

# LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술 동향

Technology Trends of Visible Light Communication Coupled with LED Illumination

IT 융합 기술의 미래 전망 특집

임상규 (S.K. Lim) LED통신연구팀 책임연구원  
 김대호 (D.H. Kim) LED통신연구팀 선임연구원  
 장일순 (I.S. Jang) LED통신연구팀 선임연구원  
 김유진 (Y.J. Kim) LED통신연구팀 선임연구원  
 강태규 (T.G. Kang) LED통신연구팀 팀장

목 차

- .....
- I. 서론
  - II. LED 조명 융합 가시광 무선통신  
요구사항
  - III. LED 조명 융합 가시광 무선통신  
기술 동향
  - IV. 맺음말

\* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신) [KI001930, IT 조명통신융합 가시광 380-780 나노미터 RGB 선별 무선통신 연구]과 지식경제부의 지원을 받는 정보통신표준기술력향상사업의 연구결과로 수행되었음.

본 고에서는 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 기술이 조명과 무선통신의 융합기술로서 충족해야 하는 요구사항들과 이를 충족시키기 위해 IEEE 802.15.7 국제 표준에서 논의하고 있는 다양한 기술들을 살펴본다. 상기의 기술들은 크게 플리커 방지 기술과 조명의 밝기 조절 관련 기술들로 구분되는데, 특히 플리커 방지는 조명으로서 갖추어야 할 필수 기능으로서 본 고에서는 가시광 무선통신에서 플리커가 발생하는 원인을 알아보고 이를 극복하기 위해 제안된 기술들의 특징들을 살펴본다. 또한, 조명으로서의 최대 밝기 제공, LED 광원의 보호 및 광원의 색 변이 방지 등의 요구사항들이 광원의 밝기 조절 기능과 어떤 연관성을 가지고 있는지를 살펴보고, 가시광 무선통신에서 광원의 밝기를 조절하기 위해 제안된 기술들의 주요 특징들을 소개한다.

## I. 서론

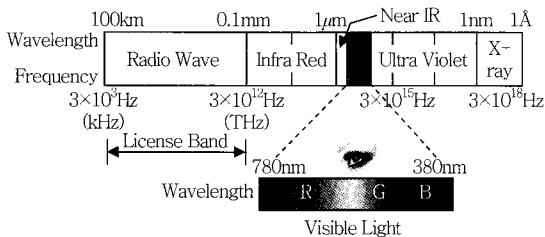
최근 에너지 절감과 지구 온실 가스를 감축해야만 하는 현실적 환경 변화에 따라 LED를 이용한 조명 기구와 디스플레이 장치들이 자동차, 신호등, 광고판, TV, 모니터, 휴대 기기, 특수 조명 및 일반 조명 등의 일상 생활에 급속히 확산되고 있다. 또한 이와 더불어 LED 조명 기구와 디스플레이 장치들에 통신 기능을 부가하여 LED 광원의 고유 목적과 통신 수단으로서의 목적을 동시에 달성하고자 하는 가시광 무선통신 기술도 활발히 연구되고 있다[1]-[3]. 이는 <표 1>과 같이 LED 광원이 기존의 광원들에 비해 수명이 길고 전력 효율이 우수하며 다양한 색 구현이 가능할 뿐만 아니라 디지털 통신을 위한 스위칭 속도가 빠르고 디지털 제어가 가능하다는 장점을 갖고 있기 때문이다[4],[5].

가시광 무선통신 기술은 (그림 1)과 같이 인간이 눈으로 인지할 수 있는 가시광 파장 대역의 빛을 이용하여 무선으로 정보를 전달하는 무선통신 기술이다. 이러한 가시광 무선통신 기술은 가시광 파장 대역의 빛을 이용한다는 측면에서 기존의 유선 광통신 기술 및 적외선 무선통신과 구별되며, 통신 환경이 무선이라는 측면에서 유선 광통신 기술과 구별된다.

또한, 가시광 무선통신 기술은 현재 널리 사용하

<표 1> LED 광원의 장점

긴 수명(> 40,000시간)
우수한 전력 효율
다양한 색 구현
용이한 디지털 제어
빠른 스위칭 속도



(그림 1) 전자기파 스펙트럼

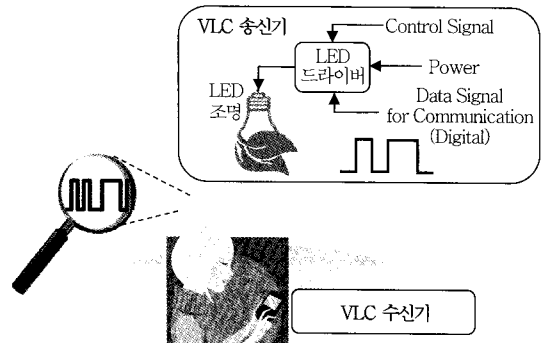
고 있는 RF 무선통신과 달리 주파수 이용 측면에서 규제 또는 허가를 받지 않고 자유롭게 이용할 수 있다는 편리성과 물리적 보안성이 우수하고 통신 링크를 사용자가 눈으로 확인할 수 있다는 차별성을 가지고 있으며, 무엇보다도 광원의 고유 목적과 통신 기능을 동시에 얻을 수 있다는 융합 기술로서의 특징을 가지고 있다.

