



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0053974
(43) 공개일자 2016년05월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05B 33/08 (2006.01) H01L 27/32 (2006.01)
F21Y 101/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류
H05B 33/0857 (2013.01)
H01L 27/3213 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2016-7008964
(22) 출원일자(국제) 2014년09월09일
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2016년04월05일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/054868
(87) 국제공개번호 WO 2015/035425
국제공개일자 2015년03월12일

(30) 우선권주장
61/875,403 2013년09월09일 미국(US)
61/937,864 2014년02월10일 미국(US)

(71) 출원인
지이 라이팅 솔루션스, 엘엘씨
미국 오하이오주 44112 이스트 클리블랜드 벨라
파크 노블 로드 1975 빌딩 338

(72) 발명자
빅 케빈 제임스
미국 오하이오주 44112-6300 이스트 클리블랜드
노블 로드 빌딩 335 1975
엘렌 개리 로버트
미국 오하이오주 44112 이스트 클리블랜드 노블
로드 빌딩 335씨 1975
(뒷면에 계속)

(74) 대리인
김태홍, 김진희

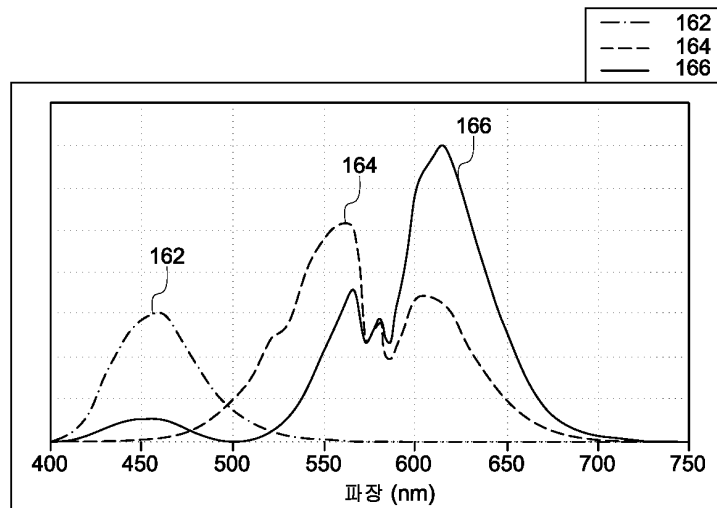
전체 청구항 수 : 총 105 항

(54) 발명의 명칭 **향상된 컬러 선호된 컬러 선호 광원**

(57) 요약

향상된 컬러 스펙트럼 특성을 갖는 광을 방출하는 광원이 설명된다. 광원의 스펙트럼 파워 분포를 조정하는 것에 의해 컬러 선호도의 정량적 최적화를 가능하게 하는 조명 선호도 지수(Lighting Preference Index; LPI)로 칭해지는 컬러 매트릭이 제공된다. 한 실시형태에서, 램프는, 약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 광원을 포함하는데, 램프는 적어도 120의 LPI를 갖는다.

대표도 - 도1c



(52) CPC특허분류

H05B 33/0896 (2013.01)

F21Y 2101/02 (2013.01)

(72) 발명자

비어스 윌리엄 원더

미국 오하이오주 44112 이스트 클리블랜드 벨라 파
크 노블 로드 빌딩 338 1975

빅 올리비아 래

미국 오하이오주 44112-6300 이스트 클리블랜드 노
블 로드 1975

명세서

청구범위

청구항 1

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(Lighting Preference Index; LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 2

제1항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 3

제2항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원은 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 4

제3항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 5

제4항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원은 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 6

제5항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 광원 중 적어도 하나는 고체 상태 광원(solid state light source) 또는 형광체(phosphor)를 포함하는, 복합 광원.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(light-emitting diode; LED) 광원, 유기 발광 다이오드(organic light-emitting diode; OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(color temperature; CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 11

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 12

제11항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 13

제12항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 14

제13항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 15

제14항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 16

제15항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 17

제11항 내지 제16항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 중 적어도 하나는 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 18

제11항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 19

제11항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 20

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 55 nm보다 작은 반값 전폭(full-width-at-half-maximum; FWHM)을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 21

제20항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 22

제21항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 23

제22항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 24

제23항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 25

제24항에 있어서,
적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 26

제20항 내지 제25항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 중 적어도 하나는 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 27

제20항 내지 제26항 중 어느 한 항에 있어서,
약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 28

제20항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서,
상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 29

복합 광원으로서,
약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;
약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원;
및
약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 다운컨버터(down-converter)를 포함하고,
상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 30

제29항에 있어서,
적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 31

제30항에 있어서,
적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 32

제31항에 있어서,
적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 33

제32항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 34

제33항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 35

제29항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 36

제29항에 있어서,

상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷(quantum dot) 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 37

제29항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 38

제29항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 39

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 반값 전폭(FWHM)을 갖는 적어도 하나의 레드 다운컨버터를 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 40

제39항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 41

제40항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 510 nm 내지 약

570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 42

제41항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 43

제42항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 44

제43항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 45

제39항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 46

제39항에 있어서,

상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 47

제39항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 48

제39항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 49

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 신호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 50

제49항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 51

제50항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 52

제51항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 53

제52항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 54

제53항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 55

제49항에 있어서,

상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 56

제49항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 57

제49항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 58

제49항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 59

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 반값 전폭(FWHM)을 갖는 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 60

제59항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 61

제60항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 62

제61항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 63

제62항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 64

제63항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 65

제59항에 있어서,

상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 66

제59항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 67

제59항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 68

제59항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 69

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터;

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 반값 전폭(FWHM)을 갖는 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원; 및

약 630 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 딥 레드(deep red) 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 신호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 70

제69항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 71

제70항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 72

제71항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 73

제72항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 74

제73항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 75

제69항에 있어서,

상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원은 반도체 발광 다이오드(LED) 광원, 유기 발광 다이오드(OLED) 광원, 및 폴리머 발광 다이오드 광원 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 76

제69항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 77

제69항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 78

제69항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 상기 적어도 하나의 레드 고체 상태 광원, 및 상기 적어도 하나의 딥 레드 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 79

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 다운컨버터를 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 80

제79항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 81

제80항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 82

제81항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 83

제82항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 84

제83항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 85

제79항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 중 적어도 하나는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 86

제79항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 87

제79항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 88

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터; 및

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 반값 전폭(FWHM)을 갖는 적어도 하나의 레드 다운컨버터를 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 신호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 89

제88항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 90

제89항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 91

제90항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 92

제91항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 93

제92항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 94

제88항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 중 적어도 하나는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 95

제88항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 96

제88항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

청구항 97

복합 광원으로서,

약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원;

약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터;

약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 반값 전폭(FWHM)을 갖는 적어도 하나의 레드 다운컨버터; 및

약 630 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 딥 레드 광원을 포함하고,

상기 복합 광원은 적어도 120의 조명 선호도 지수(LPI)를 갖는, 복합 광원.

청구항 98

제97항에 있어서,

적어도 125의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 99

제98항에 있어서,

적어도 130의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 510 nm 내지 약 570 nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 100

제99항에 있어서,

적어도 135의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 101

제100항에 있어서,

적어도 140의 LPI를 포함하고, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터는 약 520 nm 내지 약 560

nm의 피크 파장을 가지며, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터는 약 620 nm 내지 약 680 nm의 피크 파장을 갖는, 복합 광원.

청구항 102

제101항에 있어서,

적어도 145의 LPI를 포함하는, 복합 광원.

청구항 103

제97항에 있어서,

상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터 및 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터 중 적어도 하나는 형광체 다운컨버터 및 퀀텀닷 다운컨버터 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 광원.

청구항 104

제97항에 있어서,

약 2500 켈빈(K) 내지 약 3200 K의 범위에 있는 상관 컬러 온도(CCT)를 갖는, 복합 광원.

청구항 105

제97항에 있어서,

상기 적어도 하나의 블루 광원, 상기 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 상기 적어도 하나의 레드 다운컨버터, 및 상기 적어도 하나의 딥 레드 광원 위에 배치되는 네오디뮴 필터를 더 포함하고, 그 결과 상기 복합 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 상기 필터를 통과하게 되는, 복합 광원.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 교차 참조

[0002] 본 출원은 2013년 9월 9일자로 출원된 미국 가출원 제61/875,403호 및 2014년 2월 10일자로 출원된 미국 가출원 제61/937,864호의 이점을 청구하는데, 이들 가출원 둘 다는 참조에 의해 그 전체가 본원에 통합된다.

[0003] 발명의 분야

[0004] 본 개시는 일반적으로 사람 관찰자가 향상된 컬러 선호도(color preference)를 지각하도록(perceive) 하는 향상된 컬러 스펙트럼 특성을 갖는 광을 방출하는 광원을 제공하는 것에 관련된다. 향상된 색상 선호도는 향상된 컬러 콘트라스트와 향상된 백색도(whiteness)의 조합에 기인하며, 광원의 스펙트럼 파워 분포(spectral power distribution)를 조정하는 것에 의해 컬러 선호도의 정량적 최적화를 가능하게 하는 컬러 메트릭(color metric)이 개시된다.

배경 기술

[0005] Reveal®은, 향상된 레드-그린 컬러 콘트라스트 조명 특성 및 수정되지(unmodified) 않은 백열 또는 할로겐 광원에 비해 향상된 백색도를 갖는 광원, 예컨대 전구를 지칭하기 위해 General Electric Company에 의해 사용되는 상표등록된 용어이다. Reveal® 백열 및 할로겐 전구는, 필라멘트에 의해 방출되는 광의 전면(front)에, 옐로우 광의 일부를 흡수하는 특정 타입의 글래스(예를 들면, 네오디뮴(Nd) 산화물로 채워진 글래스)를 배치하는 것에 의해 광을 필터링한다. Nd 산화물로 채워진 글래스는 컬러 스펙트럼의 옐로우 영역에서 "오목부(depression)"를 야기하며, 따라서 이 광 하에서 관찰되는 오브젝트, 특히, 관찰자에 의해 쉽게 대비되는(contrasted) 레드 및 그린 오브젝트, 예컨대 집의 방 안의 사람은 향상된 컬러 콘트라스트를 갖게 된다. 몇몇 옐로우 광의 제거는 또한, CIE 컬러 다이어그램 상의 색도(chromaticity)의 위치를 흑체 궤적(blackbody locus) 약간 아래의 포인트로 시프트하는데, 이것은 대부분의 관찰자에게 더 백색인 광의 인상(impression)을 일반적으로 생성한다.

[0006] 옐로우 광의 유의성(significance) 및 그것이 컬러의 지각에 어떻게 영향을 미치는지가 도 1a 내지 도 1c에서

예시된다. 도 1a는 XYZ 색도에 대한 세 개의 컬러 매칭 함수(color matching function), 또는 표준 관찰자의 색도 응답을 그래프로 나타낸다. 오브젝트의 지각된 컬러는, 조명 소스 스펙트럼, 오브젝트의 반사율 스펙트럼(reflectance spectrum), 및 삼차원 컬러 매칭 함수의 곱에 의해 결정된다. 이들 함수는 사람 눈의 광수용체(photoreceptor)의 응답에 관련되며, 블루(102), 그린(104), 및 레드(106) 광의 지각으로서 생각될 수 있다. 도 1b는 블루(132), 그린(134), 및 레드(136) 응답에 대한 컬러 매칭 함수와의 표준 백열 스펙트럼의 곱을 플롯한다. 알 수 있는 바와 같이, 그린(134) 및 레드(136) 성분은 상당히 중첩하고 피크는 34 nm만큼만 분리되어 있다. 도 1c는 블루(162), 그린(164), 및 레드(166) 응답에 대한 컬러 매칭 함수와의 Reveal® 백열 스펙트럼의 곱을 플롯한다. 알 수 있는 바와 같이, 그린(164) 및 레드(166) 성분은 53 nm의 피크 분리를 가지면서 더 멀리 떨어져 있다. 이것은 관찰자가 더 큰 콘트라스트를 가지고 레드와 그린을 더 쉽게 구별하는 것을 허용하고 옐로우 광이 억제될 때 더 포화된 현시(saturated appearance)로 귀결된다.

[0007] 스펙트럼적으로 향상된 조명 제품이 수십 년의 상업적 성공을 만끽하고 있다. 전통적인 컬러 품질 메트릭 또는 종래의 측정기는 이러한 향상된 조명 제품을 보상하지 못할 수도 있지만, 그럼에도 불구하고, 소비자는, 종종, 향상된 조명 제품의 변경되지 않은 대응품보다 향상된 조명 제품을 선호한다. 고체 상태 조명(solid-state lighting; SSL)의 출현, 특히 발광 다이오드(light-emitting diode; LED) 스펙트럼의 커스텀화가능성(customizability) 때문에, 현재의 메트릭은 LED 제품의 품질을 평가하고 반영하기에는 불충분하다는 것이 명확해졌다. SSL 광원, 예를 들면, LED 또는 OLED는 반도체, 예를 들면, 블루 또는 레드 또는 다른 컬러의 LED로부터 직접적으로 광을 생성할 수 있다. 또는 광은, 형광체(phosphor) 또는 퀀텀닷(quantum dot) 또는 다른 에너지 변환 재료와 같은 다운컨버터(down-converter)에 의한, SSL, 예를 들면, 블루 또는 바이올렛 LED로부터의 고에너지 광의 변환에 의해 생성될 수도 있다. 반도체에 대한 피크 방출 파장의 범위, 및 다운컨버터의 방출의 피크 및 폭의 범위는, 최근의 기술적 개발에 의해, 가시 파장(약 380 nm 내지 약 750 nm) 전체에 걸친 거의 연속하는 범위를 포괄하도록 확장되었는데, 그 결과 관찰자에 대한 컬러 선호도를 향상시키기 위해 가시 스펙트럼을 조정함에 있어서 폭 넓은 유연성이 가능하게 되었다. 따라서, 스펙트럼 조정의 목적을 위해, 용어 광원은 가시광의 임의의 광원, 예를 들면, 반도체, 또는 LED, 또는 OLED, 또는 형광체 또는 퀀텀닷, 또는 여러 이러한 광원의 복합물, 또는 이러한 광원을 포함하는 램프 또는 조명기구(luminaire) 또는 시설물(fixture)과 같은 시스템을 의미할 수도 있다.

[0008] 거의 반세기 동안, 연색 지수(color rendering index; CRI)는 광원의 컬러 품질을 전달하는 주요 방법이었다. 그러나, 그 유효성은, 그 계산 방법으로 인해, 특히, LED에서 종종 볼 수 있는, 급격한 경사를 포함하는 스펙트럼 파워 분포(spectral power distributions; SPD) 대 파장을 다룰 때 본질적으로 제한된다. CRI의 단점은 문서로 충분히 문서화되어 있으며, 아주 다양한 대안적인 메트릭이 제안되어 있다. 그러나, 대안적인 컬러 품질 메트릭은 조명 제품의 소비자 선호도를 정확하게 정량화하려고 노력하고 있다. Houser와 동료들은, 저자 K.W. Houser, M. Wei, A. David, M.R. Krames, 및 X.S. Shen의 *Optics Express*, volume 21, #8, 10393-10411 (2013)의 "Review of measures for light-source color rendition and considerations for a two-measure system for characterizing color rendition"에서 개발된 다양한 컬러 품질 메트릭의 대부분의 상세한 고찰 및 비교를 제공한다. 일반적으로, 다양한 메트릭은, 그들의 의도 및 계산 방법에 따라 세 개의 폭 넓은 카테고리: 충실도(fidelity), 차별성(discrimination), 선호도(preference)로 분할될 수 있다. CRI를 포함하는 충실도 메트릭은, 테스트 광원이 더 좋은 것으로 또는 더 나쁜 것으로 지각되는지의 여부에 무관하게, 그리고 기준 광원이 대부분의 관찰자에 의해 실제 선호되는지의 여부에 대한 고려 없이, 기준 광원과의 절대 차이를 정량화한다. 차별성 메트릭은, 테스트 광원 하에서 렌더링가능한 컬러 공간의 전체 영역을 정량화하고, 채도(saturation) 및 색상(hue) 왜곡의 최고 레벨에서 최대화된다. 많은 종래의 컬러 선호도 메트릭은 유저 컬러 선호도의 정량적 척도를 제공하기 위해 개발되었지만, 그러나 어느 것도, 광원의 최적화를 가능하게 하는 목표 값과 함께, 관찰자 데이터에 대한 상관관계를 제공하지 않으며, 따라서, 메트릭은 설계 최적화에서 목표 파라미터로서 사용될 수 있다.

[0009] 일반적으로, 관찰자는, 컬러를 더 돋보이게 하는 향상된 레벨의 채도를 선호한다는 것이 밝혀졌다. 그러나, 하이 레벨의 채도, 또는 색상에서의 시프트는, 컬러 및 오브젝트의 자연스럽지 못한 렌더링으로 귀결될 수 있다. 예를 들면, 둘 다 차별성 메트릭인 색역 영역 지수(Gamut Area Index; GAI) 및 색역 영역 스케일(Gamut Area Scale; Q_g)은, 컬러 채도의 어느 한계까지 관찰자 선호도와 아주 양호한 상관관계를 제공하는데, 그 한계를 넘어서면, GAI 및 Q_g 는 계속 증가하지만, 관찰자 선호도는 급격하게 감소한다. 따라서, GAI 또는 Q_g 와 같은 컬러 채도 메트릭을 관찰자 선호도와 더 잘 정렬시키기 위해서는, 컬러 채도 메트릭에 대해 약간의 조정이 필요할 수도 있는 것처럼 보인다. 게다가, 관찰자는 또한, 컬러 채도와는 어느 정도 무관하게, 완전복사체(Planckian)(흑

체) 케적에 대한 광원의 컬러 포인트에 의해 구동되는, 더 백색처럼 보이는 광원을 선호하는 경향이 있다. 조명 업계에서 일반적으로 인식되고 있는 바와 같이, 컬러 선호도는 임의의 단일의 현존하는 컬러 메트릭에 의해 충분히 정량화될 수 없다. 두 개 이상의 메트릭을 결합하여 컬러 선호도를 더 잘 설명하기 위한 몇몇 시도가 최근에 발표되었다. 그러나, 충분히 정량적인 엄밀함으로 컬러 선호도를 정의하여 스펙트럼의 수치적 조정에 의해 광원의 컬러 선호도의 최적화를 가능하게 하는 컬러 선호도 메트릭을 누구도 제안한 것처럼 보이지는 않는다. 현존하는 컬러 선호도 메트릭이 정량적이더라도, 각각은 어떤 점에서 제한되어, 통상적인 관찰자에 대한 최적의 컬러 선호도를 달성하기 위한 광원 또는 스펙트럼을 설계할 때, 최적화 파라미터로서의 그들의 용도를 제한하게 된다.

[0010] 컬러 선호도 카테고리에서 더 널리 공지된 메트릭의 몇몇은 플래터리 지수(Flattery Index; R_f), 컬러 선호도 지수(Color Preference Index; CPI), 및 메모리 연색성 지수(Memory Color Rendering Index; MCRI)를 포함한다. 이들 메트릭 세 개 모두 여덟 개 내지 열 개의 테스트 컬러 샘플의 색도 좌표(chromaticity coordinate)에 대해 "이상적인" 구성을 가지며, 각각은 이들 목표 값으로부터의 편차를 정량화한다. 플래터리 지수는 선호도를 목표로 하는 제1 메트릭이었고 동일하지 않은 가중(unequal weighting)을 갖는 열 개의 컬러 샘플을 사용하였다. 그러나, CRI와의 유사성을 유지하기 위해, 목표 색도 시프트는 그들의 실험값의 1/5로 감소되었고, 자신의 영향력을 크게 감소시켰다. CPI는 선호하는 색도 시프트에 대한 실험값을 유지하였고, 컬러 선호도의 더 나은 표현으로 나타났다. 그러나, 그것은 테스트 컬러 샘플의 자신의 선택에서 다소 제한되었고, 동일한 여덟 개의 포화되지 않은 테스트 컬러를 CRI로서 사용하였다. 포화되지 않은(파스텔) 테스트 컬러는 고도로 포화된 광원의 영향력을 평가할 수 없다. MCRI는 열 개의 컬러의 친숙한 오브젝트의 이상적인 색도 구성을 정의하기 위해 관찰자의 메모리를 사용한다. 또한, 상기 메트릭 중 어느 것도 테스트 소스의 "백색성", 또는 컬러 포인트를 고려하지 않는다. 이 점에 대해, 저자 J.P. Freyssinier 및 M.S. Rea는, Journal of Light and Visual Environment, volume 37, #2&3, pp. 46-50 (2013)의 "Class A color designation for light sources used in general illumination"에서, "클래스 A 조명"에 대한 일련의 기준을 추천했는데, 이들은 CRI (>80), GAI (80-100), 컬러 포인트("백색" 라인 근처)에 대해 제한을 부과한다. 이들 조건이 추천된 설계 공간을 정의하지만, 식별된 최적의 값이 존재하지 않고, 세 개의 특성의 가중이 추천되지 않았기 때문에, 이들은 컬러 선호도를 최대화하는 스펙트럼 또는 광원을 규정하도록 최적화될 수 없다.

[0011] LED 및 LED 기반 디바이스와 같은 고체 상태 조명 기술은, 백열 램프와 비교될 때 종종 우수한 성능을 갖는다. 이 성능은 램프의 유용한 수명, 램프 효율성(와트당 루멘), 컬러 온도와 컬러 충실도, 및 다른 파라미터에 의해 정량화될 수 있다. 향상된 컬러 선호도 품질을 또한 제공하는 LED 조명 장치를 만들고 사용하는 것이 바람직할 수도 있다.

[0012] 광원에 의해 방출되는 스펙트럼으로부터 옐로우 광의 일부를 흡수하기 위해 Nd 도핑 글래스를 활용하는 상업적 램프 타입(백열, 할로겐, 및 LED를 포함함)이 존재하는데, 그 상업적 램프 타입은, Nd 도핑 글래스에 의한 흡수가 없는 그들의 대응품 램프에 비해, 컬러 선호도를 향상시킨다. GE Lighting 및 몇몇 다른 제조업자는 이들 세 타입의 각각의 제품을 가지고 있다. GE Lighting 제품은 Reveal® 브랜드명을 가지고 있다.

[0013] 컴팩트 형광(compact fluorescent; CFL) 램프, 직관 형광(linear fluorescent; LFL) 램프, 및 LED 램프에 대한 형광체의 몇몇 특수한 제제(formulation)는, 표준 형광체를 활용하는 그들의 대응품 램프에 비해, 컬러 선호도를 향상시키는 것으로 알려져 있다. GE Lighting은, 역시 Reveal® 브랜드명 하에서, 처음 두 타입의 각각의 제품을 가지고 있다. 세 번째 타입의 LED 광원은, 예를 들면, 식료품점 응용분야에서 정육, 야채, 및 농산물(예를 들면, 과일)의 컬러를 향상시키는 것으로 알려져 있다.

[0014] 이들 현존하는 광원의 각각은, 컬러 선호도를 향상시키기 위해, Nd 도핑 글래스, 또는 광원에 의해 방출되는 옐로우 광의 양을 감소시키는 커스텀화된 형광체 중 어느 하나를 활용하였다. 그러나, 이들 제품 중 어느 것도, 수십 년이 지난 GE Lighting Reveal® 백열 제품, 및 다른 현존하는 제품의 것을 초과하는 컬러 선호도의 레벨을 달성하지 못한다. 이들 현존하는 광원에서의 Nd 필터는 통상적으로 Nd₂O₃ 도핑 글래스로 구성되지만, 다른 실시형태에서, 옐로우 필터는, Nd의 또는 디디뮴(Didymium)의 여러 다른 화합물 또는 다른 매트릭스 호스트 재료, 예를 들면 글래스, 크리스탈, 폴리머, 또는 다른 재료에 임베딩되는, 옐로우 광을 우선적으로 흡수하는 다른 화합물 중 하나로 구성될 수도 있거나; 또는 옐로우에서 우선적으로 흡수하는 글래스 상의 몇몇 다른 도펀트 또는 코팅에 의해 구성될 수도 있거나; 또는 옐로우 흡수체를 수용하는 글래스 또는 폴리머 또는 금속 또는 임의의 다른 재료일 수도 있는, 반사체 또는 디퓨저 또는 렌즈와 같은, 램프 또는 조명 시스템의 광학적으로 활성인 컴포넌트 중 임의의 것으로의 임의의 옐로우 흡수체의 첨가에 의해, 구성될 수도 있다. 옐로우 흡수의 정확한 피

크 파장 및 폭은, 특정한 Nd 또는 희토류 화합물(rare-earth compound) 및 호스트 재료에 따라 변할 것이지만, Nd, 디디튬 및 다른 희토류 화합물 및 호스트 재료의 많은 조합은, 몇몇 다른 옐로우 필터가 그런 것처럼, Nd₂O₃ 도핑 글래스의 조합에 대한 대체제로서 적합하다. Nd 또는 다른 옐로우 필터는 광원을 둘러싸는 돔(dome)의 형상일 수도 있거나, 또는 광원을 둘러싸는 임의의 다른 기하학적 모양일 수도 있어서, 옐로우 범위의 파장 내의 대부분의 또는 모든 광은 필터를 통과하게 된다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

- [0015] 사람 관찰자가 향상된 컬러 선호도를 지각하도록 하는 향상된 컬러 스펙트럼 특성을 갖는 광을 방출하는 광원, 및 그 광원을 만들기 위한 방법이 제공된다. 또한, 광원의 스펙트럼 파외 분포를 조정하는 것에 의해 컬러 선호도의 정량적 최적화를 가능하게 하는 조명 선호도 지수(Lighting Preference Index; LPI)로 칭해지는 컬러 메트릭이 제공된다. 한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 그린 또는 옐로우-그린 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 적어도 하나의 레드 광원을 포함하는데, 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0016] 다른 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 레드 고체 상태 광원을 포함하는데, 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0017] 유익한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 55 nm보다 작은 반값 전폭(full-width-at-half-maximum; FWHM)을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 고체 상태 광원을 포함하는데, 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0018] 또 다른 유익한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 레드 다운컨버터를 포함한다. 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0019] 또 다른 유익한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 고체 상태 광원, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 다운컨버터를 포함하는데, 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0020] 또 다른 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 레드 고체 상태 광원을 포함하는데, 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0021] 또 다른 유익한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 고체 상태 광원을 포함한다. 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0022] 또 다른 유익한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 고체 상태 광원, 및 약 630 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 딥 레드(deep red) 고체 상태 광원을 포함한다. 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.
- [0023] 또 다른 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약

500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 레드 다운컨버터를 포함하는데, 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.

[0024] 또 다른 유의한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 및 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 다운컨버터를 포함한다. 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.

[0025] 또 다른 유의한 실시형태에서, 복합 광원은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 광원, 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 그린 또는 옐로우-그린 다운컨버터, 약 600 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 가지며 35 nm보다 작은 FWHM을 갖는 레드 다운컨버터, 및 약 630 nm 내지 약 680 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 딥 레드 고체 상태 광원을 포함한다. 이 복합 광원은 적어도 120의 LPI를 갖는다.

도면의 간단한 설명

[0026] 몇몇 실시형태의 특징 및 이점, 및 그 특징 및 이점이 달성되는 방식은, 예시적인 실시형태(반드시 동일 축척은 아님)를 예시하는 첨부 도면과 연계하여 취해지는 하기의 상세한 설명을 참조로 보다 쉽게 명확해질 것인데, 도면에서,

도 1a는 XYZ 색도에 대한 세 개의 컬러 매칭 함수, 또는 표준 관찰자의 색도 응답의 그래프를 포함한다.

도 1b는, 표준 백열 램프에 대한 스펙트럼과의 세 개의 컬러 매칭 함수의 곱의 그래프를 포함한다.

도 1c는, Reveal® 백열 램프에 대한 스펙트럼과의 세 개의 컬러 매칭 함수의 곱의 그래프를 포함한다.

도 2는, 조명 선호도 지수(LPI)의 향상된 레벨로 설계된, 선택된 LED 시스템을, 관찰자의 선호하는 조명 환경으로서 선택한 관찰자의 비율을 디스플레이한다.

도 3은, LED에 대한 ANSI 컬러 빈(bin)에 대응하는 2700 K부터 6500 K까지의 상관 컬러 온도(Correlated Color Temperature; CCT)의 궤적과 함께, "화이트 라인"(가끔은 "백체(white-body) 곡선" 또는 "백체 궤적"으로도 칭해짐)의 그래프 및 흑체 곡선의 그래프를 포함한다.

도 4는, 컬러에 대한 먼셀(Munsell) 분류 시스템에서 규정되는 바와 같은, a*-b* 색도 평면에서의 색상의 10개의 메인 카테고리를 예시한다.

도 5a는 각각의 CVR를 포함하는 a*-b* 색도 평면에서의 반경 방향 성분(radial component) 및 방위각 성분(azimuthal component)을 예시한다.

도 5b는 네오디뮴 백열 램프에 대한 먼셀 값 5에서의 연색성 벡터(Color Rendering Vector; CRV)를 나타낸다.

도 6은, 네오디뮴 산화물(Nd₂O₃)로 도핑되는 글래스 돔 내에 하나 이상의 백열 또는 할로젠 코일을 포함하는 Reveal® 타입의 백열 또는 할로젠 광원을 예시한다.

도 7a는, CCT = 2695 켈빈(K)을 갖는 도 6의 백열 광원의 상대적인 광 출력 대 파장(또는 스펙트럼 파워 분포 (SPD))의 그래프, 및 동일한 CCT = 2695 K를 갖는 흑체 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 7b는 CCT = 2695 K를 갖는 백열 광원의 SPD의 그래프, 및 Nd 도핑 글래스를 갖는 백열 광원의 광을 필터링하는 것에 의해 획득되는, CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 8a는 하나 이상의 LED를 포함하는 Reveal® 타입의 LED 광원을 예시한다.

도 8b는 도 8a의 광원의 분해도이다.

도 9는, YAG 형광체 및 레드 형광체를 각각 여기하는 다수의 블루 LED를 포함하며, 혼합 광이 CCT = 2766 K를 갖는 온백색(warm-white)의 LED 램프의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2777 K를 갖는 Reveal® 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 10은, 옐로우에서 상대적으로 낮은 방출을 갖는 형광체의 커스텀화된 혼합물로 코팅된 저압 Hg 방전관을 포함하는 Reveal® 타입의 CFL 광원을 예시한다.

도 11은, CCT = 2582 K를 갖는, 도 10의 Reveal® 타입의 CFL 광원의 스펙트럼 파워 분포(SPД)의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 도 6의 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 12는, CCT = 2755 K를 갖는 도 6의 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프와 함께 플롯된, 옐로우 파장 범위에서 오목부를 생성하도록 충분히 분리된 피크 파장을 갖는 그린 및 레드 형광체를 구비하며, CCT = 2753 K를 갖는 도 8b의 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 13은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED, 및 레드 LED를 구비하며, CCT = 3000 K를 갖는 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 14는 블루 방출을 파장의 함수로서 예시한다.

도 15는, 가변 폭의 다섯 개의 가능한 그린 성분의 선택을 디스플레이한다.

도 16은 가변 폭 및 피크 파장의 아홉 개의 가능한 레드 성분의 선택을 디스플레이한다.

도 17은 블루, 그린, 및 레드 성분으로 구성되는 대표적인 스펙트럼을 묘사한다.

도 18은 그린 및 레드 폭과 피크 파장의 모든 가능한 조합을 갖는 4050개의 스펙트럼에 대한 CRI 값 대 LPI 값을 플롯한다.

