

색의 기초와 응용 (2)

제2장 색이란

우리들은 일상 색이라는 것을 어떤 생각 없이 보고 있지만, 어떻게 해서 빨강게 보이거나, 파랗게 보이는가라는 사실을 신중하게 생각하는 것은 적다. 그러나 색을 측정하거나 수치화 하기 위해서는 색이라는 것을 철저히 생각해 볼 필요가 있다.

우선 우리들의 주의를 둘러보았을 때 모든 물체가 여러가지 색을 띠고 있음을 알 수 있다. 자연의 꽃이나 잎과 같이 물체 그 자체에 색소를 함유하고 있는 경우도 있고, 자동차나 기와와 같이 외부에서 색물체를 도포한 것도 있으며, 섬유제품이나 가죽제품과 같이 염료라는 색물질로 염색된 것도 있다. 즉, 모든 물체는 색을 가진 색물체라고 할 수 있다. 그러나 저녁의 어두침침해질 때 보는 먼 경치는 산의 나뭇잎의 녹색이나 지붕기와의 적색도 모두가 회색으로 보이는 것은 모두가 다 아는 사실이며, 또 어둠속에서는 물체의 모양도 색도 보이지 않고 모두 검게 보이는 것은 당연하다. 이러한 사실로부터 색물체가 있더라도 그것에 조사되는 빛이 없으면 인간의 눈에는 색으로서 느끼지 못하며, 색으로서의 존재는 없다고 해도 된다. 또 백열등 밑에서 보는 다랑어의 회는 맛있게 느껴지지만, 형광등 아래서 보는 다랑어의 회는 먹고 싶은 기분이 나지 않는다는 것도 보편화 되어 있다. 이것은 같은 색물체라 하더라도 그 물체에 비치는 빛의 성질이 다르면 상당히 다른 색으로 보인다는 것이다.

이와 같은 사실을 정리하여 요약해 보면 인간이 물체의 색을 여러가지로 느끼는 것은 물체가 가지는 색물질과 그 물체에 비치는 빛의 성질에 의한다

는 것임을 알 수 있다.

다음으로 빛인데, 가장 대표적인 태양광에 의한 무지개현상도 누구라도 알 수 있는 것이지만, 이것은 비온 후 대기중의 물방울의 프리즘(prism)현상에 의해 태양광선이 분광된 결과이다. 인간의 눈은 가시광선인 380~780nm의 파장인 빛을 느끼도록 되어 있으며, 400~450nm는 보라색으로, 450~500nm는 파랑색, 500~570nm는 녹색, 570~590nm는 황색, 590~610nm는 주황색, 610~700nm는 빨간색으로 느끼게 되어 있다.(nm · 나노미터(nanometer)란 10^{-9} m이고, 1밀리마이크론(milimicron)이며, 100만분의 1밀리미터(millimeter)의 단위이다.)

색물체의 빛이 비칠 때, 그 물체가 빛의 파장의 스펙트럼(spectrum)광을 반사하는데, 그 반사율의 분포에 따라서 인간의 눈은 여러가지 색으로 느끼는 셈이다.

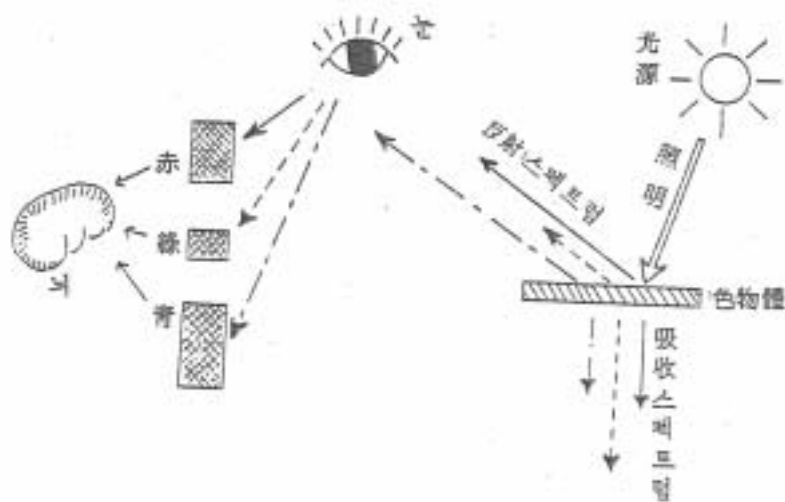
전술한 다랑어 회회 예는 조명하는 빛의 적색의 스펙트럼광을 많이 포함하고 있는 경우는 아름다운 적색으로 보여서 맛있게 느껴지고, 청색의 스펙트럼광이 많은 빛에서는 어두운 적색으로 보여서 맛있게 생각되지 않는 것이다.

