

# 가시광 무선 통신의 기술 특징 분석

장수영

캘리포니아 주립대학교

## 요약

본고에서는 가시광 통신에 사용되는 여러가지 기술 특성을 간단하게 기술하고자 하였다. 광원과 감지기에 대한 기술 사항을 간단히 소개하였으며 그들의 기술 특성을 표시하는 방법에 대하여 간단히 기술하였다.

## 1. 서론

가시광 통신이란 가시광을 이용한 통신방식이다. 가시광은 기존의 전파를 이용한 무선통신과는 통신 채널과 신호원에서 큰 차이를 갖고 있다. 신호 자체가 기존 전파와는 특이한 특성을 갖고 있으므로 가시광 통신에서는 이를 잘 활용할 필요가 있다.

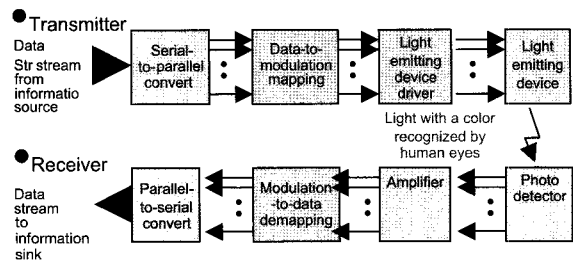
이 논문에서는 이러한 특성을 고려한 통신방식에 대한 기술특성을 분석하고자 한다. 가시광 특성을 이용한 채널의 분석이 이 통신을 이해하는데는 큰 역할을 하지만 이 분야는 다른 논문에서 다루어지므로 여기에서는 생략하기로 한다.

가시광 통신을 통하여 기술적으로 다음과 같은 목적을 달성할 수 있다:

- 조명이 제공되는 장소에서는 어디에서나 통신이 가능한 유비쿼리티 제공
- 조명이 제공되지 않는곳에서의 점대점 통신 및 방송
- 기존의 전파를 이용한 무선통신이 불가능한 지역에서 보

## 조통신 수단 제공

가시광 통신시스템의 블럭다이어그램을 나타내면 그림 1과 같다.



(그림 1) 가시광 통신 시스템의 블럭다이어그램

## II. 본론

### 가시광 통신과 전파를 이용한 무선 통신의 기술적 차이

가시광 통신과 전파 무선 통신의 기술적 차이를 요약하면 다음의 <표 1>과 같다.

### 가시광 신호의 조작 및 전달에 영향을 주는 요소들

최적의 시스템 설계를 위하여 다음과 같은 요소들을 고려하여 시스템을 구현해야 한다.

#### • 인간 눈의 감지 능력 (Eye Sensitivity)

인간의 눈이 감지할 수 있는 빛의 색깔을 발생시키기 위하

〈표 1〉 가시광 통신과 무선전파통신의 기술적 차이

가시광 통신	전파 무선 통신
- 가시광선을 인간 눈이 감지할 수 있는 밝기 또는 색깔을 조작하므로써 데이터 정보를 운반	- 전파 자체를 조작하여 데이터 정보를 전송
- 방사되는 출력이 각 파장에 가시 감지 함수 (luminosity function or visual sensitivity function) 만큼 가중되어 인지됨	- 수신단에서 수신된 신호의 파라미터를 탐지하거나 신호크기 또는 전력에 대한 방사 에너지를 측정하여 전송된 데이터 복원
- 데이터 전송을 위하여 사용되는 가시광 신호는 정보 전달을 위하여 신호가 조작되기전에도 (변조전에도) 일정량의 밴드 폭을 갖음	- 정보 전달을 위하여 신호가 변조되기 전의 신호는 단일 주파수의 반송파 신호임 - 변조후에는 일정량의 밴드폭을 갖음

여 눈의 빛에 대한 감지기능을 고려해야한다. 인간의 눈에는 각 파장마다 다른 정도로 감지된다. 즉 색깔에 따라 감지하는 정도가 다르다. 각 색깔은 이에 해당하는 파장으로 나타낸다. 크로매티시티 함수(chromaticity function)는 각종 파장에 대한 인간 눈의 감지능력을 나타낸다.

