

[부록]

1. 측색과 광원

빛이 없는 어두운 곳에서 사람은 색상을 알 수 없다. 예를 들면 눈을 감으면 사물의 색상은 알 수 없다. 만약 사물이 없다면 색상도 존재하지 않는다. 빛, 시각, 사물이 없다면, 색상을 인지할 수 없다. 그렇다면 인간은 어떻게 사과의 빨간색, 레몬의 노랑색을 구분할 수 있는 것일까?

1. 색(Color)

(1) 색의 지각

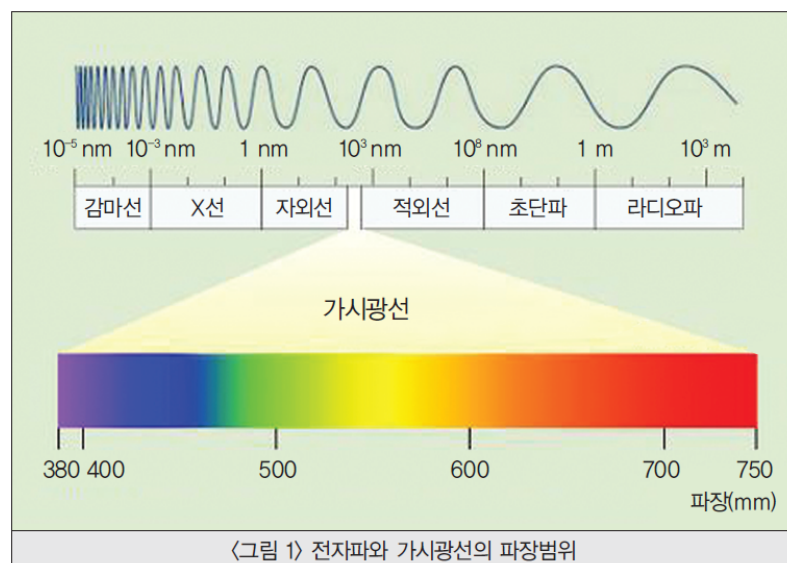
사람의 눈은 외계(外界)를 색과 형태에 의해서 지각하므로 색은 시각의 기본적인 요소 중 하나로 되어 있다. 보통은 빛이 눈에 들어와서 색 지각을 일으키게 된다. 눈의 망막에는 원추세포, 간상세포라는 두 종류의 시세포가 있는데, 태양이나 전등과 같은 밝은 조명 밑에서는 원추세포가 작용하여 색 지각을 만들고, 달빛과 같은 어두운 조명 밑에서는 간상세포가 작용하여 흑백사진과 같은 무채색의 시각을 만든다.

(2) 빛과 전자파

빛은 전자기적 진동, 즉 전자기파이며, 그 파장이 400 nm ($1\text{ nm}=10^{-9}\text{m}$)에서 약 700 nm 사이가 가시광선(可視光線)이다. 이 빛을 프리즘을 사용하여 각 파장으로 나누면, 파장이 짧은 쪽부터 남보라·파랑·청록·초록·연두·노랑·귤색·주황·빨강의 차례로 배열되어 무지개색이 된다. 이와 같이 파장순으로 나눈 빛의 배

열을 스펙트럼이라 한다.

빨강보다 파장이 긴 빛을 적외선, 보라보다 파장이 짧은 빛을 자외선이라고 한다. 대기를 통해서 지상에 도달하는 태양복사의 광량은 가시광선 영역이 가장 많다. 사람 눈의 감도(感度)는 이 부분에서 가장 높다. 일곱 가지 색으로 나타나는 광을 모두 합치면 흰색으로 보이는데, 이러한 이유 때문에 태양이 희게 [白光] 보이는 것이다. 태양광선 아래에서 하얀 색깔의 종이가 하얗게 보이는 이유는 일곱가지색을 모두 반사하기 때문이고, 파란색의 종이가 파란 것은 가시광선 중에서 파란색만을 반사하여 그 색깔만 눈에 감지되기 때문이다. 가시광선의 파장 범위는 분류 방법에 따라 다소 차이가 있으나, 대체로 380~770 nm 이다. 가시광선 내에서는 파장에 따른 성질의 변화가 각각의 색깔로 나타나며, 빨강색으로부터 보라색으로 갈수록 파장이 짧아진다. 단색광인 경우 700~610 nm는 빨강, 610~590 nm는 주황, 590~570 nm는 노랑, 570~500 nm는 초록, 500~450 nm는 파랑, 450~400 nm는 보라로 보인다.



