig. 9. Curve of relative luminous efficiency (relative sensitivity).

영역에서 곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(area) 등을 구한 결과 Fig. 9에 보였다.

CIE 표준 분광 비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 로부터 구한 최고점의 높이(H)는 100, 파장(P)는 555 nm, 최고 높이 절반위치에서 폭(W)은 110 nm 및 곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(A)은 10659 nm T% 등을 얻었다. 이 값을 기준으로 하여 $Y_{1-x}G_x$, $Y_{1-x}P_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 얻는 최종 비시감도 $P_f(\lambda)$ 파라미터와 비교분석 평가하여 최적화 착색칼라의 조검을 찾을 수 있다.

파장에 따른 광투과율 $T(\lambda)$ 스펙트럼과 photopic vision

상태에서 파장의존 분광 비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 의 두 결과의 곱 $T(\lambda)P(\lambda)$ 의 세기가 눈에 미치는 최종 비시감도 모델이며, 최종 비시감도 $P_f(\lambda)$ 의 세기의 영역을 100으로 하여 계산하였다. 투과광의 스펙트럼 세기와 시감도 크기가 모두 클 때 최종 분광 비시감도 $P_f(\lambda)$ 의 세기가 100으로 가장 크며, 이 값의 의미는 눈에서 광민감도가 가장 높은 파장영역이 된다. 투과한 파장의존 투과율 스펙트럼은 다시 분광 비시감도 분포함수에 의해 상대적 가중치로 재계산됨을 의미한다. 즉, 555 nm 영역에서는 가중치가 가장 커서 최대가 되고 파장이 555 nm에서 멀어질수록 가중치가 상대적으로 낮게 된다.

$Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈에 대한 x값에 따른 400~700 nm 영역에서 최종 분광 비시감도 $P_f(\lambda)$ 의 계산결과 그래프를 Fig. 10에 보였다.

$Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 대한 x값이 0인 경우 최종비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 로부터 구한 최고점의 높이(H)는 81.0, 파장(P)는 555 nm, 최고 높이 절반위치에서 폭(W)은 90 nm 및 곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(A)은 8165 nmT% 등을 얻었다. 면적과 시감도 높이가 가장 x값은 $x=0.12$ 값으로 최고점의 높이(H)는 82.0, 파장(P)는 555 nm, 최고 높이 절반위치에서 폭(W)은 110 nm 및 곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(A)은 8698 nmT%이고, 그 다음으로 x값은 $x=0.14$ 으로 최고점의 높이(H)는 80.4, 파장(P)는 555 nm, 최고 높이 절반위치에