• **신호원의 파장 (또는 주파수) 특성 분포 (spectral Distributions)**

각 광 신호원 (또는 광 발생 소자)은 그자체의 파장 특성 분포를 갖고 있다. 인간 눈에 감지되는 광색을 구현하기 위하여 이 분포를 고려하여야한다.

• **광 색채 공간 (Light Color Space)**

광 색깔을 나타내기 위하여 지금까지 수종의 색채 공간이 제시되어 있다. 이 공간을 이용하여 광원에서 발생하는 색깔을 나타낼 수 있으며 여러광원으로 부터 오는 빛들이 혼합되는 경우 어떤 색깔이 될 수 있는지 분석이 가능하다. 이 공간은 뒤에서 더 자세하게 다루어 진다. 한 특정 색깔은 이 공간에서 한점으로 나타내진다. 광 신호원 및 광감지 소자의 파장 특성 및 위에 제시한 모든 요소들을 고려하여 최적의 잘 설계된 광 색채 공간이 필요하다.

• **광 감지소자의 반응 감도 (Responsivities)**

광 감지소자는 빛을 수신할 때 각 파장에 대하여 다른 반응 감도를 갖고 있다. 각 광 감지소자도 같은 파장에 대하여 다른 반응 감도를 갖고 있다. 따라서 광 감지소자의 반응 감도는 빛을 수신할 때 각 파장에 대하여 어떻게 반응하는가를 나타낸다.

• **변조후의 신호원으로 부터의 빛의 색깔 또는 편안함 정도 (Comfortableness)**

가시광 통신을 하는경우 변조를 하면 광 신호의 색깔이 변

할 수 있다. 이러한 변화는 일반적으로 의도하는 바가 아니다. 인간 눈에 의하여 인식이 되기 때문에 변조후 어떤 색깔의 빛도 발생시킬 수 있어야 한다. 이는 통신을 위하여 신호 조작후 색깔의 변화가 없어야한다.

• **조명 효율 및 통신 성능**

통신 기능이 조명 효율을 저하시키지 말아야 하며 통신 성능은 밝기제어(dimming control)와 같은 조명제어에 영향을 받지 말아야 한다. 통신은 조명제어와 상호 상존이 가능해야 하며 이에 의하여 성능이 저하되는 경우 수용할수 있는 범위내에서 저하되어야한다.

최적의 가시광 통신 시스템을 설계하기 위하여 위의 모든 요소들을 고려해야 한다.

가시광 통신의 제약 조건들

가시광 통신은 다음과 같은 제약 조건들을 갖고 있다:

- **단거리 통신**: 장거리 통신을 위하여 단거리 통신 제약조건을 극복하는 것이 필요
- **가시 영역(line-of-sight) 문제**: 가시영역내에 있지 않은 지역과의 통신을 위하여 이제약의 극복이 필요
- **보안성**: 가시광이기 때문에 의도하지 않게 통신 자체가 인간 눈에 노출됨
- **다른 조명으로 부터의 간섭**: 전파 통신과의 간섭은 없으나 다른 조명으로 부터의 간섭은 고려 되어함: 태양광, 다른 조명등의 주변광원들로 부터의 간섭
- **기동성 문제**: 가시광 통신이 고속 차량에서 이루어지는 경우 성능 저하 여부
- **갑작스런 장애물 차단 문제**: 단기간 차단 과 장기간 차단을 고려할 수 있고 문제 발생시 대체 통신수단의 존재 여부 및 오류제어 및 공간 다변화 (space diversity) 기술 채용여부

우주 비행선 내의 통신 및 우주 공간과 같은 진공에서의 통신은 화이버광 시스템과 유사한 성능을 갖을 수 있는데 지상에서의 가시광 통신은 다음과 같은 제약을 갖는다:

- 비임 확산 (Beam dispersion)
- 대기권 광 흡수 (Atmospheric absorption)
- 강우: 적은양의 감쇄
- 안개: 10~100 dB/km 감쇄

- 눈(snow): 적은양의 감쇄
- 섬광(scintillation): 적은양의 감쇄, LED 시스템에게는 영향이 적음
- 배경 광선
- 그늘 효과(shadowing)
- 바람이 있는 경우 방향성의 안정성 (Pointing stability)
- 공해
- 해가 송신기 뒤를 지나갈때 : 광신호는 사라짐

이런 요소들은 수신기에서의 수신 신호세기를 감쇄시키고 데이터 오류율을 높인다. 이러한 문제들을 극복하기 위하여 여러개의 송신기나 수신기를 사용하여 다중비임 또는 다중 경로 구조를 채택한다거나 강우 공해 또는 안개등에 대비하여 여분의 출력을 갖거나 보다 더 큰 감쇄여분 (fade margin) 을 갖는 고기술의 소자를 사용할 수 있다. 지구 대기층 및 안개에 의한 감쇄는 지속적으로 증가하며 실질 도달 거리는 수 킬로미터로 국한된다.