도 19는, 흑체 궤적 상의 컬러 포인트, 또는 $Duv=0.000$ 과 관련되는 그린 및 레드 폭과 피크 파장 대 조명 선호도 지수(LPI)의 3×3 등고선 플롯(contour plot) 그리드를 디스플레이한다.

도 20은, 흑체 궤적과 "화이트 라인" 사이의 중간의 컬러 포인트, 또는 $Duv=-0.005$ 와 관련되는 그린 및 레드 폭과 피크 파장 대 LPI의 3×3 등고선 플롯 그리드를 디스플레이한다.

도 21은, "화이트 라인" 근처의 컬러 포인트, 또는 $Duv=-0.010$ 과 관련되는 그린 및 레드 폭과 피크 파장 대 LPI의 3×3 등고선 플롯 그리드를 디스플레이한다.

도 22는 최고 LPI 값을 달성하는 최적의 세 성분 스펙트럼의 스펙트럼 파워 분포(SPД)의 그래프를 포함한다.

도 23은, BSY+R 시스템과 관련되는 그린 폭, 그린 피크 파장, 레드 피크 파장, 및 Duv 대 LPI의 3×3 등고선 플롯 그리드를 디스플레이한다.

도 24는, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 25는, CCT = 2700 K를 갖는, 에너지 스타(Energy Star) 기준에 대해 최적화된, BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 26은, 하이(high) LPI로 최적화된 BSY+R 시스템 및 에너지 스타 제한을 가지고 하이 LPI로 최적화된 BSY+R 시스템의 컬러 포인트와 함께, 흑체 궤적, "화이트 라인", 및 에너지 스타 사변형을 갖는 x-y 색도 공간의 플롯을 포함한다.

도 27은, CCT = 2700 K를 갖는, 에너지 스타(Energy Star) 기준에 대해 최적화된, BSY+DR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 28은, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+R+DR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 29는, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+R+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 30은, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+DR+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 31은, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+R+DR+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 32는, CCT = 2700 K를 갖는 BSG+BR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 33은, CCT = 2700 K를 갖는 BSG+NR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 34는 PFS 형광체의 방출을 파장의 함수로서 예시한다.

도 35는, BSY+PFS 시스템과 관련되는 그린 폭과 피크 파장, 및 Duv 대 조명 선호도 지수(LPI)의 3 개의 등고선 플롯을 디스플레이한다.

도 36은, PFS 형광체를 활용하여 최고 LPI 값을 달성하는 동안의, 최적의 세 성분 스펙트럼의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 37은, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+PFS 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 38은, CCT = 2700 K를 갖는 BSG+BR+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 39는, CCT = 2700 K를 갖는 BSG+NR+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

도 40은, CCT = 2700 K를 갖는 BSY+PFS+Nd 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프, 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프를 포함한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 조명 선호도 지수(LPI)로 칭해지는 신규의 정량적이고 입증된(validated) 컬러 선호도 메트릭이 제공된다. LPI는, 광원의 컬러 선호도 특성을 최적화하기 위한 설계 규칙을 제공하기 위한, 및/또는 다른 측광(photometric), 측색(colorimetric), 및 다른 디자인 응답과 함께, 컬러 선호도를 포함하는 스펙트럼의 다수의 응답 최적화를 설계하기 위한 정량적 메트릭으로서 사용될 수도 있다. 결과적으로 나타나는 스펙트럼, 광원, 및 램프는, 현존하는 Reveal® 타입의 광원 및/또는 유사한 종래의 제품보다 유의적이고 예상치 않게 더 높은 컬러 선호도를 나타내는 하이 LPI 값을 나타낸다.

[0028] 본원에서 개시되는 바와 같은 LPI는, 선호하는 컬러 현시(채도 및 색상 왜곡)뿐만 아니라 완전복사체 궤적으로부터 멀어지는 컬러 포인트에서의 선호하는 시프트 둘 다를 담당한다. LPI는 예측 메트릭으로서 뿐만 아니라, 소비자 선호도를 정량화하는 메트릭으로서 활용될 수도 있다. 따라서, LPI는 컬러 선호도에 대한 스펙트럼을 최적화하기 위한 설계 툴로서 사용될 수 있다. 실제, 예비 관찰자 테스트를 통해 LPI에 대한 강한 상관관계가 발견되었으며, 정확한 예측 선호도 메트릭으로서의 LPI의 최적화 성능은 추가적인 연구를 통해 증명된다. 86명의 참가자를 통한 관찰자 연구에서, 네 개의 별개의 LED 시스템은, 114으로부터 143까지의 범위에 이르는 LPI의 상이한 향상된 레벨로 설계되었다. 이 연구에서의 모든 참가자는 17세 내지 28세의 연령 범위 내에 있었고, 성별 분포는 40%의 남성 및 60%의 여성이었으며, 인종 분포는 57%의 백인(Caucasian), 30%의 아시아인, 8%의 히스패닉계, 그리고 5%의 아프리카계 미국인이었으며, 지리적 분포는 94%가 북아메리카, 5%가 아시아, 그리고 1%가 유럽이었다. 각각의 LED 시스템은, 가정집 품목, 에컨대 컬러풀한 패브릭, 과일, 나무 층계, 및 거울을 포함하는 별개의 부스(booth)를 조명하였다. 관찰자에게는, 그들이 전체적으로 어떤 조명 환경을 선호했는지를 선택할 것을 요청하였다. 결과는, 최고 LPI 값을 갖는 LED 시스템이 가장 많은 관찰자에 의해 선호되었으며, 한편, 두 번째, 세 번째, 및 네 번째로 높은 LPI 값이, 각각, 두 번째, 세 번째, 및 네 번째로 가장 선호되었다는 것을 나타내고 있다. 도 2는 각각의 LED 시스템을 그들의 선호하는 환경으로 선택한 관찰자의 비율을 디스플레이한다. 도시되는 바와 같이, 관찰자의 가장 높은 비율(42%)은 143의 LPI를 갖는 광원 D를 선호했고, 한편 관찰자 중 가장 적은 비율(11%)은 114의 LPI를 갖는 광원 A를 선호하였다. LPI, 스펙트럼 디자인 성분, 및 다른 컬러 메트릭 사이의 트렌드는, 파라미터화된 세 성분 LED 스펙트럼을 사용한 계산 연구를 통해 본원에서 설명된다.

[0029] 종래의 측색 및 측광 양(quantity) 또는 메트릭은, 상대적으로 작은 그룹의 관찰자의 응답으로부터 유도되며, 따라서 전체 인간 집단을 대표하지는 않으며, 또한 모든 인구학적 그리고 문화적 그룹을 대표하는 것도 아니다. 그러나, 이러한 메트릭은 그들이 조명 제품을 설계, 평가, 및 최적화하기 위해 생성된 이후 수십 년간 사용되고 있다. 실제, 광원은 여전히 이들 메트릭, 예를 들면, 루멘 및 연색 지수(CRI 또는 Ra)에 기초하여 설계되고 있다.

[0030] LPI 식의 미래의 반복이 추가적인 관찰자 선호 데이터를 고려하는 것이 가능하며; 컬러 선호도가 모집단 사이에

서 변하는 것이 알려져 있기 때문에, 특히 신규의 데이터가 상이한 인구학적 또는 문화적 그룹으로부터 유래하면, 이것은 본원에서 설명되는 LPI에 대한 식을 약간 변경시킬 수 있다. 본원에서 설명되는 바와 같은 LPI에 대한 식은, 58% 남성과 42% 여성의 성별 분포, 92% 백인과 8%의 아시아인의 인종 분포, 및 북아메리카 내의 지역적 분포를 가지고 21세 내지 27세의 연령 범위 내에서 설정되는 관찰자에 기초한다. 그러나, 이것은, 임의적인 광원 스펙트럼에 대한 컬러 선호도의 레벨을 정량화하고 최적화하기 위한, 본원에서 현재 정의되는 바와 같은, LPI의 유효성을 감소시키지 않으며, 따라서, 그 테스트 광원이 구축되고 테스트 광원이 특정한 테스트 모집단의 것과 유사한 컬러 선호도를 갖는 모집단에 의해 관찰되면, 테스트 광원은, 그 테스트 모집단에 의해 LPI 스케일 상에서 더 낮은 점수를 얻는 다른 광원에 비해 더 선호될 것이다. 또한, 하이 LPI에 대해 최적화되고, 종래의 광원보다 더 큰 LPI를 갖는 스펙트럼 또는 광원은, 종래의 광원의 임의의 것보다, (우리의 데이터세트의 것에 대해 유사한 컬러 선호도 편중을 갖는) 관찰자 사이에서 더 높은 컬러 선호도를 나타낼 것이다. 유사하게, 루멘, 예를 들면, 전통적인 명소시(photopic) 루멘과는 상이한 암소시(scotopic) 루멘의 변화가 정의되고, 증가된 또는 최적화된 암소시 루멘 효율성을 갖는 광원의 발견 및 개발을 암소시 루멘의 정의가 가능하게 하면, 명소시 루멘이 비록 모든 조명 애플리케이션에서 범용적으로 적절하지는 않더라도 엄밀하게 정의되었기 때문에, 암소시 루멘은 제공되었던 광원의 발견 및 개발의 유효성을 무효로하지 않을 것이며, 증가된 또는 최적화된 명소시 루멘을 계속 제공할 것이다.

[0031] 현존하는 컬러 품질 메트릭이 조명 제품의 소비자 선호도를 정확하게 정량화하기 위해 노력하고 있지만, LPI는, 컬러 선호도 데이터가 이용가능했던 관찰자의 제한된 모집단과 가장 밀접하게 상관하는 정량적 컬러 선호도 메트릭을 객관적으로 정의한다. LPI 메트릭은 두 파라미터: 조명 소스의 백색도 및 소스에 의해 조명되는 오브젝트의 컬러 현시의 함수이다. 특정 LPI 함수는, 백색도 및 컬러 현시의 설명 이후에, 하기에 정의된다.

[0032] 본원에서 사용되는 바와 같이, 백색도는 색도 다이어그램 상의 "화이트 라인"에 대한 컬러 포인트의 근접도를 가리키는데, "화이트 라인"은 하기의 발행물에서 정의된다: 저자 M.S. Rea & J. P. Freyssinier의 Color Research & Application, volume 38, #2, pp. 82-92(2013)의 "White Lighting"(이하, "Rea 참고문헌"이라 함). Rea 참고문헌은 참조에 의해 본원에 통합된다. "화이트 라인" 상의 컬러 포인트의 구체적인 예시 값은, 2700 K로부터 6500 K까지의 선택된 컬러 온도에 대한 CCX 및 CCY 컬러 좌표에서 보고되는 바와 같은, 하기의 표 1의 컬러 포인트에 의해 주어진다.

컬러 온도 (CCT)	CCX	CCY
2700 K	0.4431	0.3806
3000 K	0.4212	0.3716
3500 K	0.3980	0.3710
4100 K	0.3773	0.3788
5000 K	0.3458	0.3628
6500 K	0.3114	0.3389

표 1

[0033] 도 3에서 알 수 있는 바와 같이, 그리고 표 1에서 정의되는 바와 같이, "화이트 라인"(304)(종종 "백체 라인", "백체 곡선", 또는 "백체 궤적"으로도 칭해짐)은 높은 컬러 온도(예를 들면, 4000 K 위)에서 흑체 곡선(302) 약간 위에 있고 또한 낮은 컬러 온도에서는 그 아래에 있다. 연구는, "화이트 라인" 상의 조명이 "백색" 광이라는 것의 인간 지각에 대응할 수도 있다는 것을 나타낸다. "화이트 라인"은 넓은 범위의 컬러 온도에 대해 제안되지만, 약 2700 K와 약 3000 K(이들은 소비자가 종종 선호하는 CCT 값이다) 사이의 컬러 온도의 경우, "화이트 라인"은 흑체 궤적에서 약 0.010 Duv 아래에 있는데, Duv는 u-v 색도 공간으로부터의 거리를 나타낸다.

[0035] 하기의 식은 약 2700 K와 약 3000 K 사이의 CCT를 갖는 임의의 컬러 포인트에 대한 백색도 메트릭을 제공하도록 스케일링된다. 이 백색도 메트릭은 완전복사체 상의 임의의 포인트에 대해 제로 또는 실질적으로 0이 될 것이고, "화이트 라인" 상의 임의의 포인트에 대해 1(실질적으로 1)이 될 것이다:

[0036] 식 (1):
$$\text{백색도} = 1 - 100\sqrt{(Duv + 0.010)^2}$$

[0037] 여기서 Duv는, 식 (1)의 목적을 위해, u-v 공간에서의 완전복사체 궤적으로부터의 컬러 포인트의 거리이다(주: 흑체 라인 아래의 값은 식 (1)에서 음의 값이다). 예를 들면, 흑체의 0.010 아래의 포인트의 경우, 식 (1)에 -0.010을 삽입할 것이다. (약 2700 K와 약 3000 K의 범위 밖의 CCT를 갖는 컬러 포인트의 경우, 백색도는, 과도한 실험 없이, 도 3에서의 컬러 포인트의 포지션의 검사에 의해 근사될 수 있다; 예를 들면, 조명 소스가 "화이트 라인" 상의 컬러 포인트를 가지면, 마찬가지로 1의 백색도 값을 가질 것이다). 하기에 추가로 설명되는 바

와 같이, 조명 소스의 컬러 포인트가 "화이트 라인"에 접근함에 따라, LPI는 증가하고, 어느 방향으로든 멀어짐에 따라 감소한다.

[0038] 본원에서 사용되는 바와 같이, 컬러 현시는 연색성의 복합 척도인데, 이것은 조명 소스의 순 채도 값(Net Saturation Value; NSV)(예를 들면, 향상된 채도를 나타내지만 과도하게 포화되지 않은 NSV에 대해 상대적으로 더 높은 LPI 값이 획득된다), 및 색상 왜곡 값(Hue Distortion Value; HDV)(예를 들면, 최소 또는 제로의 색상 왜곡을 나타내는 HDV에 대해 상대적으로 더 높은 LPI 값이 획득된다)의 함수이다. NSV 및 HDV 둘 다가 하기에서 더 상세히 설명될 것이다.

[0039] 조명 선호도 지수(LPI)는, 1600개의 수정된 먼셀 글로시 스펙트럼 반사율(Munsell glossy spectral reflectance)의 완전한 데이터베이스를 사용하여 컬러의 어레이를 선택하는 것에 의해, 테스트 컬러 샘플의 편향되지 않은 선택을 사용하여 개발되었다. 이들 1600 개의 컬러는, 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해, 특히 M.W. Derhak & R.S. Berns에 의한 Color and Imaging Conference, 2012(1), 191-194 (2012)에서의 "Analysis and Correction of the Joensuu Munsell Glossy Spectral Database"의 관점에서 이해될 것이다. 컬러의 이 어레이를 사용하는 것은, 색상, 명암도(value), 및 크로마(chroma)의 먼셀 분류 시스템을 활용하는 컬러 공간의 상당 부분의 커버리지를 허용한다.

[0040] 당해 분야의 숙련된 자에 의해 이해되는 바와 같이, 이 어레이에서의 각각의 컬러는 그 색상(각각에서 4 개의 하위 카테고리를 갖는 10개의 카테고리의 총 40 개의 항목을 갖는다), 크로마(0 내지 16의 범위이다), 및 명암도(0 내지 10의 범위이다)의 관점에서 먼셀 시스템에 의해 정의된다. 색상의 10 개의 카테고리는 도 4에서 묘사되고 라벨링된다. 채도, 또는 크로마, 및 색상의 모든 레벨은, 통계적 카운트 방식(statistical count approach)에서 동등하게 가중되고 취급되며, 저자 A. Zukauskas, R. Vaicekauskas, F. Ivanauskas, H. Vaitkevicius, P. Vitta, 및 M.S. Shur의 IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 15(6), 1753 (2009)의 "Statistical approach to color quality of solid-state lamps"에서 논의되는 것과 유사한 방식을 따른다.

[0041] 모든 1600 개의 컬러 샘플의 컬러 포인트는 동일한 컬러 온도에서, 조명 소스(즉, 테스트 광원) 및 CIE 기준 광원, 또는 플랑크 복사체(Planckian radiator) 둘 다에 의해 렌더링될 때와 같이, 계산된다. CIE 기준 광원은, 흑체 복사에 대한 플랑크 법칙을 사용하여, 조명 소스의 CCT로부터 결정되는 스펙트럼을 갖는다. 플랑크 법칙은, 광원(B)의 휘도(W/sr · m³ 단위)를 파장(λ)(미터 단위) 및 절대 온도(T)(K 단위)의 함수:

$$B_{\lambda} = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{2k_B T} - 1}$$

로서 정의하는데, 여기서 h는 프랑크 상수이고 k_B는 볼츠만 상수이다.

[0042] 그 다음, 이들 컬러 포인트(컬러 좌표로도 칭해짐) 모두는 CIELAB 색공간으로 변환되고 연색 벡터(color rendition vector; CRV)가 생성된다. CRV는 기준 광원에 대한 현시 시프트의 크기 및 방향의 표현이다. 도 5a는 각각의 CRV에 포함되는 성분을 예시한다. 반경 방향 성분, 또는 ΔC_{ab}는 크로마, 또는 채도에서의 시프트를 정량화하는데, 원점(origin)에서 멀어지는 시프트는 채도에서의 증가를 의미하고 원점을 향하는 시프트는 채도에서의 감소를 의미한다. 방위각 성분, 또는 Δh_{ab}는 색상에서의 변화를 정량화하며 라디안 단위의 각도 변화에 의해 표현될 수 있다. 특정 먼셀 값에서의 CRV의 벡터 플롯은 a*-b* 색도 평면 상에서의 컬러 시프트의 시각적 표현으로서 생성될 수 있다. 도 5b는, 소비자에 의해 일반적으로 선호되는 제품인 네오디뮴 백열 램프에 대한 먼셀 값 5에서의 CRV(502)를 나타낸다. 벡터 플롯에서 알 수 있는 바와 같이, 네오디뮴 램프 제품은, 특히 레드 및 그린 성분(각각, 벡터 플롯의 우측 및 좌측에 있음)에서 향상된 채도를 생성한다. 컬러 옐로우(Y), 레드(R), 퍼플(P), 블루(B), 및 그린(G)에 대응하는 근사 벡터 방향은 삼입물(504)에서 나타내어진다.

[0043] 그 다음, 모든 1600 개의 먼셀 컬러에 대한 각각의 CRV의 반경 방향 및 방위각 성분은, 각각, 크로마 및 색상에서의 시프트를 정량화하도록 결정된다. 이러한 큰 샘플 사이즈로 인해, CRV의 크기 및 방향은 통계적 카운트에 의해 표현될 수 있다.

[0044] 순 채도 값(NSV)은, 감소된 채도를 갖는 샘플의 비율만큼 감소되는, 향상된 채도를 갖는 테스트 샘플의 비율을 나타낸다. 채도의 향상된 레벨은, 평균 지각 차이의 임계치를 초과하는, 그러나 과채도(over-saturation) 한계 미만의 크로마에서의 증가(ΔC_{ab} > 0)에 의해 나타내어진다. 감소된 채도 레벨(ΔC_{ab} < 0)은, 크로마가 평균 지각 차이의 동일한 임계치 넘게 감소되는 경우에만 고려된다. 평균 지각 차이 값은 다음의 발행물; 저자 M. Mahy, L. Van Eycken, & A. Oosterlinck의 Color Research and Application, volume 19, #2, pp. 105-121 (1994)의 "Evaluation of Uniform Color Spaces Developed after the Adoption of CIELAB and CIELUV"에 기초하는데, 이 발행물은 CIELAB 공간에서 평균 지각능력 반경이 2.3인 것을 발견했다. 과채도 한계의 경우, 다음의

발행물에 기초하여 $\Delta C_{ab} = 15$ 의 값이 선택된다: 저자 Y. Ohno의 Presentation at LEDs 2012, Oct. 11-12, San Diego, CA (2012)의 "Color Quality Design for Solid State Lighting". 이 연구에서, 포화된 컬러의 경우 한계까지 선호도에서의 증가가 발견되었고, 선호도 응답은 채도의 높은 레벨에 대해 감소했다. 대략 $\Delta C_{ab} = 15$ 의 값 근처에서, 선호도 응답은 채도가 없는, 또는 $\Delta C_{ab} = 0$ 에 필적했고, 이들 두 값 사이에서 선호도 응답은 증가했다.

[0045] 개개의 NSV 값(NSV_i)은 먼셀 시스템의 10개의 메인 색상 카테고리에 대해 계산되고, 총 NSV는 10 개의 색상에 걸친 평균으로서 취해진다. 본 개시에서 사용되는 바와 같이, NSV는 식 (2) 및 식 (3)에 의해 정의되는데:

[0046] 식 (2): $NSV_i = (2.3 < \Delta C_{ab} < 15$ 를 갖는 색상(i)에서의 CRV의 비율)-($\Delta C_{ab} < -2.3$ 을 갖는 색상(i)에서의 CRV의 비율),

[0047] 식 (3): $NSV = \sum_{i=1}^{10} NSV_i / 10$,

[0048] 여기서 ΔC_{ab} 는 CRV의 반경 방향 성분이고 지각된(perceived) 크로마, 또는 채도에서의 시프트를 나타내고, i는 먼셀 시스템의 10 개의 메인 색상 카테고리에 대한 색상 카테고리를 나타낸다. 영역 $-2.3 < \Delta C_{ab} < 2.3$ 의 경우, 채도에서의 변화는 통상적인 관찰자에 의해 지각되지 않을 수도 있으며 따라서 향상 또는 악화로써 간주되지 않는다.

[0049] 색상 왜곡 값(HDV)은 색상을 변경시키고 있는 테스트 샘플의 가중된 비율을 나타낸다. 상대적으로 더 높은 LPI 값에 도달하는 것에 일반적으로 (한계까지) 증가된 크로마가 기여하지만, (색상에서의 변화가 크로마 변화보다 최종 LPI 값에 대해 상대적으로 더 약한 기여 인자이긴 하지만) 색상에서의 변화는 일반적으로 바람직하지 않다.

[0050] 당해 분야의 숙련된 자에 의해 이해되는 바와 같이, 먼셀 컬러 시스템은 통상적으로 40 개의 색상 하위 카테고리(10개의 메인 색상 카테고리의 각각에 4 개의 하위 카테고리)로 분할된다. HDV를 계산하기 위해, $\Delta h_{ab} > \pi / 20$ 라디안(또는 원의 40분의 1)인 다음 색상 하위 카테고리로 변하는 테스트 컬러의 비율은, 색상 하위 레벨 사이의 분리($\pi / 20$ 라디안)에 의해 스케일링되는 평균 Δh_{ab} 값에 의해 가중된다. 이 추가적인 가중은 아주 많은 양의 색상 왜곡을 고려하기 위해 사용되는데, 이 경우, 거의 모든 테스트 컬러가, 고려될 임계치를 초월하는 색상 왜곡을 겪기 때문에, 비율 단독은 아주 높은 비율에서 한계에 접근한다. 이들 계산을 위해, 색상 왜곡의 방향은 중요하지 않으며, 따라서 시계방향 및 반시계방향 둘 다에서의 왜곡에 대해 $\Delta h_{ab} > 0$ 이다. NSV에서와 같이, 개개의 HDV 값(HDV_i)이 먼셀 시스템의 10 개의 메인 색상 카테고리에 대해 계산되고, 총 HDV가 10 개의 색상에 걸친 평균으로서 취해진다. 본 개시에서 사용되는 바와 같이, HDV는 식 (4) 및 식 (5)에 의해 정의되는데:

[0051] 식 (4): $HDV_i = (\Delta h_{ab} > \frac{\pi}{20}$ 를 갖는 색상(i)에서의 CRV의 비율) $\times \frac{\Delta h_{ab,avg,i}}{\pi/20}$,

[0052] 식 (5): $HDV = \sum_{i=1}^{10} HDV_i / 10$,

[0053] 여기서 Δh_{ab} 는 CRV의 방위각 성분이고 지각된 색상에서의 시프트를 나타내고, i는 먼셀 시스템의 10 개의 메인 색상 카테고리에 대한 색상 카테고리를 나타내고, $-\Delta h_{ab,avg,i}$ 는 색상 i 내의 모든 컬러에 대한 평균 Δh_{ab} 값이다.

[0054] 다음에, NSV 및 HDV가 식 (6)에 따라 컬러 현시 값으로 병합된다:

[0055] 식 (6): 컬러 현시 = $(NSV - HDV/2.5)/50$

[0056] 식 (6)에서, HDV는 관찰자 선호도 응답에 대한 최상의 매치를 제공하기 위해 NSV에 대해 가중된다는 것을(즉, 인자에 의해 분할된다는 것을) 유의한다. 실제로는, 보통 달성되는 컬러 현시의 가장 높은 값은 약 1이지만, 이론적으로는, NSV = 100 및 HDV = 0에서 2의 값에 도달할 수 있다.

[0057] 마지막으로, LPI 식은 식 7에 의해 정의되는데:

- [0058] 식 (7): $LPI = 100 + 50 \times [0.38 \times \text{백색도} + 0.62 \times \text{컬러 현시}]$,
- [0059] 여기서 백색도는 식 (1)에서 정의되고 컬러 현시는 식 (6)에서 정의된다. 다른 조명 메트릭에서와 같이, 기준 흑체 광원에 대해 100의 기초값을 매기도록, "100"의 파라미터가 선택된다. CRI의 크기와 유사한 크기로 LPI 변화를 스케일링하기 위해, "50"의 파라미터가 선택된다. 예를 들면, 통상적인 네오디뮴 백열 램프는 CRI 시스템에서 약 20 포인트만큼 불리하게(penalized) 될 수 있어서, (기준에 대한 CRI = 100에 비해) 약 80의 CRI를 가지게 되며, 한편 동일한 네오디뮴 백열 램프는 LPI 시스템에서는 약 20 포인트만큼 보상받아, 기준에 대한 LPI = 100에 비해, 약 120의 LPI를 가지게 될 수도 있다. 관찰자 선호도 데이터에 대한 최상의 적합을 제공하기 위해, 38%의 백색도 및 62%의 컬러 현시의 가중 인자가 선택되었다. 이들 가중 인자는 관찰자 설정에 의존하며, 특히 상이한 인구학적 또는 문화적 그룹으로부터의 추가적인 관찰자 선호도 데이터를 통한 미래에 개발에서 수정될 수도 있다. 그러나, 본 개시에서, LPI는 식 (7) 및 그 관련 설명에 의해 정의된다.
- [0060] 식 (1), (6) 및 (7)의 단순한 조합인 LPI에 대한 대안적인 "마스터" 식이 식 (8)로서 나타내어진다:
- [0061] 식 (8): $LPI = 100 + 19 \times [1 - 100\sqrt{(Duv + 0.010)^2}] + 0.62 \times [NSV - HDV/2.5]$
- [0062] 상기에서 예시되는 마스터 식의 향으로 LPI를 다시 나타내는 목적은, 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가, 어떠한 과도한 실험 없이도, 본 개시의 지침을 사용하여, 컬러 사이언스의 파라미터로부터 유도할 수 있는 값들이 신규의 지수(index)가 제공한다는 것을 보여주기 위해서이다. LPI는 NSV와 함께 증가하지만, HDV가 증가함에 따라 감소한다. 별개로, LPI는 Duv가 "화이트 라인"의 것에 도달함에 따라 증가한다. 실제로는, 일반적으로 도달 가능한 LPI에 대한 가장 높은 값은, 백색도 = 1 및 컬러 현시 = 1에 대응하는 대략 150이지만, 181의 이론적 최대 값이 존재하며, 이 경우 백색도 = 1이고 컬러 현시 = 2이다.
- [0063] 요약하면, 주어진 램프 또는 주어진 테스트 광원 또는 주어진 조명에 대한 LPI 값은 다음의 단계(반드시 이 순서는 아님)에 의해 결정될 수도 있다:
- [0064] (a) 테스트 광원에 의해 방출되는 광의 스펙트럼을, 1-2 nm(또는 더 미세한) 정밀도를 갖는 그것의 스펙트럼 파워 분포(SPD)로서 제공함;
- [0065] (b) 테스트 광원의 SPD로부터 컬러 포인트(컬러 온도 및 Duv)를 결정함;
- [0066] (c) 식(1)을 사용하여 Duv로부터 백색도 성분을 계산함;
- [0067] (c') 테스트 광원의 컬러 온도로부터 기준 스펙트럼을 결정함;
- [0068] (d') 기준 및 테스트 광원 둘 다에 대한 CIELAB 컬러 공간에서의 모든 1600 개의 먼셀 컬러의 컬러 포인트를 계산;
- [0069] (e') 기준 스펙트럼을 기준으로, 테스트 광원에 대한 연색 벡터를 계산;
- [0070] (f') 식 (3) 및 식 (5)를 각각 사용하여 순 채도 값 및 색상 왜곡 값을 계산;
- [0071] (g') 식 (6)을 사용하여 컬러 현시 성분을 계산; 그리고
- [0072] (d) 단계 (c)로부터의 백색도 성분 및 단계 (g')로부터의 컬러 현시 성분을 식 (7)을 사용하여 LPI로 병합.
- [0073] 종래의 램프 타입은, 광원에 의해 방출되는 스펙트럼으로부터 옐로우 광의 일부를 흡수하기 위해 Nd 도핑 글래스를 활용하여, Nd 흡수가 없는 그들의 대응품 램프에 비해, 컬러 선호도를 향상시킨 백열, 할로겐, 및 LED 램프를 포함한다. 도 6은, 네오디뮴 산화물(Nd_2O_3)로 도핑되는 글래스 돔(604) 내에 하나 이상의 백열 또는 할로겐 코일(602)을 포함하는 Reveal® 타입의 백열 또는 할로겐 광원(600)을 예시한다. 코일 또는 코일들로부터 방출되는 광은, 약 2700 K와 약 3200 K 사이의 상관된 컬러 온도(CCT)를 통상적으로 갖는, 흑체 스펙트럼의 광과 유사하다. 이 CCT 범위는 온백색으로 칭해질 수도 있다. Nd 도핑 글래스 돔(604)은 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분의 광을 필터링하도록 가능하며, 따라서 광원(600)의 글래스 돔(604)을 통해 방출되는 광은, Nd 글래스 필터가 없는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도, 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는다.
- [0074] 도 7a는, CCT = 2695 켈빈(K)을 갖는 도 6의 백열 광원(600)의 상대적인 광 출력 대 파장(또는 스펙트럼 파워 분포(SPD))의 그래프(700), 및 동일한 CCT = 2695 K를 갖는 흑체 광원의 SPD의 그래프(702)를 포함한다. 흑체 방출기(blackbody emitter)는 통상적으로, CCT < 5000(CCT > 5000 K의 경우, 주광(Daylight) 스펙트럼이 기준

으로서 통상 사용된다)를 갖는 테스트 소스에 대한, 테스트 광원의 색도 값의 계산에서 임의의 테스트 광원 광원과의 비교 대상인 기준 광원인 것으로 간주된다. 기준 광원으로서, 흑체 방출기는 CRI = 100의 값을 할당받는다. 일관성을 위해, 흑체는 LPI 메트릭에 대해 100의 기준 값을 마찬가지로 할당받는다. 흑체의 것과 백열 SPD의 밀접한 유사성으로 인해, 2659 K에서의 백열 광원에 대한 값은 CRI = 99.8이고 LPI = 99.8이다. CRI의 경우, 99.8의 값은 CRI = 100의 최대 가능한 값과 거의 동일하며, 따라서 백열 광원은 CRI 메트릭에 따른 거의 이상적인 연색성(color rendering)(또는 컬러 "충실도")을 갖는다. LPI의 경우, 99.8의 값은 최대 값이 아니라 중간 값인 것으로 간주된다. 100보다 훨씬 아래의 LPI의 값도 가능한데, 그 경우, 통상적인 관찰자는 그러한 광원을 백열 광원보다 훨씬 덜 좋아할 것으로 예상되지만, 약 LPI = 150까지의 훨씬 더 높은 값도 또한 존재하며, 그 경우, 통상적인 관찰자는 그러한 광원을 백열 광원보다 훨씬 더 좋아할 것으로 예상된다. CRI 메트릭은, 광원이 여덟 개의 파스텔 테스트 컬러를 흑체 기준과 정확히 동일하게 렌더링하는 정도를 정량화하며, 따라서 CRI 메트릭은 컬러 공간에서의 제한된 범위의 컬러 "충실도" 메트릭이다.

