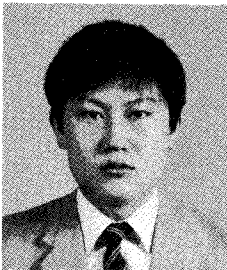


광학개론 (3)

사람의 눈



정 해 빈

삼양광학공업식회사 부설연구소

4. 사람의 눈

사람은 외부로부터 받아들이는 정보의 90% 이상을 빛이라는 형태로 눈을 통해 받아들여지게 된다. 빛이 인간에게 있어서 중요성을 갖는 것도 이러한 이유때문일 것이다. 이 장에서는 이러한 눈의 구조와 특징을 살펴보고, 우리 주변에서 가장 흔히 볼 수 있는 광학기기의 하나인 카메라와 비교해 보도록 하겠다.

4.1 눈의 구조

물체로부터 방사(放射)되거나, 반사 또는 투과된 빛이 사람의 눈으로 들어와서 사람이 빛을 느끼게 될 때까지 지나가게 되는 경로는 다음과 같다. 빛은 제일 먼저 각막을 통과하게 된다. 각

막을 통과한 빛은 각막과 수정체 사이를 채우고 있는 액체를 지나고, 그 다음에 수정체를 지나게 된다. 그 다음 안구 전체를 채우고 있는 초자체를 통과하여 망막에 다다르게 된다.

망막에서 감지된 빛은 신경을 통해 뇌로 그 신호가 전달되어 물체를 인식하게 되는 것이다. 이러한 여러 부분은 초점을 맺게하는(상을 맺게하는) 요소와 빛을 감지하는 요소로 대별할 수 있다.

4.1.1 초점을 맺게 하는 요소

초점을 맺게 하는 요소는 각막, 동공, 수정체, 초자체 등으로 이루어져 있다. 이들 각각에 대해서 살펴 보기로 하자.

가) 각막

각막은 안구(眼球) 전체를 둘러싸고 있는 공막의 일부가 투명하게 변형된 것이다. 각막의 형태는 구(球)의 일부로서 그 표면은 식염수의 막이 덮혀 있다. 이 식염수의 막이 먼지 등으로 더러워지면 눈꺼풀이 감박어져서 더러워진 식염수의 막을 제거하고 새로운 식염수의 막이 생기게 된다. 각막과 수정체 사이의 액체(굴절률 1.337)가 너무 두꺼워지면 빛의 굴절이 정상보다 심해져서 근시(近視)가 되고, 그 반대이면 원시(遠視)가 된다. 그러나, 보통은 수정체로써 물체의 상을 망막에 맺히게 할 수 있도록 적당한 곡률을 유지하고 있다.

나) 동공

동공(瞳孔;pupil)은 수정체 앞에 조리개(iris diaphragm)의 구멍이다.

동공을 통해 들어간 빛은 대부분 되돌아 나오지 않으므로 동공은 늘 검게 보인다. 어두운 곳으로 들어가면 조리개에 붙어 있는 방사상 근육이 수축하여 동공이 커지게 되며, 밝은 곳으로 나오면 조리개의 안쪽 가장자리에 붙어 있는 팔약근이 수축하여 동공은 작아진다. 조리개는 눈에 들어오는 빛의 양을 조절하는 망막에 적절한 양의 빛이 도달하게 한다.

다) 수정체

수정체는 반 고체상태의 물질로 되어 있으며, 굴절률은 1.42 정도이고, 그 주위에 팔약근이 붙어 있으며, 다시 이 팔약근의 주위에 방사상 근육이 붙어 있다. 방사상 근육은 수정체를 얇게 만들어 주는 역할을 담당하며, 팔약근은 수정체를 두껍게 해주는 역할을 한다. 가까운 거리에 있는 물체를 볼 때는 팔약근이 수축하여 수정체를 두껍게 만들어 줌으로써 망막에 명확한 상을 맺게 한다. 사람의 나이가 많아지면 수정체가 경화되어 가까운 곳에 있는 물체의 상이 망막에 정확히 맺히지 못하게 되어 원시가 된다. 따라서 이때는 모자라는 굴절력을 보완하기 위해 돋보기 안경을 착용하게 된다.

라) 초자체

초자체는 점성질 유체로서 굴절률은 약 1.336이며, 안구 전체를 채우고 있다. 초자체는 수정체와 망막 사이의 거리를 일정하게 유지시켜주는 역할을 한다. 초자체는 광학적으로 완전히 투명한 것은 아니며 작은 티끌같은 것들이 떠다녀 산란시키기도 한다.