색이 보이는 것은 물체의 광학적 성질과 조명에 의한 것이므로 염색기술자는 조명의 황색성을 잊어서는 안된다. 예를 들면, 나일론의 베이지색의 색견본으로 면포를 가지고 같은 색으로 색내기를 하는 경우 등, 조명의 차이에 따라서 상당히 색이 다르게 보이는 것을 잘 알아서 2~3개의 조명에서 황색성이 적은 염료의 조합을 선택하든가, 지정조명을 물어서 그 조명에서 컬러매칭을 하지 않으면 생각지 않은 실패를 하는 수가 있다.

다음에 인간이 눈을 통해서 색을 감지하는데 어떠한 구조로 되어 있는지 알아보자. 우선 렌즈와 같은 구조를 가진 안구에 각 파장의 스펙트럼 반사율을 가진 색물체에 조명된 스펙트럼광의 반사스펙트럼이 들어온다. 그리고 인

간의 색에 대한 감각은 적, 녹, 청색을 느끼는 3가지 원색에 대한 색감각이 있다고 생각되고 있으며, 그 안구로부터 들어온 반사스펙트럼광이 각각 어떻게 자극하는가, 그 양에 따라서 각각 다른 색을 감지한다는 것이다.

<그림 2.1>에 그 구조를 나타낸다.



<그림 2.1> 인간이 색을 감지하는 구조

제 3 장 색을 측정하는 방법(측색법)

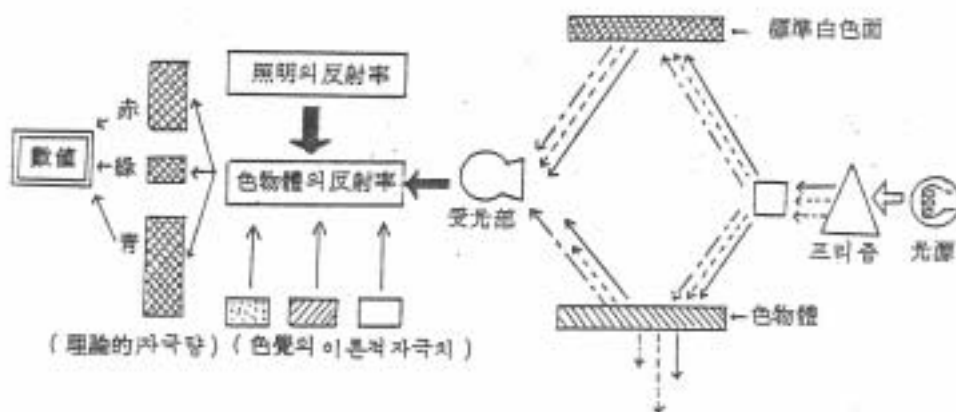
3.1 색을 측정하는 방법

인간 각각의 감각으로써 보이는 색을 일정한 형태로 측정하려고 하는 것은 대단히 곤란한 것이지만, 개인적인 차이가 있는 색감각을 모델화하여 한 가지 형태로 생각한다면, 제2장에 기술한 바와 같은, 인간이 색을 감지하는 구조를 장치화하여 조명이나 자극내용을 과학적으로 이론화함으로써 색을 측정하는 것도 가능하게 된다.

즉, 태양이나 형광등이나 백열등의 빛에 의해서 인간은 색이 보이기 때문

에 색물체에 그와 같은 조명을 하는 것이 첫째이다. 그리고 프리즘에 의해서 각 파장의 스펙트럼광으로 분광하여 그 스펙트럼반사율의 분포와 인간의 적, 녹, 청색을 느끼는 색감각의 모델을 이론화한 스펙트럼반사율의 분포(스펙트럼자극치)를 그 색물체의 반사율분포에 곱치면 측정하려 하는 색물체의 자극량 즉, 인간이 적색을 느끼는 색감각을 강하게 자극하는 자극량, 녹색을 느끼는 색감각을 강하게 자극하는 자극량, 청색을 느끼는 색감각을 강하게 자극하는 자극량이 되는 이치이다. 이 조명이나 자극치나 자극량을 이론화하여 수치나 기호로써 표현함으로써 인간의 감각으로서 보인 색이 측정될 수 있다는 것이다.