한편 본 고에서는 LED 광원을 이용한 다양한 응용 분야 중 현재 빠르게 확산되고 있는 LED 조명 환경에 가시광 무선통신 기술을 결합할 때 염두에 두어야 할 요구사항들과 이러한 요구사항들을 만족시키기 위해 제안된 다양한 기술들의 현황을 살펴보기로 한다.

## II. LED 조명 융합 가시광 무선통신 요구사항

인간의 눈이 물체에서 반사된 빛을 통해 사물을 인지할 수 있도록 빛을 방사한다는 의미에서 LED 조명의 범위는 매우 포괄적일 수 있지만, 본 고에서 의미하는 LED 조명은 우선 일상적인 실내 생활에 필요한 조도를 확보하기 위해 켜게 되는 실내 조명으로 한정하기로 한다.

실내 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 환경의 구성을 나타내면 (그림 2)와 같다. 일반적으로 LED 광원을 이용한 조명 기기들은 LED 조명의 밝



(그림 2) LED 조명을 이용한 가시광 무선통신의 일반적 구성[6]

기 조절과 다양한 색상 구현에 필요한 제어 신호 및 필요 전원을 안정적으로 공급받기 위해 LED 드라이버라고 하는 구동 회로를 갖고 있으며, 가시광 무선통신을 위한 통신 신호가 LED 조명에 인가되면 세기 변조된 빛이 LED 조명으로부터 방사된다. 결국 LED 조명을 이용하여 가시광 무선통신 환경을 구성할 때 조명 기능을 위해 설치되는 LED 조명은 (그림 2)에서와 같이 가시광 무선통신용 송신기로서의 기능도 함께 수행하는데, 이 때 송신기로서의 기능 수행도 중요하겠지만 더욱 중요한 것은 조명으로서의 기본 기능과 LED 조명의 장점을 훼손하지 않아야 한다는 점이다.

가시광 무선통신 기능 부과에 따라 LED 조명 특성과 LED 조명의 장점들이 훼손되는 것을 방지하기 위한 요구사항들은 <표 2>와 같다[6]-[8]. 먼저 <표 2>에서 플리커(깜박거림)란 인간의 눈이 감지할 수 있는 광원의 밝기 변화를 말하는데, 가시광 무선통신이 결합되어 세기 변조된 빛을 방사하는 LED 조명에서는 이러한 플리커 현상이 나타날 수 있다. 그러나 플리커 현상은 인체의 눈에 직접적으로 해를 끼칠 뿐만 아니라 정신적 손상도 일으킬 수 있으므로 플리커 방지는 반드시 충족되어야 하는 조명의 기본 기능이다[9].

한편 <표 2>에서 플리커를 제외한 나머지 항목들은 대부분 조명의 밝기 조절과 관련되어 있다. 좀 더 구체적으로 살펴보면, 먼저 조명의 밝기 조절은 디지털 제어를 통해 용이하게 조명의 밝기를 조절할 수 있다는 LED 조명의 주요 장점이 가시광 무선통신에서도 확보될 필요가 있다는 것을 의미하며, 조명의 최대 밝기 제공은 가시광 무선통신 기능이 LED 조명에 부여될 때 조명에서 제공할 수 있는 최

〈표 2〉 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 요구사항	
플리커(깜박거림) 방지	
조명의 밝기 조절	
조명의 최대 밝기 제공	
LED 광원의 보호	
조명의 색 변이 방지	

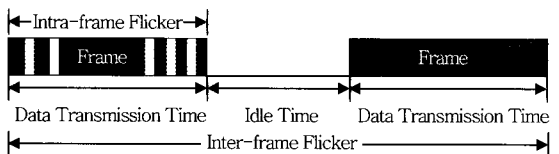
대 밝기가 가시광 무선통신 기능이 없는 동일한 사양의 LED 조명에 비해 현저히 저하되는 것은 곤란하다는 것을 의미한다. 또한, LED 광원의 보호는 가시광 무선통신 기능과 조명의 최대 밝기를 동시에 제공하기 위해 LED 광원의 허용 범위를 초과하여 광원을 구동한다면 긴 수명을 보장하는 LED 광원의 주요 장점이 훼손될 수 있다는 것을 의미하고, 조명의 색 변이 방지는 LED 조명의 밝기 조절에 따라 조명의 색 변이가 발생되지 않아야 한다는 것을 의미한다.

이상에서 살펴본 바와 같이 결국 LED 조명과의 융합기술로서 가시광 무선통신 기술은 <표 2>에 요약된 요구사항들이 충족될 때 비로소 기술 융합의 가치를 가지게 된다고 할 수 있다. 한편, 상기의 요구사항들을 충족시키기 위해 IEEE 802.15.7 국제 표준에서 논의하고 있는 다양한 가시광 무선통신 기술들은 크게 플리커를 극복하기 위한 기술과 LED 조명의 밝기 조절 관련 기술들로 구분할 수 있는데, 이는 III장에서 구체적으로 살펴보기로 한다.