[0075] 도 7b는 CCT = 2695 K를 갖는 백열 광원의 SPD의 그래프(700), 및 Nd 도핑 글래스를 갖는 백열 광원(700)의 광을 필터링하는 것에 의해 획득되는, CCT = 2755 K, 약 80의 CRI 및 약 120의 LPI를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 두 SPD 사이의 차이는, 전적으로, Nd 도핑 글래스의 광의 흡수에 기인하며, 그 대부분은 약 570 nm로부터 약 610 nm까지의 옐로우 범위에서 발생하고, 약간의 흡수가 약 510 nm로부터 약 540 nm까지의 그린 범위에서 발생한다. Nd 흡수로부터 자연증가하는 컬러 선호도 이익은 주로 옐로우 흡수에 기인한다.

[0076] SPD는 광 세기의 절대 스케일로, 예를 들면, 와트/nm 또는 와트/nm² 또는 다른 방사량(radiometric quantity)으로 플롯될 수도 있거나, 또는 그것은, 본원에서 제공되는 바와 같이, 피크 강도에 대해 가끔은 정규화되는 상대적인 단위로 플롯될 수도 있다. 조명된 오브젝트 또는 공간의 휘도가 정상적인 명소시(photopic vision)의 범위(즉, 약 10-100 룩스 보다 더 크고, 약 1,000-10,000 룩스까지(룩스=루멘/m²))에 있다는 것을 가정하면, 정규화된 SPD는 광원의 모든 측색 특성의 계산에 충분하다. SPD 곡선에서의 표로 만들어진 정보는 그 광원의 모든 측색 및 측광의 정확한 계산을 가능하게 한다.

[0077] 도 7a에서 도시되는 백열 램프의 SPD(700)는, 임의의 파형에 유의한 스파이크 또는 홀이 없기 때문에, 그것은 매우 균형 잡힌 광원이라는 것을 나타낸다. 동일한 CCT를 갖는 흑체 곡선과 밀접하게 매칭하는 이러한 평활 곡선은 뛰어난 컬러 충실도 능력을 나타낸다. 흑체 스펙트럼은, CRI 스케일, 즉, CRI = 100에 의해 완벽한 연색성을 갖도록 정의된다. 백열 램프는 통상적으로 약 99의 CRI를 갖는다. Nd 백열 램프는 통상적으로 약 80의 CRI를 갖는다. 더 낮은 CRI에도 불구하고, 대부분의 관찰자는, 특히 유기 오브젝트, 예를 들면, 사람, 음식, 나무 등등이 조명되고 있을 때, 백열 램프보다 Nd-백열 램프의 연색성을 좋아한다.

[0078] 인공 광원과 비교했을 때, 태양광은 스펙트럼의 블루 및 그린 부분에서 아주 많은 양의 에너지를 나타내기 때문에, 태양광을 (약 5500 K의) 높은 컬러 온도를 갖는 차가운(즉, 높은 CCT의) 광원으로 만들게 된다. 따라서, SPD 다이어그램은, 다양한 램프가 그들의 광 출력의 컬러 조성에서 어떻게 차이가 나는지를 이해함에 있어서 유용하다.

[0079] 몇몇 종래의 램프 타입은, 광원에 의해 방출되는 스펙트럼으로부터 옐로우 광의 일부를 흡수하기 위해 Nd 도핑 글래스를 활용하여, Nd 흡수가 없는 그들의 대응품 램프에 비해, 컬러 선호도를 향상시킨 하나 이상의 LED를 포함한다. 도 8a는 하나 이상의 LED를 포함하는 Reveal® 타입의 LED 광원(800)을 예시하며, 도 8b는 도 8a의 광원의 분해도(850)이다. LED(발광 다이오드)는, 전기 필라멘트를 사용하는 백열 전구, 또는 플라즈마 및/또는 가스를 사용하는 형광관과 같은 광원 대신 조명의 소스로서 반도체 발광 다이오드(LED), 유기 LED, 또는 폴리머 LED를 포함할 수도 있는 고체 상태 조명(SSL) 컴포넌트의 한 예이다.

[0080] 도 8b를 참조하면, LED(806 및 808)는 하우징(804)에 부착가능한 인쇄 회로 기판(810)에 탑재되어 도시되며, 그 결과, 조립되면, LED(806 및 808)는 네오디뮴 산화물(Nd₂O₃)로 채워져 있는 글래스 돔(802) 내에 위치되고, 그 결과 광원에 의해 방출되는 광의 대부분 또는 전체는 돔을 통과하게 된다. 도 8a 및 도 8b는, 전력 인가시 조명을 제공하기 위해 하나 이상의 고체 상태 조명 컴포넌트를 활용하는 LED 램프의 일 예를 묘사할 뿐이라는 것이 이해되어야 한다. 따라서, 도 8a 및 도 8b에서 묘사되는 특정 컴포넌트는 예시적인 목적만을 위한 것이고, 기술 분야의 숙련된 자는, 의도된 용도 및/또는 다른 고려사항에 의존할 수도 있는 다른 형상 및/또는 사이즈의 다양한 컴포넌트가 활용될 수도 있다는 것을 알 것이다. 예를 들면, 하우징(804)은 상이한 사이즈 및/또는 형상을 가질 수도 있고, 고체 상태 조명 컴포넌트(806 및 808)는 조립 동안 그것에 직접적으로 및/또는 간접적으로 연

결될 수도 있다.

[0081] 도 9는, YAG 형광체 및 레드 형광체를 각각 여기하는 다수의 블루 LED를 포함하며, 혼합 광이 CCT = 2766 K, CRI = 91, 및 LPI = 97을 갖는 종래의 온백색 LED 램프의 스펙트럼 파워 분포(SPD)의 그래프(900), 및 CCT = 2777 K, CRI = 91, 및 LPI = 111을 갖는 도 8a의 종래의 Reveal® 타입의 LED 광원(800)의 SPD의 그래프(910)를 포함한다. LED로부터 방출되는 광은, 약 400 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 LED(예를 들면, 로열 블루 InGaN)로부터의 광(902), LED로부터의 블루 방출에 의한 형광체 재료(예컨대 YAG:Ce 형광체)의 여기에 의해 생성되는 약 500 내지 약 600 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 옐로우-그린 광(904), 및 LED로부터의 블루 방출에 의한 다른 형광체(예컨대 질화물 또는 황화물 형광체)의 여기에 의해 생성되는 약 600 내지 약 670 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 레드 광(906)의 혼합광으로 구성될 수도 있다. 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 컬러에서 사람 눈에 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은 또한, 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 블루 LED 방출과 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 및 레드 형광체에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(908)의 광을 필터링하도록 기능하며, 따라서 광원(800)의 글래스 돔을 통해 방출되는 광(910)은, Nd 글래스 필터가 없는 동일한 광원으로부터 방출되는 광(900)에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도, 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는다.

[0082] 하나 이상의 저압 수은(Hg) 방전 램프 및 광원에 의해 방출되는 옐로우 광의 양을 감소시키도록 선택되는 가시 광 방출 형광체(즉, 형광(fluorescent; FL) 또는 콤팩트 형광(compact fluorescent; CFL) 광원)의 특수 제제를 포함하는 몇몇 종래의 램프 타입도 또한, 특수 형광체 제제가 없는 그들의 통상적인 대응품 FL 또는 CFL 광원 램프에 비해, 컬러 선호도를 향상시키는 것으로 알려져 있다. 도 10은, 옐로우에서 상대적으로 낮은 방출을 갖는 형광체(1004)의 커스텀화된 혼합물로 코팅된 저압 Hg 방전관(1002)을 포함하는 Reveal® 타입의 CFL 광원(1000)을 예시한다.

[0083] 도 11은, CCT = 2582 K, CRI = 69, 및 LPI = 116을 갖는, 도 10의 Reveal® 타입의 CFL 광원의 스펙트럼 파워 분포(SPD)의 그래프(1100), 및 CCT = 2755 K를 갖는 도 6의 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 혼합광 스펙트럼(1100)은, CCT = 2582 K를 갖는 흑체 스펙트럼의 형상을 모방하는 경향이 있는 다수의 폭이 좁은 방출 대역, 및 몇몇 폭이 넓은 방출 대역으로 구성된다. Nd 백열 SPD(704)와 비교하여, 레드 및 그린에서의 향상, 및 옐로우에서의 억제, CFL 제품에 대해 이용가능한 레드 및 그린 형광체의 한계를 고려해 볼 때, 유사하다. 스펙트럼의 옐로우 부분에서 상대적으로 낮은 방출을 갖는 광원(1000)의 혼합광 스펙트럼(1100)은, 전통적인 형광체 혼합물을 갖는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는다.

[0084] 몇몇 추가적인 종래의 램프 타입은, 옐로우 파장 범위에서 오목부를 생성하도록 충분히 분리된 피크 파장을 갖는 그린 및 레드 형광체를 갖는 하나 이상의 LED를 포함하며, 예를 들면, 식품포장 응용분야에서 정육, 야채, 및 농산물(예를 들면, 과일)의 컬러를 향상시키기 위해 사용된다. 상기에서 언급되는 바와 같이, 도 8b는, 몇몇 구현예에서, 정육, 야채 등등의 컬러를 향상시키는 광을 생성하기 위해 그린 및 레드 형광체를 갖는 하나 이상의 LED를 포함할 수 있는 하나 이상의 LED(368 및 372)를 포함하는 LED 광원(350)을 예시한다.

[0085] 도 12는, CCT = 2755 K를 갖는 도 6의 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)와 함께 플롯된, 옐로우 파장 범위에서 오목부를 생성하도록 충분히 분리된 피크 파장을 갖는 그린 및 레드 형광체를 구비하는, 그리고 CCT = 2837 K, CRI = 74, 및 LPI = 124를 갖는 광원의 SPD의 그래프(1200)를 포함한다. LED로부터 방출되는 광은, 약 400 나노미터(nm) 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 LED로부터의 광, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 그린 광, 및 LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 600 nm 내지 약 670 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 레드 광의 혼합광으로 구성될 수도 있다. 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 그린 및 레드 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 컬러에서 사람 눈에 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은 블루 LED 방출(1202)과 그린 형광체 방출(1204) 사이의 파장 범위에서 오목부를 가질 수도 있고, 그린 형광체 방출(1204)과 레드 형광체 방출(1206) 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 예를 들면, 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 예를 들면, 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 옐로우-그린 및 레드 형광체(예를 들면, 도 9의 옐로우-그린 형광체(904) 및 레드 형광체(906))의 보통의 피크 파

장에 비해, 그린 및 레드 형광체 방출(1204) 및 방출(1206)의 피크의 분리로부터 유래하는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체를 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원 스펙트럼(1200)을 제공한다.

[0086] 종래의 블루 시프트된 옐로우(blue-shifted yellow; BSY) 플러스 레드(R) LED 광원(BSY+R)은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에서 피크 파장을 갖는 블루 LED, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 560 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 블루 시프트된 옐로우(즉, 옐로우-그린) 광, 및 레드 LED에 의해 방출되는 약 600 nm 내지 약 630 nm의 범위에서 피크 방출을 갖는 레드 광으로 이루어지는 화이트 광을 생성할 수도 있다. 몇몇 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED 및 레드 LED의 혼합체로 각각 구성되는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있다.

[0087] 도 13은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED, 및 레드 LED를 구비하며, CCT = 2658 K, CRI = 93, 및 LPI = 110을 갖는 종래의 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(1300), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 컬러에서 사람 눈에 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼(1300)은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 그러나, 블루 LED 방출(1302)과 BSY 형광체 방출(1304) 사이의 파장 범위에서 오목부를, 그리고 BSY 형광체 방출(1304)과 레드 형광체 방출(1306) 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 갖는다. 옐로우-그린 및 레드 형광체(예를 들면, 도 9의 옐로우-그린 형광체(904) 및 레드 형광체(906))의 보통의 피크 파장에 비해, 그린 형광체 및 레드 LED(1304 및 1306)의 피크의 분리로부터 유래하는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체를 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원 스펙트럼(1300)을 제공한다.

[0088] 조명 선호도 지수(LPI) 메트릭에 대한 스펙트럼 성분 선택의 영향을 더 잘 이해하고 전달하기 위해, 스펙트럼 모델을 사용하여, 상세한 실험 계획법(design of experiments; DOE)이 수행되었다. 실험은, LPI 및 통상적인 관찰자의 컬러 선호도 응답을 극대화하고, 미래의 조명 제품의 설계를 가이드하기 위한 최적의 스펙트럼 피처의 식별을 허용하였다. 이 DOE는 광원의 LPI를 향상시키기 위한 발광 컴포넌트의 선택을 위한 일반적인 가이드라인을 제공한다.

[0089] 각각의 스펙트럼은, 복합 스펙트럼으로 중첩되는 세 개의 성분(공칭 블루, 그린, 및 레드)으로 구성된다. DOE에서 사용되는 블루 방출 성분은 블루 LED의 것이고, 450 nm에서 피크를 이룬다. 이 파장은 블루 LED 모집단을 대표하도록 선택되었지만; 그러나, LPI 컬러 메트릭이 그린 및 레드 방출보다는 블루 방출에 대해 상대적으로 훨씬 덜 민감하기 때문에 상이한 블루 방출 특성을 사용하여 수행되는 유사한 DOE가 아주 유사한 결과를 생성할 것으로 예상될 것이기 때문에, 결과의 제한으로서 간주되지 않아야 한다. 이것은, 블루(102)에서의 망막 반응이 그린(104) 및 레드(106)와는 명확하게 차별되지만, 그린 및 레드 응답은 서로 명확하게 구별되는 만큼이 전혀 아닌 도 1a로부터 이해될 수 있다. 도 14는 블루 방출을, 이 DOE에서 사용되는 바와 같은 파장의 함수로서 예시한다. 블루 특성에 대한 LPI의 상대적인 둔감성 때문에, 이 DOE의 결과는, 블루 범위(예를 들면, 약 400 내지 약 460 nm)에서 피크 파장을 갖는 그리고 약 50 nm보다 적은 임의의 FWHM을 갖는 임의의 블루 광원이 주어진 결과를 나타낼 것으로 예상된다.

[0090] 그린 성분은, LED 및 형광체 방출 둘 다에 대한 것의, 또는 더 일반적으로는 SSL 및 다운컨버터 방출에 대한 것의, 그러나 이들로 제한되지는 않는 것의 근사로서 가우시안 함수를 사용하여 모델링된다. LED 및 형광체 방출 둘 다에 대한 것의 그러나 이것으로 제한되지 않는 것의 근사로서, 그린 성분의 피크 파장은 520 nm로부터 560 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변하도록 허용되고, 한편, 반값 전폭(FWHM)은 20 nm로부터 100 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변한다. 도 15는, DOE(실험 계획법)에서 사용되었던 45 개(5 개의 피크×9 개의 FWHM) 중, 가변 FWHM의 다섯 개의 가능한 그린 성분의 선택을 디스플레이한다.

[0091] 레드 성분은, LED 및 형광체 방출 둘 다에 대한 것의, 또는 더 일반적으로는 SSL 및 다운컨버터 방출에 대한 것의, 그러나 이들로 제한되지는 않는 것의 근사로서 가우시안 함수를 사용하여 모델링된다. 레드 성분의 피크 파장은 590 nm로부터 680 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변하도록 허용되고, 한편 FWHM은 20 nm로부터 100 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변한다. 도 16은 DOE에서 사용되었던 90 개의 레드 성분(10 개의 피크×9 개의 FWHM) 중 아홉 개의 가능한 레드 성분의 선택을 디스플레이한다. 도 17은, 예시적인 목적을 위한, 블루(1702), 그린

(1704), 및 레드(1706) 성분으로 구성되는 대표적인 스펙트럼(1700)을 묘사한다.

[0092] 블루, 그린, 및 레드 성분의 모든 조합이 생성되었고, 4050 개의 고유한 조합(1블루×45 그린×90 레드)으로 나타났다. 각 성분의 형상이 선택된 파라미터에 의해 고정된 상태에서, 선택된 컬러 포인트로 나타나도록 하기 위해, 블루, 그린, 및 레드 성분의 상대적인 진폭이 조정되었다. 블루, 그린, 및 레드 가우시안 성분의 피크와 폭, 및 컬러 포인트(이것은 블루 진폭에 대한 그린 및 레드 피크 진폭의 비율을 제한한다)를 정의하면, 복합 스펙트럼이 고유하게 정의된다. DOE는, 흑체(Duv = 0.000) 상의 2700 K의 한 포인트 및 "화이트 라인" 근처의 2700 K의 한 포인트(Duv = -0.010)의 두 컬러 포인트에 대해 수행되었고, 총 8100 개의 스펙트럼으로 나타났다. 그 다음, 각각의 스펙트럼에 대해 조명 선호도 지수(LPI)가 계산되었고 트렌드 및 트레이드오프(trends and trade-offs)에 대해 분석되었다.

[0093] 상기 설명된 바와 같은 DOE의 주목할 만한 결과는 LPI와 CRI 사이의 관계를 내포한다. "화이트 라인" 근처의 컬러 포인트(Duv = -0.010)의 경우, CRI 값은 모든 4050 개의 스펙트럼에 대해 계산되었고 그들 각각의 LPI 값과 비교되었다. 도 18은 Duv = -0.010 및 CCT=2700 K에서의 이들 4050 개의 스펙트럼의 CRI 값 대 LPI 값을 플롯한다. 일반적으로, 스펙트럼의 채도 레벨은 반시계방향 방식으로 증가한다. 미포화된(under-saturated) 컬러를 렌더링하는 스펙트럼의 경우, CRI 및 LPI 둘 다 낮을 것이고, 따라서 채도에서의 증가와 함께 상승할 것이다. CRI는 컬러가 기준 조명의 것과 유사하게 보일 때 최대로 될 것이고, 채도가 더 강화됨에 따라 감소하기 시작할 것이다. 그러나, LPI는 채도와 함께 계속 상승하고 60 근처의 CRI로 피크를 이룬다. 그 다음, LPI는 스펙트럼이 과채도의 영역에 진입함에 따라 떨어지기 시작한다. 이 관계의 결과로서, 높은 CRI에 대한 최적화는 본질적으로 높은 LPI 값에 대한 설계를 제한하는데, CRI와 LPI가 기준 조명을 넘어서는 향상된 채도 레벨에 대해서는 반비례 관계에 있기 때문이다.

[0094] LPI에 대한 그린 피크 파장, 그린 FWHM, 레드 피크 파장, 레드 FWHM, 및 Duv 레벨의 영향을 예시하기 위해, 도 19, 도 20, 및 도 21에서 도시되는 바와 같이 일련의 등고선 플롯이 생성되었다. 각각의 개개의 등고선 플롯은, 레드 피크 파장 대 그린 피크 파장에 대한 10의 증분 단위의 LPI 등고선을 도시한다. 도 19, 도 20 및 도 21의 각각의 내에서, 등고선 플롯은 3×3 그리드(각각의 등고선 플롯은 "a" 내지 "i"로 라벨링된다)로 나누어지는데, 여기서 그린 FWHM은 수평 방향을 따라 20 nm로부터 60 nm로 100 nm로 변하고 레드 FWHM은 수직 방향을 따라 20 nm로부터 60 nm로 100 nm로 변한다. 등고선 플롯의 이 선택은, DOE에 포함되는 FWHM의 최저, 중간, 그리고 최고 레벨을 선택하는 것에 의해 LPI와 레드 및 그린 FWHM 사이의 상호작용을 예시하도록 선택되었다. 도 19는 흑체 궤적 상의 컬러 포인트, 또는 Duv = 0.000과 관련되는 3×3 등고선 플롯 그리드를 디스플레이한다. 도 20은 동일한 레드 및 그린 파라미터에 대한, 그러나 흑체 궤적과 "화이트 라인" 사이의 중간의 컬러 포인트, 또는 Duv = -0.005에 대한 그래프를 디스플레이한다. 도 21은 동일한 레드 및 그린 파라미터에 대한, 그러나 "화이트 라인" 근처의 목표 Duv 레벨에 있는 컬러 포인트, 또는 Duv = -0.010에 대한 그래프를 디스플레이한다. 이들 세 개의 Duv 레벨은, LPI에 대한 컬러 포인트, 또는 Duv의 효과를 예시하도록 선택되었으며, LPI의 적용가능성의 제한으로서 간주되어선 안된다. 흑체로부터 "백색 라인"까지의 Duv 레벨의 연속체에 대해, 유사한 트렌드가 실현되고 있는 유사한 등고선 플롯이 제공될 수 있다. 또한, 20, 60, 및 100 nm FWHM에서 실제 제공되는 플롯 외에, 레드 및 그린 FWHM의 중간 값, 예를 들면, 30, 40, 50, 70, 80, 및 90 nm FWHM에 대해, 유사한 등고선 플롯이 제공될 수 있다. 세 개의 Duv 위치 각각에서의 등고선 플롯의 3×3 매트릭스는, DOE에서 생성되어 분석되었던 등고선 플롯의 9×9 매트릭스의 서브셋이다. 감소된 3×3 등고선 플롯의 세트는, 간격화를 위해, 그리고 또한 미세한 간격의(finely-stepped) 중간 플롯이 도 19, 도 20, 및 도 21에서 제공되는 간격이 큰(coarsely-stepped) 플롯도 사이에서 평활한 보간이 되는 것이 밝혀졌기 때문에, 전체 9×9 매트릭스를 나타내도록 선택되었다. 기술분야의 숙련된 자는, 제공된 플롯 사이의 평활한 전이를 알 수 있을 것이고, 레드 및 그린 방출기의 전체 8100 개의 조합을 나타내는 솔루션이 그 안에서 표현된다는 것을 이해할 것이다.

[0095] 도 19의 등고선 플롯을 도 20 및 도 21의 것과 비교하는 것에 의해, Duv, 또는 백색도의 효과를 알 수 있다. 등고선의 일반적인 형상은 동일하게 유지되지만, 그러나 LPI 등고선은 값에서 Duv = 0.000로부터 Duv = -0.005로 Duv = -0.010로(즉, 도 19의 120의 최대 LPI 등고선으로부터, 도 20의 130의 최대 LPI 등고선으로, 도 21의 140의 최대 LPI 등고선으로) 증가하여, LPI에 대한 백색도의 영향을 나타내게 된다. Duv = 0.000으로부터 Duv = -0.010으로 진행되는 것에 의해, LPI 식의 백색도 성분은 0에서 1로 증가하고, 식 (7)에 기초하여 LPI에서의 19 포인트 증가로 나타나게 된다. 일반적으로, 각각의 등고선에서 LPI를 최대화하기 위한 최적의 값은 그린 피크 파장에서 아주 약간의(대략 5 nm만큼) 감소를 겪지만, 레드 피크 파장은 상대적으로 변하지 않고 남아 있게 된다. 이것은 Duv 레벨로서 백색도 및 컬러 현시의 상대적 직교 성질을 설명하는 데 도움이 되고, 그러므로 백색도는, 등고선 플롯의 형상 및 컬러 현시를 구동하는 최적의 그린 및 레드 성분 특성에 거의 영향을 끼치지 않는

다.

- [0096] 도 19, 도 20, 및 도 21의 각각의 내에서, 그린 성분의 효과를 알 수 있다. 일반적으로, 특히 레드 성분에 대해 중간 FWHM 레벨 내지 낮은 FWHM 레벨의 경우(등고선 플롯 "d" 내지 "i"), 폭 넓은 그린 성분은 더 큰 최적의 그린 피크 파장으로 이어진다. 더 큰 FWHM을 갖는 그린 성분도 또한, 주어진 등고선 내에서 더 큰 최적의 영역 및 더 높은 도달가능한 LPI 값으로 이어진다. 예를 들면, 도 21에서 알 수 있는 바와 같이(등고선 "g" 내지 "i"), LPI = 140 등고선 내의 영역은, 특히 수평 방향에서, 20 nm의 그린 FWHM(g)으로부터 100 nm의 그린 FWHM(i)으로 실질적으로 성장한다. 이것은, 더 큰 FWHM을 갖는 그린 성분을 사용하는 경우, LPI 값이 그린 피크 파장에 대해 그만큼 민감하지 않기 때문에, 설계 내에서 더 큰 안정성을 생성한다. 그러나, 플롯 "a" 내지 "c"에서 알 수 있는 바와 같이 레드 FWHM = 100 nm를 갖는 폭 넓은 레드 성분의 경우, 그린 FWHM의 효과는 동일한 효과를 갖지 않는다. 광폭 레드 성분 때문에, 그린 FWHM을 하이 레벨로 증가시키는 것은, 레드와 그린 성분 사이의 차이 중 일부가 폭 넓은 중첩에서 손실되기 때문에 도달가능한 최대 LPI를 감소시킨다. 중간 레벨의 레드 FWHM의 경우, 등고선 플롯 "d" 내지 "f"에서 알 수 있는 바와 같이, 그린 FWHM을 증가시키는 것은 또한, 레드와 그린 성분 사이의 차이를 유지하기 위해, 최적의 레드 피크 파장을 더 깊은 레드로 시프트한다.
- [0097] 마찬가지로, 도 19, 도 20, 및 도 21은 LPI에 대한 레드 성분의 효과를 예시한다. 특히, 중간 FWHM 레벨 내지 낮은 FWHM 레벨(등고선 "d" 내지 "i")의 경우, LPI 값은, 수직 방향에서의 등고선의 밀접한 그룹화에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장에 대해 고도로 민감하고, 620 nm 이하의 레드 피크 파장에 대해 특히 민감하다. 예를 들면, 도 21의 (i)에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장을 590 nm에서부터 620 nm로의 증가시키는 것은 LPI의 60으로부터 130으로의 증가로 나타날 수 있다. 620 nm를 넘어서면, LPI는 레드 피크 파장에 대해 그 만큼 민감하지 않다. 일반적으로, 레드 FWHM이 증가함에 따라, 레드와 그린 성분 사이의 분리를 유지하기 위해, 최적의 레드 피크 파장도 또한 증가한다.
- [0098] 상기 상술되는 DOE에서 설계되는 바와 같은 세 성분 시스템 때문에, 도달가능한 최대 LPI 값은 145 근처이다. 도 22에서 도시되는 스펙트럼(2200)을 참조하면, 이것은, $Duv = -0.010$, 80 nm 근처의 FWHM을 가지며 545 nm 근처에서 피크를 이루는 그린 성분(2204), 및 20 nm 근처의 FWHM을 가지며 대략 635 nm에서 피크를 이루는 레드 성분(2206)을 가지고 가장 쉽게 달성된다. 따라서, 스펙트럼(2200)은 이러한 선택으로부터 유래한다.
- [0099] 본원에서 설명되는 방법 및 장치에 따라, 향상된 레벨의 LPI를 제공하는; 그리고 일반적으로, 자연물(natural object), 예를 들면, 음식, 나무, 식물, 피부, 및 의류의 컬러가 더 돋보이게 만드는 신규의 그리고 진보성이 있는 "BSY+R" 광원 실시형태가 하기에서 제공된다. 상기에서 설명되는 바와 같이, 대부분의 관찰자는 대부분의 물체의 이러한 조명 하에서의 모습을 좋아한다. 상기에서 또한 언급되는 바와 같이, 사람은, 향상된 컬러 채도 및/또는 콘트라스트를 갖는 화이트 광을 제공하는 광원에 선호적으로 반응하는데, 그 화이트 광은 스펙트럼으로부터 옐로우를 억제하거나 또는 제거하는 것에 의해 및/또는 스펙트럼의 레드 및 그린 부분을 향상시키는 것에 의해, 또는 둘 다를 하는 것에 의해 달성될 수 있다.
- [0100] 일반적으로, BSY+R 광원은, SSL 광원 또는 LED(예를 들면, 로열 블루 InGaN LED), 또는 자외선 또는 자외선 광원에 의해 여기되는 다운컨버터일 수도 있는 적어도 하나의 블루 광원, 및 형광체(예컨대 YAG: Ce 형광체)와 같은 적어도 하나의 옐로우-그린 다운컨버터를 활용하는데, 그 조합은 적어도 하나의 레드 SSL 또는 LED로부터의 레드 광에 의해 보충된다. BSY LED로부터의 광은, 흑체 궤적 위의 컬러 포인트를 갖는 본질적 화이트일 수도 있다(즉, 흑체 궤적 상에 놓이는 화이트 광에 비해, 광이 과도한 옐로우 및 그린 방출을 갖는다). BSY 방출은, 컬러 포인트를 흑체 곡선 근처로(또는 아래로) 이동시켜 약 2700 K 내지 약 3200 K의 컬러 온도 범위, 또는 온백색의 광을 생성하기 위해, 레드 LED로부터의 광(예를 들면, 약 610 nm 내지 630 nm 또는 그 이상의 파장을 가짐, 이것은, 예를 들면, 하나 이상의 AlInGaP LED에 의해 공급될 수도 있음)과 조합될 수도 있다.
- [0101] 몇몇 실시형태에서, 주요 광원은 온백색의 BSY+R LED 제품 및 형광체 광원이다. 본원에서 개시되는 신규의 제품은, 적어도 약 630 nm 내지 약 640 nm의 피크 레드 파장을 갖는 레드 LED를 활용할 수도 있고, 추가적으로(즉, 적어도 약 630 nm 내지 약 640 nm의 피크 레드 파장을 갖는 레드 LED 외에) 약 640 nm 내지 약 670 nm의 피크 파장을 갖는 딥 레드 LED를 사용할 수도 있다. 이러한 온백색의 LED 및 레드 LED 광원 제품에 관해서, 스펙트럼의 레드, 그린 및 블루 영역은 소망의 컬러 포인트를 획득하도록 밸런스가 맞춰져야 한다. 이러한 제품에서, 딥 레드 LED의 추가는, 레드/레드 기반의 그리고 그린/그린 기반 컬러 물체의 현시를, 물체의 지각되는 컬러 채도를 증가시키는 것에 의해, 향상시킨다는 것을 알게 되었다. 충분히 높은 효율성의 그린 LED가 주어지면, 형광체가 없는 RGB LED 스펙트럼은, 현재의 BSY+R 스펙트럼보다, 높은 CRI를 갖는 더욱 더 높은 효력을 제공할 수도 있다. BSY+R LED를 사용하는 본 발명의 이점은 일반적으로 RGB LED에도 적용될 것이다.