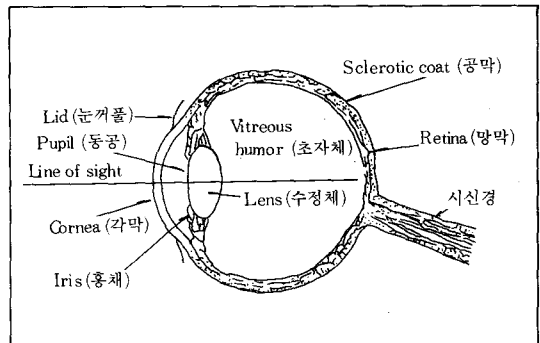


그림4-1 눈의 단면도

4.1.2 빛을 감지하는 요소

빛을 감지하는 요소들은 망막에 존재하는 2 종류의 광감각세포들을 말한다. 이들중 한 종류는 막대기 모양(간상;杆狀)이고, 다른 한 종류는 원뿔(원추;圓錐)모양이므로 이들을 각각 그 형상에 따라 간상세포와 원추세포라 부른다.

가) 간상세포

간상세포는 아주 작은 양의 빛(10^{-3} candela / m^2 이하일 때)이 눈으로 들어올 때 작용한다. 즉, 야간에 별빛 또는 달빛 아래에서 물체를 식별할 때나 극장안과 같이 컴컴한 곳에서 작용한다. 이러한 간상세포의 파장별 감도(感度)는 표 4-1와 그림 4-2에 나타낸 것과 같다. 이와 같은 간상세포의 상대적 분광감도곡선을 암소시감율함수(scotopic luminous efficiency function)라고 한다. 간상세포속에는 로돕신(rhodopsin)이라는 물질이 들어있으며, 많은 양의 빛이 눈으로 들어오면 로돕신이 표백되어 간상세포는 광감각능력을 상실하게 된다. 간상세포의 감도는 507nm의 빛에 대해서 가장 크지만 색을 구별해내는 능력은 없으므로 물체가 흑백으로만 보이게 된다. 망막의 중앙부에는 간상세포가 없으므로 야간에 물체를 보고자 할 때에는 망막 중앙부보다는 주변부에 상이 맺도록 해야 한다. 간상세포에서 뇌로 전달되는 신경은 합쳐져서 다발을 이루고 있으므로, 자극의 전달속도는 빠르나 세부적인 지각은 불가능하다.

나) 원추세포

원추세포는 간상세포와는 달리 비교적 많은 양의 빛(1 candela / m^2 이상일 때)이 눈으로 들어올 때 작용한다. 원추세포의 광감각작용은 그 기능이 아직 밝혀져 있지 않다. 이 세포는 색을 분간하는 능력이 있으며, 그 상대적 분광감도곡선을 명소시감율함수(photopic luminous efficiency function)라 한다.

원추세포는 망막 중앙에 몰려 있으며, 독자적으로 뇌에 전달되는 신경에 연결되어 있는 동시에 상호간에도 연결을 갖고 있는 것들이 있다. 따라서 물체의 미세한 부분까지도 지각할 수 있다. 몇 개의 원추세포에서 나오는 시신경들이 서로 연결되어 있다는 사실에서 색을 지각하는 데에는 몇개의 원추세포가 협동해서 작용하는 것이 아닌가 추측되고 있다. 또한, 3종류의 원추세포가 존재한다는 사실은 삼원색의 존재를 시사하고 있다.

표 4-1. 명소시감율함수와 암소시감율함수

파장(nm)	명소시감율(V _λ)	암소시감율(V' _λ)
380	0.0000	0.0006
390	0.0001	0.0022
400	0.0004	0.0093
410	0.0012	0.0348
420	0.0040	0.0966
430	0.0116	0.1998
440	0.0230	0.3281
450	0.0380	0.4550
460	0.0600	0.5670
470	0.0910	0.6760
480	0.1390	0.7930
490	0.2080	0.9040
500	0.3230	0.9820
510	0.5030	0.9970
520	0.7100	0.9350
530	0.8620	0.8110
540	0.9540	0.6500
550	0.9950	0.4810
560	0.9950	0.3288
570	0.9520	0.2076
580	0.8700	0.1212
590	0.7570	0.0655
600	0.6310	0.0332
610	0.5030	0.0159
620	0.3810	0.0074
630	0.2650	0.0033
640	0.1750	0.0015
650	0.1070	0.0007
660	0.0610	0.0003
670	0.0320	0.0001
680	0.0170	0.0001
690	0.0082	0.0000
700	0.0041	0.0000
710	0.0021	0.0000
720	0.0010	0.0000
730	0.0005	0.0000
740	0.0003	0.0000
750	0.0001	0.0000
760	0.0001	0.0000
770	0.0000	0.0000
780	0.0000	0.0000