### 인체 유해 (건강) 문제

가시광이 인체에 영향을 미치는 경우 이는 큰 문제이며 이들도 통신시스템을 설계하는데 고려를 해야한다.

- **빛의 깜박거림** : 이는 IEC 1000-3-3 에 의하여 빛의 강도나 파장분포의 시간적 변화에 의하여 빛이 불안정하다고 느끼는 상태로 정의 된다. CFF (Critical Fusion Frequency 또는 flicker fusion threshold) 가 이 지표이며 이 기준보다 더 많은 프레임을 갖도록 하여야 하며 동화면에 적용이된다. 인간의 CFF 는 보통 16 Hz이다. 가시광 통신은 현재까지 주로 광세기(intensity) 변조를 사용하였기 때문에 이 깜박거림을 고려해야 했다.
- **인간 눈 건강 안전** : 충분한 출력을 갖고 방사되는 동조성의(coherent) 가시광(400- 1400 nm)은 안구까지 침투되며 망막을 가열시킬 수있다. 비동조성의 가시광은 회절에 의한 초점의 제한이 없고 광범위하게 가시영역을 갖으며 (점image가 아님) 조명 및 전사용과 같이 장기적으로 빛을 사용하기 때문에 상대적으로 안전하다.

### 가시 광원들

여러종류의 광원들이 전통적으로 사용되어 왔다:

- 전통적인 백열전구, 형광등 등

- 기술이 진보됨에 따라 최근들어 LED가 보다 더 많은 방사 출력 (또는 luminance) 를 갖게 되어 조명 분야에 보다 더 많이 사용되고 있음
- 레이저, LCD 표시장치, plasma 표시장치 등 가시광 통신을 위하여 위의 모든 광원들을 고려할 수 있다. 그러나 보다더 효율적인 통신을 위하여 다음의 소자들을 고려할 수 있다.

- LED (Light Emitting Diode)
- RC (Resonant Cavity) LED
- OLED (Organic light-emitting diodes)
- Laser 다이오드 (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)
- VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser)
- Liquid crystal display (LCD)

### LED 와 레이저 다이오드 비교

LED와 레이저 다이오드의 기술적 특성을 비교하면 표 2와 같다.

<표 2> LED와 레이저 다이오드의 기술 특성 비교

	LED	레이저 다이오드
방사	간헐적인 방사	자극적인 방사
출력 전력	저	고
방향성	저방향성/무방향성	고방향성
파장밴드폭	넓은 스펙트럼 ~40nm	좁은 스펙트럼 < 0.01nm
반응시간	느림	빠름
동조성	동조 (coherent)	비동조(noncoherent)
가격	저	고
동작회로/취급용이성	상대적으로간단/용이	복잡/용이하지않음

### LED의 장점

최근들어 기술이 발전함에 따라 LED가 다음과 같은 많은 장점을 갖고 있어서 조명응용에 많이 활용되기 시작하였으며 가시광 통신을 위한 신호원으로 크게 부각되고 있다.

- **효율**: LED는 백열등보다 단위전력당 광량을 높게 낼 수 있어서 배터리에 의하여 운용되거나 절전형 장치등에 유용하게 사용될 수 있다.
- **색채** : 각종 광색을 내는데 전통적인 조명 방법은 색채 필터가 필요한데 LED는 이러한 필터를 사용하지 않고 원하는 색깔을 낼수 있다. 이는 더욱더 효율적이고 초기

비용을 줄일 수 있다.