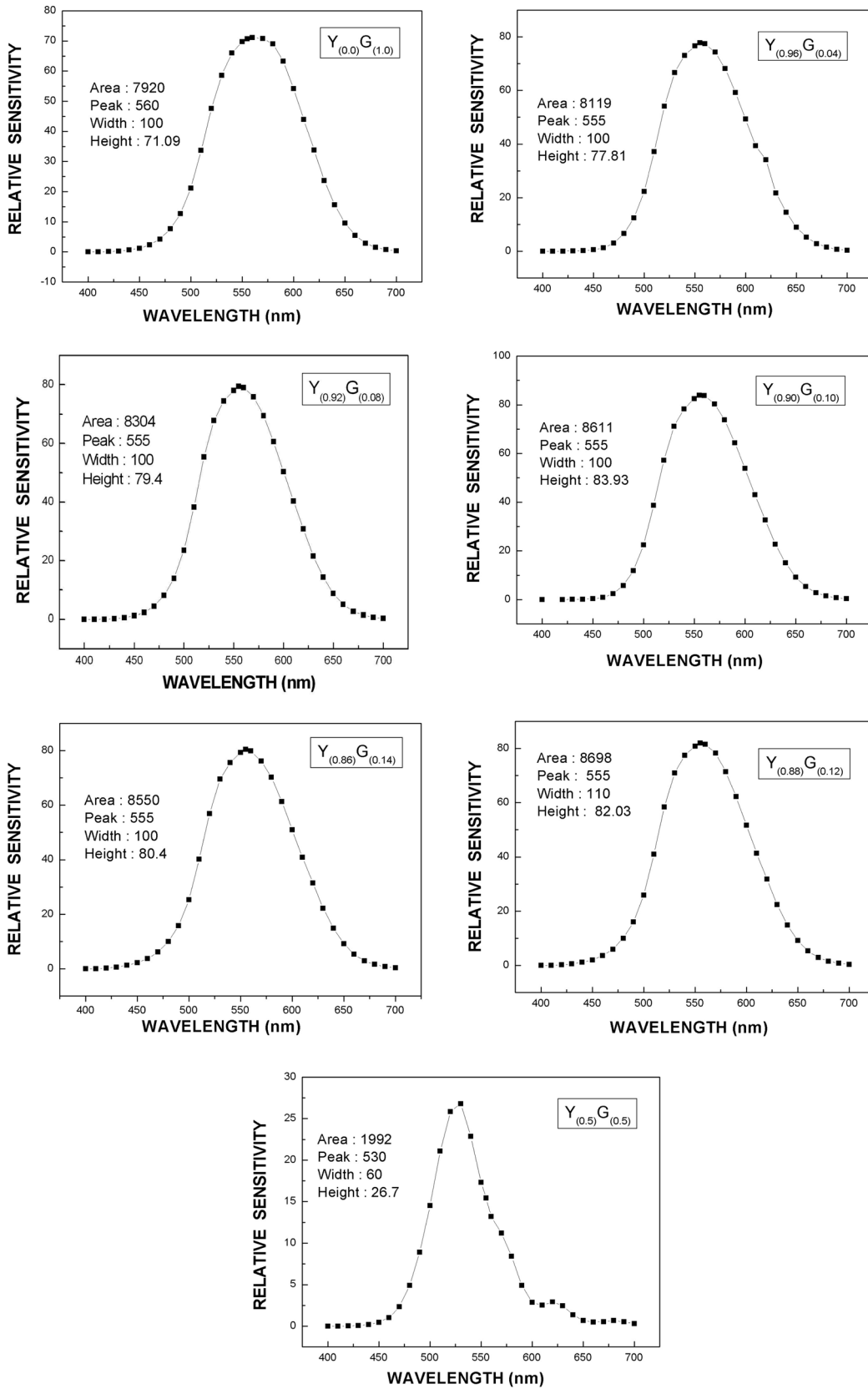


Fig. 10. Final relative luminous efficiency (relative sensitivity) of Y_{1-x}G_x spectrum in photopic vision.

서 폭(W)은 100 nm 및 곡선 P(λ)의 면적(A)은 8550 nmT% 등을 얻었다. Y_{1-x}G_x 착색칼라 필터 렌즈에서 대한

x값에 따른 이 최종비시감도 곡선 P(λ)로부터 구한 최고 점의 높이(H), 파장(P), 최고 높이 절반위치에서 폭(W) 및

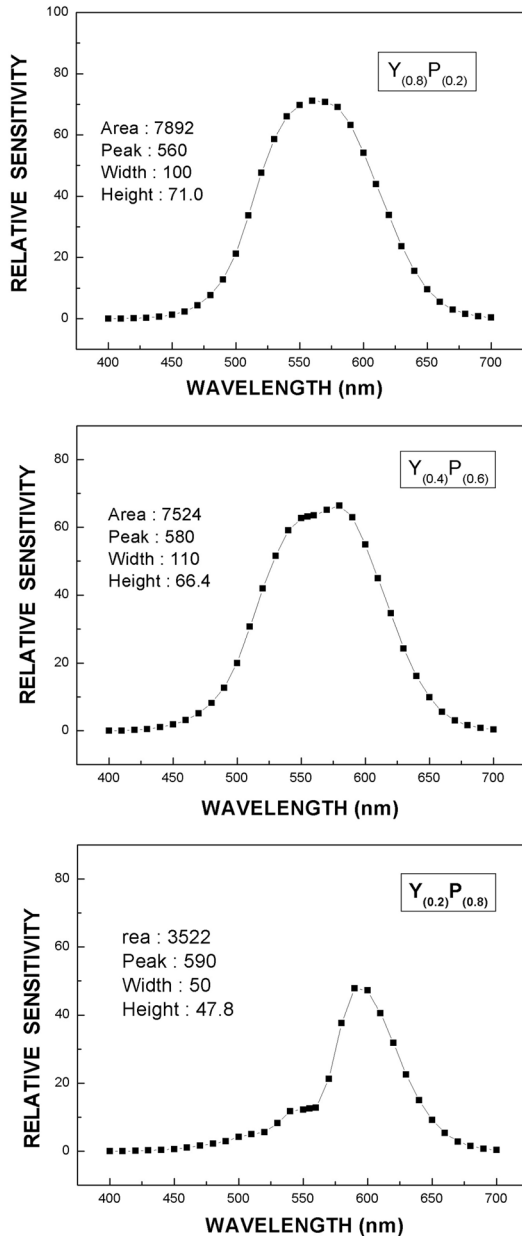


Fig. 11. Final relative luminous efficiency (relative sensitivity) of $Y_{1-x}P_x$ spectrum in photopic vision.

곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(A) 등의 값을 Table 1에 보였다.

CIE 표준 분광 비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 로부터 구한 최고점의 높이(H), 면적(A) 등과 $Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 x값에 따른 이 최종비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 로부터 구한 최고점의 높이(H), 면적(A) 등의 비인 $\beta=S_1/S_0 \cdot 100$, $\delta=h_1/h_0 \cdot 100$ 로 최종비시감도를 평가할 수 있다. 이런 $Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 대한 평가지수 β , δ 값을 Table 2에 보였다. $Y_{1-x}G_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 면적과 최종비시감도의 비가 가장 큰 경우는 $x=0.12$ 에서 β 와 δ 값은 각각 81.6과 82.0이며, 그 다음으로는 $x=0.14$ 에서 β 와 δ 값은 각각 80.2과 80.4를 얻었다

Table 1. Area, peak, height and width parameters in $Y_{1-x}G_x$ color lenses

CR-Color	Area(S_1)	Peak	Height	Width
Photopic	10659	555	100	110
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.00]	8165	555	81.0	90
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.04]	8119	555	77.8	100
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.08]	8304	555	79.4	100
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.10]	8611	555	83.9	100
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.12]	8698	555	82.0	110
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.14]	8550	555	80.4	100
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.50]	1992	530	26.7	60
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.10]	7920	560	71.0	100

Table 2. Estimation index β and δ in $Y_{1-x}G_x$ color lenses

CR-Color	S_1/S_0	$(\beta)=S_1/S_0 \cdot 100$	$\delta=h_1/h_0 \cdot 100$
Photopic	1	100	100
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.00]	0.766	76.6	81.0
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.04]	0.761	76.1	77.8
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.08]	0.779	77.9	79.4
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.10]	0.807	80.7	83.9
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.12]	0.816	81.6	82.0
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.14]	0.802	80.2	80.4
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.50]	0.186	18.6	26.7
$Y_{1-x}G_x$, [x=0.10]	0.743	74.3	71.0

같은 방법으로 $Y_{1-x}P_x$ 착색칼라 필터 렌즈에서 x값에 따른 이 최종비시감도 곡선 $P(\lambda)$ 로부터 구한 최고점의 높이(H), 파장(P), 최고 높이 절반위치에서 폭(W) 및 곡선 $P(\lambda)$ 의 면적(A) 등의 값을 Table 3에 보였다. x값이 커질수록 최고점의 높이(H)와 면적(A) 값은 작아짐을 볼 수 있다. 또한 x값에 따른 최종 상대시감도 평가지수 β , δ 값을 Table 4에 보였다. 이 값도 x값이 커질수록 β , δ 값은 작아짐을 볼 수 있다. 결국 최종 상대시감도 면적과 최고점 높

Table 3. Area, peak, height and width parameters in $Y_{1-x}P_x$ color lenses

CR-Color	Area(S_1)	Peak	Height	Width
Photopic	10659	555	100	110
$Y_{1-x}P_x$ [x=0.2]	7892	560	70.0	100
$Y_{1-x}P_x$ [x=0.6]	7524	580	66.4	110
$Y_{1-x}P_x$ [x=0.8]	3522	590	47.8	50

Table 4. Estimation index β and δ in Y_{1-x}P_x color lenses

CR-Color Lens	S ₁ /S ₀	(β)=S ₁ /S ₀ · 100	δ =h ₁ /h ₀ · 100
Photopic	1	100	1
Y _{1-x} P _x [x=0.2]	0.740	74.0	70.0
Y _{1-x} P _x [x=0.6]	0.705	70.5	66.4
Y _{1-x} P _x [x=0.8]	0.330	33.0	47.8

이를 평가한 결과는 Y_{1-x}P_x 보다 Y_{1-x}G_x가 더 큰 값을 갖게 되고 x=0.12에서 비시감도 최적화에 접근함을 볼 수 있다. 또한 눈에 미치는 최종 비시감도는 본 연구 방법에 의해 평가할 수 있음을 알 수 있다.