빛의 흡수에 의해서 생기는 색과 흡수파장 부분의 스펙트럼 색과는 서로 보색 또는 여색(complementary color)의 관계에 있다고 하는데, 백색 광선이 어느 물체에 도달하여 특정 파장역만을 선택적으로 흡수하면 이 물체는 그 보색을 띠게 된다. 즉, 빛이 물체에서 반사하거나 물체를 투과할 때 그 물체에 특유한 스펙트럼 특성에 의해 변화를 받는 것이다. 예를 들면 사과의 경우는 빨강이나 굴색 파장을 잘 반사하지만, 노랑 이하의 짧은 파장의 빛을 거의 흡수하므로 반사광이 빨강이 된다. 맥주의 경우는 녹색보다 긴 파장을 많이 투과시키지만, 청록 이하의 짧은 파장은 흡수하므로 투과광이 갈색이 된다. 이와 같이 물체색은 반사 또는 투과에 대해 그 물체가 가지는 스펙트럼 특성에 의해 결정된다.

(3) 색의 혼합

염료·안료의 혼합은 감산적(subtractive mixing)이며 회색 또는 흑색에 접근하지만, 유색 광선의 혼합은 가산적(additive mixing)이고 결국 백색에 접근해 간다. 장파장의 광선을 흡수한 물질이 나타내는 색을 심색이라고 부르고, 단파장의 광선을 흡수한 물질이 나타내는 색을 천색이라고 부른다. 청자색 파장역에서 흡수를 갖는 황록색이 가장 강한 천색이고, 적색부에 흡수가 있는 녹색이 가장 심색이다.

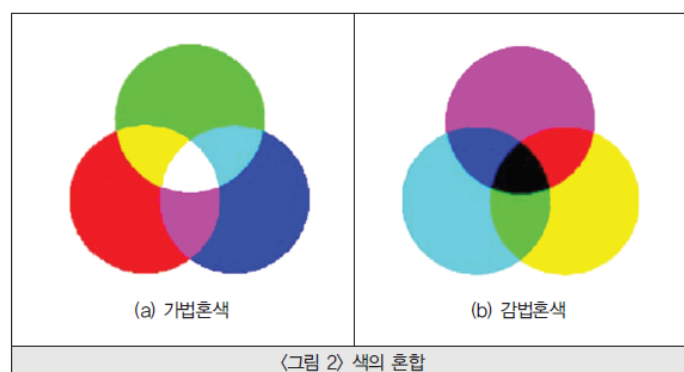
① 가법혼색/가산혼색(Additive mixture of colors)

빛을 가하여 색을 혼합할 때, 혼합된 색이 원래의 색보다 밝아지는(명도가 높아지는) 혼합을 말한다. 즉, 빛의 스펙트럼을 3등분하여 이들 파장 범위를 대표하는 세가지 색인 적(red), 녹(green), 청자(blue)를 3원색으로 하는 혼색을 말하는 것으로 "RGB 가산혼합"이라고도 한다. 이를 색광의 3원색 또는 빛

의 3원색이라 하며 색광을 겹칠수록 밝게 된다. 3색을 모두 혼합할 경우 백색광이 된다.

② 감법혼색/감산혼색(Subtractive mixture of colors)

혼합색이 원래의 색보다 명도(明度)가 낮아지도록 색을 혼합하는 방법을 말한다. 색 필터 청(cyan), 적자(magenta), 황(yellow)을 조합해 2중으로 겹친 필터에 백색광을 투과시킬 경우 빛이 필터를 통과할 때 흡수되기 때문에 혼합 색 결과는 원래 개개의 색보다도 어두운 색이 된다. 예를 들어 황과 청을 겹친 필터를 통해 백색광을 통과시켜보면 황색 필터에서 단파장의 빛이 흡수되고 청색 필터에서 장파장의 빛이 흡수되어 최종적으로는 녹색 광만이 나오게 된다. 같은 원리로 청과 적자에서는 청자색의 광이 나오며 황색과 적자에서는 적색 광이 나온다. 이와 같이 색광의 혼합의 경우와는 반대로 원색이 역(보색)으로 되어 있다. 이상적인 청, 적자, 황의 삼색필터를 모두 겹치면 빛이 투과하지 않기 때문에 검은색이 된다. 이를 "CMYK 감산혼합"이라고도 한다.



