

컬러필터를 활용한 인간의 시각 그리고 빛과 물질의 이해

류 신 호(매원고등학교)

시작하며

빛은 인류역사에 많은 이야기를 남기고 있고 아직도 끝이 없는 이야기의 대상이기도 하다. 오늘은 그 이야기 중의 하나를 꺼내어 이 시간을 함께 보내고자 한다. 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 컬러 필터를 이용하여 몇 가지 경험을 해 보고 생각과 느낌을 통해 깨달음을 얻어 보고자 한다. 이 활동은 상당히 융합적인 활동(STEAM)으로 여러 방면에 적용될 수 있다.

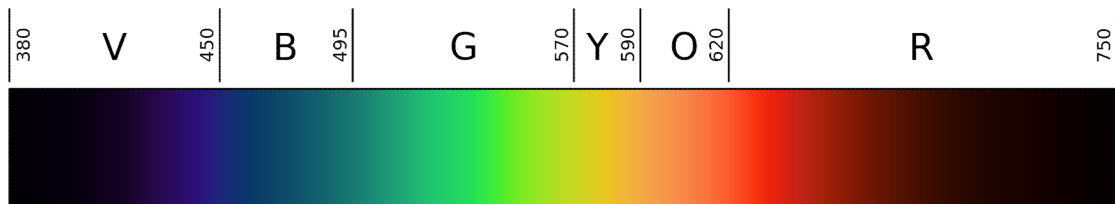
I. 활동과 이야기 관련 내용

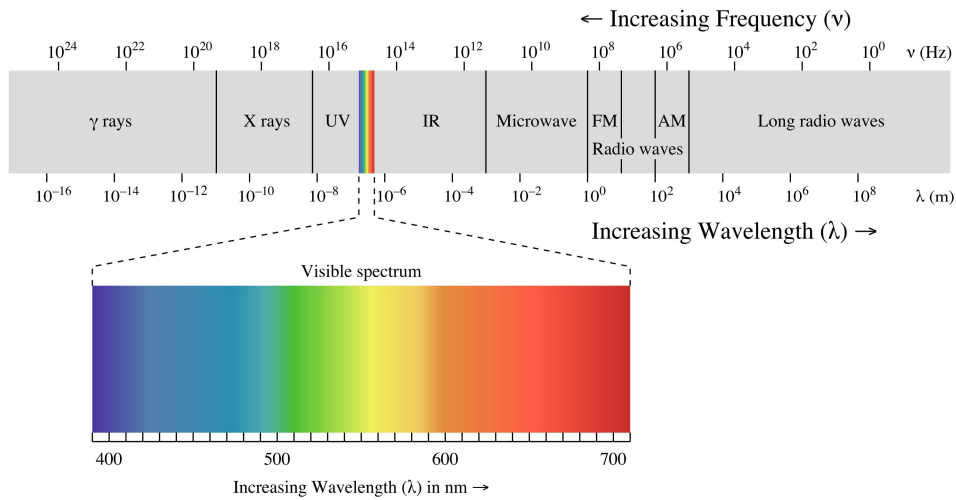
1. 빛 [1]

빛은 전자기 스펙트럼의 특정 부분 내에서 전자기 복사선입니다. 빛이라는 것은 보통 가시광선을 나타내며, 이것은 육안으로 볼 수 있고 가시 감을 담당하는 가시광선 스펙트럼입니다. 가시광선은 일반적으로 적외선과 자외선 사이에서 400-700 nm 또는 $4.00 \times 10^{-7} \sim 7.00 \times 10^{-7} \text{m}$ 범위의 파장을 갖는 것으로 정의됩니다. 이 파장은 대략 430 - 750 THz의 주파수 범위를 의미합니다.

보통 전자기 복사선은 파장에 따라 분류하고 전파, 마이크로파, 적외선, 우리가 빛으로 인식하는 가시광, 자외선, X-선 및 감마선으로 분류합니다.

전자기 복사선의 성향은 파장에 따라 다르다. 주파수가 높을수록 파장이 짧고 주파수가 낮을수록 파장이 길어집니다. 전자기 복사선이 단일 원자 및 분자와 상호 작용할 때, 그 작용은 운반하는 양자 당 에너지의 양에 달려 있습니다.