결 론

칼라필터가 렌즈를 통과하여 눈의 망막에 미치는 최종 분광 비시감도 스펙트럼은 광투과율 스펙트럼과 CIE 분광 비시감도 스펙트럼에 영향을 받는다. 그 결과 칼라필터가 렌즈를 통과 최종분광 비시감도 P_f(λ)는 파장에 의존하는 광 투과율 함수 T(λ)와 분광 시감도 함수 P(λ)의 곱으로 표현할 수 있다. 시감도가 최적화된 투과필터의 칼라위치를 추정하기 위해 시감도 최적화를 위한 칼라는 Y(Yellow), G(green)과 P(pink)를 이용하여 CR-39에 담그기 법으로 Y_{1-x}G_x와 Y_{1-x}P_x를 제작하였다. 파장에 따른 눈의 시감도와 렌즈의 투과율 세기의 곱(P_f(λ)=T(λ)·P(λ))으로 최종분광 비시감도 P_f(λ)를 계산하였다. x값에 따른 이 최종 비시감도 곡선 P(λ)로부터 구한 최고점의 높이(H), 파장(P), 최고 높이 절반위치에서 폭(W) 및 곡선 P(λ)의 면적(A) 등의 값을 얻었다. 또한 최종 비시감도 평가를 위해 최종비시감도 곡선 P(λ)로부터 구한 최고점의 높이(H), 면적(A) 등의

비인 $\beta=S_1/S_0 \cdot 100$, $\delta=h_1/h_0 \cdot 100$ 을 이용하여 최종비시감도를 평가 할 수 있다. 결국 최종 상대시감도 면적과 최고점 높이를 평가한 결과는 Y_{1-x}P_x 보다 Y_{1-x}G_x가 더 큰 값을 갖게 되고 x=0.12에서 비시감도 최적화에 접근함을 볼 수 있다. 또한 눈에 미치는 최종 비시감도는 본 연구 방법에 의해 평가 할 수 있음을 알 수 있다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 교육과학기술부 주문식교육 ‘산업체기술개발지원 개발’ 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] G. Wald, and P. K. Brown, "Human rhodopsin", Science, 127(3292):222-226(1958).
- [2] G. Wald, "The receptors of human color vision," Science, 145:1007-1016(1964).
- [3] H. J. A. Sarnall, pro. Royal Soc. London 220B, pp. 115-119(1983).
- [4] 김용근, "Photopic과 scotopic 곡선의 분포함수 유도 및 분석", 한국안광학회지, 5(2):157-161(2000).
- [5] 김용근, 박현주, "안경렌즈의 자외선 및 시감도 특성평가", 대한시과학회지, 5(2):157-161(2003).
- [6] Yong Geun Kim, and Chomsik Lee, "Optical absorption of Vanadium doped ZnGa₂Se₄ single crystals", J. Appl. Phys.(Am), 83(12):8068-8071(1998).
- [7] YongGeun Kim, Hyung-Gon Kim, Wha-Tek Kim, Jin Sup Kim, Dong Sung Ma, and Hong-Lee Park, "Impurity photoconductivity spectra of ZnGa₂Se₄:Co²⁺ single crystals", Phy. Rev. B., 39(12):8747-8749(1989).

Research on Optimizing Luminosity Factor Through Color Filter $Y_{1-x}G_x$, $Y_{1-x}P_x$

YongGeun Kim and Hyun-Ju Park

Department of Ophthalmic Optics Dongkang College, Gwangju

(Received October 30, 2008: Revised February 6, 2009: Accepted March 6, 2009)

Purpose: To find optimized luminosity factor of color from light transmission filter. **Methods:** To make $Y_{1-x}G_x$, $Y_{1-x}P_x$ by using CR-39 compound within dipping method, mixing up Y(Yellow), G(green) and P(pink) for optimize eye sensitivity. Modeling for relative luminous efficiency(relative sensitivity) curves in Luminose transmission, it could be resolved by Multiplying sensitivity of eye within transmission rate of Lens ($P_f(\lambda)=T(\lambda) \cdot P(\lambda)$). To evaluate Wavelength between 400~700 nm, relative luminous efficiency curve in Area and Height value is being used. **Results:** In color filter of $Y_{1-x}G_x$ position of x equals to 0.04, 0.1, 0.08, 0.12, 0.14, 0.5 at $\beta=S_1/S_0 \cdot 100$ each consist value of 76.1, 77.9, 80.7, 81.6, 80.2, 18.6 In color filter of $Y_{1-x}P_x$ position of x equals to 1.00, 0.2, 0.6, 0.8 at $\beta=S_1/S_0 \cdot 100$ each consist value of 74.3, 74.0, 70.5, 33.0 The result from experiment $Y_{1-x}P_x$ value less than $Y_{1-x}G_x$, from evaluating luminous efficiency curve and test was successfully optimized. **Conclusions:** Optimized relative luminous efficiency curve result have value of $X=0.12-0.14$ at $Y_{1-x}G_x$.

Key words: luminosity factor, relative luminous efficiency (relative sensitivity), final relative luminous efficiency, estimation index (β) of luminosity, dipping method