<그림 3.1>은 그 사고방식을 흐름도로 나타낸 것이다.



<그림 3.1> 색을 측정하는 방법

3.2 조명의 내용

인간이 색을 볼 때, 광원이 필요하다는 것은 충분히 이해할 수 있었는데, 인간은 여러 장소에서 색을 보고 있기 때문에 그 광원은 옥외에서는 태양의 직사일광이거나 구름낀 하늘이나 해그림자이며, 옥내에서는 백색형광등이나

적색형광등이나 백열등 등인 셈이다.

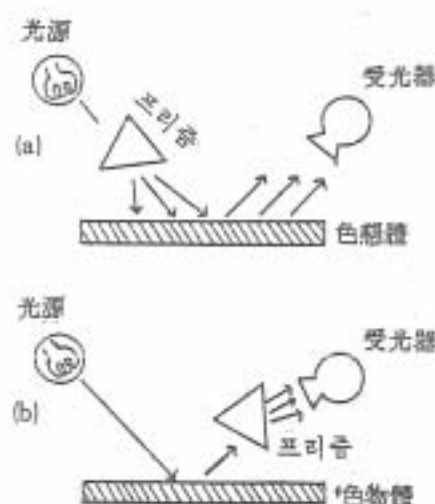
<표 3.1> 조명의 종류

종 류	설 정
표준광 A (Illuminant A)	백열전등을 대표하는 것으로서, 텅스텐전구를 정해진 에너지 분광분포(스펙트럼 분포)를 가지도록 규정된 전압으로 점등한 상태의 조명. “A광원”이라고도 한다.
표준광 B (Illuminant B)	표준광 A에 특별히 정해진 필터를 부착하여 푸르스름하게 한 것으로서, 직사일광의 대표로서 사용된다. “B광원”이라고도 한다. 드물게 사용된다.
표준광 C (Illuminant C)	표준광 A에 B의 경우 보다도 더욱 푸른색의 필터를 부착한 것으로서, 복창광선의 대표로서 사용된다. C광원이라고도 불리우며 오늘날까지 측색학상 가장 중요한 조명으로서 사용되어 왔다. 이것은 일반적으로 자연광과 동일하다고 믿는 바지만, 에너지 분광분포는 상당히 다르다는 점에 주의하지 않으면 안된다. 이 점에서 다음의 표준광 D로 바뀌어 가는 운명에 있다. 그러나 오랫동안 걸쳐서 측색상의 표준광으로 되어있었던 공적은 크다.
표준광 D (Illuminant D)	최근 국제적으로 인정된 새로운 조명이다. 자연서광을 모든 각도에서 조사 연구하여, 그 빛의 색(색도 좌표에 표시되는)이 정해지면 에너지 분광분포가 계산으로 구해지도록 규정된 것이다. 자연서광의 대표라고 생각해도 좋은 것이며, 이 점 조명 C보다도 보다 자연광에 가까운 것이다. 더구나 300nm의 자외부로부터 830nm까지의 넓은 범위에 대해서 규정되어 있다. 다른 조명은 380nm~780nm가 규정되어 있는 점에 비하면 보다 실용적이다. 또 다른 조명과 같이 1가지로 고정된 것이 아니고 자연서광의 여러가지 조건(예를 들면 시간)이 규정된 경우, 그 조건하에서의 조명이 규정될 수 있다는 유연성이 있다.
표준광 E (Illuminant E)	이것은 완전히 가공의 조명으로 실제 존재하지 않는 이상적인 조명이다. 가시파장 영역에서 균등한 에너지를 가진 조명이다. 독일 규격에서 사용되고 있는데, 최근 이 규격이 보급 되었기 때문에 중요하게 되었다.
크세논(Xenon) 표준백색광원	형광색의 비교용으로서 일본에서 세계에 앞장서서 규정된 것으로서, 자외부로부터 가시부에 걸쳐서 자연서광에 비교적 가까운 분광분포를 가진 것이다. 형광색은 이것으로 추정된 것이 많기 때문에 이 경우는 광원이 아니라 조명이 된다. JIS Z 8902에 의해 에너지분광분포(스펙트럼분포)가 10nm마다 규정되어 있다.

색을 측정하려고 하는 데에는 광원이 되는 조명이 필요하며, 이를 위해서는 여러가지 종류인 광원을 정리하여 몇 가지의 조명을 규명할 필요가 생긴다. 여러가지로 연구한 결과, 현재로서는 <표 3.1>에 기재한 조명을 CIE나 JIS등에서 규정하고 있다.