가시광선 영역의 전자기 복사선은 분자 내에서 전자 여기를 유발할 수 있는 에너지의 하단에 있는 양자(광자라고도 함)로 구성되어 분자의 결합 또는 화학 작용을 변화시킵니다. 가시광선 스펙트럼의 하단에서, 전자기 복사선은 더 이상 광자가 인간 망막의 시각 분자 망막에서 지속적인 분자 변화를 유발하기에 충분한 개별 에너지를 갖지 않기 때문에 적외선은 인간의 눈에 보이지 않게 됩니다.

동물들은 다양한 유형의 적외선에 민감하지만 양자 흡수에 의한 것이 아닌 경우가 있습니다. 뱀의 적외선 감지는 일종의 자연적인 열화상에 의존하는데, 적외선에 의해 세포속의 작은 물주머니의 온도에서 상승합니다. 이 범위의 전자기 복사선은 분자 진동 및 가열 효과를 유발하여 동물이 감지하는 방식입니다.

가시광선 범위를 초과하면 자외선은 사람에게 보이지 않습니다. 대부분 360 nm 이하는 각막 그리고 400 nm 이하는 내부 렌즈에 흡수되기 때문입니다. 더욱이, 인간의 눈의 망막에 위치한 막대와 원뿔은 매우 짧은(360nm 이하) 자외선 파장을 감지 할 수 없으며 실제로 자외선에 의해 손상됩니다. 곤충 및 새우처럼 렌즈가 필요없는 눈을 가진 많은 동물들은 사람이 가시광선을 감지하는 것과 거의 동일한 화학적 방식으로 양자 광자 흡수 메커니즘에 의해 자외선을 감지 할 수 있습니다.

여러 자료를 찾아보면 가시광선을 420-680 nm에서 380-800 nm까지 광범위하게 정의합니다. 이상적인 실험실 조건에서 사람들은 최소 1050 nm의 적외선을 볼 수 있습니다. 어린이와 청소년은 약 310-313 nm의 자외선 파장을 감지 할 수 있습니다.

2. 컬러필터(빛 거르개)

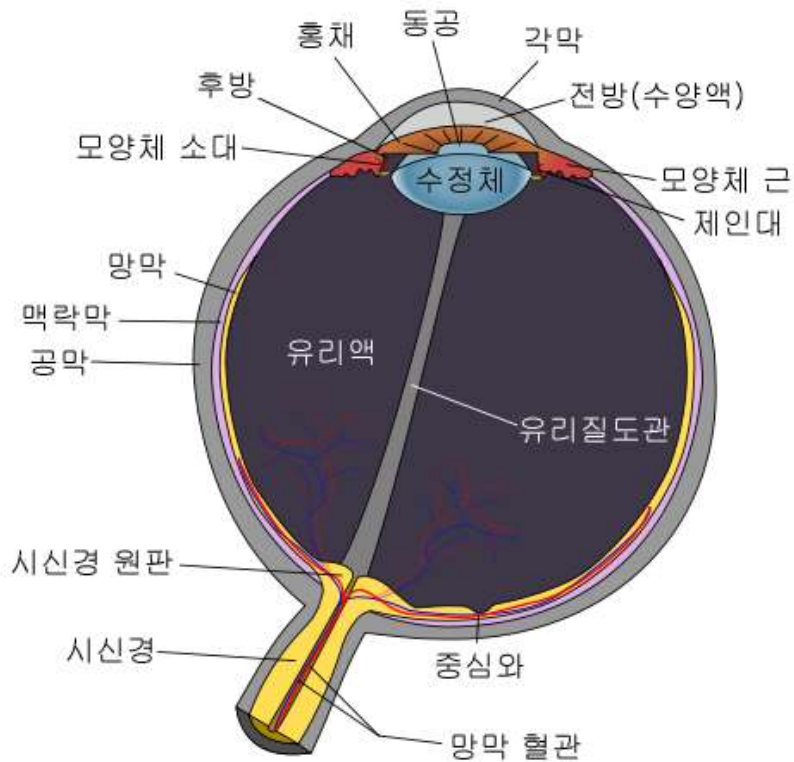
조명 젤 또는 간단히 젤이라고도 하는 컬러 젤 또는 컬러 필터(영국식 철자 : British spelling: colour gel or colour filter)는 극장, 이벤트 제작, 사진, 비디오 촬영 및 영화 촬영에서 빛을 발색하거나 색의 보정 용도로 사용되는 투명한 컬러 재료입니다. 현

대의 젤은 폴리카보네이트, 폴리에스테르 또는 기타 내열성 플라스틱의 얇은 시트로 빛의 경로로 볼 때 보통 조명기구 앞에 배치된다. 겔은 특히 포화 된 색상 (낮은 광 투과율)과 더 짧은 파장 (파란색)에서 수명이 제한됩니다. 색상의 에너지 흡수에 따라 색상이 희미해지거나 녹을 수 있으며 이 경우 시트(컬러필터)를 교체해야 한다. 영구 설치 및 일부 연극 용도에서는 컬러 유리 필터 또는 이색 필터가 사용됩니다. 주요 단점은 추가 비용과 선택의 폭이 더 제한되는 것입니다.