(4) 색의 3속성

색은 감각적으로 무채색(achromatic color)과 유채색(chromatic color)으로 대별된다. 무채색이란 백색에서 회색을 거쳐 흑색에 이르는 채색이 없는 물체색(物體色)의 총칭이며, 유채색이란 물체의 색 중에서 색상이 있는 색을 말한다.

① 색상(Hue)

빛의 파장에 따라 우리의 감각기에 의해 인식되는 색의 종별을 말한다. 색의 구별을 위한 명칭을 말하기도 한다.

② 명도(Value / Lightness)

색상 간의 명암 정도와 색채의 밝기를 비교할 수 있는 척도를 가리킨다. 백색을 가할수록 명도가 높아지며 흑색을 가할수록 명도는 낮아진다. 명도의 기준 척도로 grey scale(무채색 스케일)을 사용한다.

③ 채도(Chroma / Saturation)

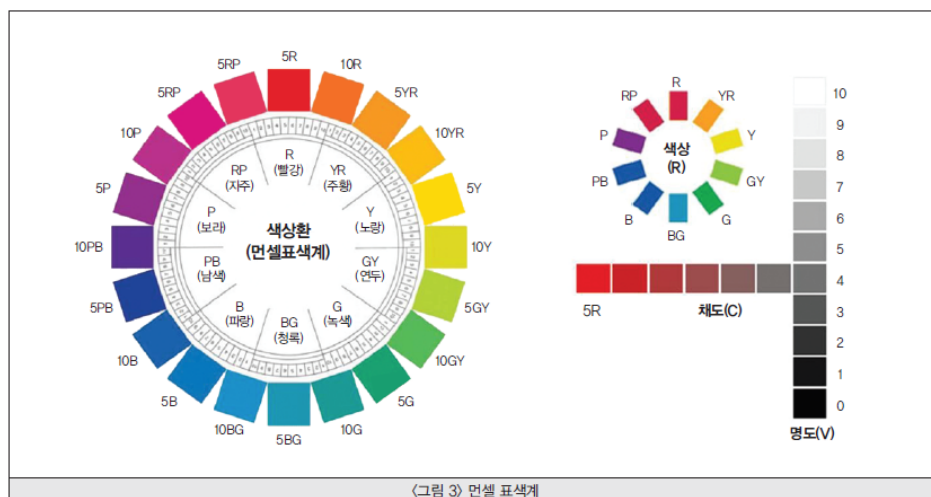
색의 순수한 정도나 강약을 나타내는 성질을 말한다. 순색에 가까울수록 채도가 높으며, 다른 색상을 가하면 채도가 낮아진다. 무채색은 채도가 0인 색을 가리킨다.

2. 색의 표시법

(1) 색의 지각

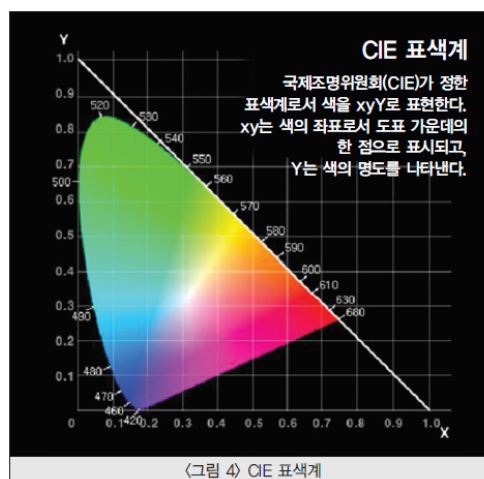
1905년 A. H. 먼셀이 고안한 색표시법이다. 색상(H=hue), 명도(V=value), 채도(C=chroma)의 세가지 속성으로 나뉘어 HV/C라는 형식에 따라 번호로 표시한다. 1943년 미국 광학회 측색위원회에서 수정하여 국제적으로 널리 사용되고 있다. 먼저 색상환(色相環)을 10으로 나누고 필요에 따라 각각의 사이를 다시 반분한다. 즉 빨강(R)·노랑(Y)·녹색(G)·파랑(B)·보라(P)색을 기본색으로 하고, 각각의 중간에 주황(YR)·연두(GY)·청록(BG)·남색(PB)·자주(RP)를 두어서 함께 10가지의 색상으로 나눈다. 그리고 각 색상 사이를 다시 또 10등분하여 번호를 붙인다. 이 분할에 따를 때 가장 빨강색다운 색상이 5R, 가장 녹색다운 색상은 5G가 된다.