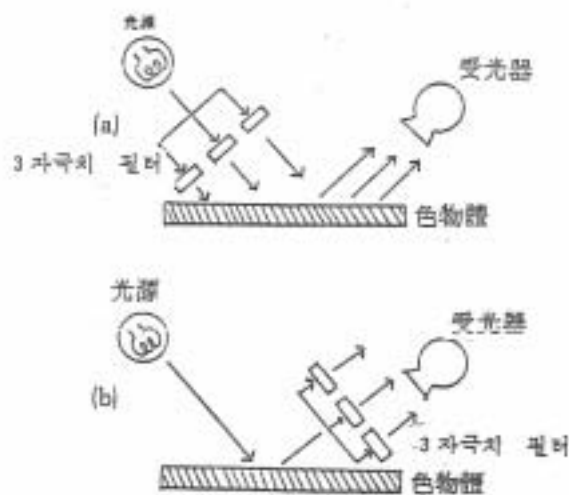
3.3 측색기

<그림 2.1>에 나타낸 인간이 색을 감지하는 구조를 장치적으로 재현할 수 있도록 생각한 것이 측색기이다. 색을 광학적으로 측정하려고 한 것으로서 우선 인간이 색을 감지하는 데 필요한 2가지 요소인 색물질과 광원에 대해서 색물질은 측정하려고 하는 색물체인 샘플이고, 그 색물체에 인공적으로 만들어진 전등 등에 의한 광원을 조사할 수 있도록 한다. 그리고 그 광원을 프리즘에 의해서 분광하는 것은 용이하며, 분광된 스펙트럼광을 시료에 조사할 수 있도록 장치와 연속스펙트럼광을 시료에 조사하여 그 반사광을 스펙트럼에 분광하도록 된 장치도 있다.<그림 3.2 참조>.



<그림 3.2> 분광광도계의 조사방식

또, 광원을 스펙트럼에 분광하는 대신에 인간은 뇌안의 적색을 느끼는 색감각, 녹색을 느끼는 색감각, 청색을 느끼는 색감각을 강하게 자극을 주는 3 자극치의 자극량에 의해서 색을 감지하는 것이기 때문에, 최초부터 광원 또는 그 반사광을 적색의 필터, 녹색의 필터, 청색의 필터를 통과시켜 반사광의 3자극량을 알 수 있도록 부여한 장치도 있다. 이것에는 필터를 통한 광이 색 물체에 조사되는 것과 색물체로부터 반사된 광을 필터를 통해서 수광하는 것이 있다. <그림 3.3 참조>



<그림 3.3> 광전색채계의 조사방식

이상과 같은 장치를 총괄하여 측색기라고 부르고 있다. 빛을 분광된 스펙트럼광으로 하는 방법을 취한 것을 분광광도계, 빛을 3자극치의 필터를 통과도록 한 것을 광전색채계라고 칭하고 있다.

색물체를 측색하는 데 있어서 전자의 분광광도계에 의한 측색법은 충분한 신뢰성이 있다고 하여 측색의 표준이라고 되어 있지만, 근년 상당히 진보했

다고는 해도 아직도 기기의 가격은 고가이고, 조작도 복잡하다. 그 반면, 후자의 광전색채계에 의한 3자극치 측색법은 상당히 사용하기 쉽고 가격도 싸며, 연구도 진행되어 측정치의 신뢰성도 높아지고 있기 때문에 이제부터 점점 보급되어 갈 것이라고 생각된다.

3.4 3자극치

인간이 색물체에 조사된 스펙트럼광을 눈에서 취하여 색을 감지하는 단계에 있어, 조명으로부터의 반사율의 분포를 붙잡기까지의 구조에 대해서는 장치적으로 가능하며(3.3)에서의 설명으로 이해할 수 있었던 것이라고 생각되지만, 다음에 인간이 그 분광된 스펙트럼광에 의해서 색감각에 자극을 받아 색을 느끼는 구조를 이론화할 필요가 있다. 그 때문에 우선 인간의 색감각이라는 것을 규명하는 방법을 생각하지 않으면 안된다. 즉, 스펙트럼광에 의해서 규정하는 것을 생각하여 각 파장의 스펙트럼광이 인간의 색감각에 부여하는 자극량을 미리 정해두는 것이다.