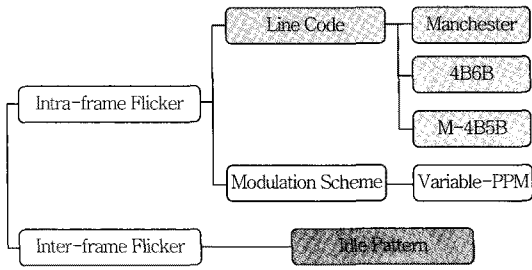
### III. LED 조명 융합 가시광 무선통신 기술 동향

#### 1. 플리커 방지 기술

플리커는 II장에서 기술한 바와 같이 인간의 눈이 감지할 수 있는 주기적 또는 비주기적 광원의 밝기 변화를 의미하며, 가시광 무선통신의 세기 변조된 빛을 방사하는 송신기로서의 LED 조명에서는 가시광 무선통신의 데이터 전송 메커니즘에 따라 (그림 3)과 같이 크게 두 종류의 플리커가 나타날 수 있다. 하나는 가시광 무선통신의 디지털 전송에서 통



(그림 3) 가시광 무선통신에서 플리커의 발생 메커니즘[6]



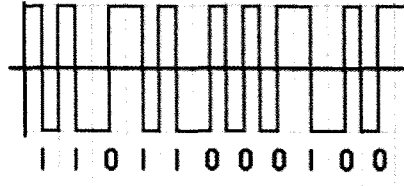
(그림 4) 플리커 방지를 위한 가시광 무선통신 기술 [6],[10]

신 데이터의 프레임 내에 존재하는 비트 “0”과 비트 “1”이 LED 조명의 출력 관점에서 서로 다른 평균 밝기를 가질 때 발생하는 프레임 내부에서의 플리커 (intra-frame flicker)이고, 다른 하나는 실제 통신 데이터가 전송되는 구간과 데이터가 전송되지 않는 아이들 구간(idle time)이 LED 조명의 출력 관점에서 서로 다른 평균 밝기를 가지거나 데이터 전송 구간 각각이 서로 다른 평균 밝기를 보일 때 발생하는 프레임 상호간 플리커(inter-frame flicker)이다[10].

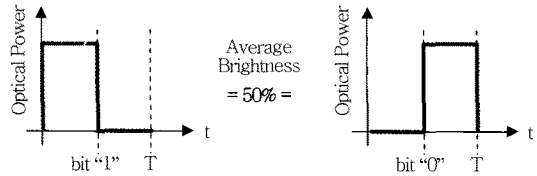
한편 상기의 플리커 발생을 방지하기 위해 제안된 기술들도 플리커의 발생 메커니즘에 따라 (그림 4)와 같이 크게 프레임 내부에서의 플리커를 방지하기 위한 기술들과 프레임 상호간의 플리커를 방지하기 위한 기술로 구분할 수 있다. 그리고 프레임 내부에서의 플리커를 방지하기 위한 기술들은 구체적인 구현 방법에 따라 다시 라인 코딩을 이용하는 방법들과 변조 방법을 이용하는 방법으로 분류할 수 있다. 특히 (그림 4)에서 변조 방법으로 분류된 variable-PPM 변조 기술은 프레임 내부 플리커 방지뿐만 아니라 조명의 밝기 조절과도 밀접하게 관련된 기술로서 III-2절의 밝기 조절 관련 기술들에서 함께 다루기로 하고, 이를 제외한 나머지 각각의 기술들은 다음의 세부 절들에서 살펴보기로 한다.

가. Manchester 코드

Manchester 코드(G.E. Thomas)는 이더넷 등의 통신 방법에 많이 응용되어 왔던 널리 알려진 기술로서 디지털 비트 “1”과 “0”을 (그림 5)와 같이 부호



(그림 5) Manchester 코드의 부호화 예[12]



(그림 6) Manchester 코드와 OOK 변조 방법을 적용한 가시광 무선통신 광 출력 파형[6]

화(encoding)하는 기술이다. 이 코드는 DC 밸런싱 코드로서 디지털 비트 “1”과 “0”에서 항상 변이가 발생하기 때문에 강한 클럭 스펙트럼 성분을 가지고 있으며, 이에 따라 클럭을 쉽게 복원할 수 있다는 장점을 가지고 있다[11],[12].

한편 Manchester 코드를 OOK 변조 방법과 함께 가시광 무선통신을 위한 LED 조명에 적용하면 (그림 6)에서처럼 조명에서 출력되는 광 출력 파형이 비트 “1”과 “0”에서 동일한 평균 밝기를 가진다는 것을 알 수 있다. 따라서 Manchester 코드는 가시광 무선통신에서 프레임 내부 플리커를 방지할 수 있는 기술 중 하나로 인식되고 있다.

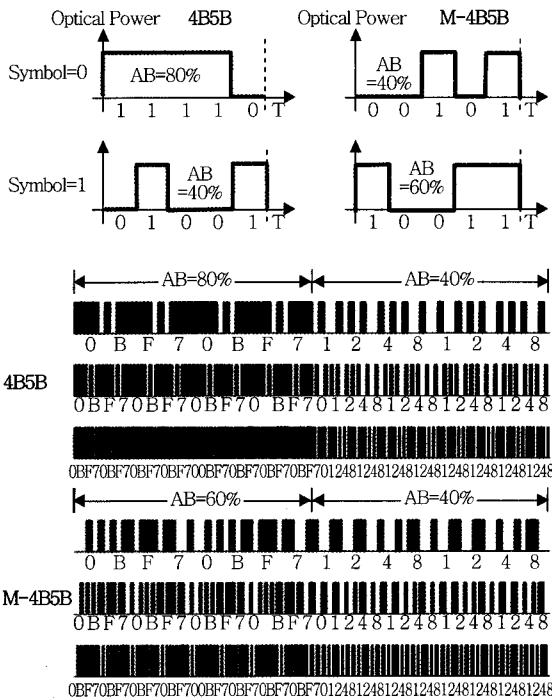
나. M-4B5B 코드

M-4B5B 코드는 가시광 무선통신에서 프레임 내부 플리커를 완화하기 위해 기존의 4B5B 코드를 변형한 것이다.