- 크기 : LED는 매우 작으며 ((2 mm<sup>2</sup>) PCB 보드에 쉽게 장착될 수 있다.
- On/Off 시간 : LED는 매우 신속하게 켜진다. 전형적인 적색LED는 수 마이크로초내에 최대 밝기가 된다. 가시광 통신에 사용되는LED는 더 빠른 반응 속도를 갖고 있다.
- On-Off 주기성 : LED는 형광등과는 달리 빈번한On-Off를 해야하는경우 더욱더 이상적이다. 반면 HID 등은 재시작 하기에는 긴시간이 필요하다.
- 밝기 제어 (Dimming) : LED는 펄스폭변조 (PWM) 또는 순방향 전류를 조절하므로써 밝기조절을 할 수있다.
- 긴 수명 : LED는 대부분이 백열등에서와 같이 갑작스럽게 타서 고장나는 것이 아니고 서서히 성능이 저하되어 수명을 다하게 된다. 또한 LED는 상대적으로 긴 수명을 갖고 있다. 35,000 에서 50,000 시간정도의 사용가능 시간을 갖는데 완전히 수명이 다하기에는 이보다 더 길다. 반면 형광등은 전형적으로 30,000시간이고 백열등은 1,000~2,000시간 정도이다.
- 기계적 강도 : LED는 반도체로 만들어져있기 때문에 외부 충격에 의하여 손상을 입기가 쉽지 않다. 반면 백열등이나 형광등은 깨지기 쉽다.
- 작은 각도로의 집중 또는 고 방향성 : LED의 패키지를 이용하여 빛을 한곳에 모을 수 있다. 반면 백열등이나 형광등의 경우 외부에 반사판을 두어 빛을 모으거나 다른방법을 이용하여 방향성을 갖게 해야 한다. 고방향성으로 인하여 피코셀이나 휘토셀을 이용하여 변조 밴드를 재사용할 수 있다.
- 독성 : LED는 수은을 갖고 있지않으나 형광등은 갖고 있어 유해할 수 있다.

### LED의 단점

LED는 다음과 같은 단점들을 극복하는 것이 요구된다.

- 고가 : 현재 루멘당 가격과 초기 투자 비용을 비교해 보면 LED가 전통적인 조명 기술에 비하여 비싸다. 그러나 총수명기간 동안의 비용을 고려한다면 할로겐 전구나 백열전구 보다는 크게 저렴하고 컴팩트 형광등에 근접하고 있다.

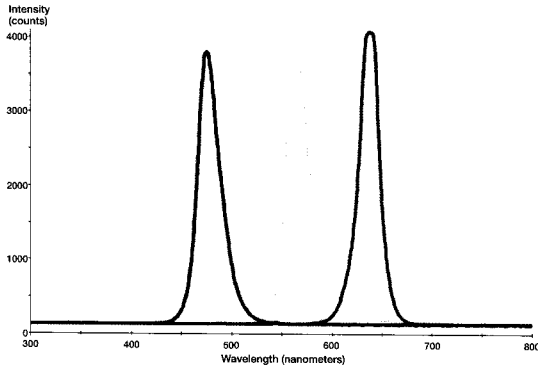
- 온도에 따른 영향 : LED의 성능은 주변온도에 크게 영향을 받는다. 주변온도가 높은 상태에서 LED를 오래 사용하는 경우 패키지가 과열되고 궁극적으로는 소자가 망가지게 된다. 긴 수명을 갖기 위해서는 적절한 방열이 필요하다. 이는 특히 자동차관련, 의료관련, 그리고 군용관련 응용에서 중요하다.
- 전압에 민감 : LED는 임계값 이상의 전압을 필요로 하거나 기준치 이하의 전류를 공급해야 한다. 이에 따라 특별한 전력공급기가 필요하다.
- 빛 품질 : 대부분 백색 LED는 태양이나 백열구 등과 같은 흑점 발광체(black body radiator)와는 현저하게 다른 스펙트럼을 갖고 있다. 460 nm 에서의 스파이크와 500 nm에서의 저하점을 갖으므로써 물체의 색깔이 태양광이나 백열광 밑에서와는 달리 LED 밑에서는 달리 감지된다. 그러나 형광등 밑에서의 경우 보다는 최고급의 LED가 더 좋은 결과를 갖는다.
- 보다 큰 광원 : LED는 한 점을 갖는 광원이라고 하는 어렵다. 따라서 점원을 갖는 것이 요구되는 응용에는 적용하기 어렵다. 0.2도 정도의 좁은 비임을 갖는 레이저의 경우와는 달리LED는 수 도이하의 각도를 갖는 비임을 구현하는 것이 불가능하다.
- 청색 위험 (Blue Hazard) : 현재 청색 LED와 백색 LED가 소위 청색 광 위험요소 (blue-light hazard) 라고 불리는 위험의 안전기준을 넘고있어 우려가 늘고 있다.
- 청색 공해 : 백색 LED가 고압소디움 등과 같은 전통적인 외부 광원보다 훨씬더 청색 빛을 발산하기 때문에 더 많은 색 공해를 유발할 수 있다. 따라서LED를 외부에서 사용할 경우 충분히 설당을 해주는 것이 필요하다.