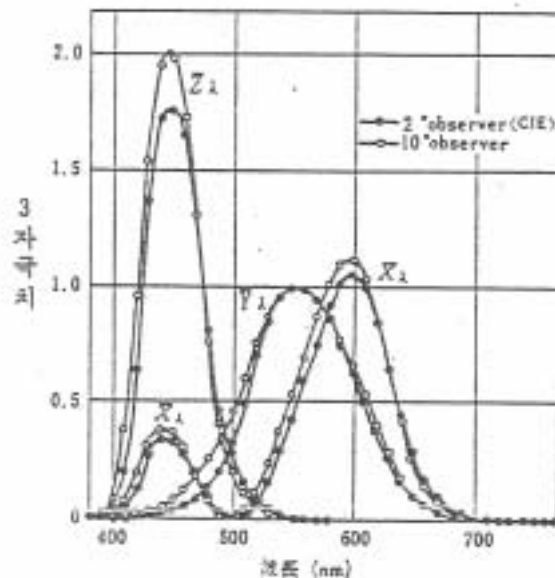
이 경우, 우선 색은 3원색의 빛의 혼합에 의해서 임의의 색이 만들어진다는 원리로부터 각각의 스펙트럼광이 그 3원색광을 어떻게 포함하고 있는가를 결정하는 것이다.

3원색에 대해서는 1922년 미국 광학회(OSA)에 의해서 발표된 적, 녹, 청색이 현재도 사용되고 있다.

파장(λ) 스펙트럼광중의 적색의 자극을($\tilde{x}_\lambda$), 녹색의 자극을($\tilde{y}_\lambda$), 청색의 자극을($\tilde{z}_\lambda$)로 하고, 3가지의 자극이 혼합되면 인간은 그 스펙트럼광의 색을 느낀다고 한다. 각 파장마다의 스펙트럼이 $\tilde{x}_\lambda \cdot \tilde{y}_\lambda \cdot \tilde{z}_\lambda$ 를 어떻게 포함하고 있는가는 국제조명위원회(CIE)에 의해서 제공되어 있다. 인간의 눈은 넓은 면적에서 보는 경우와 좁은 면적에서 보는 경우의 색감각에 조금 차이가 있

기 때문에 10°시야의 경우와 2°시야의 경우의 2가지가 제공되어 있다. <그림

3.4> 참조



<그림 3.4> 스펙트럼색 3자극치의 파장분포

이것을 3자극치라고 부르고 있다. 이 3자극치가 인간의 색을 느끼는 자극을 이론화하고 과학적으로 말하면 가장 중요한 값이다.

3.5 색을 측정하는 원리

이제까지의 설명에 의해서 인간이 색을 감지하는 구조의 해명으로부터 그것을 재현하는 장치와 규정화하는 이론을 안 셈인데, 그 장치나 이론을 사용하여 색을 측정할 수 있는 원리에 대해서 생각해 보자.

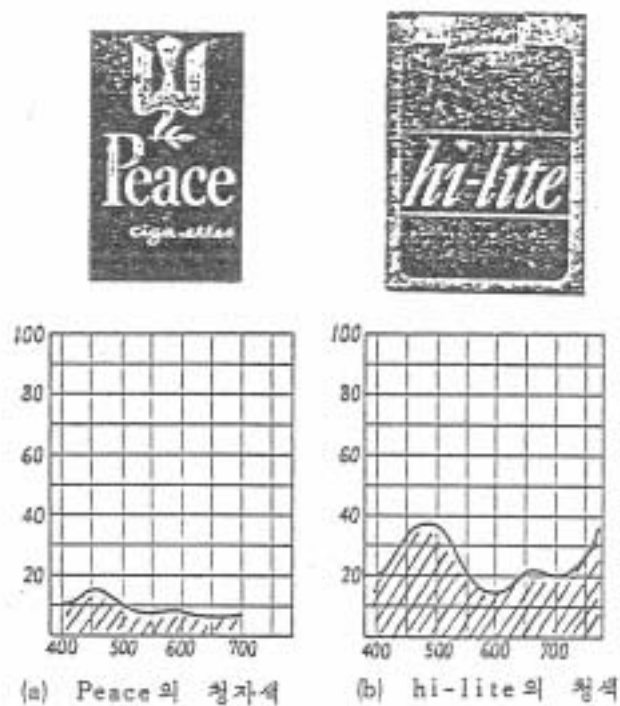
색물체의 색은 조명과 스펙트럼광의 반사율의 분포와 각각의 스펙트럼광이 포함된 3원색의 자극치를 알면 표현할 수 있는 것을 알았다.

조명에는 여러가지의 종류가 있으며, CIE나 JIS에 규정된 것이 여러 종류

있다는 것은 전술한대로 인데, 이 조명에너지의 분광분포를 P_λ 의 기호로 나타내고 있다.