기존의 4B5B 코드는 4비트로 표현할 수 있는 16개의 심볼들을 (그림 7)과 같은 변환 테이블에 따라 5비트로 변환한다. 그러나, M-4B5B 코드는 4비트로 표현할 수 있는 16개의 심볼들을 (그림 7)과 같이 5비트로 변환한다는 점에서는 기존의 4B5B 코드와 동일하지만, 5비트로 표현할 수 있는 32개의

	4B	5B	M-4B5B
0	0000	11110	00101
1	0001	01001	10011
2	0010	10100	00110
3	0011	10101	10101
4	0100	01010	01001
5	0101	01011	10110
6	0110	01110	01010
7	0111	01111	11001
8	1000	10010	01100
9	1001	10011	11010
A	1010	10110	10001
B	1011	10111	01011
C	1100	11010	10010
D	1101	11011	01101
E	1110	11100	10100
F	1111	11101	01110

(그림 7) M-4B5B 코드와 기존의 4B5B 코드의 변환 테이블[6],[13]



(그림 8) 가시광 무선통신에서 4B5B 코드와 M-4B5B 코드 적용에 따른 광 출력 파형의 비교 예 (AB=Average Brightness)[6],[13]

조합 중 프레임 내부 플리커를 완화하기 위해 비트 “1”과 비트 “0”이 3:2(8개) 혹은 2:3(8개)의 비율로 존재하는 16개의 조합만을 선택하여 변환한다는 점에서 4B5B 코드와 다르다.

즉 기존의 4B5B 코드는 4비트를 비트 “1”과 비트 “0”이 4:1(5개), 3:2(7개), 2:3(4개)의 비율을 갖는 16개의 5비트 조합 코드로 변환하기 때문에 NRZ-OOK 변조 방법을 가정할 때, 16개의 심볼들에서 최대 평균 밝기는 80%를 나타내고, 최소 평균 밝기는 40%를 나타낸다. 그러나 M-4B5B 코드는 5비트로 변환된 16개의 심볼들에서 비트 “1”과 비트 “0”의 비율이 항상 3:2 혹은 2:3이므로 평균 밝기가 60%(3:2) 혹은 40%(2:3)를 나타내게 되며, 이로써 평균 밝기 차이가 기존의 4B5B 코드에 비해 경감되는 효과를 가진다[6],[13].

(그림 8)은 NRZ-OOK 변조 방법을 가정한 경우 4B5B 코드와 M-4B5B 코드 적용에 따른 광 출력 파형들의 예들을 나타낸 것이다. 특히 (그림 8)의 상단은 (그림 7)의 변환 테이블에서 심볼 “0”과 “1”에 대응하는 4B5B 코드와 M-4B5B 코드의 파형을 예로써 나타낸 것이고, 하단은 4B5B 코드에 비해 M-4B5B 코드에서 평균 밝기 차이가 경감된다는 것을 가시적으로 나타낸 그림이다.

#### 다. 4B6B 코드

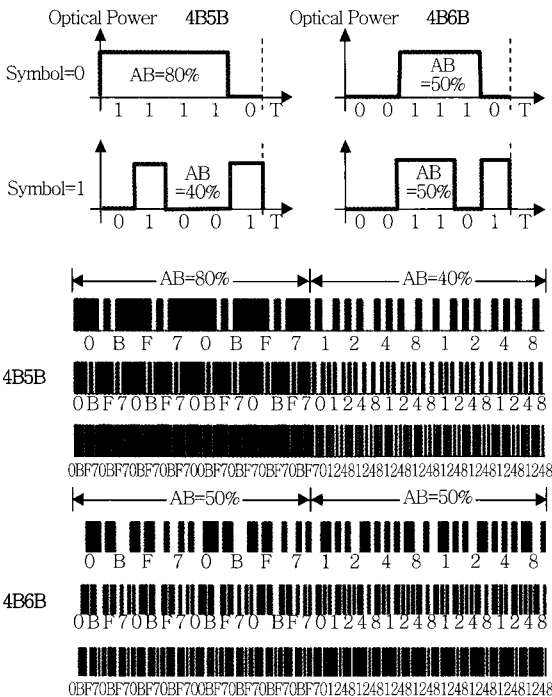
4B6B 코드는 III-1-나.에서 기술한 M-4B5B 코드보다 프레임 내부 플리커를 더욱 강력하게 제거하기 위해 제안된 코드이다.

구체적으로 살펴보면 4B6B 코드는 4비트로 표현할 수 있는 16개의 심볼들을 (그림 9)와 같은 변환 테이블에 따라 6비트로 변환한다. 이때 4B6B 코드는 6비트로 표현할 수 있는 64개의 조합 중 프레임 내부 플리커를 제거하기 위해 비트 “1”과 비트 “0”이 3:3의 동일 비율로 존재하는 16개의 조합을 선택하여 변환한다[6],[13].