세익스피어 시대의 극장에서는 유리 용기에 적포도주를 라이트 필터로 사용하기도 했다. 20세기에 유리필터 젤라틴 필터 등이 사용되었다. [2]

3. 인간의 눈 [3]

눈(目)은 빛을 자극으로 받아들이는 감각 기관이다. 인간은 서로 눈을 맞추어 교감을 한다. 눈빛은 동서양을 막론하고 항상 인간의 심리를 파악하는 지표로 여겨졌다.



① 눈꺼풀(안검)은 위와 아래로 갈라져 있으며, 안쪽은 결막으로 덮여 있다. 상안검 내부에는 단단한 검판이 있고, 여기에 상안검 거근이 붙어 있다. 눈꺼풀에는 점액선이 산재해 있는데, 그 분비물이 눈곱의 주성분이다. 안구 상부 바깥쪽에는 눈물샘이 있어 눈물을 분비하여 안구 앞부분을 끊임없이 세정한다. 이 눈물은 비루관을 통해 비강으로

배출된다. 눈꺼풀을 감는 것은 안륜근의 수축에 의하며, 뜨는 것은 주로 상안검 거근에 의한다. 전자는 안면 신경, 후자는 동안 신경의 지배를 받는다.

② 각막은 강막(強膜)에 이어지며, 안구 앞부분에 있는 투명한 부분이다. 그 투명도가 저하되면 빛이 안구 내부에 들어갈 수 없게 되어 실명한다. 투명도의 회복이 어려우며, 건강한 각막과 교환해야만 시력이 회복되는데 이것이 바로 각막 이식이다.

③ 수정체는 세포가 변화한 섬유로 만들어지며, 빛을 굴절시켜 망막에 초점을 모으는 작용을 한다. 초점을 맞추기 위해서는 수정체의 곡률을 바꾸는데, 그때 수정체 뒷면은 거의 변화하지 않고 앞면의 곡률이 변화한다. 수정체 앞쪽, 각막 사이의 강소(腔所)를 전안방(前眼房)이라 하며, 안방수(림프)가 가득 들어 있다. 뒤쪽 망막 사이의 강소는 유리체가 채워져 있는데, 이것은 가느다란 섬유를 함유한 점성이 높은 액체이다. 수정체의 투명도를 상실해가는 병을 백내장이라 한다.

④ 모양체는 수정체를 에워싸는 제방 모양의 구조를 하고 있다. 앞쪽은 수정체 앞면을 따라 뻗어나가 홍채(虹彩)가 된다. 모양체에서는 모양 소체라는 가는 섬유가 나와 수정체에 결합하여 이를 주위에서 매달고 있다. 모양체 내부에는 앞뒤 방향·고리 모양·방사 방향으로 배열하는 세 가지 근육이 있으며, 이 근육의 수축과 이완에 의해 수정체의 곡률을 변화시킨다. 이 조절은 건강한 사람에게서는 무한히 먼 거리에서 아주 가까운 거리까지 가능하다. 가까운 거리밖에 초점을 맞추지 못하는 것을 근시, 먼 거리밖에 초점을 맞출 수 없는 것을 원시, 결상(結像)이 비뚤어지는 것을 난시라고 하며, 안경으로 교정해야 한다.

⑤ 홍채는 카메라의 조리개 역할을 하는 막이다. 중앙에 동공이라는 구멍이 나 있다. 홍채 내부에는 동공을 작게 하는 동공 괄약근과 크게 하는 동공 확대근이 있어 이들의 작용으로 안구 내부에 들어오는 빛의 양을 조절한다. 홍채 깊숙한 부분에는 색소층이 있는데, 이 색소의 성질·배열·양에 따라 눈 색깔이 결정된다. 색소가 적으면 푸른 눈이나 회색 눈이 되는데, 그런 경우 강한 빛은 홍채를 통과해버려 눈이 부시고 명료한 결상이 생기지 않는다.