- [0102] 연색성에 관해서는, 특히, CIE 컬러 시스템에서의 R9 컬러 플라크(color plaque)는 포화된 레드 컬러이다. 보통의 CRI 외에, R1 내지 R8 파스텔 컬러의 평균인 R9 값이 종종 명시된다. CRI가 포화되지 않은 파스텔 컬러의 연색성을 나타내는 반면, R9는 광원이 포화된 레드 물체를 렌더링하는 능력을 나타내는데, 이것은, 백열 광원에 비해 대부분의 비백열(non-incandescent) 광원이 잘 해내지 못하는 것이다. R9 컬러의 반사율 스펙트럼은 약 600 nm에서 시작하고, 660 nm에서 자신의 최대치에 거의 도달하고 800 nm를 지나서 까지 서서히 계속 증가한다. 백열 및 할로겐 기술에 대한 스펙트럼은 딥 레드 스펙트럼에 광을 추가하지만, 그러나 750 nm 이후의 광을 또한 계속 추가하는데, 이것은 에너지 낭비로 이어진다. 630-670 nm에서 피크를 이루는 레드 LED를 공칭 화이트 LED 제품에 추가하는 것은, 눈이 지각할 수 없는 긴 적외선 파장에 낭비적인 광을 과도하게 추가하지 않으면서, R9 반사율 스펙트럼을 상당히 증가시킨다. 사람 눈의 레드-그린 대항 응답(opponency response)에 기인하여, 그린 오브젝트도 또한 향상된다.
- [0103] 상기에서 논의되는 실험 계획법(DOE)으로부터의 결과는 BSY+R 시스템에 또한 적용될 수 있다. 본원의 이하에서 사용되는 바와 같이, 용어 "BSY 형광체"는 BSY 시스템에서 사용되는 형광체(들)를 지칭한다. 일반적으로, BSY 형광체로부터의 방출은 통상적으로 폭이 넓으며 약 60 nm 내지 약 100 nm의 FWHM 범위에 있지만, 레드 LED로부터의 방출은 20 nm 근처의 FWHM의 크기로 통상적으로 폭이 좁다. FWHM 값을 이들 목표로 제한하는 것에 의해, BSY+R 시스템으로부터 유래하는 LPI 값에 대한 모델이 나타나게 된다. BSY+R 시스템에 대한 BSY 형광체의 그린 피크 파장, 그린 FWHM, 레드 피크 파장의 영향을 예시하기 위해, 도 23에 일련의 등고선 플롯 "a" 내지 "i"가 디스플레이된다. 각각의 개개의 등고선 플롯은, 레드 피크 파장 대 그린 피크 파장에 대한 10의 증분 단위의 LPI 등고선을 도시한다. 도 23 내에서, 등고선 플롯은 3×3 그리드로 나누어지는데, 여기서 그린 FWHM은 수평 방향을 따라 60 nm로부터 80 nm로 100 nm로 변하고 Duv는 수직 방향을 따라 -0.010로부터 -0.005로 0.000로 변한다. 도 23의 모든 아홉 개의 등고선 플롯에 대해, 레드 FWHM은 20 nm로 고정된다. 이전과 같이, 세 개의 Duv 레벨은, LPI에 대한 컬러 포인트, 또는 Duv의 효과를 예시하도록 선택되었으며, LPI의 적용가능성의 제한으로서 간주되어선 안된다. 흑체로부터 "백색 라인"까지의 Duv 레벨의 연속체에 대해, 유사한 트렌드가 실현되고 있는 유사한 등고선 플롯이 제공될 수 있다.
- [0104] 도 23의 세 개의 행을 비교하는 것에 의해, Duv의 효과를 쉽게 알 수 있다. 등고선의 일반적인 형상은 동일하게 유지되지만, 그러나 LPI 등고선은 Duv = 0.000(플롯 "a" 내지 "c")으로부터 Duv = -0.005(플롯 "d" 내지 "f")로 Duv = -0.010(플롯 "g" 내지 "i")으로 값이 증가한다. Duv = 0.000으로부터 Duv = -0.010으로 진행되는 것에 의해, LPI 식의 백색도 성분은 0에서 1로 증가하고, 본원에서 설명되는 LPI에 대한 식 (7)에 기초하여 LPI에서의 19 포인트 증가로 나타나게 된다. 일반적으로, 각각의 등고선 플롯에서 LPI를 최대화하기 위한 최적의 값은 그린 피크 파장에서 아주 약간의(대략 5 nm만큼) 감소를 겪지만, 레드 피크 파장은 상대적으로 변하지 않고 남아 있게 된다.
- [0105] BSY+R 시스템의 BSY 성분의 효과도 또한 도 23에서 알 수 있다. 일반적으로, 그린 BSY 형광체 성분으로부터의 더 폭이 넓은 방출은 약간 더 높은 최적의 그린 피크 파장으로 이어지지만, 등고선의 형상은 상대적으로 변하지 않고 유지된다. 더 큰 FWHM을 갖는 그린 형광체 성분도 또한, 주어진 등고선 내에서 더 큰 최적의 영역 및 더 높은 도달가능한 LPI 값으로 이어진다. 예를 들면, 도 23의 등고선 "g" 내지 "i"에서 알 수 있는 바와 같이, LPI = 140 등고선 내의 영역은, 특히 수평 방향에서, 60 nm의 그린 FWHM("g")으로부터 100 nm의 그린 FWHM("i")로 성장한다. 이것은, 더 큰 FWHM을 갖는 그린 성분을 사용하는 경우, LPI 값이 그린 피크 파장에 대해 그만큼 민감하지 않기 때문에, 설계 내에서 더 큰 안정성을 생성한다.
- [0106] 마찬가지로, 도 23은 또한 LPI에 대한 레드 LED 피크 파장의 효과를 예시한다. 일반적으로, LPI 값은, 수직 방향에서의 등고선의 밀접한 그룹화에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장에 대해 고도로 민감하고, 620 nm 이하의 레드 피크 파장에 대해 특히 민감하다. 예를 들면, 도 23의 등고선 플롯 "i"에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장을 590 nm에서부터 620 nm로의 증가시키는 것은 LPI의 60으로부터 130으로의 증가로 나타날 수 있다. 620 nm를 넘어서면, LPI는, 약 625 nm 내지 약 650 nm의 범위에 있는 이상적인 피크 파장을 갖는 레드 피크 파장에 대해 그 만큼 민감하지 않다.
- [0107] 높은 LPI 값을 달성하기 위해, BSY 특성 및 레드 LED 피크 파장은 일반적으로 분별력 있게 선택되어야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체 근처의, 또는 Duv = 0.000에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 형광체 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 540 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 레드 LED는 약 625 nm 내지 약 660 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 Duv = -0.005에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 형광체 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가

져야 하고, 한편 레드 LED는 약 615 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 형광체 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 580 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 레드 LED는 약 610 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 $Duv = -0.005$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 형광체 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 레드 LED는 약 625 nm 내지 약 655 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 레드 LED는 약 615 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 140보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 레드 LED는 약 625 nm 내지 약 655 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다.

[0108] BSY+R 시스템의 일 실시형태에서, 도 8b에 따른 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED 및 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러에서 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 및 약 600 nm 내지 약 640 nm의 범위에 있는 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 그러나 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제 2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하는 레드 LED의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0109] 도 24는, CCT = 2700 K를 갖는 바로 위에서 논의된 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(2400), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(2400)은, 블루 LED의 피크 파장(2402)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린의 피크 파장(2404)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 LED의 피크 파장(2406)이 약 635 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 78, 및 LPI = 136을 갖는 광을 생성한다. 136의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+R 스펙트럼(2400)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0110] 도 25는, 바로 위에서 논의된 BSY+R 타입의 LED 광원의 상이한 구현예의 SPD의 그래프(2500), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(2500)은, 블루 LED의 피크 파장(2502)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(2504)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 LED의 피크 파장(2506)이 약 630 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 구현을 위해, 스펙트럼은, 80보다 더 큰 CRI 및 도 26의 색도 다이어그램에서 점선(2600)에 의해 구분되는 "에너지 스타" 사변형 내의 컬러 포인트를 요구하는 현재의 에너지 스타 기준을 충족하도록 최적화되었다. 에너지 스타 사변형은 완전복사체 궤적, 또는 흑체 궤적(302) 상하로 거의 동일한 부분을 구비하며, 색도 공간에서 "화이트 라인"(304) 위에 위치된다. 도 25의 스펙트럼(2500)은, 도 26의 에너지 스타 사변형 내에 놓이는 컬러 포인트(2602)와 함께, CCT = 2700 K, CRI = 84, 및 LPI = 123을 갖는 광을 생성한다. 대조적으로, 도 24의 스펙트럼(2400)은, 에너지 스타 사변형 아래에 있는 도 26의 컬러 포인트(2604)를 갖는 광을 생성한다. 123의 LPI 스코어는 상대적으로 하이인데, BSY+R 스펙트럼(2500)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미하지만, 도 24의 스펙트럼(2400)의 것만큼 아주 하

이는 아니다.

[0111] BSY+R 시스템의 제2 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED 및 딥 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 딥 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 및 약 640 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 딥 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 딥 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하는 레드 LED의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0112] 도 27은, 바로 위에서 논의된 BSY+R 타입의 LED 광원의 제2 실시형태의 SPD의 그래프(2700), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(2700)은, 블루 LED의 피크 파장(2702)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(2704)이 약 550 nm에서 발생하고, 딥 레드 LED의 피크 파장(2706)이 약 660 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 66, 및 LPI = 139를 갖는 광을 생성한다. 139의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+R 스펙트럼(2700)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0113] BSY+R 시스템의 제3 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED, 레드 LED, 및 또한 딥 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 레드 LED(들) 및 딥 레드 LED(들)에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 약 600 nm 내지 약 640 nm의 범위에 있는 레드 LED 피크 방출 및 약 640 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 딥 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있고, 그리고 레드 LED와 딥 레드 LED 사이의 레드 파장 범위에서 제3 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하는 레드 LED의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0114] 도 28은, 바로 위에서 논의된 BSY+R+딥 레드 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(2800), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(2800)은, 블루 LED의 피크 파장(2802)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(2804)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 LED의 피크 파장(2806)이 약 635 nm에서 발생하고, 그리고 딥 레드 LED의 피크 파장(2808)이 약 660 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 73, 및 LPI = 138을 갖는 광을 생성한다. 138의 LPI 스코어

는 하이인테, BSY+R 스펙트럼(2800)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0115] 또한, 몇몇 실시형태에서, 네오디뮴(Nd) 또는 다른 옐로우 필터가 광원 위에 배치될 수도 있고, 필터는 옐로우 광을 억제하여 레드 및 그린 생동감(vibrancy)의 지각성(perception)을 더 향상시키도록 기능한다. 이것은, 예를 들면, LPI의 하이 레벨을 여전히 유지하면서, 레드 LED의 피크 파장이 더 짧은 파장쪽으로 이동되는 것을 허용할 수도 있다.

[0116] BSY+R 시스템의 제4 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED 및 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSY+R 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 및 약 600 nm 내지 약 640 nm의 범위에 있는 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 Nd 글래스의 추가에 의해 향상된 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하며 Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 LED의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0117] 도 29는, 바로 위에서 논의된 도 8b의 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(2900), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(2900)은, 블루 LED의 피크 파장(2902)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(2904)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 LED의 피크 파장(2906)이 약 635 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(2910)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(2900)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 64, 및 LPI = 143을 갖는 광을 생성한다. 143의 LPI 스코어는 하이인테, BSY+R 스펙트럼(2900)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0118] BSY+R 시스템의 제5 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED 및 딥 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 딥 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSY+R 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 및 약 640 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 딥 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 Nd 글래스의 추가에 의해 향상된 딥 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하며 Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 LED의 피크와 그린

또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오펜부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오펜부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0119] 도 30은, 바로 위에서 논의된 도 8b의 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3000), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3000)은, 블루 LED의 피크 파장(3002)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(3004)이 약 550 nm에서 발생하고, 딥 레드 LED의 피크 파장(3006)이 약 660 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(3010)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(3000)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 51, 및 LPI = 142를 갖는 광을 생성한다. 142의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+R 스펙트럼(3000)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0120] BSY+R 시스템의 제6 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSY 형광체로 코팅된 블루 LED, 레드 LED, 및 딥 레드 LED의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광 및 레드 LED 및 딥 레드 LED에 의해 방출되는 레드 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSY+R 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm의 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm의 범위에 있는 BSY 피크 방출, 약 600 nm 내지 약 640 nm의 범위에 있는 레드 LED 피크 방출 및 약 640 nm 내지 약 670 nm의 범위에 있는 딥 레드 LED 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 그러나 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오펜부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체와 레드 LED 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오펜부를 포함할 수도 있고, 그리고 레드 LED와 딥 레드 LED 사이의 레드 파장 범위에서 제3 오펜부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 4000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 레드-그린 YAG 형광체와 비교하여 BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체의 폭과 비교하여 레드 LED의 아주 좁은 폭의 조합으로부터 유래하며 Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 LED의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오펜부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오펜부를 생성하지 않는 통상적인 블루 및 레드 LED와 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0121] 도 31은, 바로 위에서 논의된 도 8b의 BSY+R 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3100), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3100)은, 블루 LED의 피크 파장(3102)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(3104)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 LED의 피크 파장(3106)이 약 635 nm에서 발생하고, 그리고 딥 레드 LED의 피크 파장(3108)이 약 660 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(3110)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(3100)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 59, 및 LPI = 144를 갖는 광을 생성한다. 144의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+R 스펙트럼(3100)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0122] 하기에 제공되는 것은 향상된 레벨의 LPI를 제공하는 추가적인 신규의 형광체 기반 LED 광원 스펙트럼 실시형태이며; 앞서 언급되는 바와 같이, 이러한 광원은 자연물의 컬러를 향상시켜, 자연물이, 예를 들면, 음식, 나무, 식물, 피부, 및 의류의 경우 더욱 돋보이게 된다. 일반적으로, 대부분의 관찰자는 이러한 조명 하에서의 이러한 물체의 현시를 선호한다. 사람은, 향상된 컬러 채도 및/또는 콘트라스트를 갖는 화이트 광을 제공하는 광원에 선호적으로 반응하는데, 그 화이트 광은 스펙트럼으로부터 옐로우를 억제하거나 또는 제거하는 것에 의해 및/또는 스펙트럼의 레드 및 그린 부분을 향상시키는 것에 의해, 또는 둘 다를 하는 것에 의해 달성될 수 있다. 스펙

트럼의 그린 및 레드 부분에서 별개의 방출 피크를 가지면서, 옐로우에서 상대적 최소 세기가 제공될 수 있도록 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED로부터의 방출의 중첩을 최소화하기 위해서, 지금까지는, 옐로우의 억제 또는 레드 및 그린의 향상이, Nd 글래스 필터, 또는 몇몇 다른 실시형태의 Nd 또는 디디튬 또는 옐로우 광을 우선적으로 흡수하는 다른 희토류를 포함하는 필터를 추가하는 것에 의해; 또는 옐로우에서 우선적으로 흡수하는, 글래스에 대한 몇몇 다른 도펀트 또는 코팅에 의해; 옐로우 흡수체를 수용하는 글래스 또는 폴리머 또는 금속 또는 임의의 다른 재료일 수도 있는, 반사체 또는 산광기(diffuser) 또는 렌즈와 같은, 램프 또는 조명 시스템의 광학적으로 활성인 컴포넌트 중 임의의 것으로의 임의의 옐로우 흡수체의 추가에 의해; 또는 상대적으로 광폭 레드 형광체를 사용하는 대신 좁은 스펙트럼 폭을 갖는 별개의 레드 LED를 사용하는 것에 의해 달성되었다.

[0123] 상기에서 설명되는 바와 같이, 옐로우 방출의 충분한 억제는, 레드 형광체와 조합한 적절히 폭이 좁은 그리고 블루 시프트된 그린 형광체에 의해, 특히 그 레드 형광체가 또한 적절히 폭이 좁고 선호되는 피크 파장을 가지면, 제공될 수 있다는 것이 결정되었다. 또한, 옐로우 방출의 억제 및 레드 및 그린 피크 파장의 분리는, Nd 글래스를 수반하는 이전 기술보다, 더 선호되는 레드-그린 콘트라스트, 전체적인 컬러 선호도, 및 선명한 화이트 현시(crisp white appearance)를 제공할 수 있고, 또한 Nd 글래스를 사용하는 기술보다 잠재적으로 더 높은 효율성을 가지고 제공할 수 있다는 것이 발견되었다. 최적의 LPI 값을 제공하는, 극소점 및 극대점, 및 이상적인 값을 각각 구비하는 그린 및 레드 형광체의 파장 및 FWHM이 식별되었다. 또한, 피크 파장 및 FWHM의 선호되는 범위 내에서 방출을 제공하는 상업적으로 이용가능한 그린 및 레드 형광체가 존재한다.

[0124] 일반적으로, 이들 광원은 적어도 하나의 블루 또는 바이올렛 LED(예를 들면, 로열 블루 InGaN LED) 및 형광체 조합을 활용하지만, 반면 형광체는 공칭적 그린 또는 옐로우 형광체(예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염 또는 유사한 그린 형광체) 및/또는 공칭적 레드 형광체(예를 들면, 레드 질화물 또는 레드 황화물 또는 유사한 레드 형광체)로 구성된다. 그린 및 레드 형광체 둘 다는 블루 또는 바이올렛 LED 방출에 의해 여기되며, 동일한 LED 펌프를 공유하는 단일의 형광체 혼합물로 결합될 수도 있거나, 또는 대안적으로, 그린 및 레드 형광체는 별개의 블루 또는 바이올렛 LED 펌프 상에 있을 수도 있다. 블루 또는 바이올렛 LED, 그린 형광체, 및 레드 형광체로부터의 결합된 방출은, 사람 눈에 컬러에서 거의 화이트인 것으로 보이는, 흑체 곡선 근처의 또는 아래의 컬러 포인트를 갖는 광을 제공하여, 약 2700 K 내지 약 3200 K의 컬러 온도 범위에 있는, 또는 온백색의 광을 생성하게 된다.

[0125] 몇몇 실시형태에서, 그린 형광체는, 표준 광 효율 형광체보다 더 낮은 피크 파장(예를 들면, 약 500 nm 내지 약 540 nm)을 가지며, 블루 시프트된 옐로우(BSY) 또는 다른 지정(designation)과는 반대로, 블루 시프트된 그린(BSG)를 특징으로 할 수도 있다. 레드 형광체는 변하는 범위의 FWHM을 구비할 수 있고 60 nm보다 더 큰 FWHM을 갖는 방출의 경우 광폭 레드(broad red; BR)로서, 또는 60 nm 미만의 FWHM을 갖는 방출의 경우 폭이 좁은 레드(narrow red; NR)로서 특징지어질 수도 있다. 향상된 컬러 채도 및 컬러 선호도를 나타내는 몇몇 종래의 광원은, 스펙트럼에 대한 레드 기여를 제공하기 위해, 약 10 nm 내지 약 20 nm의 폭이 좁은 FWHM을 갖는 레드 LED를 사용하고, 이로써 레드 LED의 피크 파장은 컬러 선호도와 효율성 사이에서 선호되는 최적화를 제공하도록 선택될 수 있다. 그린 형광체를 갖는 블루 또는 바이올렛 LED를 사용하는 것과 함께, 별개의 레드 LED를 사용하는 것의 문제점은, 그것이, 제2 전류 채널의 사용, 또는 레드 및 블루 LED가 온도에 대해 상이하게 응답하기 때문에, 블루 LED로의 구동 전류와는 독립적으로, 레드 LED로의 구동 전류를 조정하기 위한 몇몇 다른 수단을 요구한다는 것이다.

[0126] 앞서 논의된 실험 계획법(DOE)으로부터의 결과는, 형광체 기반 시스템(예를 들면, BSG+BR 및 BSG+NR)으로 또한 적용될 수 있다. 일반적으로, BR 형광체로부터의 방출은 통상적으로 약 60 nm 내지 약 100 nm의 FWHM 범위 내에 있으며, NR 형광체로부터의 방출은 통상적으로 약 20 nm 내지 약 60 nm의 FWHM 범위 내에 있다. FWHM 값을 이들 목표로 제한하는 것에 의해, BSG+BR 시스템 및 BSG+NR 시스템으로부터 유래하는 LPI 값에 대한 모델이 나타나게 된다. 도 19, 도 20, 및 도 21은, BSG+BR 및 BSG+NR 시스템에 대한 LPI에 대한, 그린 피크 파장, 그린 FWHM, 레드 피크 파장, 레드 FWHM, 및 Duv 레벨의 영향을 예시하는 것에 도움이 되지만, 반면 등고선 플롯 "a" 내지 "f"는 BSG+BR 시스템에 적용되고 등고선 플롯 "d" 내지 "i"는 BSG+NR 시스템에 적용된다.

[0127] BSG+BR 시스템에서의 BSG 성분의 효과는 도 19, 도 20, 및 도 21의 등고선 플롯 "a" 내지 "f"에서 알 수 있다. 중간 레벨의 레드 FWHM의 경우, 등고선 플롯 "d" 내지 "f"에서 보여지는 바와 같이, 그린 FWHM을 증가시키는 것은, 레드 및 그린 성분 사이의 차이를 유지하기 위해, 더 높은 최적의 그린 피크 파장 및 더 높은 최적의 레드 피크 파장으로 이어진다. 그린 FWHM을 증가시키는 것은 또한 더 높은 달성가능한 LPI 값으로 이어진다. 예를 들면, 도 21의 등고선 플롯 "d" 내지 "f"에서 알 수 있는 바와 같이, 시스템은 100에 더 가까운 그린 FWHM에 대해 단지 LPI = 140을 달성할 수 있다. 등고선 플롯 "a" 내지 "c"에서 보여지는 바와 같이, 레드 FWHM = 100을 갖는

광폭 레드 성분의 경우, 그린 FWHM을 하이 레벨로 증가시키는 것은, 레드 및 그린 성분 사이의 차이의 일부가 폭 넓은 중첩에서 상실되기 때문에, 달성가능한 최대 LPI를 감소시킨다.

[0128] BSG+BR 시스템에서의 BR 성분의 효과는 도 19, 도 20, 및 도 21의 등고선 플롯 "a" 내지 "f"에서 또한 알 수 있다. 중간 FWHM 레벨 "d" 내지 "f"의 경우, LPI 값은, 수직 방향에서의 등고선의 밀접한 그룹화에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장에 대해 더 민감하고, 620 nm 이하의 레드 피크 파장에 대해 특히 민감하다. 예를 들면, 도 21의 (f)에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장을 590 nm에서부터 620 nm로의 증가시키는 것은 LPI의 70으로부터 120으로의 증가로 나타날 수 있다. 620 nm를 넘어서면, LPI는 레드 피크 파장에 대해 그 만큼 민감하지 않다. 일반적으로, 레드 FWHM이 증가함에 따라, 레드와 그린 성분 사이의 분리를 유지하기 위해, 최적의 레드 피크 파장도 또한 증가한다.

[0129] BSG+BR 시스템을 이용하여 높은 LPI 값을 달성하기 위해, 피크 파장 및 FWHM 특성이 신중하게 선택되어야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체 근처의, 또는 $Duv = 0.000$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 530 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 BR 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 640 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 폭이 더 좁은 그린을 필요로 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 $Duv = -0.005$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 BR 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 620 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 폭이 더 좁은 그린을 필요로 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 BR 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 610 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 폭이 더 좁은 그린을 필요로 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 $Duv = -0.005$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 530 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 BR 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 640 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 폭이 더 좁은 그린을 필요로 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 BR 성분은 약 60 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 640 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 폭이 더 좁은 그린을 필요로 한다.

[0130] 마찬가지로, BSG+NR 시스템에서의 BSG 성분의 효과는 도 19, 도 20, 및 도 21의 등고선 플롯 "d" 내지 "i"에서 알 수 있다. 일반적으로, 폭이 더 넓은 그린 성분은 더 높은 최적의 그린 피크 파장으로 이어진다. 더 큰 FWHM을 갖는 그린 성분도 또한, 주어진 등고선 내에서 더 큰 최적의 영역 및 더 높은 도달가능한 LPI 값으로 이어진다. 예를 들면, 도 21의 등고선 "g" 내지 "i"에서 알 수 있는 바와 같이, $LPI = 140$ 등고선 내의 영역은, 특히 수평 방향에서, 플롯 "g"에 도시되는 20 nm의 그린 FWHM으로부터 플롯 "i"에서 도시되는 100 nm의 그린 FWHM으로 실질적으로 성장한다. 이것은, 더 큰 FWHM을 갖는 그린 성분을 사용하는 경우, LPI 값이 그린 피크 파장에 대해 그만큼 민감하지 않기 때문에, 설계 내에서 더 큰 안정성을 생성한다. 중간 레벨의 레드 FWHM의 경우, 등고선 플롯 "d" 내지 "f"에서 알 수 있는 바와 같이, 그린 FWHM을 증가시키는 것은 또한, 레드와 그린 성분 사이의 차이를 유지하기 위해, 최적의 레드 피크 파장을 더 깊은 레드로 시프트한다.

[0131] BSG+NR 시스템에서의 NR 성분의 효과도 또한, 도 19, 도 20, 및 도 21의 등고선 플롯 "d" 내지 "i"에서 알 수 있다. 일반적으로, LPI 값은, 수직 방향에서의 등고선의 밀접한 그룹화에서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장에 대해 고도로 민감하고, 620 nm 이하의 레드 피크 파장에 대해 특히 민감하다. 예를 들면, 도 21의 (i)에

서 알 수 있는 바와 같이, 레드 피크 파장을 590 nm에서부터 620 nm로의 증가시키는 것은 LPI의 60으로부터 130으로의 증가로 나타날 수 있다. 620 nm를 넘어서면, LPI는 레드 피크 파장에 대해 그 만큼 민감하지 않다. 일반적으로, 레드 FWHM이 증가함에 따라, 레드와 그린 성분 사이의 분리를 유지하기 위해, 최적의 레드 피크 파장도 또한 증가한다.

[0132] BSG+NR 시스템을 이용하여 높은 LPI 값을 달성하기 위해, 피크 파장 및 FWHM 특성이 신중하게 선택되어야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체 근처의, 또는 $Duv = 0.000$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 620 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간 포인트 근처의, 또는 $Duv = -0.005$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 615 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 580 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 610 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간 포인트 근처의, 또는 $Duv = -0.005$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 620 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 615 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다. 140보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 $Duv = -0.010$ 에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSG 성분은 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 560 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 한편 NR 성분은 약 20 nm 내지 약 60 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 620 nm 내지 약 680 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 하고, 반면, 레드와 그린 성분 사이에 오목부를 유지하기 위해서는, 폭이 더 넓은 레드는 더 깊은 레드 피크 파장을 필요로 한다.

[0133] 형광체 기반 LED 시스템의 일 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 타입의 그린 형광체(예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 유사한 그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 BR 타입의 레드 형광체(예를 들면, 레드 질화물 또는 레드 황화물을 사용할 수도 있는 광폭 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 560 nm 범위에 있는 BSG 피크 방출, 및 60 nm보다 더 큰 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 610 nm 내지 약 680 nm 범위에 있는 BR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 블루 LED 방출과 그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 형광체 방출과 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSG 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체와 비교하여 BR 형광체의 더 깊은(즉, 더 붉은) 피크 파장의 조합으로부터 유래하는 레드 형광체의 피크와 그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한

광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0134] 도 32는, 바로 위에서 논의된 LED 광원의 BSG+BR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3200), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3200)은, 블루 LED의 피크 파장(3202)이 대략 450 nm에서 발생하고, 그린 형광체의 피크 파장(3204)이 약 530 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(3206)이 약 80 nm의 FWHM을 가지면서, 약 650 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 66, 및 LPI = 139를 갖는 광을 생성한다. 139의 LPI 스코어는 하이인데, BSG+BR 스펙트럼(3200)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0135] 형광체 기반 LED 시스템의 다른 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 타입의 그린 형광체 (예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 유사한 그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 NR 타입의 레드 형광체(예를 들면, 레드 질화물 또는 레드 황화물을 사용할 수도 있는 폭이 좁은 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 560 nm 범위에 있는 BSG 피크 방출, 및 60 nm보다 더 작은 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 610 nm 내지 약 680 nm 범위에 있는 NR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 블루 LED 방출과 그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 형광체 방출과 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 레드-그린 YAG 형광체와 비교하여 BSG 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체와 비교하여 NR 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 더 깊은 피크 파장의 조합으로부터 유래하는 레드 형광체의 피크와 그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0136] 도 33은, 바로 위에서 논의된 LED 광원의 BSG+NR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3300), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3300)은, 블루 LED의 피크 파장(3302)이 대략 450 nm에서 발생하고, 그린 형광체의 피크 파장(3304)이 약 540 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(3306)이 약 50 nm의 FWHM을 가지면서 약 640 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 63, 및 LPI = 143을 갖는 광을 생성한다. 143의 LPI 스코어는 하이인데, BSG+NR 스펙트럼(3300)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0137] 폭이 좁은 레드 형광체의 하나의 주목할 만한 예는, 망간으로 도핑된 플루오르화규소산칼륨(potassium fluorosilicate)(PFS)의 것이다. PFS는, 약 631 nm의 피크 파장, 및 아주 폭이 좁은 방출 라인을 갖는 폭이 좁은 레드 라인 방출 형광체처럼 거동한다. 도 34는 PFS 방출을 파장의 함수로서 예시한다. 통상적인 레드 형광체보다 훨씬 폭이 좁은 방출 스펙트럼 때문에, PFS는 컬러 특성 및 스펙트럼 효율성의 관점에서 폭이 더 좁은 레드 LED처럼 거동한다. 이것은, 더 넓은 범위의 그린 및/또는 옐로우-그린 형광체, 예컨대 블루 시프트된 옐로우 (BSY) 형광체와의 PFS의 조합을 사용하는 동안, 향상된 레벨의 컬러 선호도가 달성되는 것을 허용한다.

[0138] 스펙트럼 성분 선택이 PFS 시스템에 적용될 때, LPI 메트릭에 대한 스펙트럼 성분 선택의 영향을 예시하기 위해, 앞서 설명된 것과 같은 유사한 실험 계획법(DOE)이, 레드 방출 성분을 도 34의 PFS 형광체의 것으로서 고정한 상태에서, 수행되었다. 이것은, LPI 및 통상적인 관찰자의 컬러 선호도 응답을 극대화하고, PFS 형광체를 활용하는 미래의 조명 제품의 설계를 가이드하기 위해, 최적의 스펙트럼 피처의 식별을 허용한다. 블루 방출 성분은, 이전과 같이, 블루 LED의 것이며, 450 nm에서 피크를 이룬다. 이 파장은 블루 LED 모집단을 대표하도록 선택되었지만; 그러나, 상이한 블루 방출 특성을 사용하여 유사한 연구가 수행될 수도 있기 때문에, 시스템의

제약으로서 간주되지 않아야 한다. 도 14는 블루 방출을 파장의 함수로서 예시한다. 그런 성분은, 이전과 같이, LED 및 형광체 방출 둘 다의 것의 그러나 이들로 제한되지 않는 것의 근사로서 가우시안 함수를 사용하여 모델링된다. 그런 성분의 피크 파장은 520 nm로부터 560 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변화도록 허용되고, 한편 FWHM은 20 nm로부터 100 nm까지 10 nm 증분의 단위로 변한다. 도 15는, 사용되었던 45 개(5 개의 피크×9 개의 FWHM) 중, 가변 FWHM의, 다섯 개의 가능한 그런 성분의 선택을 디스플레이한다. 레드 방출 성분은, 상기에서 언급된 바와 같이, PFS 형광체의 것으로서 고정된다. 각 성분의 형상이 선택된 파라미터에 의해 고정된 상태에서, 선택된 컬러 포인트로 나타나도록 하기 위해, 블루, 그린, 및 레드 성분의 상대적인 진폭이 조정되었다. DOE는, 흑체(Duv = 0.000) 상의 2700 K의 한 포인트 및 "화이트 라인" 근처의 2700 K의 한 포인트(Duv = -0.010)의 두 컬러 포인트에 대해 수행되었고, 총 90 개의 스펙트럼으로 나타났다. LPI 값은 각각의 스펙트럼에 대해 계산되었고 트렌드 및 트레이트오프에 대해 분석되었다.