즉 4B6B 코드는 6비트로 변환된 16개의 모든 심볼들에서 비트 “1”과 비트 “0”의 비율이 3:3으로 같

	4B	6B
0	0000	001110
1	0001	001101
2	0010	010011
3	0011	010110
4	0100	010101
5	0101	100011
6	0110	100110
7	0111	100101
8	1000	011001
9	1001	011010
A	1010	011100
B	1011	110001
C	1100	110010
D	1101	101001
E	1110	101010
F	1111	101100

(그림 9) 4B6B 코드의 변환 테이블[6],[13]



(그림 10) 가시광 무선통신에서 4B5B 코드와 4B6B 코드 적용에 따른 광 출력 파형의 비교 예 (AB=Average Brightness)[6],[13]

기 때문에, NRZ-OOK 변조 방법을 가정할 때, 16 개 심볼들의 평균 밝기는 모두 50%를 나타내게 되며, 이로써 심볼들 사이에서 평균 밝기 차이가 발생하지 않는다는 특징을 가지고 있다.

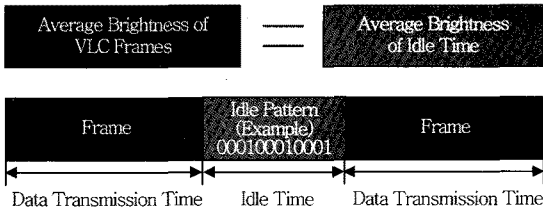
(그림 10)은 NRZ-OOK 변조 방법을 동일하게 가정할 후, 기존의 4B5B 코드와 새롭게 제안된 4B6B 코드를 각각 적용할 경우 예상되는 출력 파형의 예들을 나타낸 것이다. 특히 (그림 10)에서 상단은 (그림 9)의 변환 테이블에서 심볼 “0”과 “1”에 대응하는 4B5B 코드와 4B6B 코드의 파형을 예로써 나타낸 것이고, 하단은 4B6B 코드의 출력 파형을 4B5B 코드의 출력 파형과 비교함으로써 4B6B 코드에서 평균 밝기 차이가 발생하지 않는다는 것을 가시적으로 나타낸 그림이다.

라. 아이들 패턴

프레임 상호간 플리커는 이미 III-1절의 (그림 3)을 통해 살펴본 바와 같이 실제 통신 데이터가 전송되는 구간과 데이터가 전송되지 않는 아이들 구간(idle time)이 서로 다른 평균 밝기를 보이거나 혹은 데이터 전송 구간 각각이 서로 다른 평균 밝기를 보일 때 발생하는 플리커를 가리킨다. 그리고 아이들 패턴(idle pattern)은 (그림 4)의 분류와 같이 프레임 상호간 플리커의 발생을 극복하기 위해 제안된 기술이다[14].

그러나 좀 더 정확하게 표현하면 아이들 패턴은 데이터 프레임들의 평균 밝기는 모두 같다는 가정하에 (그림 11)과 같이 데이터 전송 구간과 아이들 구간 사이의 평균 밝기를 동일하게 유지할 수 있도록 아이들 구간에 삽입하는 임의의 비트 패턴을 가리킨다. 그러므로 아이들 패턴은 통신 데이터로서 의미는 없다고 볼 수 있다.

한편 (그림 11)에 예로써 나타낸 ‘000100010001’과 같은 아이들 패턴은 데이터 프레임들의 밝기에 맞춰 ‘001100110011’ 혹은 ‘011101110111’과 같은 비트 패턴으로 변환될 수 있으며, 이로써 한정된 범위지만 조명의 밝기 조절도 가능하다고 인식되고 있다[14]. 또한 4B6B 코드와 아이들 패턴을 결합



(그림 11) 아이들 패턴 기술의 프레임 상호간 플리커 회피 메커니즘[6]

하여 함께 사용할 때, (그림 9)의 코드 변환 테이블에는 없는 ‘111000’ 혹은 ‘000111’과 같은 패턴을 아이들 패턴으로 지정하여 사용한다면 프레임 내부 플리커와 프레임 상호간 플리커의 발생을 동시에 극복할 수 있다[13].

## 2. LED 조명의 밝기 조절 관련 기술

II장의 <표 2>에 나타난 주요 요구사항들은 조명 기능만을 수행하고 있는 현재의 LED 조명들도 충족하고 있는 특징들로서 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신에서도 이러한 특징들이 훼손되지 않도록 하는 것이 융합 기술로서의 가치를 확보하는데 중요하다. 이는 이미 II장에서 기술한 바 있다. 또한 <표 2>에서 플리커 방지를 제외한 나머지 요구사항들은 밝기 조절 기능과 서로 밀접하게 관련되어 있어 단순한 밝기 조절 뿐만 아니라 나머지 항목들도 동시에 충족되어야 한다는 점도 살펴본 바 있다. 따라서 본 절에서는 상기의 관점에서 LED 조명의 밝기 조절 기술들을 살펴보고자 한다.