조명의 종류에 따라서 P_λ 의 값은 변하는 것으로서, 예를 들면 A광원에 의한 측정인가, C광원에 의한 측정인가에 의해서 스펙트럼광의 3자극치는 변한다. 즉, $P_\lambda \bar{x}_\lambda \cdot P_\lambda \bar{y}_\lambda \cdot P_\lambda \bar{z}_\lambda$ 가 되는 셈이다.

이것은 각 파장마다 존재하는 셈이며, 인간이 감지하는 것은 전파장에 걸친 총합량이다. 예를 들면, 담배값 Peace의 청자색이나 hi-lite의 청색은 <그림 3.5>에 나타난 분포도의 사선의 면적이 된다.



<그림 3.5> 색의 상식(천상원근)으로부터 옮겨실음

이 스펙트럼 3자극치의 총합량을 구한 자극치를 색의 3자극치로 하여 X, Y, Z의 기호로 나타내고 있다.

또, 스펙트럼 반사율의 분포에 의해서 색이 느껴지는 것이기 때문에 각 스펙트럼과의 반사율(%)이 필요하며, 이것을 ρ_{λ} 의 기호로 나타내고 있다. 그리고 각 스펙트럼의 반사량의 총합을 얻으면, 이 각 스펙트럼광의 반사율을 곱한 각 스펙트럼광의 적분치가 되지만, 측정을 세분하여 파장수를 많이 하면 그 값은 크게 되고, 대표적인 파장을 측정하여 간략화하면 그 값은 작아지기 때문에, 그래서 곤란하므로 계수 k 를 설정하고 있다. 계수 k 는 완전히 반사했을 때의 Y 값이 100이 되도록 정해져 있다.

또, 파장의 간격을 어떻게 취했는가, 예를 들면 10nm마다 측정한 것인가, 더욱 세분하여 측정한 것인가, 또는 넓게 한 것인가를 나타내는데 $d\lambda$ 또 $\Delta\lambda$ 의 기호를 사용하고 있다.

그리고 색의 3자극치 X, Y, Z 는 아래에 기술한 계산식으로 나타낼 수 있다.

$$X = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{x}_{\lambda} d\lambda$$

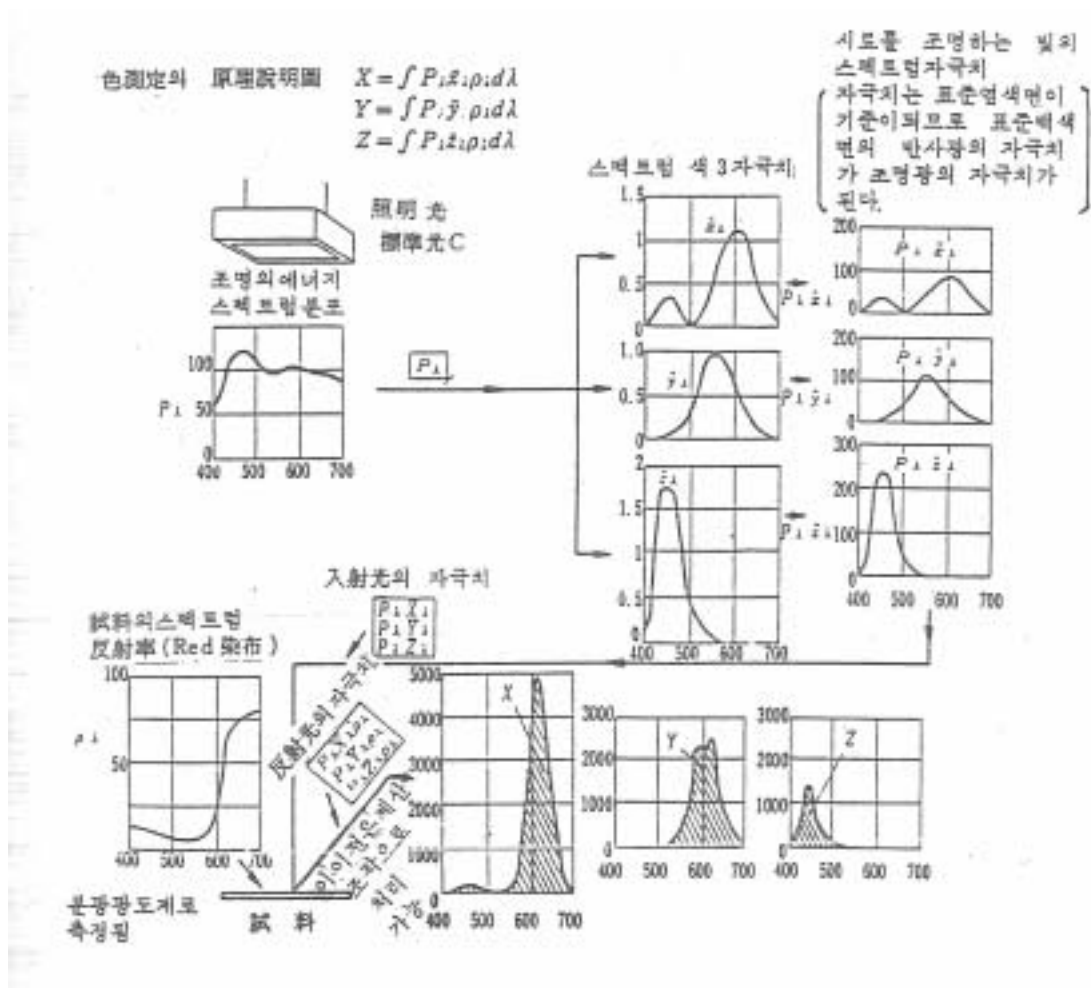
$$Y = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{y}_{\lambda} d\lambda$$