[0139] LPI에 대한 그런 피크 파장, 그린 FWHM, 및 Duv 레벨의 영향을 예시하기 위해, 도 35에서 일련의 등고선 플롯 "a" 내지 "c"가 디스플레이된다. 각각의 개개의 등고선 플롯은, 그린 FWHM 대 그린 피크 파장에 대한 10의 증분 단위의 LPI 등고선을 도시한다. 도면 내에서, Duv는 수평 방향을 따라 -0.010으로부터 -0.005로 0.000으로 변한다. 이전과 같이, 세 개의 Duv 레벨은, LPI에 대한 컬러 포인트, 또는 Duv의 효과를 예시하도록 선택되었으며, LPI의 적용가능성의 제한으로서 간주되어선 안된다. 흑체로부터 "백색 라인"까지의 Duv 레벨의 연속체에 대해, 유사한 트렌드가 실현되고 있는 유사한 등고선 플롯이 제공될 수 있다.

[0140] 도 35의 세 개의 플롯을 비교하는 것에 의해, Duv의 효과를 쉽게 알 수 있다. 등고선의 일반적인 형상은 동일하게 유지되지만, 그러나 LPI 등고선은 Duv = 0.000(플롯 "c")으로부터 Duv = -0.005(플롯 "b")로 Duv = -0.010(플롯 "a")으로 값이 증가한다. Duv = 0.000으로부터 Duv = -0.010으로 진행되는 것에 의해, LPI 식의 백색도 성분은 0에서 1로 증가하고, 식 (7)에 기초하여 LPI에서의 19 포인트 증가로 나타나게 된다. 일반적으로, 각각의 등고선 플롯에서 LPI를 극대화하기 위한 최적의 값은 그런 피크 파장에서 아주 약간의(대략 5 nm만큼) 감소를 겪는다.

[0141] BSY+PFS 시스템의 BSY 성분의 효과도 또한 도 35에서 알 수 있다. 일반적으로, 그린 성분의 FWHM은, LPI 윤곽선의 수직 성질에서 알 수 있는 바와 같이, LPI 값에 대해 거의 영향이 없다. 이 시스템의 경우, LPI 값은 그린 성분의 FWHM에 거의 민감하지 않으며, 더 큰 설계 안정성으로 이어진다.

[0142] 높은 LPI 값을 달성하기 위해, BSY 특성은 신중하게 선택되어야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체 근처의, 또는 Duv = 0.000에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 550 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 Duv = -0.005에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 555 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 120보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 Duv = -0.010에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 520 nm와 약 570 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 흑체와 "화이트 라인" 사이의 중간포인트 근처의, 또는 Duv = -0.005에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 535 nm와 약 550 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 130보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 Duv = -0.010에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 525 nm와 약 555 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. 140보다 더 큰 LPI 값 및 "화이트 라인" 근처의, 또는 Duv = -0.010에 가까운 컬러 포인트의 경우, BSY 컴포넌트는 약 20 nm 내지 약 100 nm의 범위에 있는 FWHM 및 약 530 nm와 약 545 nm의 범위에 있는 피크 파장을 가져야 한다. BSY+PFS 시스템에 대해 달성가능한 최대 LPI 값은 145 근처가 된다. 이것은, Duv = -0.010 및 540 nm 근처에서 피크를 이루며 60 nm 근처의 FWHM을 갖는 그린 컴포넌트(3604)를 가지고 가장 쉽게 달성된다. 이들 선택으로부터 유래하는 스펙트럼(3600)은 도 36에서 도시된다.

[0143] 형광체 기반 LED 시스템의 다른 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 또는 BSY 타입의 그린 또는 옐로우-그린 형광체(예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 블루 시프트된 옐로우 또는 유사한 그린 또는 옐로우-그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 NR 타입의 레드 형광체(예를 들면, PFS를 사용할 수도 있는 폭이 좁은 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생

성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm 범위에 있는 BSG 또는 BSY 피크 방출, 및 30 nm보다 더 작은 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 600 nm 내지 약 640 nm 범위에 있는 NR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 그러나 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출과 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, BSG 또는 BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 NR 형광체의 상대적으로 좁은 폭의 조합으로부터 유래하는 레드 형광체의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0144] 도 37은, 바로 위에서 논의된 도 8b에 따른 BSY+PFS 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3700), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3700)은, 블루 LED의 피크 파장(3702)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(3704)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(3706)이 약 631 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 79, 및 LPI = 135를 갖는 광을 생성한다. 135의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+PFS 스펙트럼(3700)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0145] 또한, 몇몇 실시형태에서, 네오디뮴(Nd) 글래스 돔은 LED 광 엔진 위에 배치되고, Nd 글래스 돔은 옐로우 광을 억제하여 레드 및 그린 생동감의 지각성을 더 향상시키도록 기능한다. 상기 실시형태가 Nd 필터의 사용 없이 높은 LPI를 달성하는 능력을 설명하지만, Nd의 사용은, Nd 흡수 없이 LPI의 높은 값을 달성하지 않을 수도 있는 다른 이용가능한 형광 재료의 선택을 허용할 수도 있다. 이것은, 예를 들면, 레드 형광체의 피크 파장이, 더 짧은 파장쪽으로 이동되는 것을 허용하거나 또는 레드 형광체의 FWHM이 증가되는 것을 허용할 수도 있다.

[0146] 형광체 기반 LED 시스템의 또 다른 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 타입의 그린 형광체(예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 유사한 그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 BR 타입의 레드 형광체(예를 들면, 레드 질화물 또는 레드 황화물을 사용할 수도 있는 광폭 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSG+BR 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 560 nm 범위에 있는 BSG 피크 방출, 및 60 nm보다 더 큰 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 610 nm 내지 약 680 nm 범위에 있는 BR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 블루 LED 방출과 그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 형광체 방출과 Nd 글래스의 추가에 의해 향상된 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 레드-그린 YAG 형광체와 비교하여 BSG 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체와 비교하여 BR 형광체의 더 깊은 피크 파장의 조합으로부터 유래하고, Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 형광체의 피크와 그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0147] 도 38은, 바로 위에서 논의된 BSG+BR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3800), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3800)은, 블루 LED의 피크 파장(3802)이 대략 450

nm에서 발생하고, 그린 형광체의 피크 파장(3804)이 약 530 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(3806)이 약 80 nm의 FWHM을 가지면서 약 650 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(3810)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(3800)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 51, 및 LPI = 142를 갖는 광을 생성한다. 142의 LPI 스코어는 하이인데, BSG+BR 스펙트럼(3800)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0148] 형광체 기반 LED 시스템의 몇몇 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 타입의 그린 형광체 (예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 유사한 그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 NR 타입의 레드 형광체(예를 들면, 레드 질화물 또는 레드 황화물을 사용할 수도 있는 폭이 좁은 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSG+NR 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 560 nm 범위에 있는 BSG 피크 방출, 및 60 nm보다 더 작은 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 610 nm 내지 약 680 nm 범위에 있는 NR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 블루 LED 방출과 그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 형광체 방출과 Nd 글래스의 추가에 의해 향상된 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 레드-그린 YAG 형광체와 비교하여 BSG 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체와 비교하여 NR 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 더 깊은 피크 파장의 조합으로부터 유래하며, Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 형광체의 피크와 그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

[0149] 도 39는, 바로 위에서 논의된 도 8b에 따른 BSG+NR 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(3900), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(3900)은, 블루 LED의 피크 파장(3902)이 대략 450 nm에서 발생하고, 그린 형광체의 피크 파장(3904)이 약 540 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(3906)이 약 50 nm의 FWHM을 가지면서 약 640 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(3910)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(3900)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 52, 및 LPI = 144를 갖는 광을 생성한다. 144의 LPI 스코어는 하이인데, BSG+NR 스펙트럼(3900)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0150] 형광체 기반 LED 시스템의 다른 실시형태에서, 도 8b에서 도시되는 LED 광원(850)은, BSG 또는 BSY 타입의 그린 또는 옐로우-그린 형광체(예를 들면, YAG 또는 그린 알루미늄산염을 사용할 수도 있는 블루 시프트된 그린 또는 블루 시프트된 옐로우 또는 유사한 그린 또는 옐로우-그린 형광체)로 코팅된 블루 LED 및/또는 NR 타입의 레드 형광체(예를 들면, PFS를 사용할 수도 있는 폭이 좁은 레드 또는 유사한 레드 형광체)의 혼합체로 각각 구성될 수도 있는 LED(806 및 808)의 하나 이상의 그룹을 포함할 수도 있는데, 여기서, 블루 LED에 의해 생성되는 블루 광 중, 형광체 재료에 의해 흡수되지 않고 형광체 재료에 의해 방출되는 광과 결합되는 일부 블루 광은, 사람 눈에 컬러가 거의 화이트인 것으로서 보이는 광을 제공한다. 또한, 도 8b를 참조하면, 이 실시형태는, BSG+NR 또는 BSY+NR 광 엔진을 내부에 캡슐화하는, 네오디뮴 산화물로 채워진 글래스 돔(802)을 포함한다. 혼합광 스펙트럼은, 약 400 nm 내지 약 460 nm 범위에 있는 블루 LED 피크 방출, LED로부터의 블루 방출에 의한 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 여기에 의해 생성되는 약 500 nm 내지 약 580 nm 범위에 있는 BSG 또는 BSY 피크 방출, 및 30 nm보다 더 작은 FWHM을 가지며, LED로부터의 블루 방출에 의한 레드 형광체의 여기에 의해 생성되는 약

600 nm 내지 약 640 nm 범위에 있는 NR 피크 방출로 구성된다. 스펙트럼은 또한 흑체 스펙트럼의 것과 유사하지만, 그러나 블루 LED 방출과 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출 사이의 파장 범위에서 오목부를 포함할 수도 있고, 그린 또는 옐로우-그린 형광체 방출과 레드 형광체 방출 사이의 옐로우 파장 범위에서 제2 오목부를 포함할 수도 있다. 광원은 또한 약 2700 K와 약 6000 K 사이의 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 그것은 더 높은 CCT, 아마도 약 10,000 K만큼 높은 또는 더 높은 CCT를 가질 수도 있거나, 또는 더 낮은 CCT, 아마도 약 1800 K만큼 낮은 또는 더 낮은 CCT를 가질 수도 있다. 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분에서의 감소된 방출은, 통상적인 레드-그린 YAG 형광체와 비교하여 BSG 또는 BSY 형광체의 상대적으로 좁은 폭, 및 상대적으로 짧은 피크 파장, 및 통상적인 레드 형광체와 비교하여 NR 형광체의 상대적으로 좁은 폭의 조합으로부터 유래하며 Nd 글래스의 추가에 의해 더 향상되는 레드 형광체의 피크와 그린 또는 옐로우-그린 형광체의 피크의 분리로부터 유래한다. 옐로우에서의 스펙트럼의 오목부는, 만약 충분히 깊다면, 옐로우에서 오목부를 생성하지 않는 통상적인 옐로우-그린 및 레드 형광체 조합을 활용하는 동일한 광원으로부터 방출되는 광에 비해, 사람 관찰자에 의해 통상적으로 선호되는 향상된 컬러 선호도, 또는 컬러 채도 또는 컬러 콘트라스트 성능을 갖는 광원을 제공할 수도 있다.

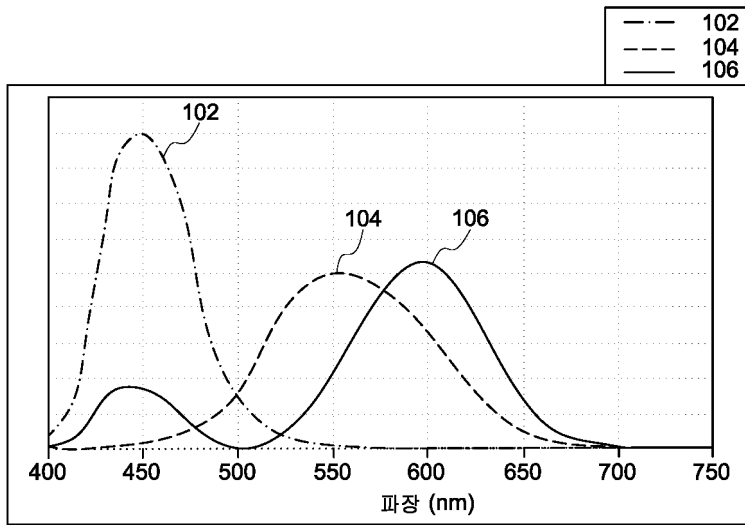
[0151] 도 40은, 바로 위에서 논의된 BSY+PFS 타입의 LED 광원의 SPD의 그래프(4000), 및 CCT = 2755 K를 갖는 Reveal ® 타입의 백열 광원의 SPD의 그래프(704)를 포함한다. 곡선(4000)은, 블루 LED의 피크 파장(4002)이 대략 450 nm에서 발생하고, 옐로우-그린 형광체의 피크 파장(4004)이 약 550 nm에서 발생하고, 레드 형광체의 피크 파장(4006)이 약 631 nm에서 발생한다는 것을 나타낸다. Nd 글래스는, 옐로우-그린 형광체 및 레드 LED에 의해 생성되었을 수도 있는 컬러 스펙트럼의 옐로우 부분(4010)에 있는 광을 필터링해 내도록 기능하며, 그 결과 광(4000)은 더 향상된 컬러 선호도를 갖게 된다. 이 스펙트럼은 CCT = 2700 K, CRI = 68, 및 LPI = 142를 갖는 광을 생성한다. 142의 LPI 스코어는 하이인데, BSY+PFS 스펙트럼(4000)을 사용하면, 사람 관찰자가, 몇몇 종래 기술의 광 엔진을 사용하는 것에 의해 가능한 것보다, 더 포화된 컬러 및 더 선호되는 현시를 지각할 것이라는 것을 의미한다.

[0152] 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 바와 같이, "복합 광원"은 "조명 장치"와 동의어인 것으로 간주될 수도 있다. 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 바와 같이, "광원"은 LED, 또는 레드 광을 방출하는 형광체와 같은 개개의 컬러 방출 엘리먼트를 통상적으로 가리킨다. 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 바와 같이, "다운컨버터"는 형광체 및/또는 퀀텀닷, 또는 다른 유사한 발광 재료를 가리킬 수도 있다.

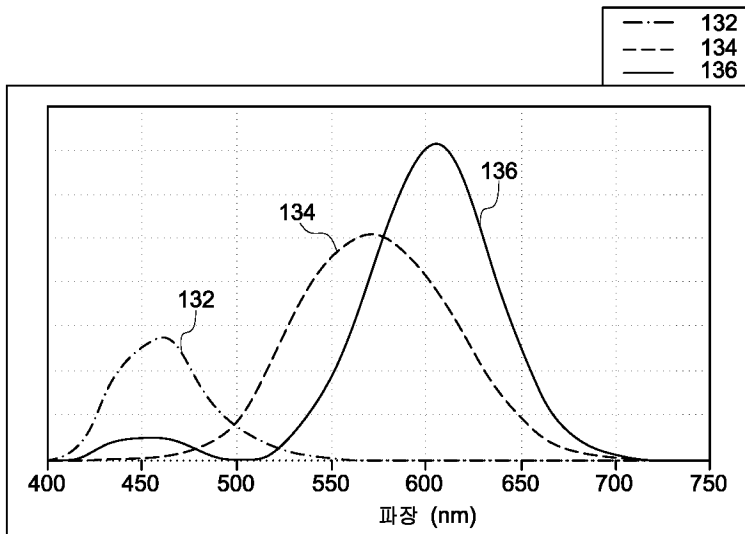
[0153] 상기 설명 및/또는 첨부된 도면은, 본원에서 언급되는 임의의 프로세스에 대한 단계의 고정된 순서 또는 시퀀스를 암시하도록 의도되지는 않으며; 대신 임의의 프로세스는, 순차적으로 나타내어진 단계의 동시적 수행을 포함하지만 이것에 제한되지는 않는, 실행가능한 임의의 순서로 수행될 수도 있다는 것이 이해되어야 한다. 본 발명이 특정한 예시적 실시형태와 연계하여 설명되었지만, 첨부된 특허청구범위에서 개시되는 것과 같은 본 발명의 취지와 범위를 벗어나지 않으면서, 기술분야의 숙련된 자에게 명백한, 개시된 실시형태에 대한 다양한 변경예, 대체예 및 수정예가 이루어질 수 있다는 것이 이해되어야 한다.