⑥ 강막과 맥락막.

강막은 안구 바깥쪽을 에워싸는 튼튼한 교원 섬유질 막으로, 이것에 의해 안구의 모양이 보호된다. 앞면은 투명해져서 각막이 되며, 뒤쪽의 한곳에서 시신경 다발에 연결되어 있다. 맥락막은 강막과 망막 사이에 있으며, 혈관망이 분포한다. 안구를 움직이는 근육은 강막에 붙어 있다. 이것은 6개의 작은 근육으로 되어 있으며, 이것에 의해 안구를 어떤 범위내에서 자유로운 방향으로 움직일 수 있다. 이 근육은 가로무늬근으로, 동안 신경, 활차 신경(상사근), 외전 신경(외측 직근) 등의 지배를 받는다. 좌우 눈의 움직임에는 강한 연관성이 있어 오른쪽 눈을 오른쪽으로 돌리면 왼쪽 눈도 오른쪽으로 향한다. 따라서 두 눈을 따로 움직이는 것은 불가능하다. 이것을 공동 운동이라 한다. 이것

이 잘못된 상태가 바로 사시이다. 또 아주 가까운 것을 볼 때는 양쪽 안구가 모두 안쪽으로 물리는데, 이를 폭주(輻輳) 운동이라 한다.

⑦ **망막**은 빛을 감지하는 세포와 신경 세포로 이루어진 막이다. 망막은 뇌의 일부가 돌출한 것으로, 그 신경 세포 사이에는 뇌와 마찬가지로 글리아 세포가 있다. 수정체와 마주보고 있는 곳에는 중심와(窩)라는 약간 팬 곳이 있는데, 안저경(眼底鏡)으로 보면 노란색으로 보이기 때문에 황점(황반)이라고 하기도 한다. 이 부분이 가장 해상력(解像力)이 좋고 예민한 곳으로, 사물을 주시할 때는 여기에 상이 맺힌다. 황점 약간 안쪽에는 시신경이 나온 부분이 있는데 이를 시신경 유두라고 한다. 여기에는 시세포가 없어 상이 맺혀도 시각이 생기지 않기 때문에 맹점이라고 부른다.

⑧ 눈은 소유자의 심리를 잘 보여준다. 눈을 맞추는 것은 서로를 동등하게 여김을 뜻하고, 눈을 맞추지 않고 내리까는 것은 두려움과 복종을 뜻한다. 동아시아에서는 대화할 때 눈을 맞추는 것을 고깝게 여기나, 유럽어 권에서는 눈을 맞추는 것이 예의이다.

⑨ 성인의 **눈깜박임** 횟수는 감정 상태나 각성 정도와 같은 전반적인 신체 조건에 의해서도 변화하는데, 인지 활동이나 정보처리 정도에 따라 달라진다고 알려져 있다. 제시된 시각 정보를 다시 상기하거나 특정 문장을 소리내어 읽을 때에 눈깜박임 횟수가 증가하는 반면, 시각 정보에 집중하거나 제시된 문장을 눈으로 읽을 때에는 평상시에 비해 눈깜박임 횟수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 눈깜박임 횟수가 대뇌인지과정과 밀접한 상관관계가 있음을 의미한다.

4. 색각 이상(色覺異常) [4]

색각 이상은 시력의 이상으로 인해 색상을 정상적으로 구분하지 못하는 증상을 말한다. 흔히 색맹, 또는 색약이라고도 부른다. 이러한 증상이 나타나는 원인은 유전적인 요인이 가장 많으나, 경우에 따라 안구, 시신경, 또는 뇌의 손상으로 인해 유발되기도 하며 특정 화학약품에 노출되어 발생하기도 한다. 영국의 화학자 존 돌턴은 자신에게 색각 이상이 있다는 사실을 깨달은 직후, 색각 이상을 주제로 한 최초의 과학 논문을 Extraordinary facts relating to the vision of colours이라는 제목으로 1798년에 발표하였다. 이 때문에 과거에는 색각 이상이 돌턴니즘(daltonism)이라고 불리기도 했으며, 오늘날 이 용어는 적록 색각 이상을 가리키는 용어로 사용되고 있다.