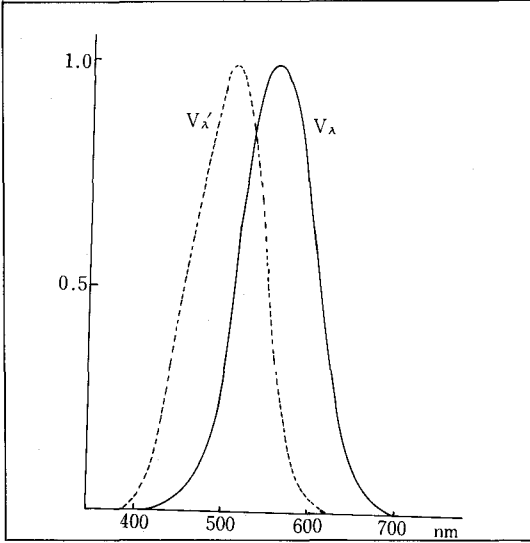


그림 4-2 원추세포와 간상세포의 상대적 분광분포 곡선.

(V_{λ} : 명소시감을 곡선, V_{λ}' : 암소시감을 곡선)

4.2 눈의 특성

4.2.1 가시영역

정상적인 눈은 통상 가시영역(可視領域; visible region)이라 부르는 400nm~700nm(넓게는 380nm~780nm)의 파장을 갖는 전기기파의 스펙트럼에 대해서 반응한다. 400nm인 짧은 파장쪽으로부터 순차적으로 보라, 파랑, 초록, 노랑, 주황, 빨강의 색을 나타낸다. 이러한 색의 감지능력에 이상이 있을 때 색맹이라고 하는데, 적색맹(赤色盲; 적색과 청록색이 무색 또는 회색으로 보이는 색맹)과 적록색맹(赤綠色盲; 적색과 녹색을 구별할 수 없는 색맹)이 가장 흔하다.

4.2.2 근시, 원시 및 난시

눈의 주요 결점으로는 근시, 원시, 난시 등이 있다. 원시는 눈의 앞뒤 길이가 너무 짧거나 굴절능력이 모자랄 때 발생한다. 정확히 망막에 상이 맺히도록 하기 위해서는 눈앞에 적절한 두께와 모양을 갖춘 볼록렌즈를 착용해야 한다. 반대로 근시는 상이 망막 앞 초사체에 형성되며,

이러한 현상은 눈의 앞뒤 길이가 너무 길거나 굴절능력이 너무 강할 때 발생한다. 이러한 문제는 오목렌즈를 착용함으로써 교정할 수 있다. 대부분의 경우 원시는 나이가 많은 분들에게서 근시는 나이가 어린 사람들에게서 나타난다.

한편, 난시는 각막이 곡률이 불규칙하여 방향에 따라 굴절능력이 다를 때 나타난다. 이의 교정에는 원통형 렌즈(cylindrical lens)나 토릭 렌즈(toric lens)가 사용된다.

4.2.3 입체감

사람의 시감은 동공과 동공사이의 평균거리가 65mm인 두 개의 눈을 사용하여 근육에 의한 통제를 통해 동시에 작용하도록 되어 있다. 이 두 눈의 망막에는 보는 각도의 차이에 의해 약간씩 다른 상이 독립적으로 맺게 되며, 그 결과 외부의 광경을 입체적으로 볼 수 있게 된다. 또한, 물체까지의 거리는 두 눈과 물체가 이루는 각도에 의해서 그림자나 중첩되는 물체들의 나열과 같은 외부적인 기준이 없이도 원근을 알 수 있도록 되어 있다. 이러한 사실은 한쪽 눈을 감고 어떤 물체를 바라볼 때 간접적인 비교물이 없으면 원근을 알기 어렵다는 점으로 확인할 수 있다.