또 명도를 나타내는 척도로서는 흰색에서 흑색까지의 무채색(N)의 밝음을 등분하여 11단계로 하여 흰색을 10, 흑색을 0으로 하는데, 필요에 따라 이것을 다시 세분하여 소수점을 찍을 수도 있다. 채도의 척도로서는 무채색을 0으로 하고, 그와 같은 감각차에 준해서 순도가 높아짐에 따라 차례로 1, 2, 3,... 번호를 단다.



(2) CIE 표색계

CIE(국제조명위원회 : Commission Internationale de l'Eclairage)에서 1931년 총회 때에 정한 표색법이다. ICI(International Commission on Illumination) 표색계라고도 하지만 영국에서는 ICI의 기호가 다른 곳에도 사용되기 때문에 CIE로 표시된다. 가장 과학적인 표색법이라고 하며, 분광광도계에 의한 측정값을 기초로 하여 모든 색을 x , y , Y 라는 세 가지 양으로 표시한다. Y 는 측광량이라 하며 색의 밝기의 양, x , y 는 한 조로 해서 색도를 나타낸다. 색도란 밝음을 제외한 색의 성질로서 xy 축에 의한 도표(색도표) 가운데의 점으로서 표시된다. 각 파장의 단색광의 색도를 도표 위에서 구하고 그것들을 선으로 연결한 다음에 순자(純紫)·순적자(純赤紫)의 색도점을 연결하면 도표상에 말굽 모양이 그려지고 모든 색이 이 안에 포함된다.



(3) Lab 표색계

1976년 CIE는 자신들의 이전모형을 기반으로 두가지 색상체계를 추가로 발표하였는데 그 체계 중 하나가 CIE $L^*a^*b^*$ 모형이다. Lab 색상 모형은 L (명도,

Luminosity), a와 b(각각 빨강/초록, 노랑/파랑의 보색축)라는 값으로 색상을 정의한다.

이 색상모형은 가시파장 스펙트럼의 모든 색상을 표현할 수 있으며, 출력기기에 구애받지 않는 특성을 갖는다. 따라서 이 모형은 다른 색상 모형들간의 색상 변환시(예를 들어, RGB에서 CMYK로)에 매우 효과적으로 사용할 수 있다.

Lab 표색계에서는 다음의 3가지 값으로 색을 표현한다 :

- L : 명도를 나타낸다. L값이 70일 때, color는 밝다. L값이 50일 때, color는 밝은 grey이다. L값이 25정도이면 color는 중간색의 grey이다. L값이 15일 때, color는 어두운 grey이다. 그리고 L값이 0에 가까울 때, color는 black이다.

- a : 양수(+) 값이 크면 클수록 빨간색,
음수(-) 값이 크면 클수록 녹색

- b : 양수(+) 값이 크면 클수록 노란색,
음수(-) 값이 크면 클수록 파란색

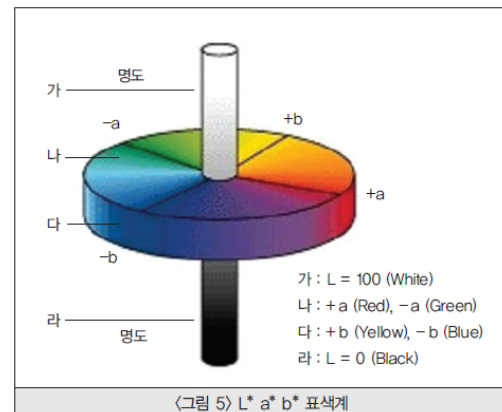
CIE Lab의 계산식은 다음과 같다 :

$$L^* = 116(Y/Y_w)^{(1/3)} - 16$$

$$a^* = 500\{(X/X_w)^{(1/3)} - (Y/Y_w)^{(1/3)}\}$$

$$b^* = 200\{(Y/Y_w)^{(1/3)} - (Z/Z_w)^{(1/3)}\}$$

단, X_w , Y_w , Z_w : 흰색의 3자극치 (=조명광원의 3자극치)