색각 이상은 일반적으로 약한 수준의 장애로 분류되지만, 특정 상황에서는 비장애인보다 유리한 점을 갖기도 한다. 몇몇 연구에 따르면 색각 이상을 가진 사람들은 색상을 이용한 위장을 발견하는 능력이 비장애인보다 더 뛰어난 것으로 확인되었으며, 선천성 적록 색각 이상의 매우 높은 빈도를 감안할 때 이러한 결과가 색각 이상이 진화의 산물임을 보여주는 증거일 수도 있다는 주장도 제기되었다.

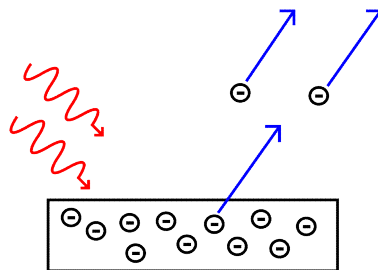
한편, 대한민국에서 색각 이상자는 공군에 지원할 수 없다.

5. 광전효과(光電效果, 독일어: photoelektrischer Effekt, 영어: photoelectric effect)

광전 효과는 금속 등의 물질이 고유의 특정 파장보다 짧은 파장을 가진 (따라서 높은 에너지를 가진) 전자기파를 흡수했을 때 전자를 내보내는 현상이다. 이 때 방출되는 전자를 광전자라 하는데, 보통 전자와 성질이 다르지는 않지만 빛에 의해 방출되는 전자이기 때문에 붙여진 이름이다.

알베르트 아인슈타인이 이 현상을 빛의 입자성을 가정함으로써 설명하였으며,[1] 그 공로로 1921년에 노벨 물리학상을 수상했다.

빛의 성질에 관한 논란 중 입자설에 대한 증거로 거론된다. [5]



[수학적 기술]

① 일함수

금속 표면에서 전자를 떼어내기 위해 필요한 최소한의 에너지를 일함수라고 한다. 일함수는 ϕ , W 혹은 φ 로 표기되기도 하며, $\varphi = hf_0$ 로 나타내어진다. 여기에서 f_0 는 각 금속마다의 한계 진동수이다.

② 최대 운동 에너지

방출된 전자의 최대 운동 에너지(K_{\max})는 h 가 플랑크 상수, f 가 입사된 광자의 진동수일 때 $K_{\max} = hf - \varphi$ 로 나타내어진다. 따라서 방출된 전자의 최대 운동 에너지는 $K_{\max} = h(f - f_0)$ 이며, 운동 에너지는 양수여야 하므로 광전 효과가 발생하기 위해서는 $f > f_0$ 여야 한다.

플랑크의 양자화 개념과 에너지 보존 법칙을 이용하면 광전효과에서의 광전자 방출에 대한 아인슈타인의 식을 구할 수가 있다. 전자가 튀어나오는 순간 물질 고유의 특정 파장을 한계 파장이라 하며, 그때의 진동수를 한계 진동수(문턱 진동수)라고 한다. 그리고 그 한계 진동수에 플랑크 상수를 곱한 것을 일함수라 일컫는다. 입사한 광자의 에너지가 $h\nu$ 일 때, 금속에서 전자를 떼어내고 남은 에너지는 전자의 운동에너지가 된다. 즉, 에너지 보존 법칙에 따라 다음 등식이 성립한다.

$$h\nu = \text{일함수} + \text{운동에너지}$$

$$h\nu = \phi + \frac{1}{2}mv^2 = h\nu_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0 = -eV_s$$

V_s 는 정지 전위, m 은 전자의 질량, v 는 방출된 전자의 속도, h 는 플랑크 상수)

이 식으로부터 입사한 광자의 에너지가 일함수보다 작으면 입사한 빛의 세기에 관계 없이 전자가 방출되지 않는다는 사실을 알 수 있으며, 빛의 진동수(ν)와 정지 전위 (V_s)에 관한 그래프로 나타내면 이는 방정식

$$\nu = \nu_0 + \left(-\frac{e}{h}\right)V_s$$

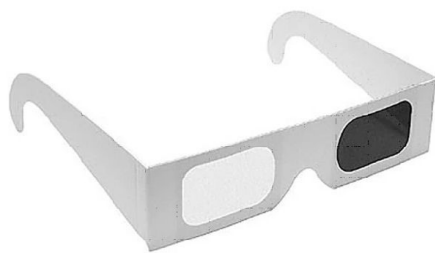
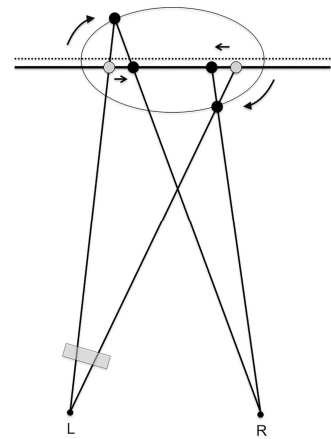
로 나타내어지는 직선형임을 알 수 있다. 이 때 그 직선의 기울기는 $-\frac{e}{h}$ 값으로 항상 일정하다는 사실을 통해 플랑크 상수 h 의 값을 구할 수 있다.