4.2.4 눈의 분해능

사람 눈의 분해능은 두 개의 인접한 물체점을 구별해 내는 능력이다. 극단적인 경우는 간신히 두 점이라고 구별할 수 있는 최소한의 거리로서, 회절이론을 사람의 눈에 적용하면 각도로서 40초의 분해능을 얻는다. 하지만 눈의 결합이나 수차 등의 여러 가지 측면을 고려할 때 1분의 각도를 분해능으로 삼는 것이 더욱 실제적이다. 시각에 의한 분해능을 외적 요인으로서 물체의 조명도, 콘트라스트, 색상 및 종류 등에 의해서 영향받으며, 내적 요인으로는 동공의 크기, 망막의 범위, 색맹, 관찰자의 피로도 등에 의해서 영향받는다. 원추세포가 간상세포보다 높은 분해능을 가지므로 분해능을 최대한으로 높게 하기

위해서는 조명의 밝기를 밝게 하고, 눈의 중심부에 보고자하는 물체의 상이 오도록 해야 한다.

동공의 지름은 2mm부터 8mm까지 변화하는데, 지름이 약 3.5mm 이상이 되면 구면수차와 색수차가 발생하게 된다. 평균적인 분해능은 250mm의 명시거리에서 0.1mm 떨어진 두 점을 구별해 낼 수 있는 정도이다.

눈의 분해능은 레인지 파인더(range finder)나 간유리로 된 스크린을 써서 초점을 맞출 때 초점이 정확히 맞춰졌는지의 여부를 판단하는데 있어서 주요한 요인으로 작용하게 된다.

4.2.5 암소적응

흔히 눈의 망막은 필름의 감광물질과 비교되는데, 기능상의 유사성은 있으나 그 동작의 원리상 옳은 비교가 될 수 없다. 빛에 의한 조명도가 낮을 때와 높을 때의 사이에는 수천배의 강도차이가 있다. 필름의 경우에는 빛의 밝기와 상관없이 감광물질이 작용하지만 사람 눈의 경우에는 암소적응(暗所適應)이라 하는 눈의 감도를 높여주는 일이 일어난다. 이미 말한 바와 같이 어두운 곳에서는 원추세포보다는 간상세포가 사용되게 된다.

그 결과 암소적응된 눈은 분해능이 떨어지고 색을 느끼지 못하게 된다. 이러한 암소적응은 그 속도가 매우 느린 반응으로 감도가 최대치에 이르기까지는 30분 정도의 시간을 요한다. 어두운 극장안으로 들어갔을 때 처음에는 아무 것도 보이지 않다가 점차 주위를 잘 볼 수 있게 되는 것은 우리가 흔히 경험할 수 있는 암소적응의 예이다.

4.2.6 눈과 빛의 깜박임

사람이 눈을 통해 사물을 보는 과정은 생각처럼 즉시 일어나는 과정이 아니다. 즉, 빛에 의한 자극이 망막에 도달하는 것과 상을 감지하는 것 사이에는 약간의 시간 지연이 있다. 암소적응의 정도에 따라 이러한 지연시간은 0.15초에서 0.30초 정도가 된다. 따라서 사람의 눈은 0.

15초보다 짧은 시간동안 존재하는 섬광에 대해서는 모두 같은 시간적 길이 동안 존재하는 것으로 느끼게 된다. 결국 어떤 광원이 반복적으로 깜박이고 있을 때 특정 주파수에 이르기까지는 깜박임(flicker)을 느끼지만 그보다 높은 주파수에서는 연속적으로 존재하는 것처럼 느끼게 된다.

이러한 착각현상을 이용한 것의 대표로 영화를 손꼽을 수 있다. 영화에서는 초당 48장의 화면을 비춰주므로써 마치 영상이 연속적으로 움직이는 것과 같은 효과를 나타낸다. 초당 24장을 촬영하는 시네 카메라(cine camera)에서는 뷰우 파인더에 맺힌 상을 통하여 이러한 깜박임을 느낄 수 있다.

초기의 무성영화의 필름은 초당 16장씩을 촬영하여 3장의 날개로 된 셔터를 써서 각 장(frame)을 3번씩 노출을 실시하여 초당 48장의 영상을 얻게 되어 있었다. 유성영화는 초당 24장씩 촬영하며, 초당 48장의 영사속도를 얻기 위하여 2장의 날개로 된 셔터를 사용하여 2번씩 노출시키고 있다.

이러한 원리는 텔레비전 수상기에도 이용되고 있다.

4.3 눈과 카메라의 비교

기능상 여러 가지 점에서 눈과 카메라는 유사점을 갖고 있으므로 흔히 비교의 대상이 된다. 빛이 들어가지 않도록 막혀 있는 공간에 한 쪽에는 렌즈가 있고, 그 반대편에는 빛에 예민한 물질이 있기 때문이다. 그러나, 자세히 살펴보면 이 양자 사이에는 비슷한 점보다 다른 점이 더 많다는 것을 알 수 있다.