현재 가시광 무선통신과 관련하여 LED 조명의 밝기 조절을 위해 제안된 기술들은 <표 3>과 같이 크게 세 가지로 요약된다. ‘Amplitude dimming’은 OOK 변조 방법에서 신호의 진폭을 변화시킴으로써 광원의 밝기를 조절하는 방법이고, ‘variable-PPM dimming’은 ‘variable-PPM’이라고 하는 변조 방법을 통해 밝기 조절 기능을 제공하는 방법으로서 각 기술들의 특징들은 다음의 세부 절에서 기술하고자 한다. 한편 ‘idle pattern dimming’은 III-1-나.의 아이들 패턴 기술에서 한정된 범위의 밝기 조절

<표 3> LED 조명의 밝기 조절을 위한 가시광 무선통신 기술

Amplitude Dimming
Variable-PPM Dimming
Idle Pattern Dimming

메커니즘을 간략히 설명하였으므로 본 절에서는 설명을 생략한다.

### 가. Amplitude Dimming

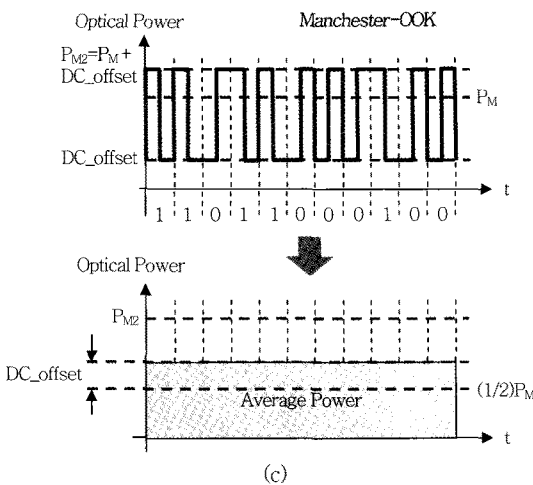
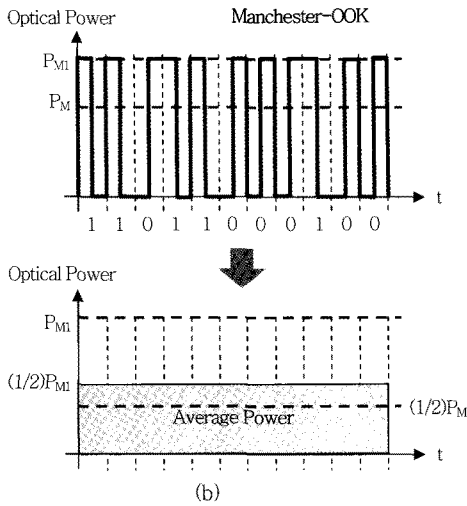
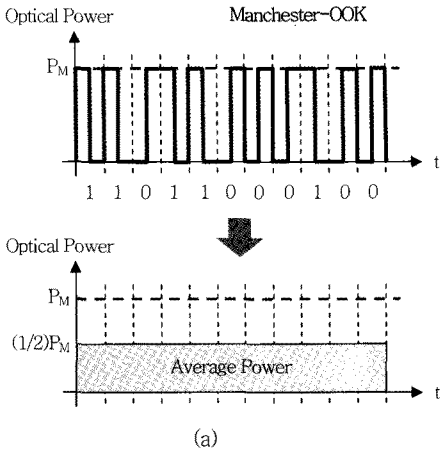
‘Amplitude dimming’은 OOK 변조 방법에서 신호의 진폭을 변화시킴으로써 광원의 밝기를 조절하는 방법으로서, 본 절에서는 (그림 12)에 나타난 바와 같이 Manchester 코드와 OOK 변조 방법이 적용된 경우를 예로 들어 이 기술의 주요 특징들을 살펴보고자 한다.

(그림 12a)는 Manchester-OOK 기술이 송신부에 적용되었을 경우 LED 조명에서 출력되는 광 파형과 이에 대응하는 평균 광 출력을 가시적으로 나타낸 것이다. 그리고, 이때 평균 광 출력은 Manchester-OOK 신호 진폭( $P_M$ )의 1/2 크기를 갖는 DC 신호가 인가될 때의 광 출력과 같다는 것을 나타낸다.

한편 (그림 12b)는 Manchester-OOK 신호의 진폭( $P_{M1}$ )을 (그림 12a)의 신호 진폭( $P_M$ ) 보다 크게 하여 구동시킴으로써 LED 광원의 평균 광 출력을 증가시킬 수 있다는 것을 보여주며, 마찬가지로 신호의 진폭을 작게 하여 구동한다면 평균 광 출력을 감소시킬 수 있다.

또한 (그림 12c)는 Manchester-OOK 신호의 진폭( $P_{M2}$ )이 (그림 12a)의 신호 진폭( $P_M$ )과 동일하지만 DC 오프셋을 인가함으로써 결과적으로 평균 광 출력을 증가시킬 수 있다는 것을 보여준다.