태양 에너지 발전에 사용되는 솔라 셀과 포토다이오드는 다양한 광전 효과를 이용한다. 그러나, 전자를 방출하는 것을 이용하는 것은 아니다. 반도체에서는 가시광선의 광자와 같이 상대적으로 낮은 에너지의 빛이 최외각 밴드의 전자를 더 높은 에너지의 전도띠 채널 수 있으며 그곳에서 그들은 메여서 전류를 발생시키는데 밴드갭 에너지와 관련된 전압 때문이다.

6. Pulfrich 효과 [6]

Pulfrich 효과는 정신 물리학적 인지현상으로, 시야 앞에서 물체의 좌우 운동이 두 눈 사이의 신호를 주는 타이밍의 상대적인 차이로 인해 시각 피질에 의해 깊이 성분을 갖는 것으로 해석됩니다.

이 효과는 일반적으로 한쪽 눈에 어두운 필터를 배치하여 유발되지만 백내장, 시신경염, 또는 다발성 경화증과 같은 여러 안과 질환에서도 자발적으로 발생할 수 있습니다. 이러한 경우 다가오는 차량의 경로를 판단하는 데 어려움과 같은 증상이 보고되었습니다. 이 현상(Pulfrich 효과)은 1922년에 처음 설명했던 독일 물리학자 Carl Pulfrich의 이름을 따서 명명되었습니다. 이 효과는 일부 TV, 영화 및 게임 3D 프리젠테이션의 기초로 활용되었습니다.

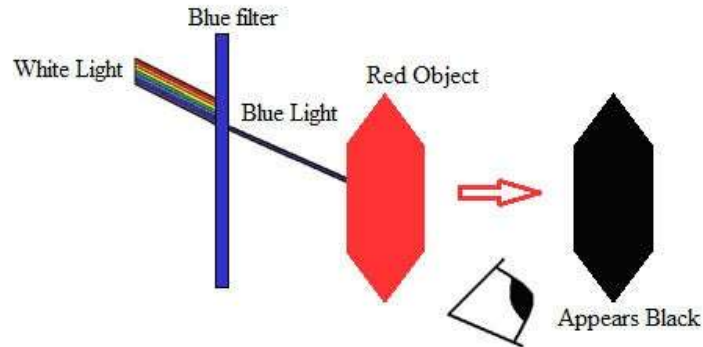


Pulfrich 안경

II. 활동 내용

1. 광 흡수 및 컬러 필터 [7]

- ① 특정한 색의 컬러필터를 이용하여 백색광을 투과 시킨 후 흰 종이에 컬러로 출력된 것을 보자!



- ② 어떻게 보이는가?

| Paper \ Filter | None | Red | Green | Blue |
|----------------|------|-----|-------|------|
| White | | | | |
| Red | | | | |
| Blue | | | | |
| Green | | | | |

- ③ 왜 이렇게 보이는 것일까?
 ④ 식물의 잎의 색을 통해 광합성에 이용되지 않는 빛을 알 수 있을까?

2. 컬러 필터로 크리스마스트리용 점멸전구를 보자!

- ① 어떻게 보이는가?
 ② 왜 이렇게 보이는 것일까?

3. 컬러 필터를 투과한 빛 중에 온도를 많이 올릴 수 있는 빛은?

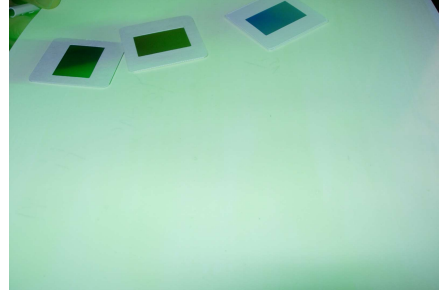
- ① 컬러필터를 지난 빛이 얼마나 온도를 높일 수 있는지 색깔별로 알아 볼 수 있는 실험을 설계하여 확인해 보자!
 ② 어떻게 보이는가?
 ③ 왜 이런 현상이 나타날까?