눈은 정보를 수집하며, 뇌에 의해서 데이터 처리가 되지만, 카메라의 경우라면 카메라와 빛을 감지하는 물질(가장 대표적인 것으로는 필름)이 여기에 대응된다 할 수 있다.

두 시스템 사이의 가장 주된 차이점은 눈/뇌 결합에 의한 주사계(走査系; scanning system)에 있다. 필름과 달리 눈에서는 황반이라고 하는 비교적 조그만 부분에서만 색을 느낄 수 있

고 분해능도 높기 때문에 이러한 주사계가 필요하게 된다. 원하는 물체의 전체적인 형상을 보기 위해서는 불규칙한 눈의 움직임(텔레비전의 주사계는 규칙적인 움직임을 한다는 점에서 다르다)을 통해 이러한 작은 부분에 맺힌 선명한 상들을 모으게 된다. 이때에 뇌는 중요한 역할을 하게 된다. 반면에 통상적인 카메라는 이러한 주사계가 사용되지 않고 있으며, 텔레비전 카메라나 적외선 카메라의 일부 시스템에서는 일정한 방향으로 규칙적으로 움직이는 직선형 주사가 사용된다.

사람의 눈은 물체를 입체적으로 보게 되어 있는데 비하여 통상적인 카메라는 평면적인 상밖

에 얻을 수 없다. 그러나, 항공촬영과 같이 일정한 각도를 갖는 2대의 카메라를 사용하거나 홀로그래피 카메라와 같이 간섭성이 높은 레이저 광을 이용하여 물체로부터 나오는 빛의 위상을 강도와 함께 기록함으로써 입체적인 상을 얻을 수 있다.

사람의 눈은 빛의 양에 대한 누적효과가 없으므로 그때 그때 눈으로 들어오는 상을 감지하지만, 필름의 경우는 누적효과가 있어 반복하여 노출을 할 경우 모든 빛이 기록된다.

이외에도 눈/뇌 시스템과 카메라/필름 시스템 사이에 많은 차이점이 존재하는데, 이러한 내용을 표로 만들어보면 표 4-2와 같다.

표 4-2 눈/뇌 시스템과 카메라/필름 시스템의 비교

항 목	평균적인 눈/뇌 시스템	전형적인 카메라/필름 시스템
초점거리	17mm 또는 60 디옵터	2~2000mm
상대구경(F 넘버)	F2~F8	F0.5~F250
시야각	양안에 의해 수평으로 120°	표준렌즈는 대략 50° 1°~220°
입체적인 상	0.25m~500m의 범위에서 통상적인 조건	특수 카메라나 특수 기술을 요함.
초점조절 범위	통상적으로 0.25m~∞	대부분의 렌즈는 1m~∞이나 이보다 근접한 거리를 갖는 것도 많음.
분해능	망막상의 위치에 따라 다름	결상면 전체에서 대체로 균일 대체로 높은 편임
파장별 감도	가시 영역인 400nm~700nm에서 불균일하다.	선정된 스펙트럼 영역에서 비교적 균일함. 자외선 및 적외선에 감도를 갖게 하는 것도 가능함.
빛에 대한 감도	암소작용이 일어난 후에는 감도가 매우 높음. 시간에 따른 누적 효과가 없음.	넓은 범위의 필름 속도를 선택할 수 있음. 시간에 따른 누적 효과가 있음.
색채의 기록	원추세포에 의해서 통상적으로 일어남.	천연색 물질 또는 세심한 분석에 의해서 색상을 알 수 있음.
수차	사용에 적절하게 보정됨.	단순한 수차를 보정하는 데도 설계시 세심한 주의와 비용을 필요로 함.
상을 얻는 데 걸리는 시간	짧다. 0.1초 이내	감광재료를 현상해야 한다. 비데오 테이프에 의한 기록에서는 시간이 짧아진다.
상 또는 기록의 영속성	일시적이거나 신뢰성이 없는 기억장치에 기억된다.	거의 영속적이다.
환경적인 문제	인간이 견디어 낼 수 있는 환경으로 제한된다.	적절하게 설계할 경우 거의 제약이 없다.
크기	사람의 체구에 따른다.	여러 가지 크기의 카메라와 필름이 존재한다.
수명	길다. 그러나 나이를 먹음에 따라 성능이 나빠진다.	재질의 수명에 의한다.
동력원	어떤 조건하에서는 손쉽게 피로해진다.	배터리 용량에 따라서 제한된다.
검지기의 형태	빛의 강도를 검지한다.	빛의 강도를 측정한다. 하지만 홀로그래피는 빛의 위상도 검지하여 기록한다.