### 두 종류의 백색 LED

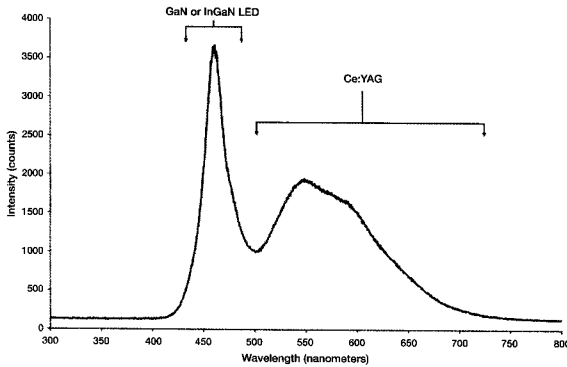
실제 응용에 백색 광원이 많이 필요하다. 백색 LED에는 백색을 구현하는 방법에 따라 두 종류가 있다.

- RGB LED : 이는 적색(R), 녹색(G), 및 청색(B)을 섞어 발생시키는 방식으로서 대량생산이 어렵다. 이 LED는 온도가 증가함에 따라 방사 전력이 지속적으로 감소한다.
- 인광체(Phosphor based) LED : 일반적인 LED보다는 효율이 낮으며 복잡한 RGB 방법보다는 저렴하게 만들수 있으나 밴드폭이 작다.

이들 두 종류의 파장 분포는 (그림 2) 및 (그림 3)과 같다.



(그림 2) RGB LED의 스펙트럼



(그림 3) 인광체 LED의 스펙트럼

### LED 밴드폭

LED 밴드폭은 구현가능한 데이터 속도와 관련이 깊다. 각 LED별 밴드폭은 다음과 같다:

- 인광체 LED : 40 Mbps
- RGB LED : 100 Mbps
- RCLED(Resonant Cavity Light Emitting Diodes) : 500 Mbps

### 광 감지 소자 (photo detectors)

광감지소자는 입사하는 빛을 운용모드에 따라 전류 또는 전압으로 바꾸어 주는 기능을 갖고 있다. 다음과 같이 다양한 종류의 광 감지 소자들이 가시광 통신에 사용될 수 있다:

- 광 다이오드(Photo diode) : 광컨덕터보다 더 선형적인 감지

- 광 콘덕터 (Photoconductor)
- 광 다중기 튜브(Photomultiplier tube)
- Charge-coupled device (CCD) : 영상 감지용
- CMOS active-pixel 감지기 : 영상감지용

이중 광다이오드가 가장 널리 사용되고 있으며 사용 재질에 따른 여러 종류의 광다이오드에 대한 파장 범위를 나타내면 아래 <표 3>과 같다.

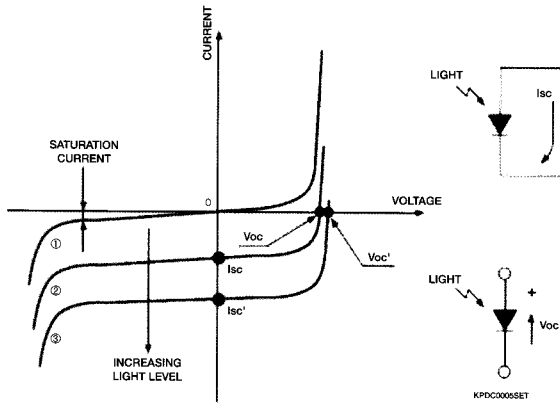
<표 3> 사용 재질에 따른 광다이오드의 파장 범위

사용 재질	파장 범위 (nm)
Silicon	190-1100
Germanium	400-1700
Indium gallium arsenide	800-2600
Lead sulfide	<1000-3500