4. 젤라틴 컬러 필터를 이용한 촉광 반응 정도 살펴보기

- ① Zinc Sulfide계[ZnS:Cu] 야광(촉광) 시트지나 테이프 조각(4cm × 6cm 내외),

젤라틴 컬러 필터(적, 청, 황, 녹), 조명을 통제할 수 있는 실내

- ② 야광(축광)시트지 조각의 청색, 녹색, 적색의 필터를 올려놓고 20초 정도 빛을 비추어 본 후 조명을 모두 끄 후 발광의 정도를 비교해 보자.



- ③ 어떻게 보이는가?
적색, 녹색, 청색 순으로 더 밝은 빛이 난다.

- ④ 왜 이런 현상이 나타날까?

밝은 빛이 나는 쪽이 에너지가 큼을 알 수 있다. $E = hf = h\frac{c}{\lambda}$

- ⑤ 참고 : 컬러필터와 축광지의 구매 방법
인터넷 온라인 쇼핑몰(옥션 등), 참사인언스몰 등 온라인 과학사

5. 조명을 이용해 빛을 합성시켜 보자!

- ① 만일 2개 이상의 후래쉬가 있다면 컬러필터를 이용하여 원하는 빛을 만들고 어두운 공간에서 희 종이나 스크린에 비추어 색을 합성시켜 보자.
- ② 어떻게 보이는가?
- ③ 왜 이런 현상이 나타날까?

6. 색맹 체험

- ① 유튜브의 색맹 테스트나, 종이로 된 색맹 테스트 지를 구할 수 있다면, 컬러필터를 눈에 대고 보았을 때 어떻게 보이는지 확인해 보자.
- ② 어떻게 보이는가?
- ③ 왜 이런 현상이 나타날까?

7. 3D 체험

- ① 적색과 청색 컬러필터를 오른쪽과 왼쪽 눈에 대고 3D 영상을 볼 수 있다.
유튜브 등에서 '적청3D'를 검색하여 시청해 보자. 잘 보이지 않으면 필터의 위치를 바꾸어 보자.
- ② 어떻게 보이는가?
- ③ 왜 이런 현상이 나타날까?

8. 멀티코팅 컬러필터를 이용한 실험

- ① 자외선 변색 비즈에 UV 필터를 올려놓은 것과 그렇지 않은 것에 자외선을 비추어 보자.
- ② 어떻게 보이는가?
- ③ 왜 이런 현상이 나타날까?

9. 자외선 필터와 자외선 변색 비즈의 관찰

- ① 자외선 변색 비즈에 UV 필터를 올려놓은 것과 그렇지 않은 것에 자외선을 비추어 보자.
- ② 어떻게 보이는가?
- ③ 왜 이런 현상이 나타날까?
- ④ 우리 주변에 빛과 관련된 화학변화를 막기 위한 필터를 사용하는 경우를 찾아보자. 어떤 경우가 있을까?

마무리하며

빛은 인간에게 있어 가장 중요한 것 중의 하나이다. 과학, 문화, 예술 등의 각 분야에 서 다양 하게 활용되고 있다. 짧은 시간 컬러 필터를 이용한 몇 가지 체험 활동을 전개 해 보았는데 무대 예술이나 여러 분야에 활용도 가능하다. 빛과 물질의 상호작용, 인간의 시각에 대한 이해는 많은 것을 이해하는데 도움을 줄 수 있는 분야이기도 하다.

참고문헌

- [1] Light, <https://en.wikipedia.org/wiki/Light>
- [2] Color Gel, https://en.wikipedia.org/wiki/Color_gel
- [3] 눈 [https://ko.wikipedia.org/wiki/눈_\(인체\)](https://ko.wikipedia.org/wiki/눈_(인체))
- [4] 색각이상 https://ko.wikipedia.org/wiki/색각_이상
- [5] 광전효과 https://ko.wikipedia.org/wiki/광전_효과
- [6] Pulfrich 효과 https://en.wikipedia.org/wiki/Pulfrich_effect
<https://www.youtube.com/watch?v=IZdWIXjhMo4>
- [7] 광 흡수 및 컬러 필터 <https://www.education.com/science-fair/article/colored-lights-effect/>