그러나 이러한 ‘amplitude dimming’ 기술은 가시광 무선통신 기능이 없는 동일한 사양의 LED 조명이 제공하는 최대 밝기 수준을 충족하기가 현실적으로 어렵다[8]. 왜냐하면 이를 위해서는 LED 광원의 허용 범위를 크게 초과하는 진폭으로 신호를 인



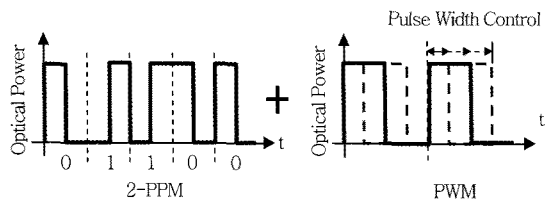
(그림 12) Manchester-OOK 환경에서의 'Amplitude Dimming'[6],[7]

가해 주어야 하는데, 이때 인가되는 순간 신호 진폭들은 LED 광원을 손상시킬 수 있으며, 이는 장기적으로 LED 광원의 수명을 현저히 감소시킬 수 있기 때문이다. 또한 신호의 진폭을 변화시킴으로써 밝기를 조절한다는 것은 LED 광원에 공급되는 전류의 세기가 밝기 조절에 따라 변화하는 것을 의미하기 때문에 결과적으로 'amplitude dimming'은 LED 광원의 색 변이를 유발할 가능성도 가지고 있다[6],[7],[15].

#### 나. Variable-PPM Dimming

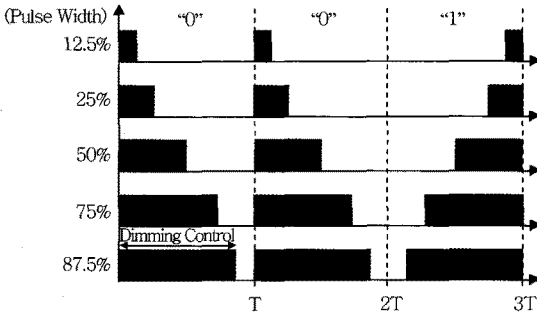
Variable-PPM은 프레임 내부 플리커 발생을 차단하고 광원의 밝기를 조절하기 위해 2-PPM 변조 방법과 PWM 변조 방법으로부터 고안된 변조 방법이다[8]. 더 구체적으로 2-PPM 변조 방법은 (그림 13)과 같이 펄스의 위치에 따라 비트 "0"과 "1"을 표현하는 방법으로서 III-1-가.에서 기술한 Manchester 코드의 광 출력과 유사하게 비트 "1"과 "0"에서 동일한 평균 밝기를 제공한다. 따라서 이 기술은 프레임 내부 플리커 발생을 차단할 수 있다. 그리고 PWM 변조 방법은 (그림 13)과 같이 펄스의 폭을 변화시킴으로써 광원의 밝기를 조절하는 변조 방법으로서 현재의 LED 조명에서 대부분 사용되고 있는 기술이다.

한편 variable-PPM 변조 방법은 펄스의 위치에 따라 비트 "0"과 "1"을 표현한다는 점에서 2-PPM의 특징과 유사하고, 사용자가 원하는 밝기에 따라 펄스의 폭이 변화될 수 있다는 점에서는 PWM 변조 방법과 유사하다. 그러므로 (그림 14)에서와 같이 펄스의 폭이 50%인 variable-PPM 기술로 변조된 광 파형은 2-PPM 변조 파형과 같다. 또한, (그림 14)



(그림 13) Variable-PPM 변조 방법의 원리[6]-[8]





(그림 14) Variable-PPM 변조 방법의 펄스 폭 변화에 따른 밝기 조절 메커니즘[6]-[8]

〈표 4〉 Variable-PPM 변조 방법의 주요 특징

플리커(깜박거림) 방지
조명의 밝기 조절 가능
조명의 최대 밝기 제공
LED 광원 보호 가능
조명의 색 변이 방지

는 variable-PPM 변조 방법을 통해 밝기를 조절하는 메커니즘을 가지적으로 나타낸 것으로서, 임의의 "011" 디지털 신호가 variable-PPM 기술로 변조될 때 동일한 데이터이지만 펄스 폭 변화에 따라 밝기가 변화하는 것을 예로써 표현한 것이다.

이 외에도 variable-PPM 기술은 펄스 폭 변화 단계를 세분하여 설정함으로써 동일한 사양의 LED 조명이 제공하는 수준과 유사한 최대 밝기를 제공할 수 있다[8]. 또한, 밝기 조절이 펄스의 진폭이 아닌 시간 축 상의 펄스 폭에 의해 결정되기 때문에 LED 광원을 손상시키지 않을 뿐만 아니라 광원의 색 변이도 유발하지 않을 것으로 기대된다[6],[7]. <표 4>는 위에서 기술한 variable-PPM 기술의 주요 특징들을 정리한 것이다.

#### IV. 맺음말

본 고에서는 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신에 부과되는 요구사항들(플리커 방지, 밝기 조절, 최대 밝기 제공, LED 광원의 보호, 광원의 색 변이

방지)과 이러한 요구사항들을 충족시키기 위해 IEEE 802.15.7 국제 표준에서 논의되고 있는 기술들을 플리커 방지 기술과 조명의 밝기 조절 관련 기술들로 나누어 살펴보았다.

플리커 방지는 조명으로서 갖추어야 할 필수 기능으로서 먼저 가시광 무선통신에서 발생할 수 있는 플리커의 발생 원인을 살펴보고, 이러한 플리커들의 발생을 차단하기 위한 기술들을 소개하였다. 또한 상기의 요구사항들 중 조명으로서의 최대 밝기 제공과 LED 광원의 보호 및 광원의 색 변이 방지 기능들과 광원의 밝기 조절과의 상관성을 알아보았으며, 밝기 조절 관련 기술로서 'amplitude dimming' 과 'variable-PPM dimming' 및 'idle pattern dimming' 기술들의 주요 특징들을 살펴보았다.