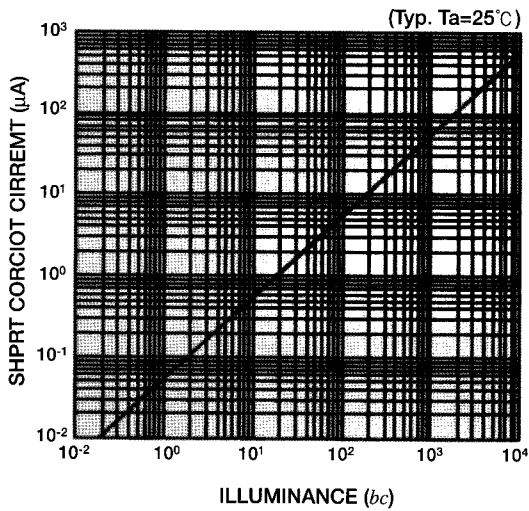
### 광 다이오드의 중요한 기술적 요소들

광다이오드의 중요한 성능 파라미터는 다음과 같다:

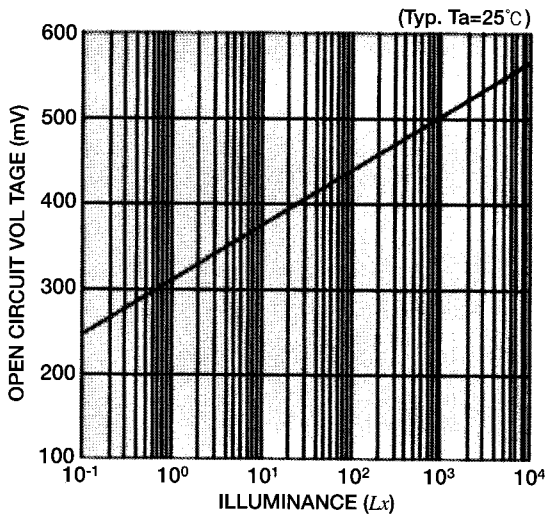
- 광 반응도 (responsivity or quantum efficiency): 입사되는 빛의 양 대 발생하는 광전류의 비로서 전통적으로 A/W로 표시된다. 이는 양자 효율 (quantum efficiency), 즉 입사되는 광자의 수와 광에 의하여 발생하는 캐리어의 비로도 표시되며 이때에는 단위가 없다.
- 무광 전류 (dark current): 광전도 모드에서 동작하는 경우 빛이 없을 때 광다이오드를 통하여 흐르는 전류. 이는 배경 방사에 의해 발생하는 광전류와 반도체 정선에서의 포화전류를 포함한다. 이 전류는 광다이오드를 이용하여 광전력을 정확히 측정하는 경우 보정 절차를 통하여 수정되어야 한다. 이는 가시광 통신에 사용되는 경우 잡음원으로 작용한다.
- 잡음전력(noise-equivalent power, NEP): 1 Hz밴드폭의 rms잡음전류에 해당하는 광전류를 발생시킬수 있는 최소 입력 광전력. 이와 관련된 특성감지도 (characteristic detectivity (D)) 는 NEP의 역수,  $1/NEP$ , 이며 이 NEP는 대충 광다이오드의 최소 탐지가능 입력 전력이다.
- 감도 (sensitivity): 광다이오드가 광통신에 사용되는 경우 제시된 비트 오류율을 달성할 수 있는 최소 입력 전력이며 위의 잡음전력도 이에 영향을 준다.