도면

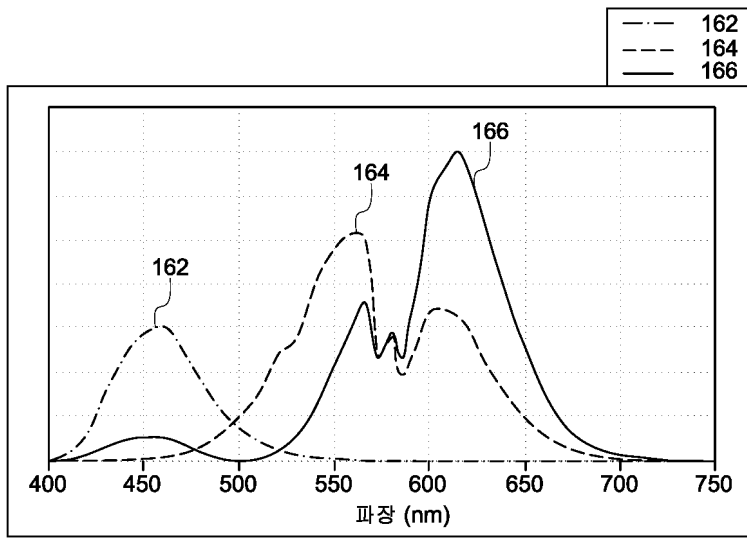
도면1a



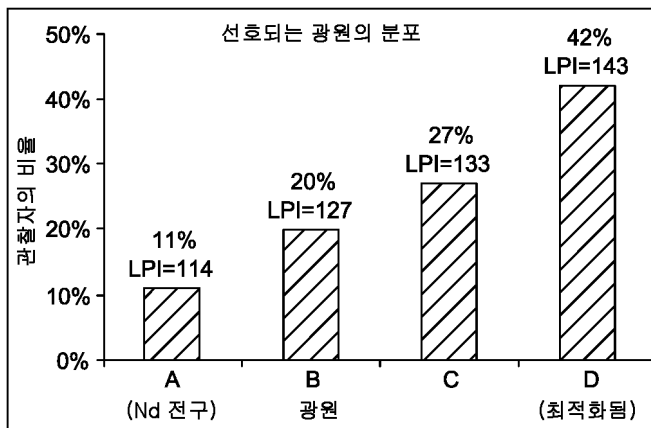
도면1b



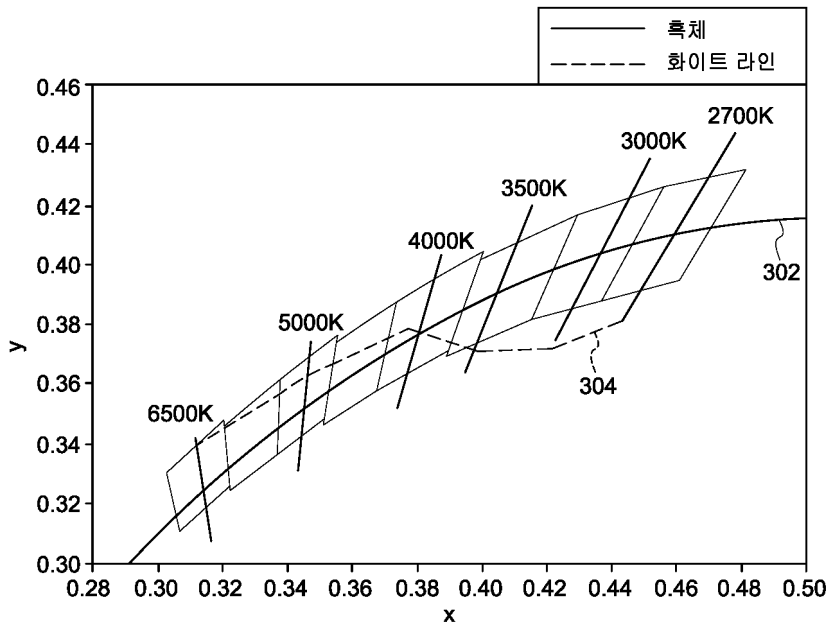
도면1c



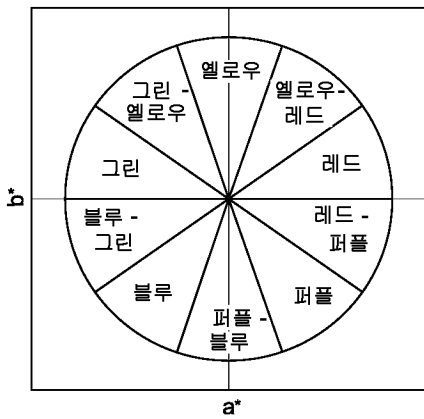
도면2



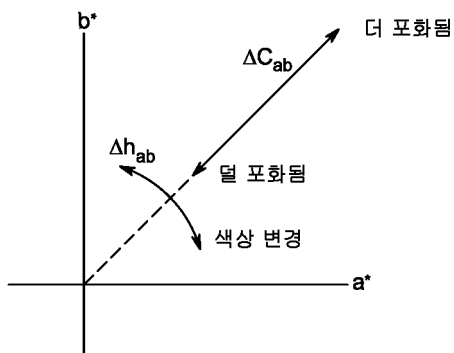
도면3



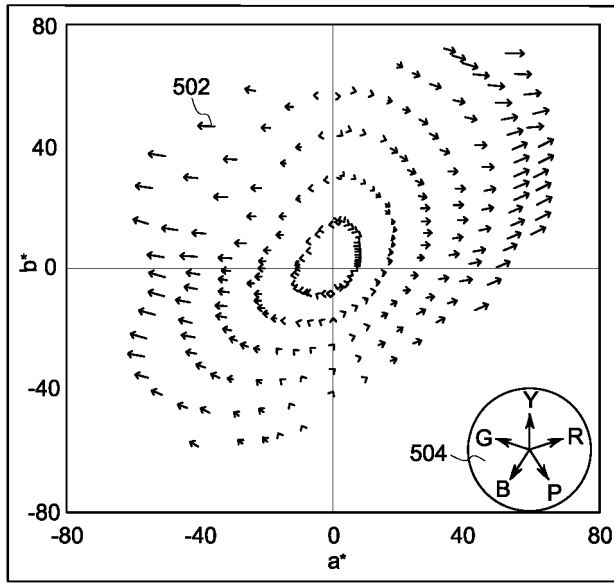
도면4



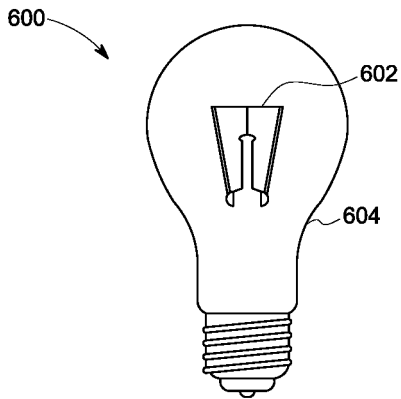
도면5a



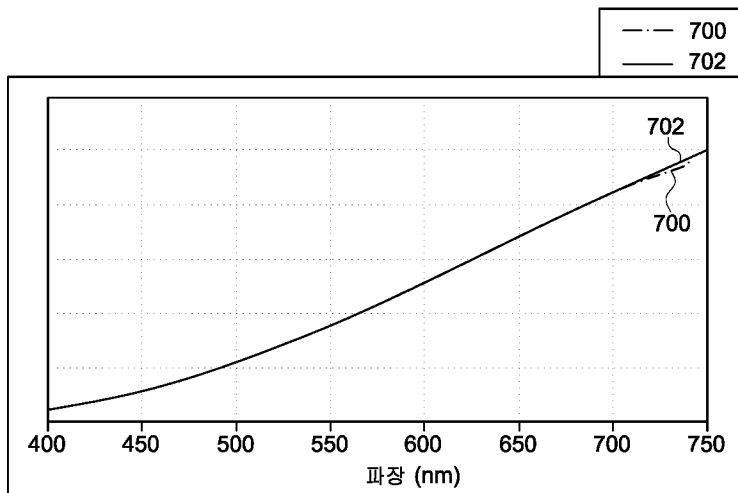
도면5b



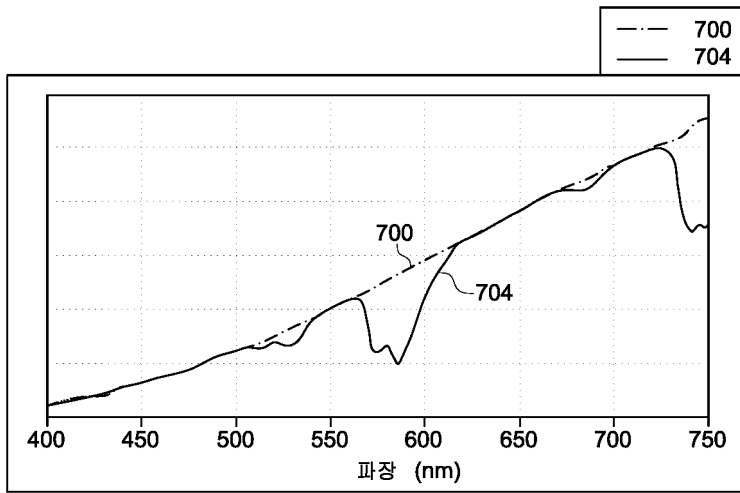
도면6



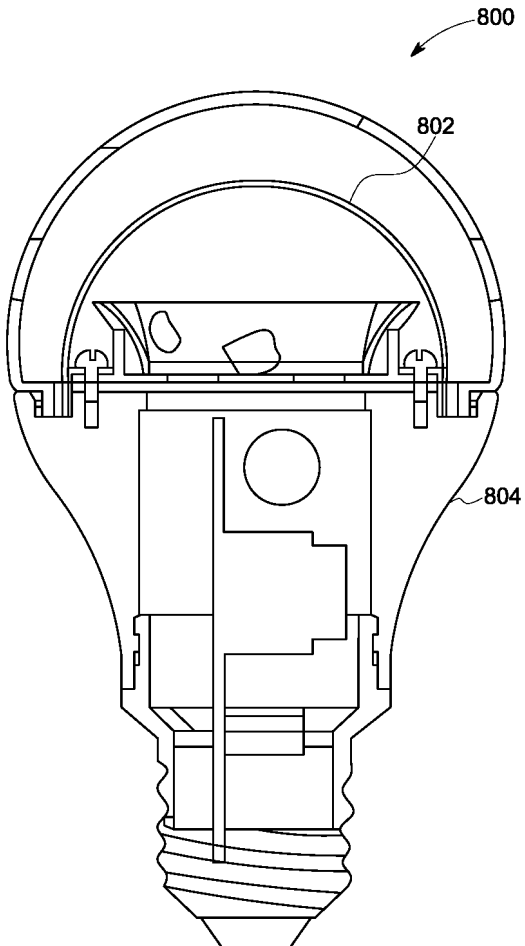
도면7a



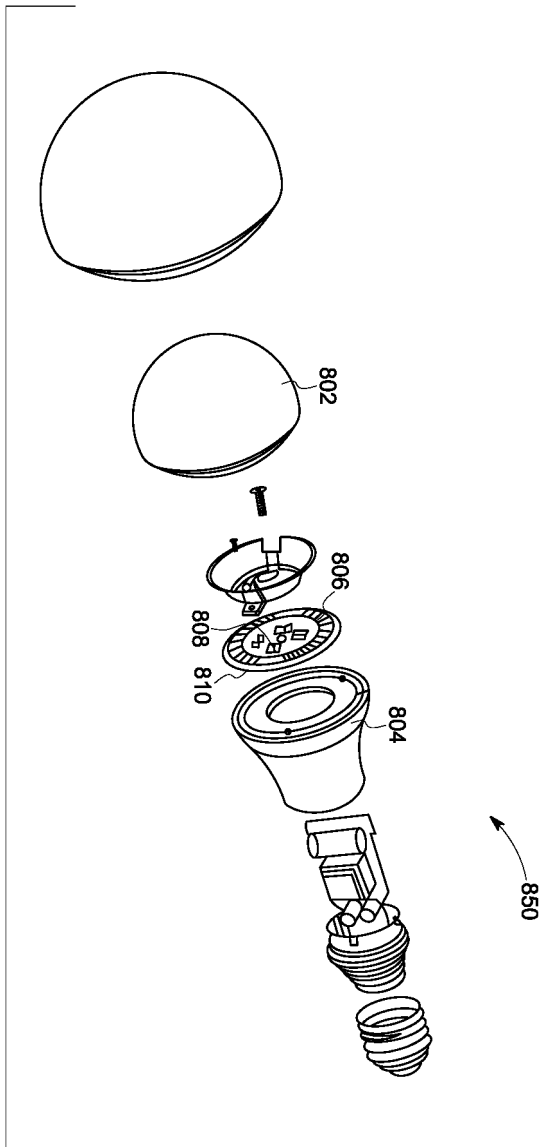
도면7b



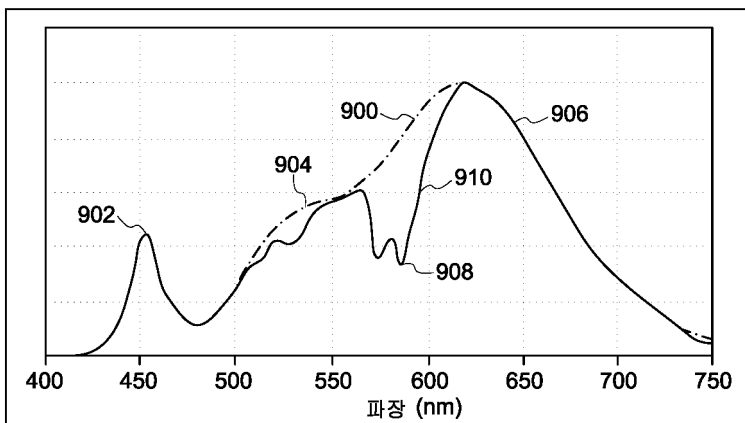
도면8a



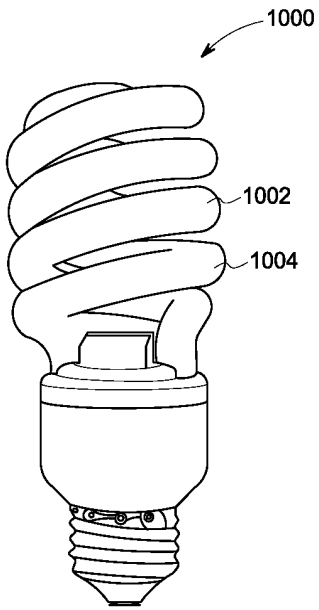
도면8b



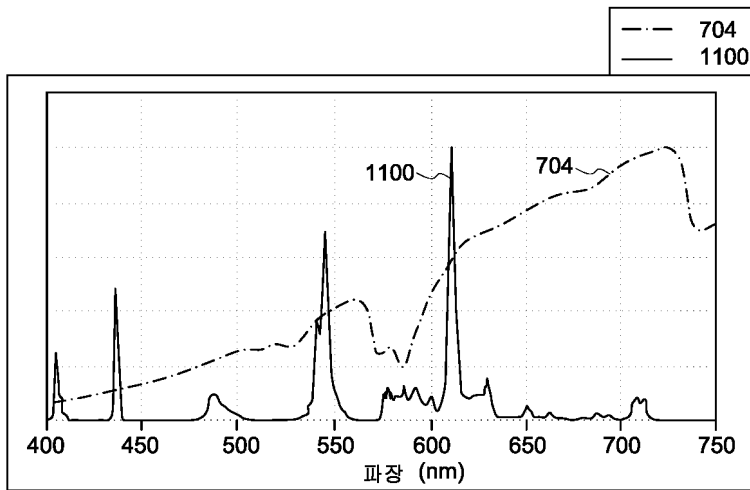
도면9



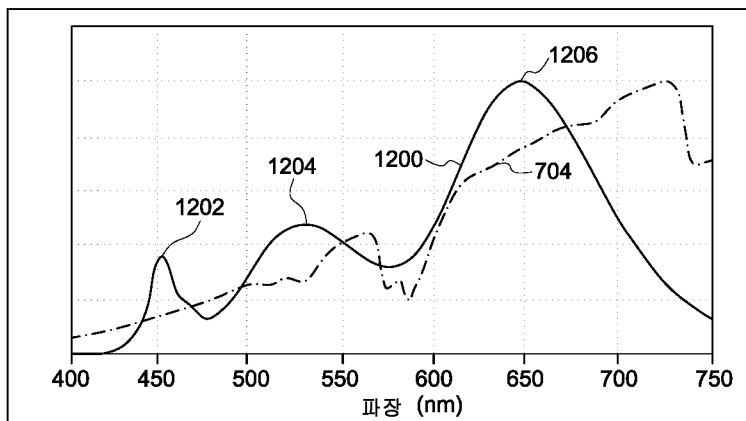
도면10



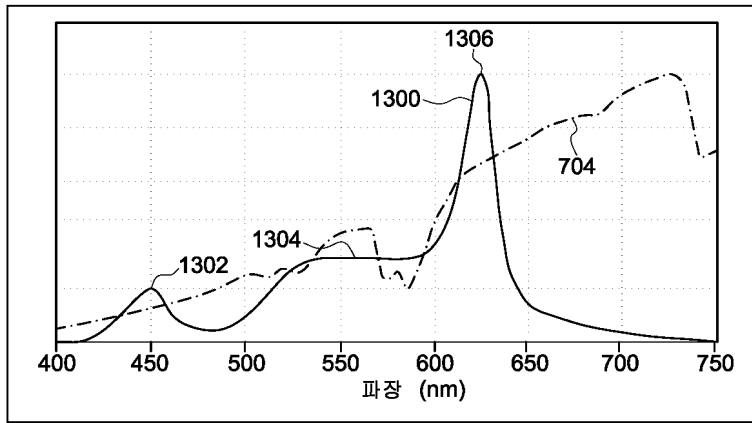
도면11



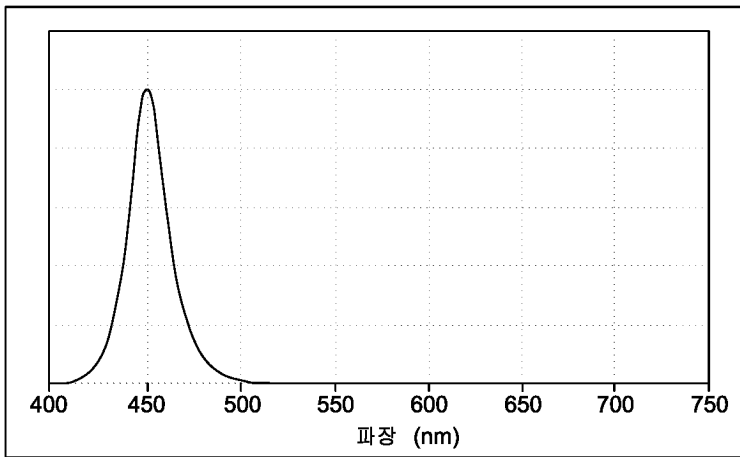
도면12



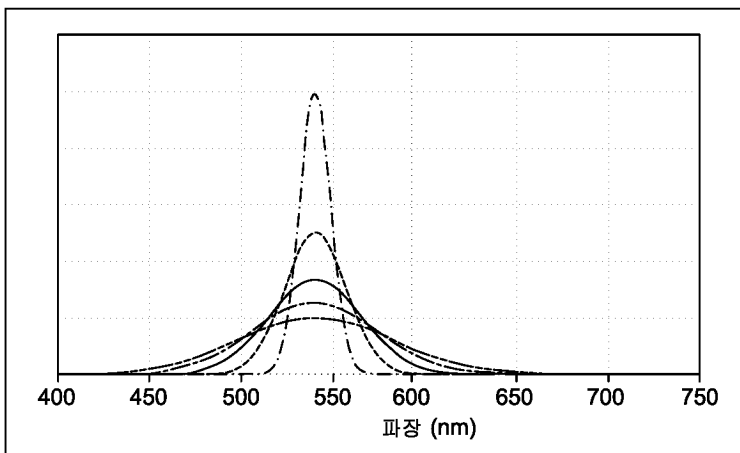
도면13