(4) 색차

색차를 구하는 이유는 색을 인지하는 사람 눈의 감각이 지극히 주관적이기 때문이다. 예를 들어 똑같은 사과를 보고 A라는 사람은“빨갱다”라고 하는 반면, B라는 사람은“붉은 색이군...”이라고 할 수도 있고, C라는 사람은“진한 빨간색인데?”라고 하는 등 여러 가지 표현이 있을 수 있다. 일상생활에선 이런 부분이 큰 문제가 없어 보이지만 페인트, 염색, 도장 등의 색과 관련이 있는 산업분야에선 굉장히 중요하다. 위와 같이 여러 사람이 같은 색에 대해 다르게 표현하기도 하고 한 사람이 비슷한 색을 반복해서 판단해야 하는 경우에는 개인의 컨디션에 따라 다른 결과를 나타낼 수도 있다. 따라서, 객관적인 색상 관리나 상호간에 색에 대한 의사소통이 중요한 경우, 색차계라는 장비를 사용하여 측정결과를 공유한다.

서로 다른 색을 비교할 때 ΔE^*_{ab} 값 대신 $L^*a^*b^*$ 색좌표에서 각 항목별로 그 차이를 표시할 수도 있다. 즉 ΔL^* , Δa^* , Δb^* 값 각각을 비교하여 나타내기도 하나 일반적으로는 ΔE^*_{ab} 값으로 색차를 표현한다. 일반적으로 색차는 ΔE^*_{ab} 로 표시하며 아래의 계산식으로 구할 수 있다.

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

상업상의 ΔE 허용오차는 대략 1 정도로서, 이는 대체로 1이라는 ΔE 값이 사람의 눈으로 느낄 수 있는 가장 작은 color 차이라고 보기 때문이다. ΔE 값이 1 보다 크면 많은 사람들이 color 차이를 인지하는 것으로 알려져 있다.

3. 광원

광원이 변하면 색상은 변할 수 있다. 예를 들어, 사과는 태양광에서는 매우 맛있어 보이나 집안의 형광등에서는 그리 보이지는 않는다. 많은 사람들이 이러한 경험을 한 적이 있을 것이다. 태양광, 형광, 텅스텐광 등 조명에 따라 같은 사과도 다르게 보인다.

(1) 자연광

램프 전구 등 인공적인 광원에서 발생하는 빛이 아닌 태양광선에 의한 빛 자연광선을 말한다. 측정 위도와 측정한 계절, 그 당시의 기상상태, 측정시각에 따라 에너지 분포 곡선이 다르다.

(2) 백열광(Incandescent light)

밀봉된 유리전구 안에 장치한 텅스텐 필라멘트에 전류가 흘러 빛을 내도록 한 가스등을 말한다.

① 텅스텐 필라멘트 램프

진공의 유리구 안에 텅스텐으로 된 가는 금속선(필라멘트)를 넣어 만든 전구로서, 빛을 내는 원리는 '온도복사'라는 물리현상 때문이다. 모든 물질은 온도가 높아지면 빛을 발생시킨다.

백열등에 사용되는 필라멘트는 녹는점이 높은 텅스텐을 사용한다. 텅스텐은 금속 중에서 가장 높은 녹는점(3 400 °C)을 가지고 있기 때문이다.

② 텅스텐 할로겐 램프

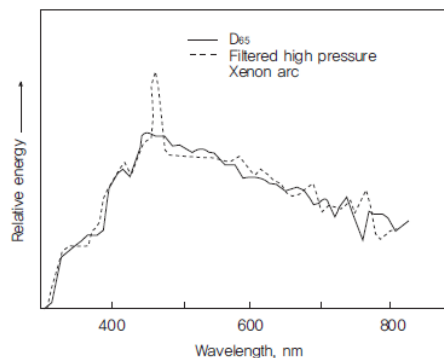
백열전구의 한 종류로서, 유리구 안에 할로겐(halogen) 물질을 주입하여 텅스텐의 증발을 더욱 억제한 램프이다. 백열전구에 비해 더 밝고 환한 빛을 내면서도 수명이 오래 가며, 크기도 작고 가벼워 자동차 헤드라이트, 무대 조명, 인테리어 조명의 광원으로 많이 사용된다. 백열전구의 경우, 텅스텐 필라멘트의 증발을 억제하기 위해 유리구 안에 아르곤과 질소의 혼합 가스를 주입하나, 할로겐 램프는 브로민이나 요오드 등의 할로겐 원소를 주입하여 텅스텐 필라멘트의 증발을 한층 더 억제한다. 일반 백열전구에 비해 수명은 2~3배이다.