한편 상기의 요구사항들은 조명 기능만을 수행하고 있는 현재의 LED 조명들도 제공하고 있는 특징들로서 이러한 것들이 훼손되지 않도록 하는 것이 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신에서 융합 기술로서의 가치를 확보하는 중요한 요소임을 알아보았다.

그러므로 향후 LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술들은 LED 조명의 특징과 장점들이 보존되고 더욱 강화될 때 경쟁력을 확보할 수 있을 것으

#### ● 용어해설 ●

**LED(Light Emitting Diode):** 적외선 혹은 가시광을 방출하는 반도체로 알려져 있으며, LED 조명은 가시광을 방출하는 LED 광원이 적용된 조명을 말한다. 특히 LED 조명은 40,000시간 이상의 긴 수명과 우수한 전력 효율 및 디지털 제어가 용이하다는 LED 광원의 특징 때문에 에너지 절감 차원에서 차세대 조명으로서 일상 생활에 급속히 확산되고 있다.

**가시광 무선통신(VLC: Visible Light Communication):** 넓은 의미에서 가시광 무선통신은 인간의 눈이 인식할 수 있는 모든 종류의 가시광을 이용하여 무선으로 정보를 주고 받는 통신 기술을 의미하지만, 가시광 LED 광원이 자동차, 신호등, 광고판, TV, 모니터, 휴대 기기, 특수 조명 및 일반 조명 등의 일상 생활에 급속히 확산되고 있는 현실적 의미에서 가시광 무선통신 기술은 LED 광원의 빠른 스위칭 속도를 통해 데이터를 변조함으로써 정보를 전달하는 무선통신 기술을 의미한다.

로 예측되며, 이와 더불어 IEEE 802.15.7 국제 표준에서 ETRI는 LED 조명과 결합된 가시광 무선통신 기술의 표준화를 추진하고 있다.

## 약어 정리

AB	Average Brightness
DC	Direct Current
IR	Infra Red
LED	Light Emitting Diode
M-4B5B	Modified-4B5B
NRZ	Non-Return-to-Zero
OOK	On-Off Keying
PPM	Pulse Position Modulation
PWM	Pulse Width Modulation
RF	Radio Frequency
TV	Television
VLC	Visible Light Communication

## 참고 문헌

- [1] 강태규, 김태완, 정명애, 손승원, "LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석," 전자통신 동향분석, 제23권 제5호, 2008. 10., pp.32-39.
- [2] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델," 한국통신학회지, 제26권 제5호, 2009. 5., pp.3-9.
- [3] 이정환, 이행선, "실내 광 무선 통신 특성 해석을 위한 포톤 모델링 방법," 한국전자과학회논문지, 제19권 제6호, 2008. 6., pp.688-697.
- [4] 유영문, "LED 기술 개발 동향," 가시광 무선통신 및 LED 융합 제어 기술 세미나, TTA, 2009. 12., p.86.
- [5] 신상욱, "LED 조명, 융복합 기술과 시장 전망," 2010 녹색 신산업을 위한 최신 기술과 융복합 세미나(I), 산업교육연구소(KIED), 2010. 2.
- [6] 임상규, "LED 조명용 가시광 무선통신 PHY/MAC 기술," 가시광 무선통신 및 LED 표준 기술 세미나, TTA, 2010. 6., pp.123-140.
- [7] 임상규, "LED 조명용 VLC 모듈레이션 기술," 가시광 무선통신 및 LED 융합 제어 기술 세미나, TTA, 2009. 12., pp.67-79.
- [8] Sang-Kyu Lim, Tae-Gyu Kang, Dae Ho Kim, Ill Soon Jang, and Dong Won Han, "ETRI PHY Proposal on VLC Band Plan and Modulation Schemes for Illumination," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0674-00-0007, Sep. 2009.
- [9] Joachim W. Walewski, "Flicker Definition According to IEEE 1789," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-10-0019-00-0007, Jan. 2010.
- [10] Sang-Kyu Lim, Tae-Gyu Kang, Dae Ho Kim, and Ill Soon Jang, "Implementation and Demonstration of 4B6B Line Code for Non-flicker in VLC," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-10-0059-00-0007, Jan. 2010.
- [11] Richard Roberts, "Spectral Performance Analysis of Proposed DC Balancing Codes," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0766-00-0007, Nov. 2009.
- [12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Manchester\\_code](http://en.wikipedia.org/wiki/Manchester_code)
- [13] Dae Ho Kim, Tae-Gyu Kang, Sang-Kyu Lim, Ill Soon Jang, and Dong Won Han, "ETRI PHY Proposal on VLC Line Code for Illumination," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0675-00-0007, Sep. 2009.
- [14] Rick Roberts, Praveen Gopalakrishnan, Bahar Sadeghi, and Mathys Walma, "Roberts PHY/MAC Proposal," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-09-0636-02-0007, Sep. 2009.
- [15] Joachim W. Walewski and Ralph Bertram, "Phosphorescent White LEDs: Dependence of Colour Temperature on Driving Current," IEEE 802.15.7, IEEE 802.15-10-0018-00-0007, Jan. 2010.