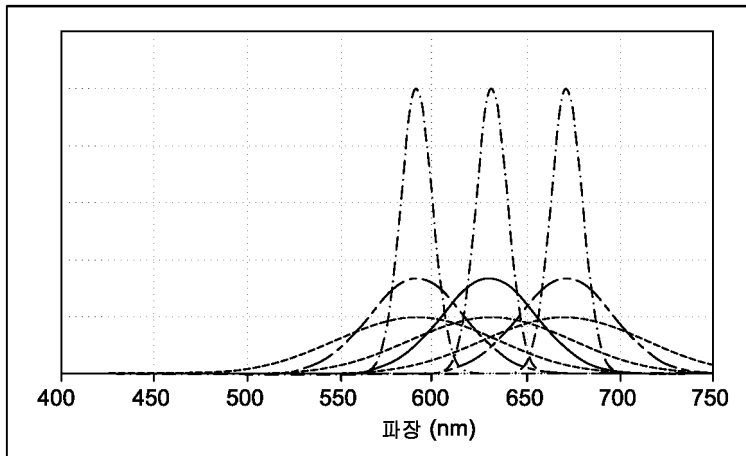
도면14



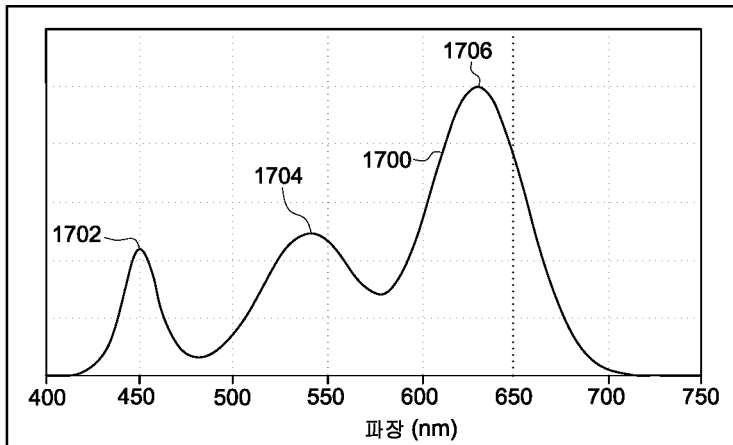
도면15



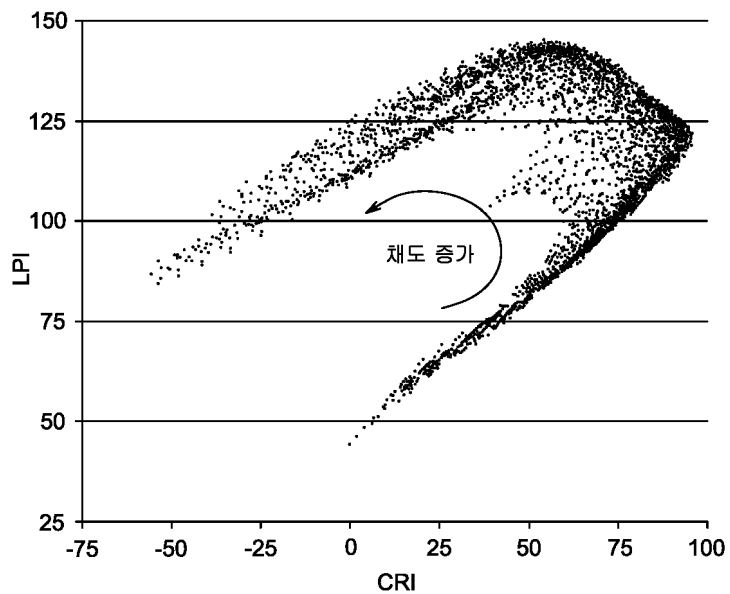
도면16



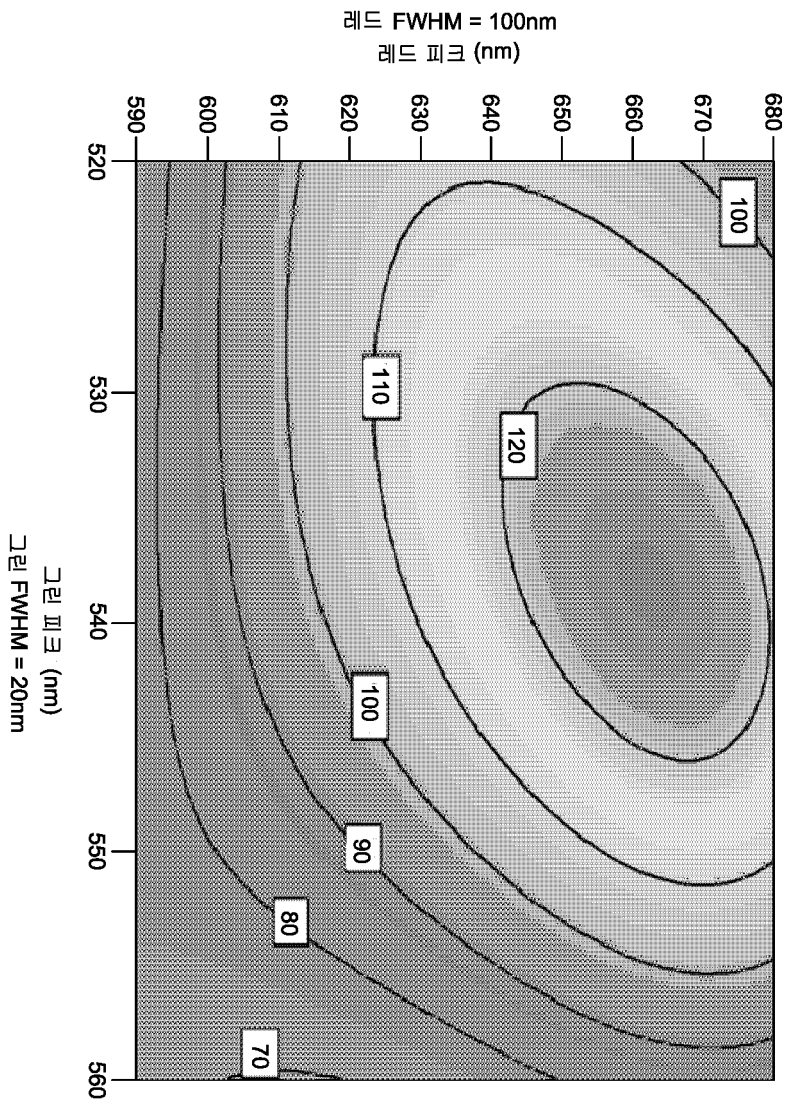
도면17



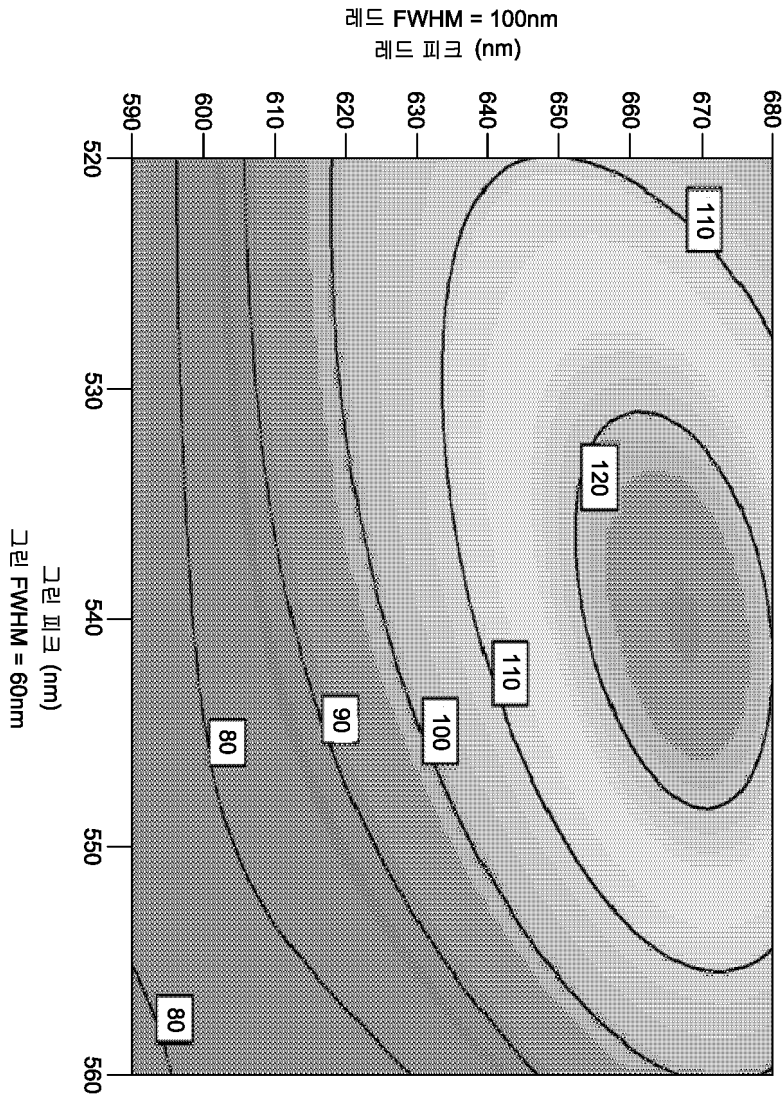
도면18



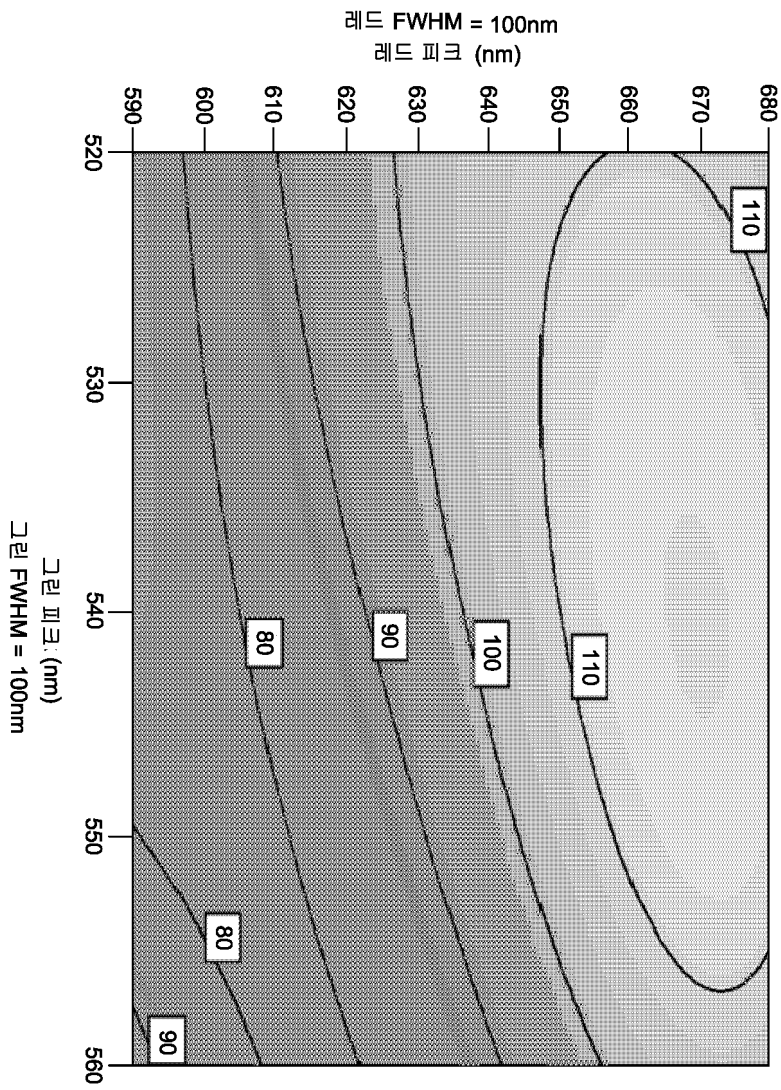
도면19a



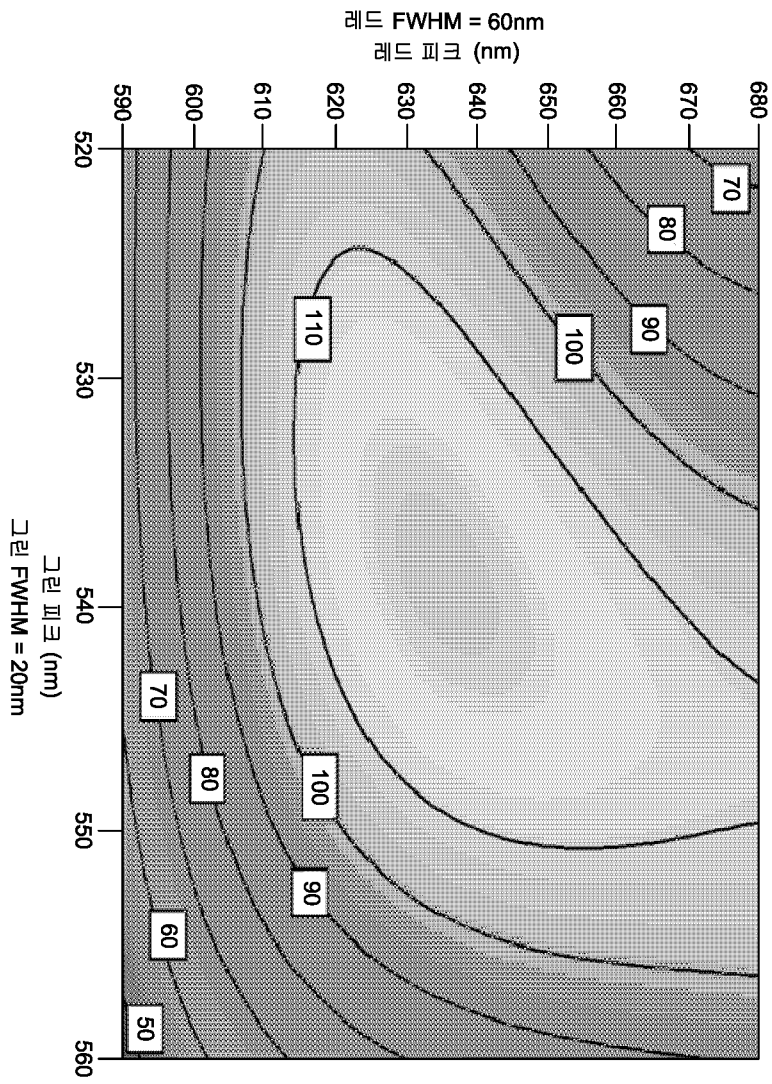
도면19b



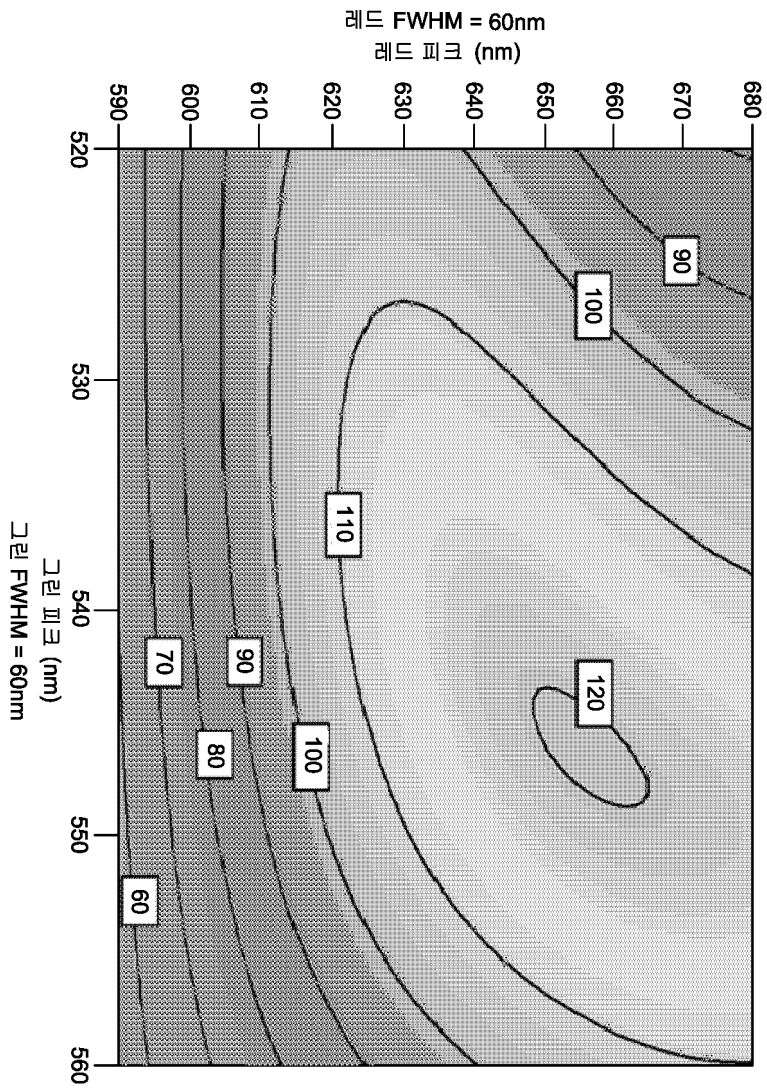
도면19c



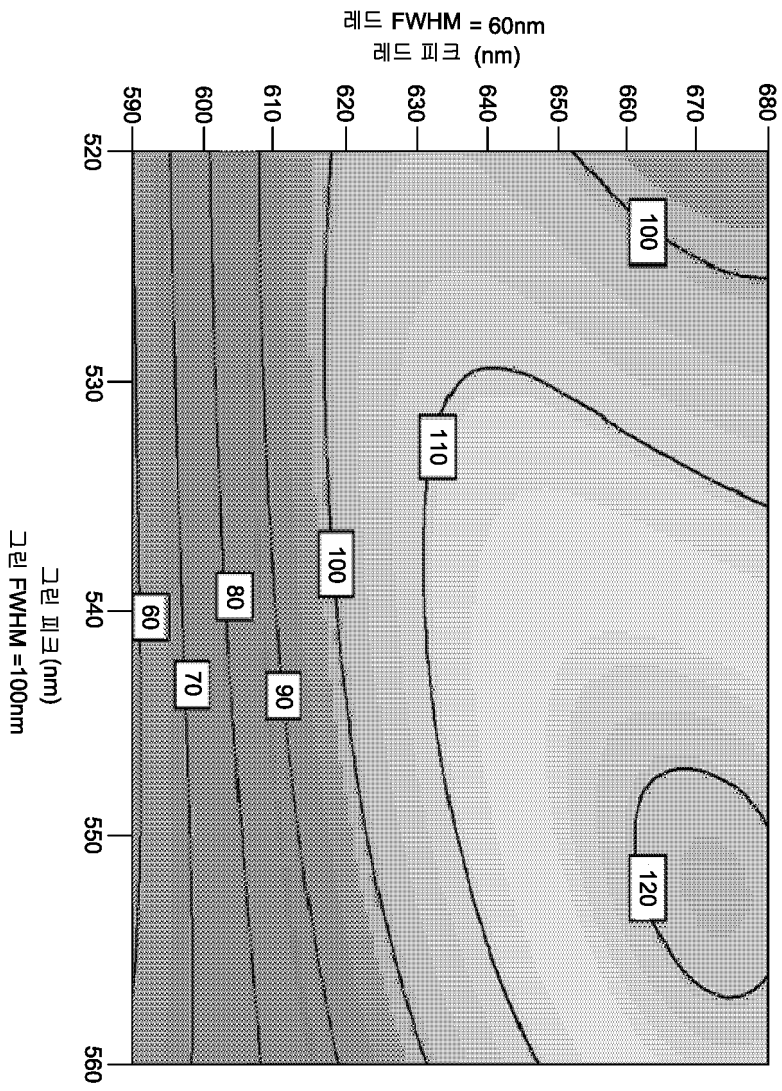
도면19d



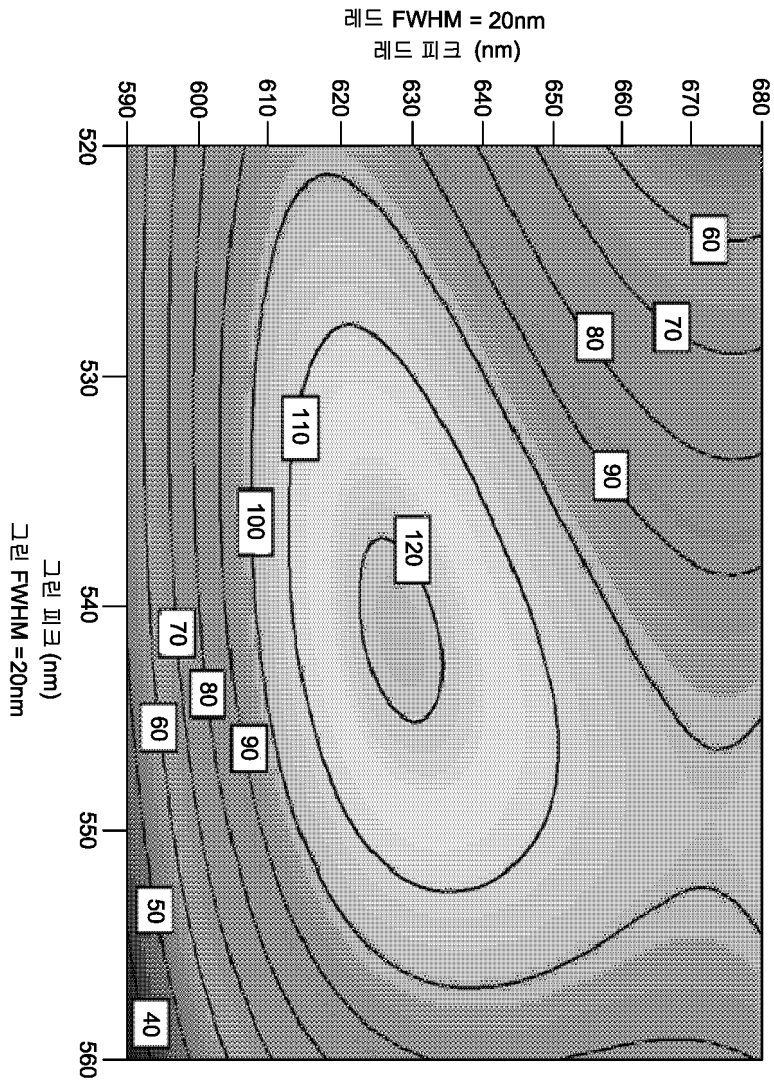
도면19e



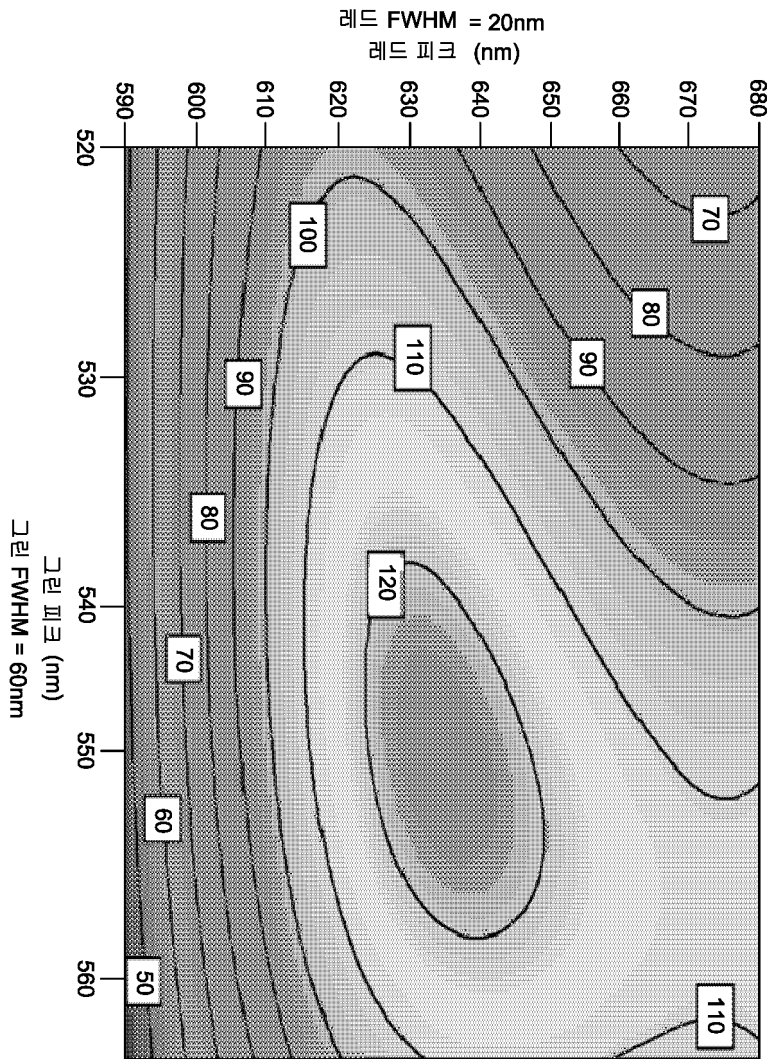
도면19f



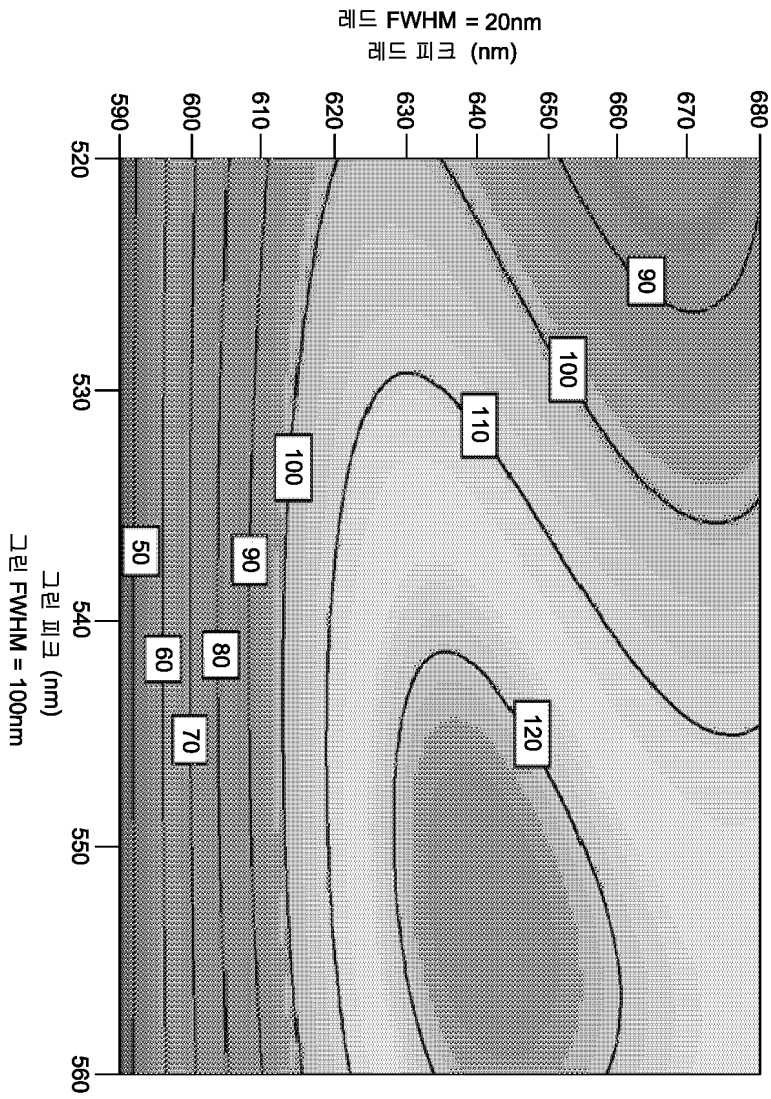
도면19g



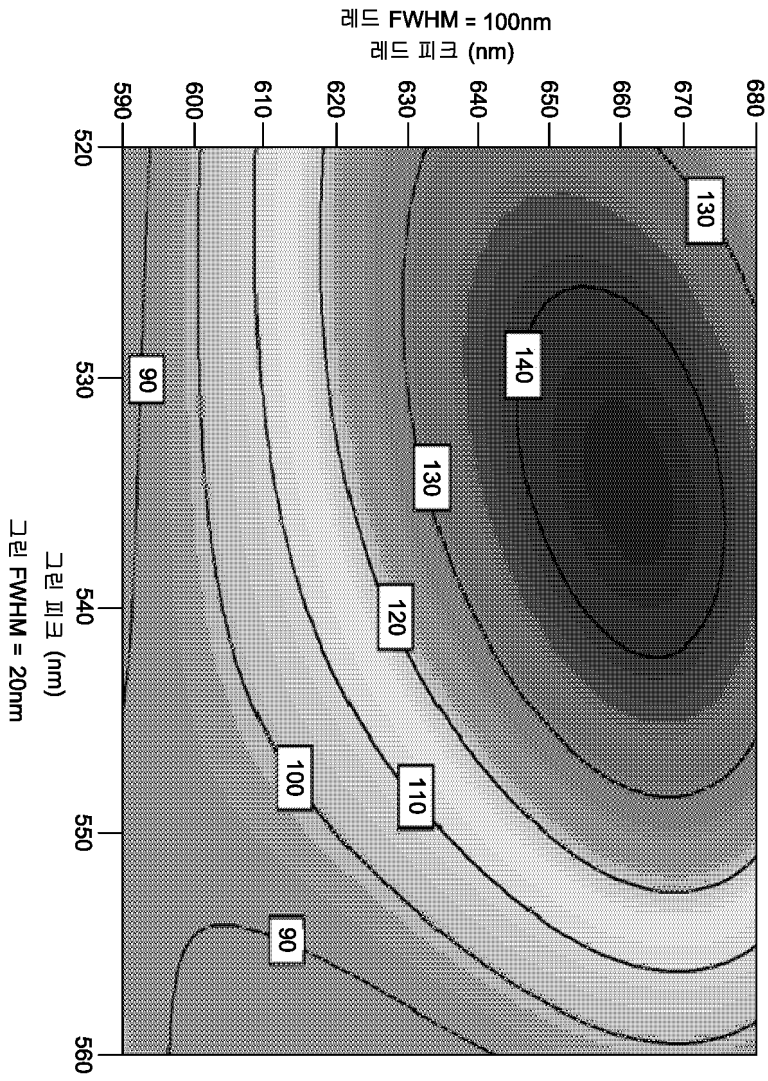
도면19h



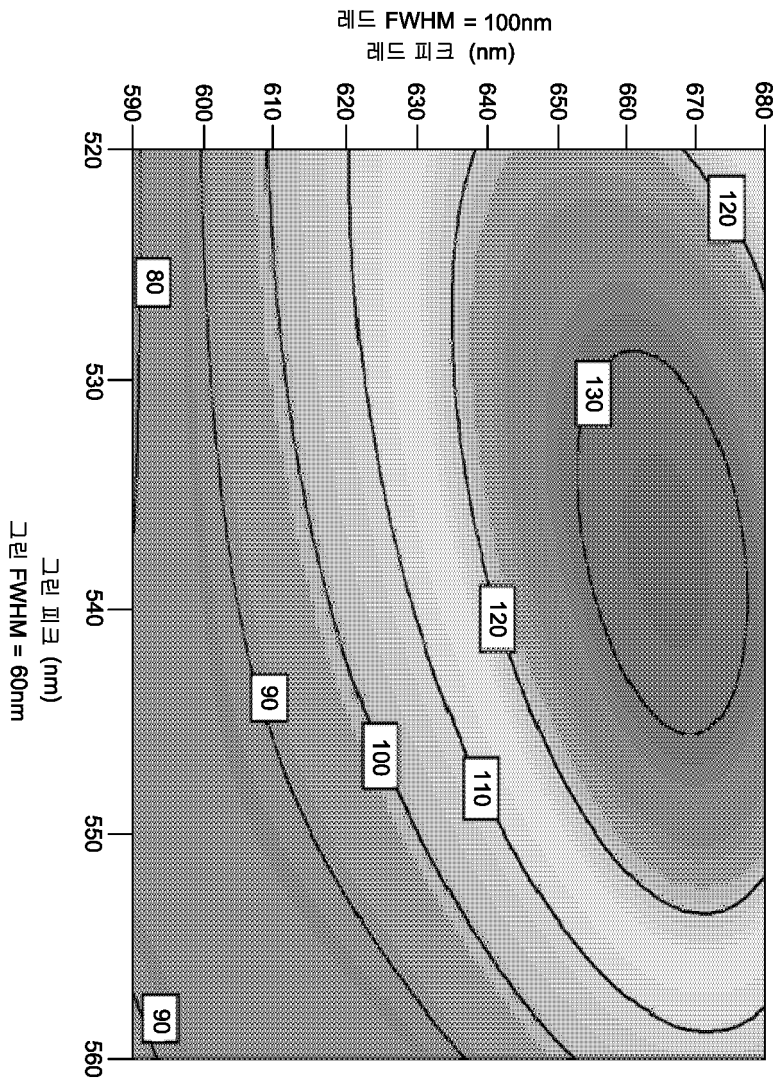
도면19i



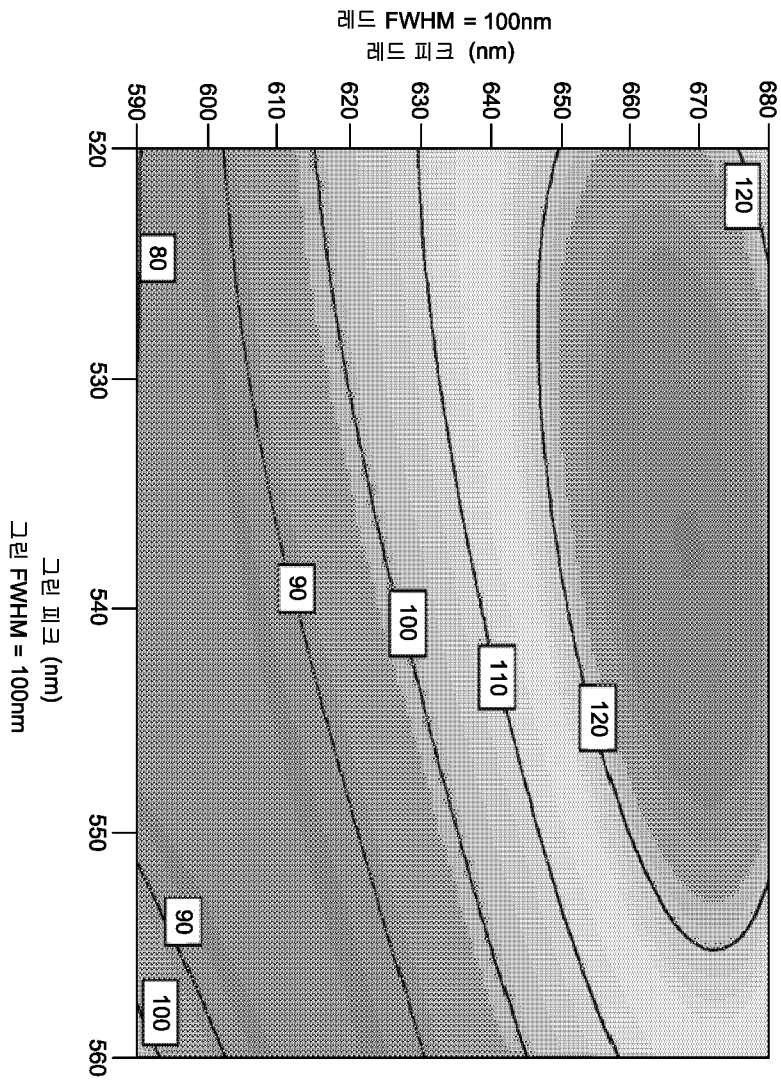
도면20a



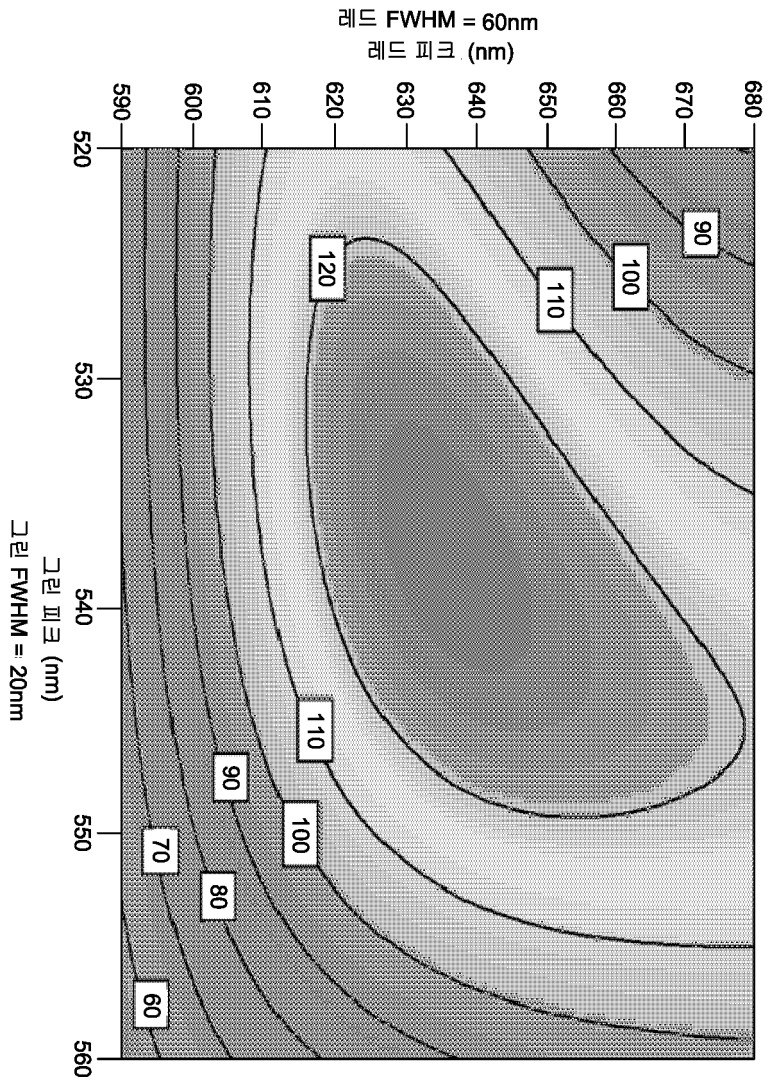
도면20b



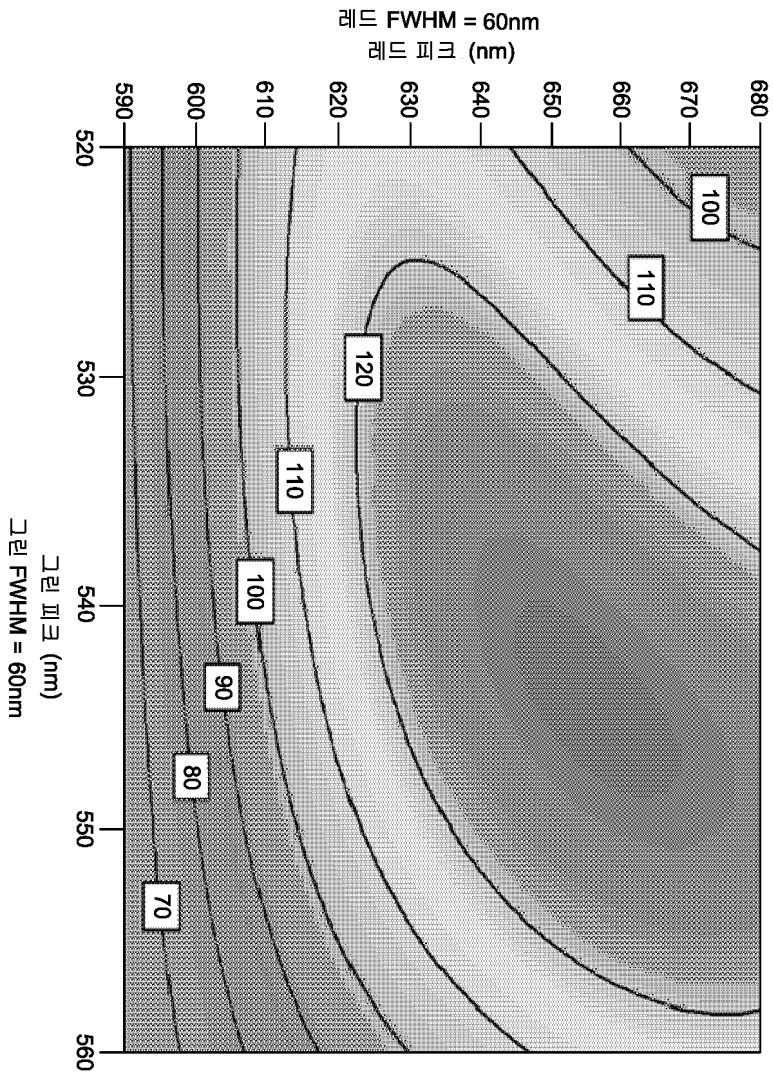
도면20c



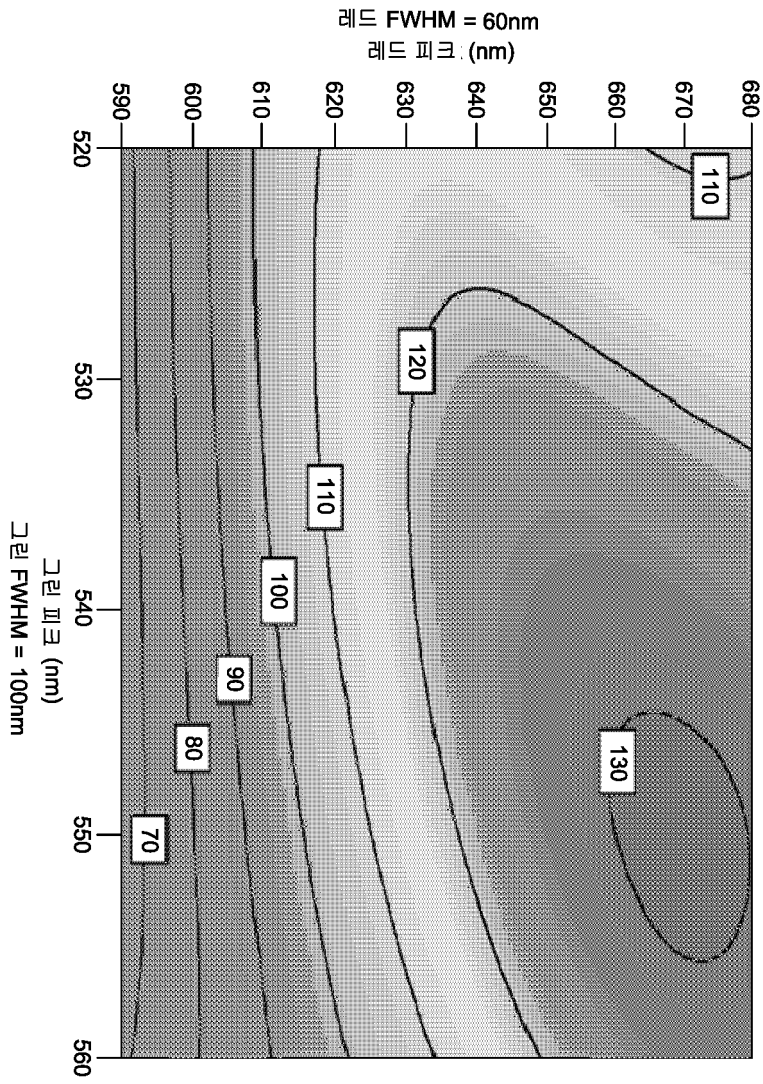
도면20d