(3) 방전광(Discharge light)

기체를 넣은 방전관에 전압을 가하여 전류가 흐를 때 생기는 빛을 말한다.

① 제논 아크 램프(Xenon lamp)

제논 가스 속에서 일어나는 방전에 의한 발광을 이용한 램프로써 각종 광원 중에서 자연광(일광)에 가장 가까운 빛을 낸다. 석영관(石英管) 속에 한 쌍의 전극을 넣고 전극 사이에 방전이 일어나게 한다.



② 카본 아크 램프(Carbon arc lamp)

카본 아크 램프는 두 개의 탄소봉에 전류를 흐르게 하여 빛을 얻어서 사용하는 것이고, 전기 통전에 의해 두 전극이 접촉되어 발광하는 것을 탄소 방전이라고 한다. 자연광과 비슷한 가시광선이면서 태양광선보다 부드러운 자외선이 방출되어 인체에 부작용이 없는 광선이다.

③ 가스방전 튜브

증기상의 원자가 전류의 전자에 의해 여기되었다가 다시 기저 상태로 돌아오면서 좁은 밴드의 에너지를 방사하여 빛이 발생한다.

(4) 형광등(Fluorescent light)

유리관 속을 진공으로 하여 수은과 아르곤 가스를 넣고, 안쪽 벽에 형광 도료(붕산, 규산, 인산 등의 산화물)를 칠하여 수은의 방전으로 생긴 자외선을 가시광선으로 바꾸어 조명하는 등이다.

(5) 광원과 일광견뢰도 시험법의 상관성

지금까지 여러 가지 종류의 일광견뢰도 시험장치가 상업용으로 사용되고 있지만 근본적인 원리는 동일하며 단지 광원과 온습도 조절 장치에 차이가 있을 뿐이다. 그 중에서 광원은 가장 큰 영향을 미치는 인자로서 이 광원의 종류에 따라 여러 가지 형태로 분류되고 있다. 현재 일광견뢰도 시험용으로 사용되고 있는 광원으로는, 탄소 아크와 램프, 제논 아크 램프가 대표적이며, 각각의 광원은 각각 독특한 에너지 분포를 갖는 복사스펙트럼을 발산하며, 또한 스펙트럼에 대한 시험편의 흡수정도가 다르기 때문에 동일한 광원을 사용하지 않는

한 시험결과는 다르게 나타난다.

① 탄소 아크

탄소 아크는 공기의 결합이 제한되어 탄소의 연소 속도가 느리고 사용 중에 거의 주의를 요하지 않기 때문에 보편적으로 사용되어 왔다. 일반적으로 상하로 위치한 음양의 2개의 탄소봉에 고전압을 걸을 때 전기에너지가 빛 에너지로 바뀌는데, 이 때 발하는 빛(365 nm)이 태양 광선의 자외선과 거의 같은 효과를 나타낸다.

② 제논 아크

한 쌍의 전극을 봉입한 발광관내에 제논 가스를 넣은 후 방전시키면 백색광을 방사한다. 1 기압 가스를 넣은 (장)아크 방전 램프와 20~30기압 가스를 봉입한 고압(단)아크 방전 램프의 2 종류가 있는데 후자가 표준광으로 특성이 우수하다. 제논 광원은 단아크용 제논 램프를 적당한 필터와 조합시킨 인공 광원으로 자연광과 유사한 분광 분포를 갖는다. 복사계로 측정한 추천 조사량(단위면적당 조사량)은 공냉식의 경우 파장범위 300~400 nm에서 $42 \text{ W/m}^2 \times \text{파장(nm)}$ 이고, 수냉식의 경우 420 nm에서 $1.1 \text{ W/m}^2 \times \text{파장(nm)}$ 이다.