$$Z = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{z}_{\lambda} d\lambda$$

$\sum$ 는 상하의 숫자를 가지며, 그 사이의 합의 의미를 나타낸다. 예를 들면, $\sum_{380}^{780}$ 이라고 쓰면, 380nm부터 780nm까지의 $d\lambda$ 간격의 수치를 전부 합한다는 의미를 나타낸다.

이상의 원리를 도해하면 <그림 3.6>과 같이 된다.

또, 빛의 분광스펙트럼을 사용하지 않고 분광스펙트럼을 사용한 것과 같은 결과를 얻을 수도 있다. 즉, 인간이 가지고 있는 색감각, 적, 녹, 청색의 자극을 같은 조건으로 광원으로부터의 반사광의 값을 얻는 것이다. 이와 같은 인간의 눈이 가지는 색감각에 상당하는 조건을 루더조건(Luther condition)이라고 칭하고 있다.



<그림 3.6> 색측정의 원리설명도

우선 광원이나 반사광이 통과했을 때에 색의 3자극치 X, Y, Z의 값으로 되는 스펙트럼투과율을 가진 필터를 생각한다. 그리고 X용 필터의 분광투과율을 $(T\lambda)_x$, Y용의 그것을 $(T\lambda)_y$, Z용의 그것을 $(T\lambda)_z$ 로 표시한다. 이 3가지 투과율의 상호관계를 일치시키기 위하여 계수를 사용하는데, 그 계수를 ℓ_x , ℓ_y , ℓ_z 로 표시한다. 또 광원의 분광분포를 $(P\lambda)_m$ 로 표시하고, 수광기의 감도에 따라서 값이 변동하기 때문에 수광기의 스펙트럼 $S\lambda$ 도 쓴다.