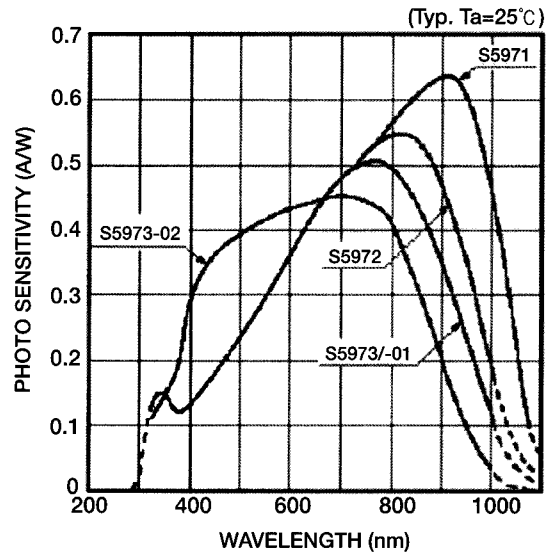
(그림 4) 입사 가시광 세기에 따른 출력 신호



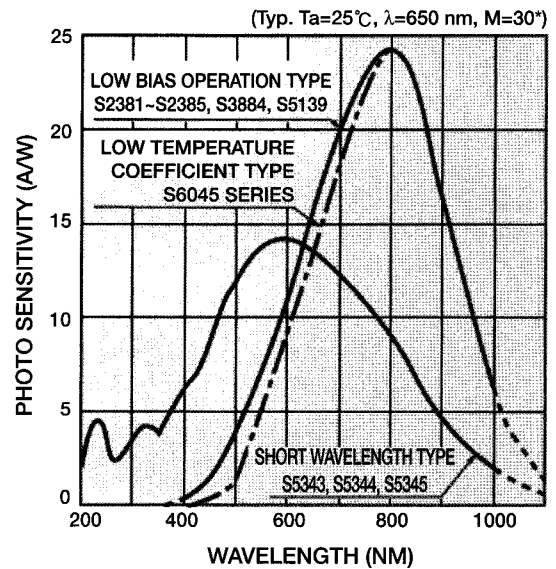
(그림 5) 입사 광량에 따른 폐회로 전류[1]



(그림 6) 입사 광량에 따른 개회로 전압[1]



(그림 7) 실리콘 광다이오드의 파장 특성[2]



(그림 8) 아발란체 광다이오드(avalanche photo diode)의 파장 특성 [3]

입사 가시광 세기에 따른 출력신호를 나타내면 (그림 4), (그림 5), 및 (그림6)과 같고 (그림 7) 및 (그림 8)은 수종의 전형적인 광다이오드의 파장특성을 보여준다.

광 신호 또는 광원을 광 색채 공간에 표시

광 신호는 그 색깔에 따라 광 색채 공간(light spaces 또는

light color spaces 또는 color spaces)에 한 점으로 나타낼 수 있다. 이 색채 공간은 여러가지 방법으로 정의될 수 있다.

현재까지 여러종류의 광 색채공간이 광 색깔을 표시하기 위하여 사용되고 있다. 이 공간은 다양하게 정의되어질 수 있다. 이 공간의 전형적인 예는 CIE 1931, CIE 1967, 및 CIE 1976 공간들이다.

LED같은 광원 또는 광다이오드와 같은 광감지기 또한 한 색채공간에 하나의 색깔을 나타내는 점으로 나타내진다. 다음에 대표적인 색채공간인 CIE 1931을 간단하게 소개하고자 한다.

### CIE 1931 색채공간

한 색깔은 X, Y, 및 Z로 불리는 세 종류의 스티물러스(stimulus) 값들로 나타내지는데 이들 값들은 가산 색채 모델에서의 세 원색(primary color)의 양을 나타낸다. 다양한 파장을 다르게 혼합하여 만든 두 광원이 동일 색깔을 갖을 수 있다. 두 광원은 그들을 발생시키기 위하여 어떤 파장 분포를 사용했는가에 관계없이 같은 스티물러스 값을 갖는 경우 관찰자에게는 같은 색깔로 나타난다. 인간 눈의 콘의 분포에 따라 스티물러스 값들은 관찰자의 가시각 (field of view)에 관계가 있다.

이 값들을 계산하기 위하여  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ , 및  $\bar{z}(\lambda)$  등 세 색채 매칭 함수(color matching function)를 사용한다. 주어진 한 광원의 파장 분포,  $S(\lambda)$ ,에 대하여 이 세 함수는 다음의 식을 이용해 구할 수 있다:

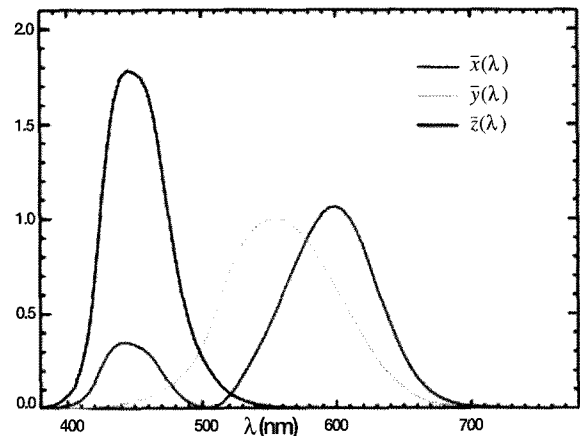
$$X = \int_0^{\infty} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda$$

$$Y = \int_0^{\infty} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$$

$$Z = \int_0^{\infty} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda$$

여기서  $\lambda$ 는 파장을 nm로 나타낸 것이다.

이 공간에 적용되는 세 색채매칭 함수의 파장분포는 (그림 9)와 같다.



(그림 9) CIE 1931 색채공간의 세 색채매칭 함수의 파장분포

다른 색채공간은 다른 매칭함수를 사용하며 그들 고유의 스티물러스 값들을 갖는다.

### CIE xy 크로마티시티(chromaticity) 다이어그램 및 CIE xyY 색채공간

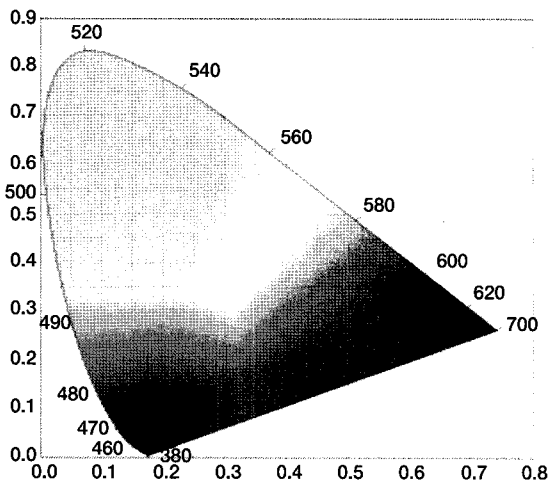
이 세 스티물러스 값들은 다음의 식을 이용하여 x, y 및 z의 값으로 정상화(normalize)된다. 이들 정상화된 값들을 이용하여 (그림 10)과 같이 크로마티시티 다이어그램을 그릴 수 있다. 이 다이어그램에서는 색채의 개념이 밝기와 크로마티시티 등 두 부분으로 나누어진다. Y 파라미터가 이 색깔의 밝기(brightness 또는 luminance)를 나타낸다. 외곽 곡선의 경계부분이 단일 파장을 갖는 체계이며 단일 파장 값들이 표시되어 있다.

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = \frac{Z}{X + Y + Z} = 1 - x - y$$

$$X = \frac{Y}{y} (1 - x - y)$$



(그림 10) CIE 1931 색채공간 크로매티시티 다이어그램



- [1] [http://jp.hamamatsu.com/resources/products/ssd/pdf/s1880\\_s2044\\_kpsd1015e06.pdf](http://jp.hamamatsu.com/resources/products/ssd/pdf/s1880_s2044_kpsd1015e06.pdf)
- [2] Shin D. et al., "VLC Wavelength Range", IEEE802.15-08-0468-00-0v1c, July 2008
- [3] <http://sales.hamamatsu.com/assets/html/ssd/si-photodiode/index.htm>

### 약 력

#### 장 수 영

1980년 서강대학교 학사  
 1987년 펜실베이니아 주립대학 석사  
 1991년 펜실베이니아 주립대학 박사  
 2002년 - 현재 캘리포니아 주립대학 교수  
 관심분야: 가시광선 통신, cognitive radio, ultra wideband radio

### III. 결 론

본고에서는 가시광 통신에 사용되는 소자들의 기술 특성을 간단하게 취급하고자 하였다. 광원과 감지기 및 그들의 기술 특성을 표시하는 방법에 대하여 간단히 기술하였다.