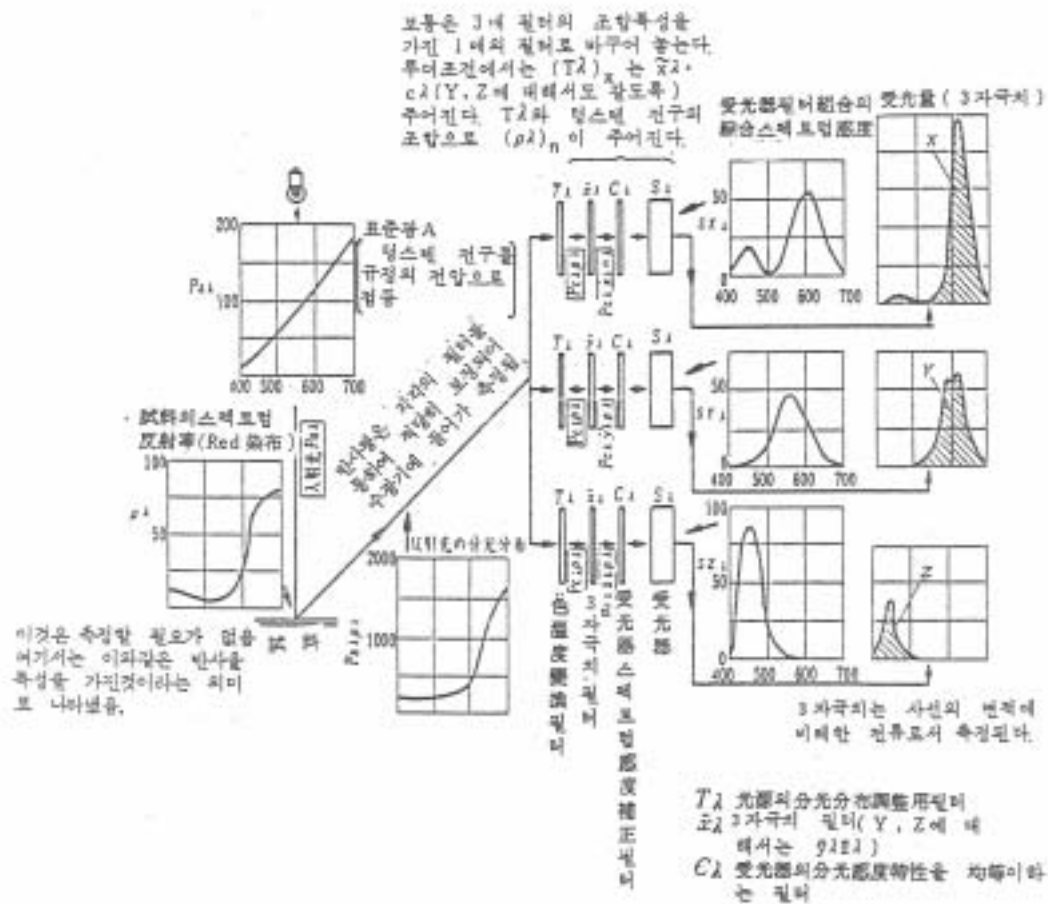
이들의 값으로부터 이루어진 다음의 식이 만족되는 조건이 즉, 루더조건이다.

$$\ell_x(P\lambda)m(T\lambda)xS\lambda = P\lambda\tilde{x}\lambda$$

$$\ell_y(P\lambda)m(T\lambda)yS\lambda = P\lambda\tilde{y}\lambda$$

$$\ell_z(P\lambda)m(T\lambda)zS\lambda = P\lambda\tilde{z}\lambda$$

색물체가 반사하는 각 파장의 빛이 필터를 통과한 후, 수광기에 모아져서 수광되므로 전파장범위의 총합계가 되며, 이것은 각 파장마다의 $\rho\lambda P\lambda\tilde{x}\lambda$, $\rho\lambda P\lambda\tilde{y}\lambda$, $\rho\lambda P\lambda\tilde{z}\lambda$ 를 계산하여 전파장범위에 대해서 적분한 것과 같은 결과가 된다. 이 방법에 의한 측색의 원리를 도해하면 <그림 3.7>이 된다.



<그림 3.7> 광전색채계에 의한 3자극치 측정원리

색을 측정한다고 하는 것은 결국 색의 3자극치 X, Y, Z 의 값을 계산하는 것이며,

$$X = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{x}_{\lambda} d\lambda$$

$$Y = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{y}_{\lambda} d\lambda$$

$$Z = k \sum P_{\lambda} \rho_{\lambda} \tilde{z}_{\lambda} d\lambda$$

의 식에 있어서 P_{λ} 는 측색할 때의 조명에 의해서 결정되는 정수이며 $\tilde{x}_{\lambda}$, $\tilde{y}_{\lambda}$, $\tilde{z}_{\lambda}$ 는 CIE에 의해서 제공되어 있는 정수이다. 또 $d\lambda$ 는 파장간격을 어떻게 취하는가에 따라 정해지는 정수이고, k 는 $k = 100 / \sum P_{\lambda} \tilde{y}_{\lambda} d\lambda$ 로 표시되는 모든 정수로부터 된 식으로 정립되어 있기 때문에 정수가 되며, 최종적으로는 색물체의 반사율 ρ_{λ} 값을 측정함으로써 색의 3자극치 X, Y, Z 는 계산된다.

광전색채계를 사용하는 경우라도 루더조건에 의해서 $P_{\lambda} \tilde{x}_{\lambda}$, $P_{\lambda} \tilde{y}_{\lambda}$, $P_{\lambda} \tilde{z}_{\lambda}$ 와 동일하게 되는 조건이 정해져 있기 때문에 수광기로써 받아들인 색물체의 반사광의 값만으로 X, Y, Z 는 계산될 수 있는 것이다.