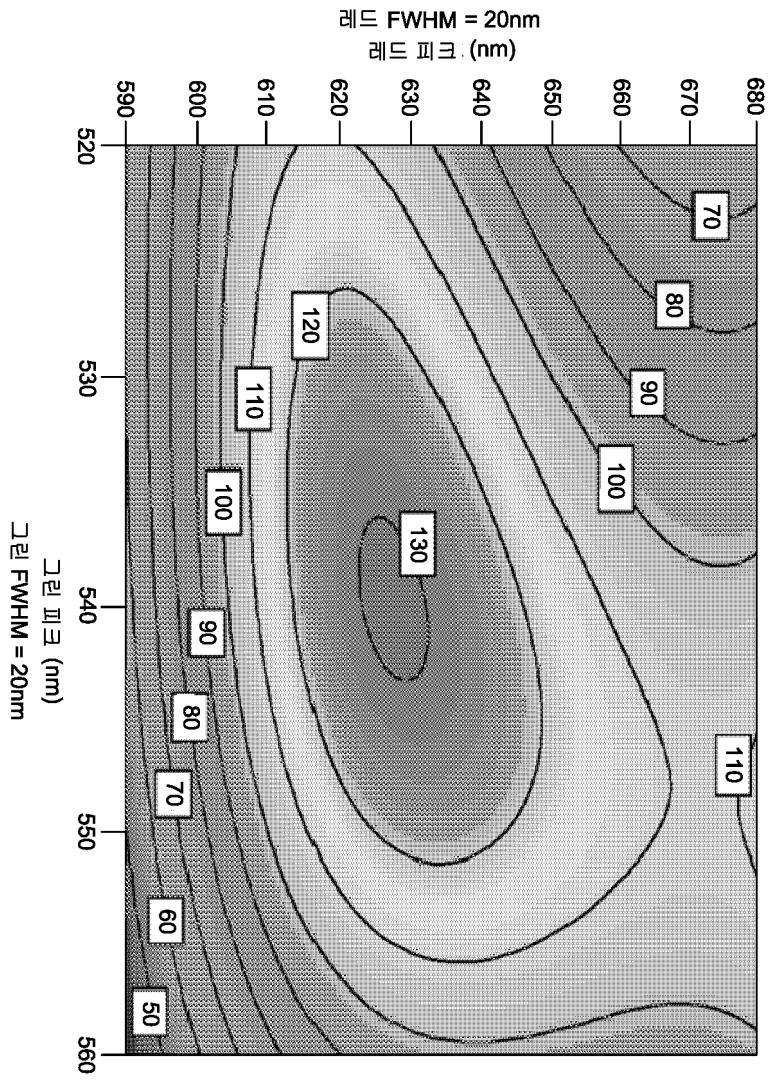
도면20e



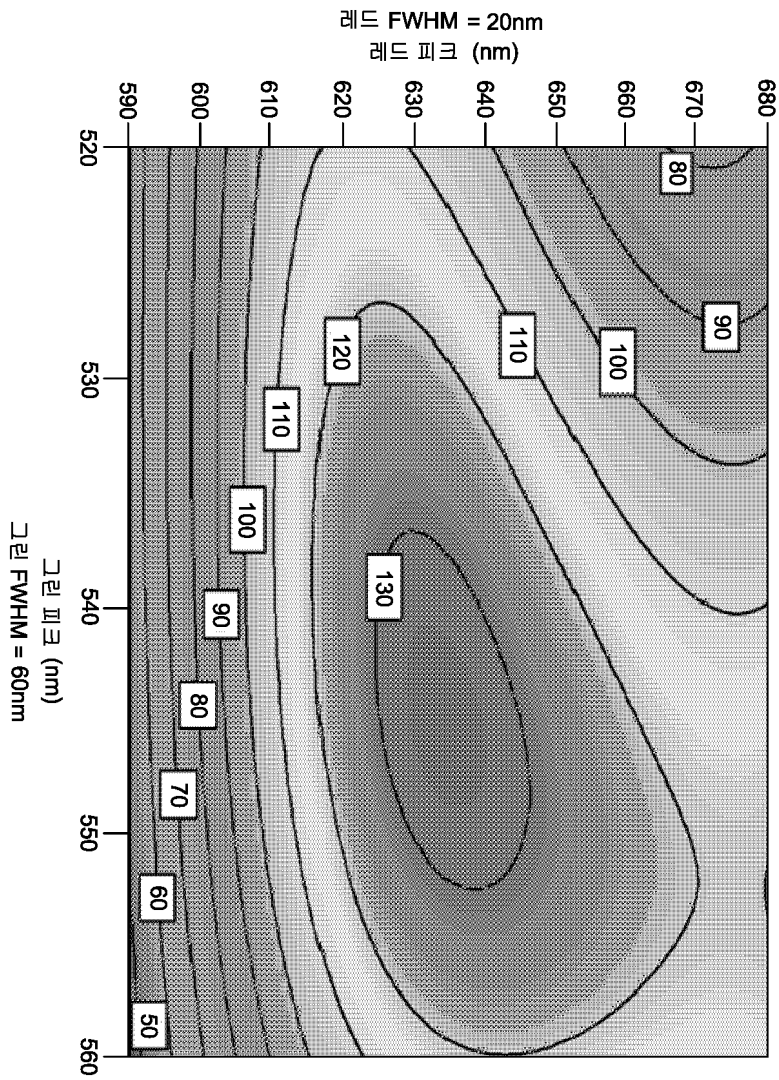
도면20f



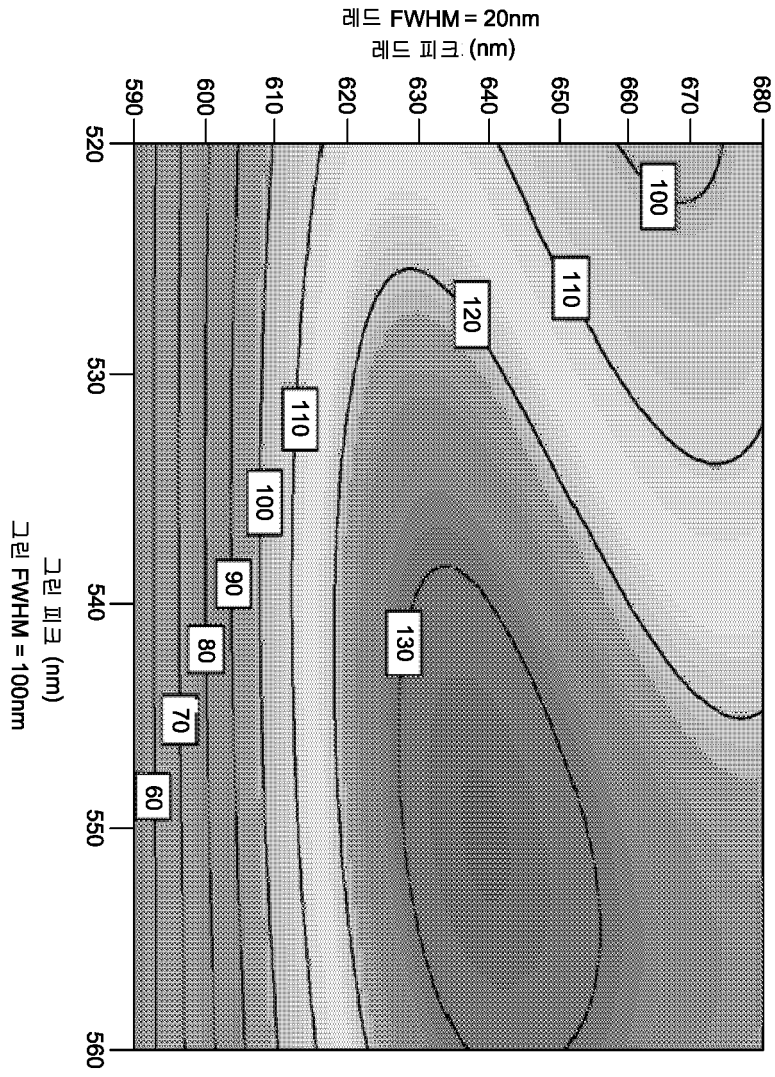
도면20g



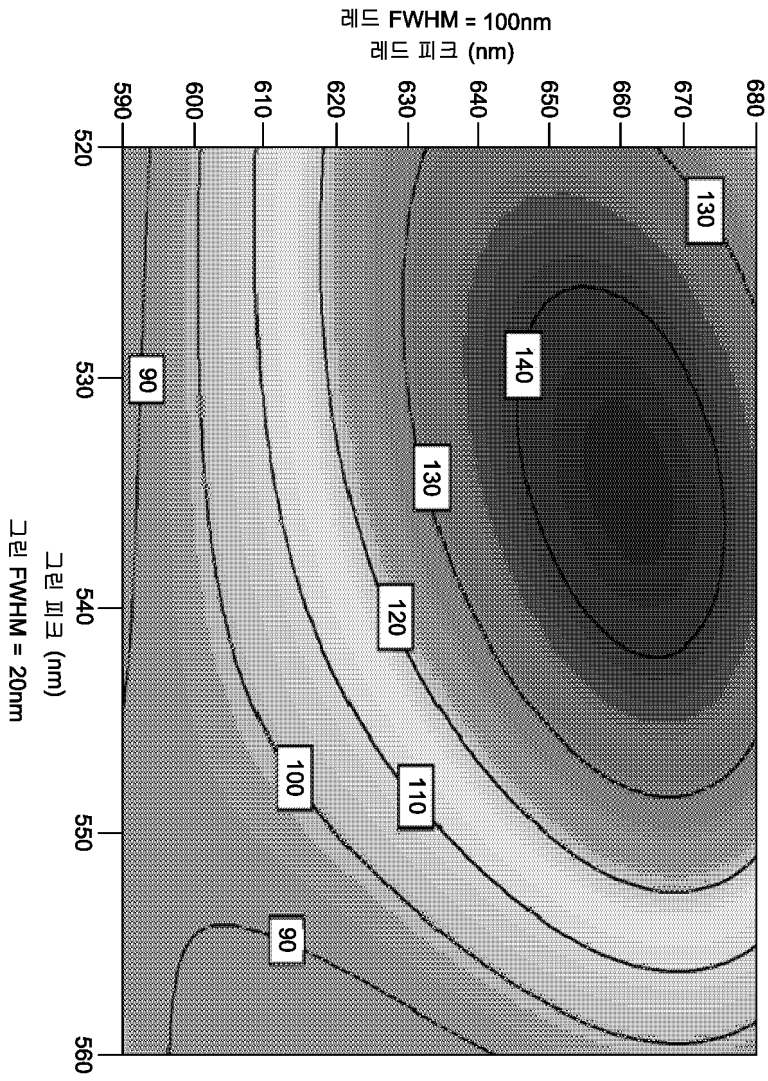
도면20h



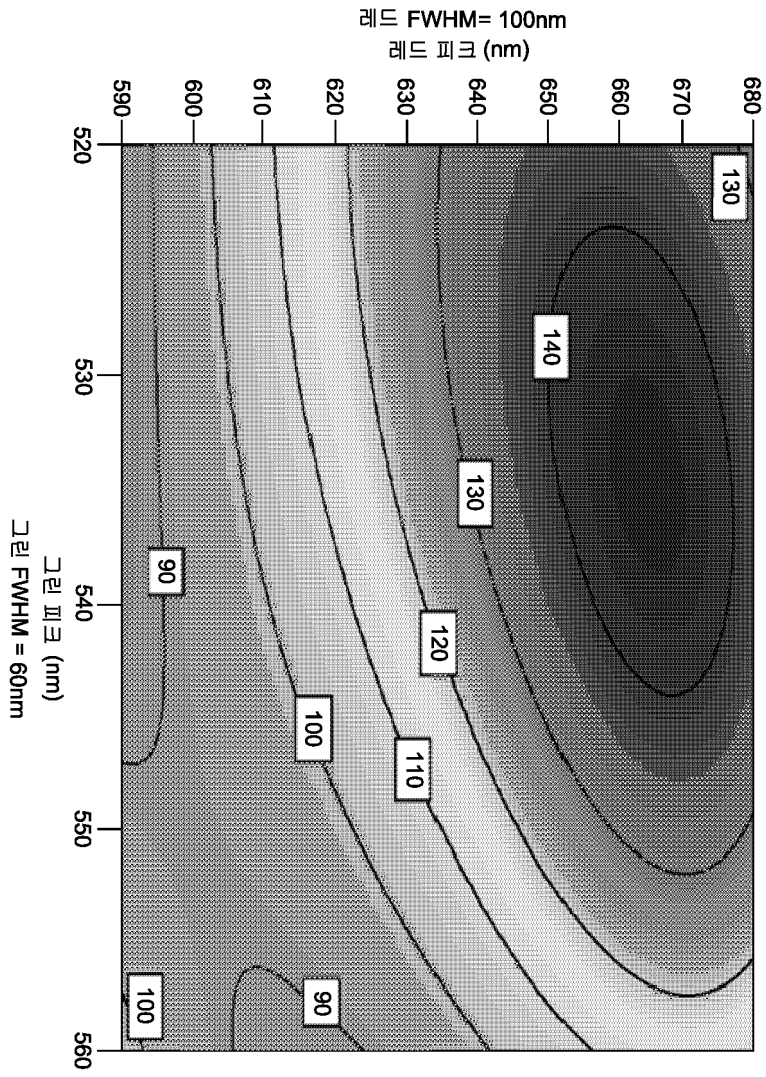
도면20i



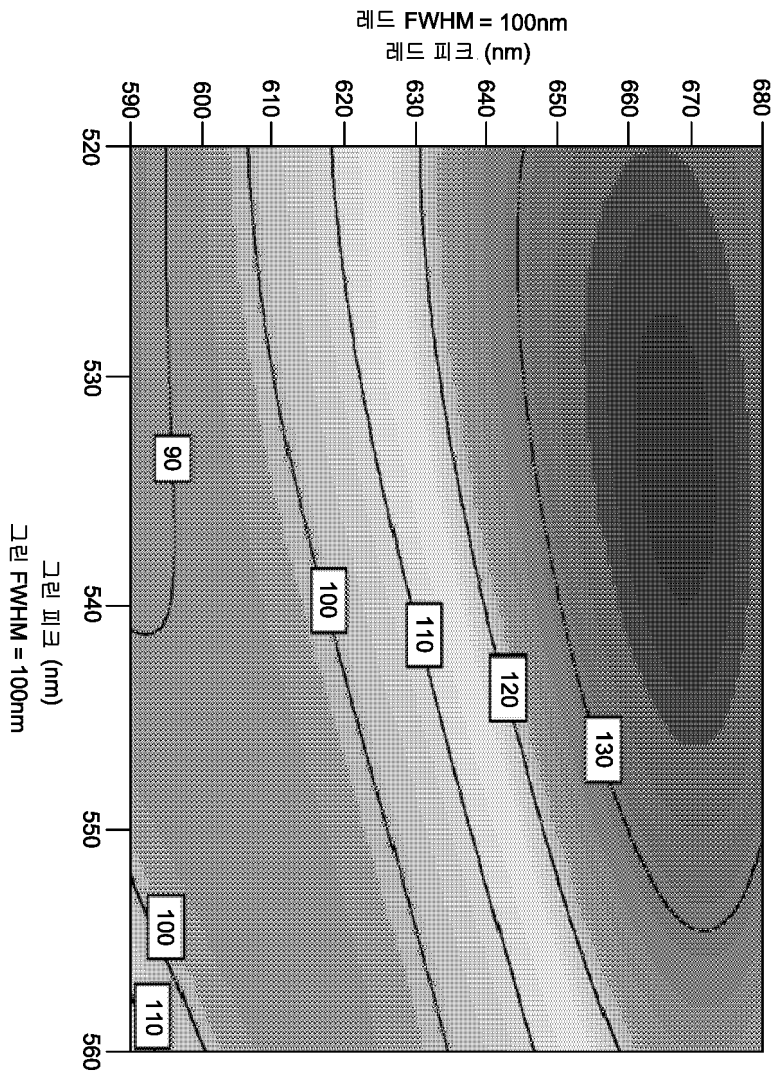
도면21a



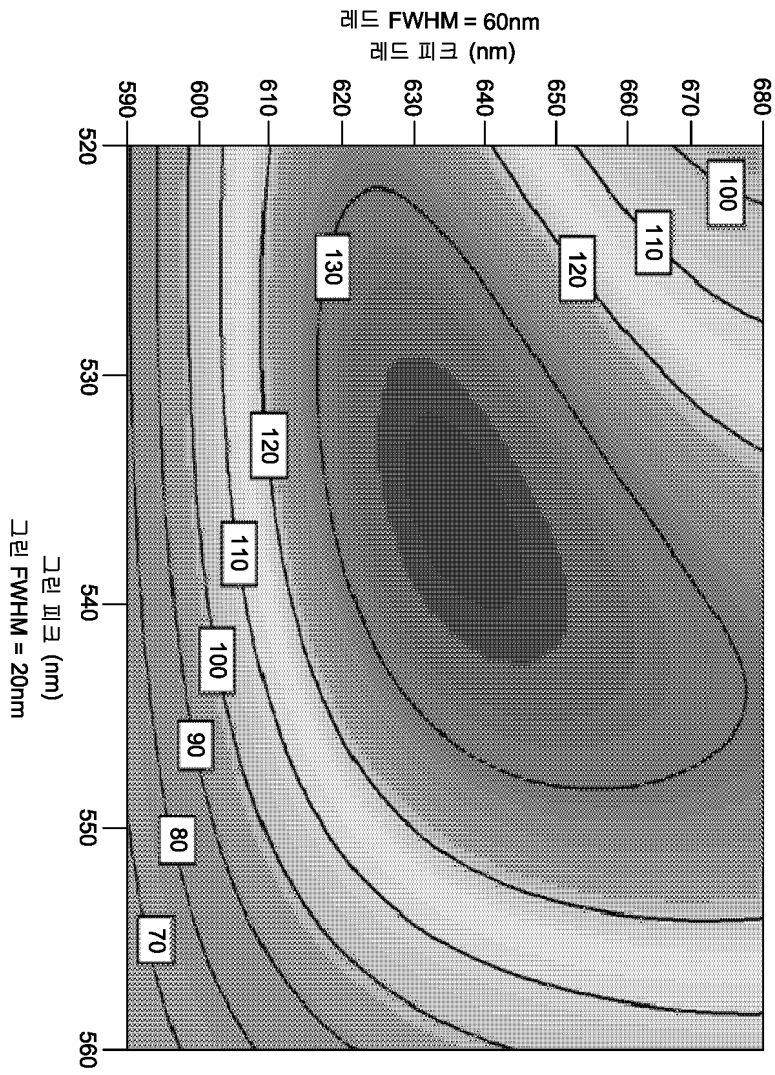
도면21b



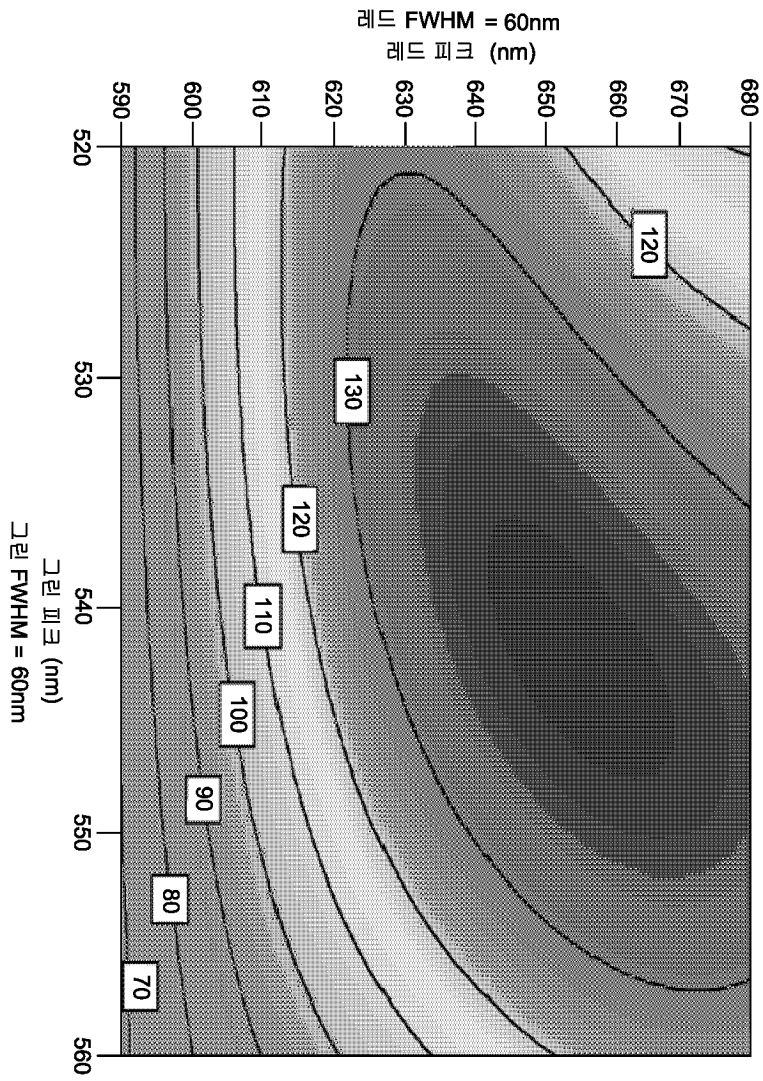
도면21c



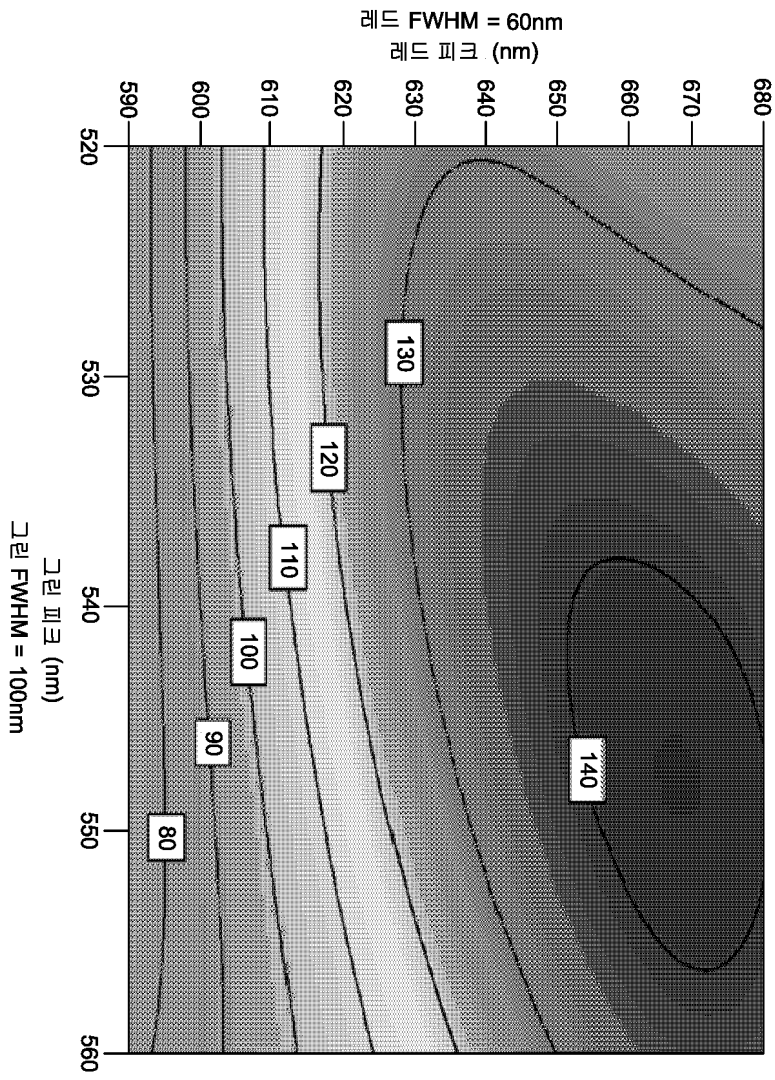
도면21d



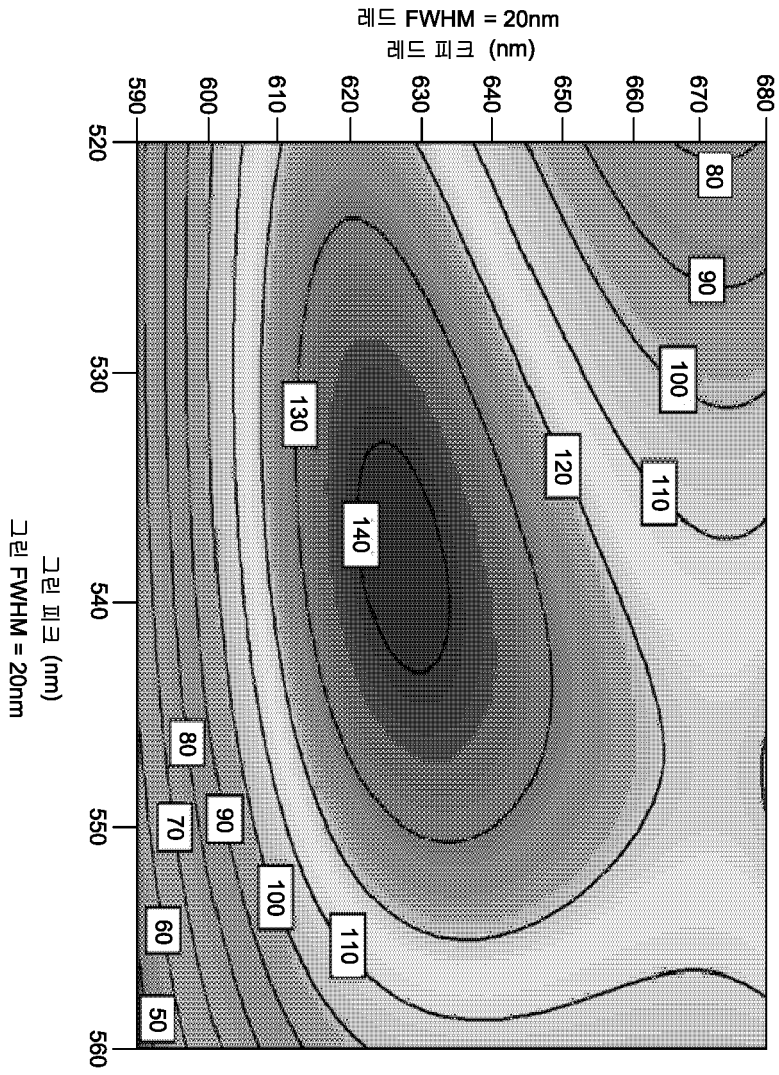
도면21e



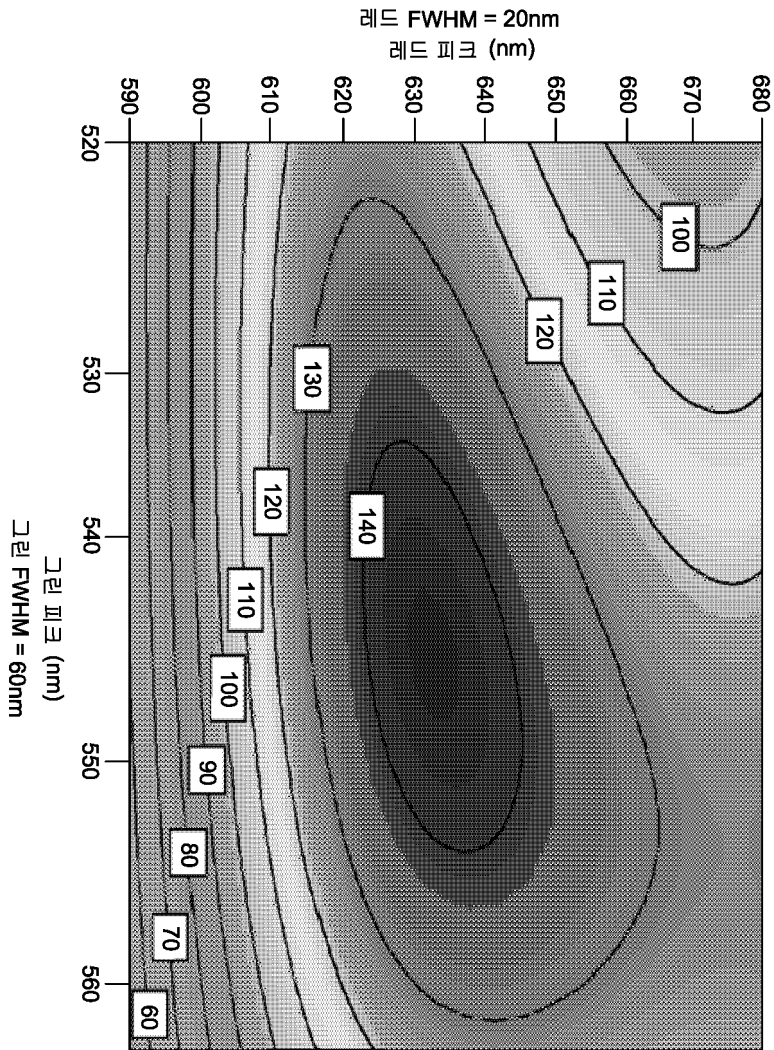
도면21f



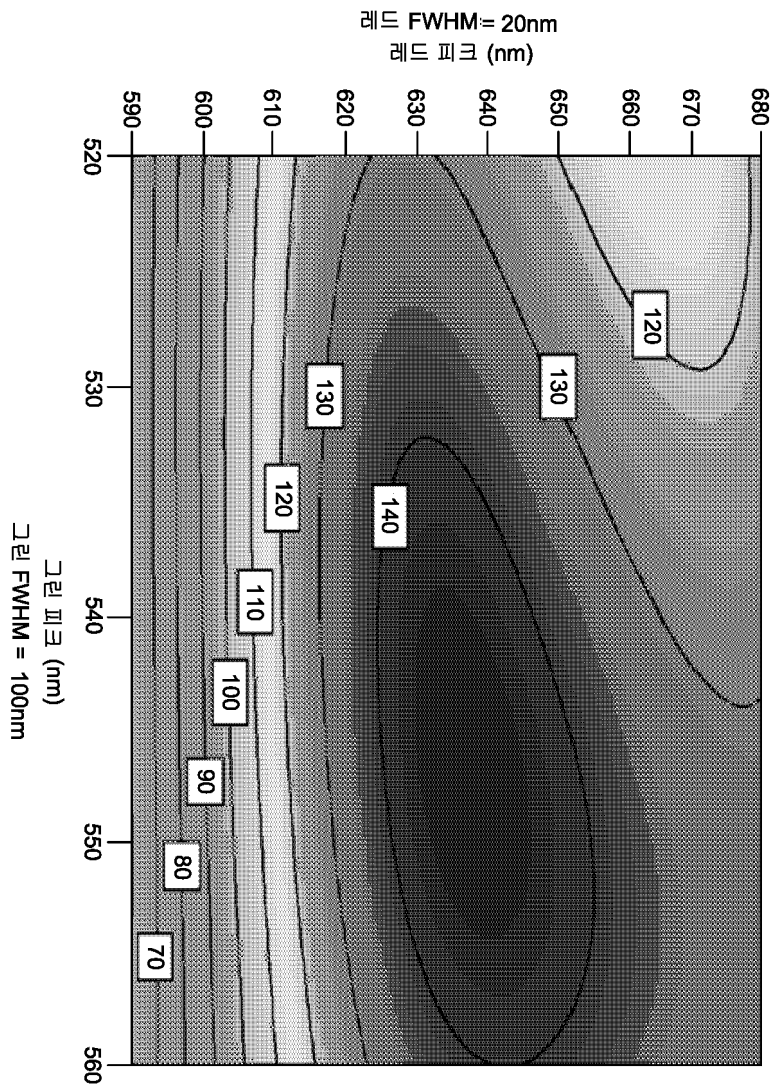
도면21g



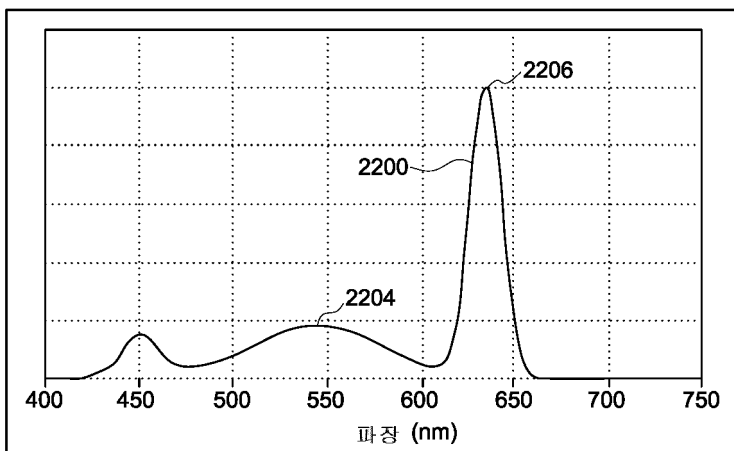
도면21h



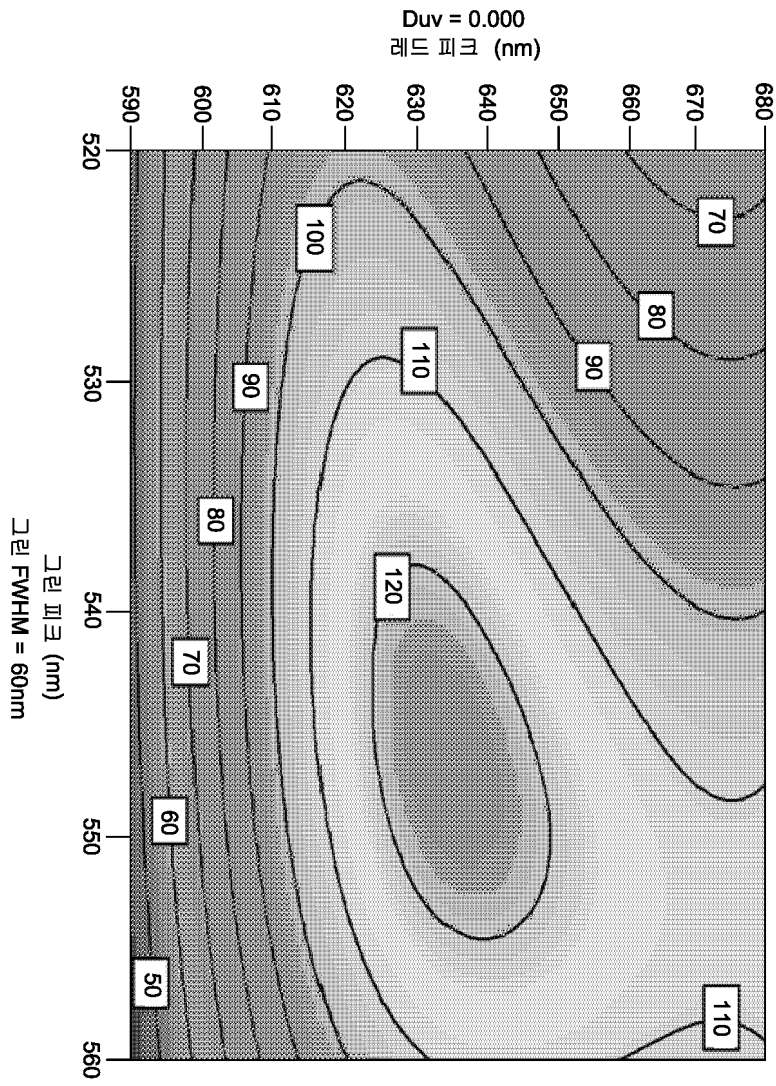
도면21i



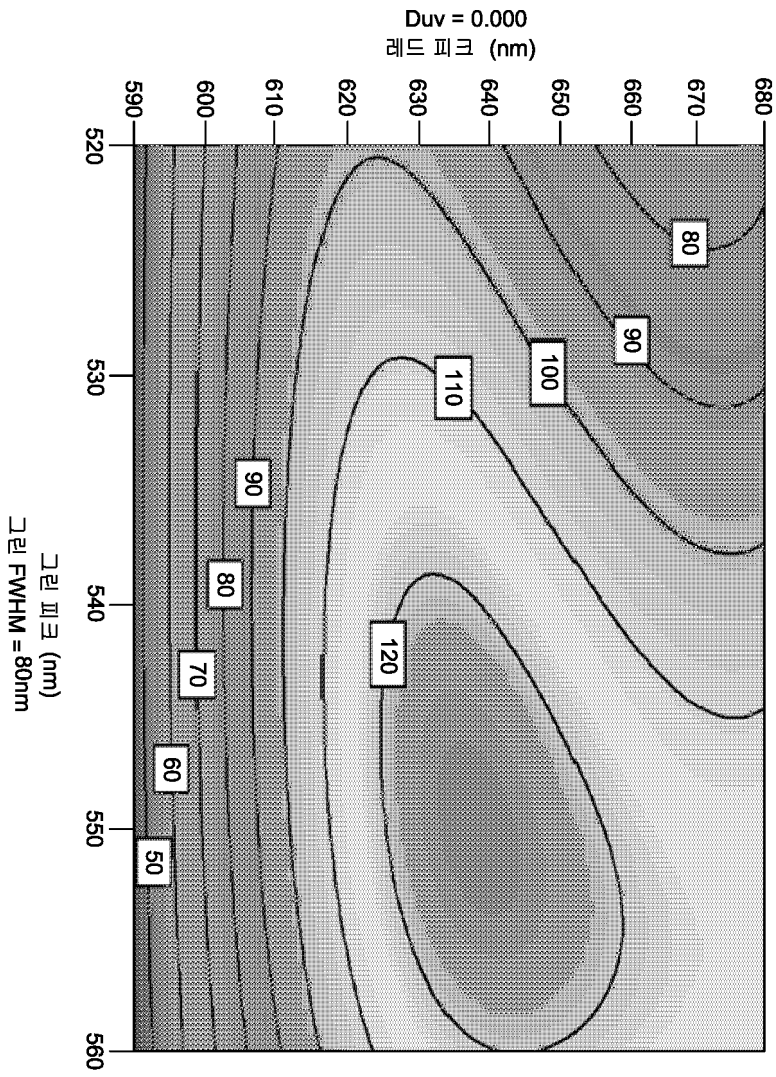
도면22



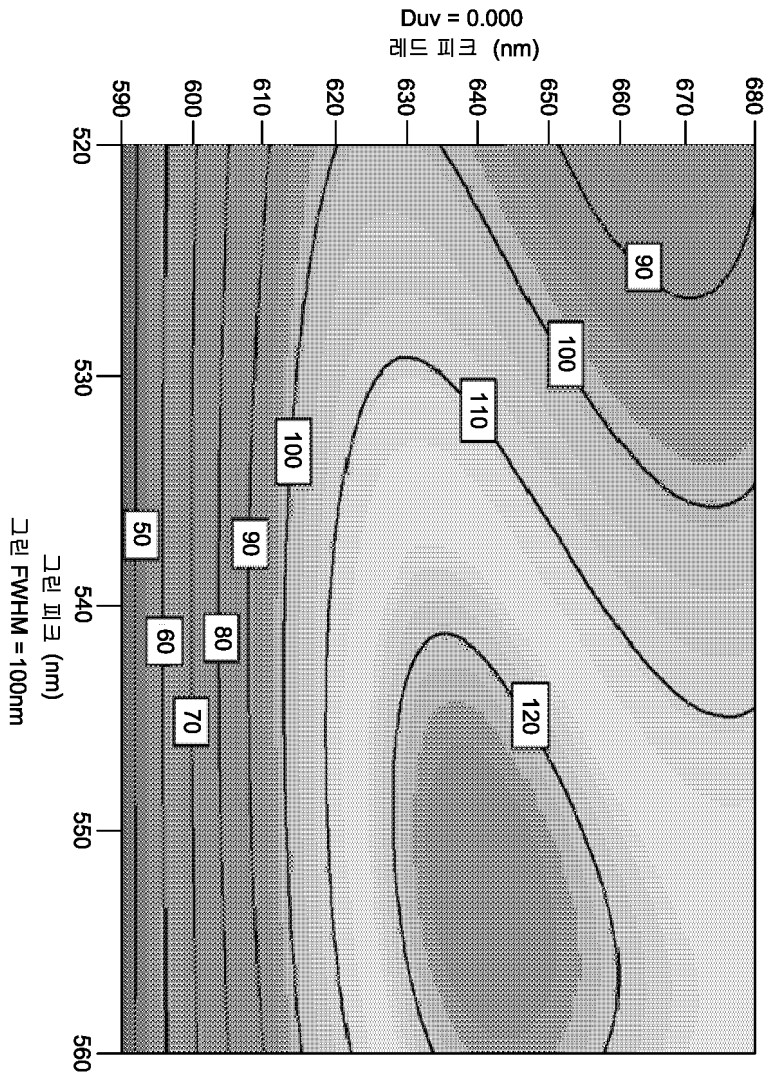
도면23a



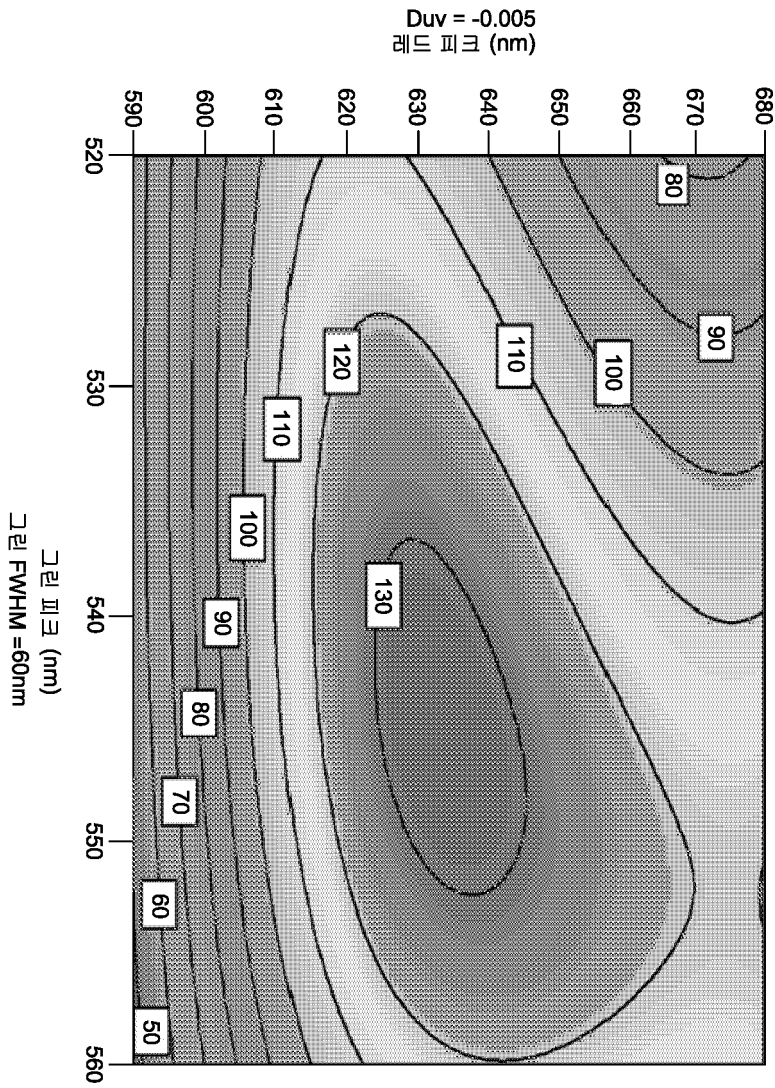
도면23b



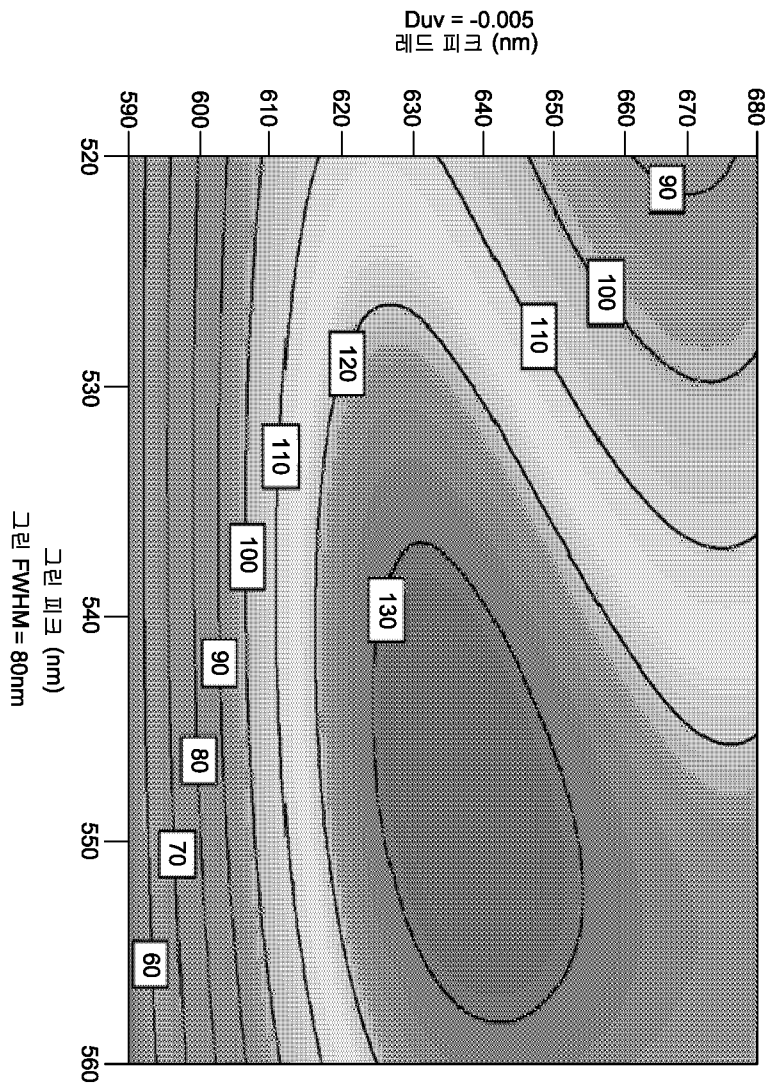
도면23c



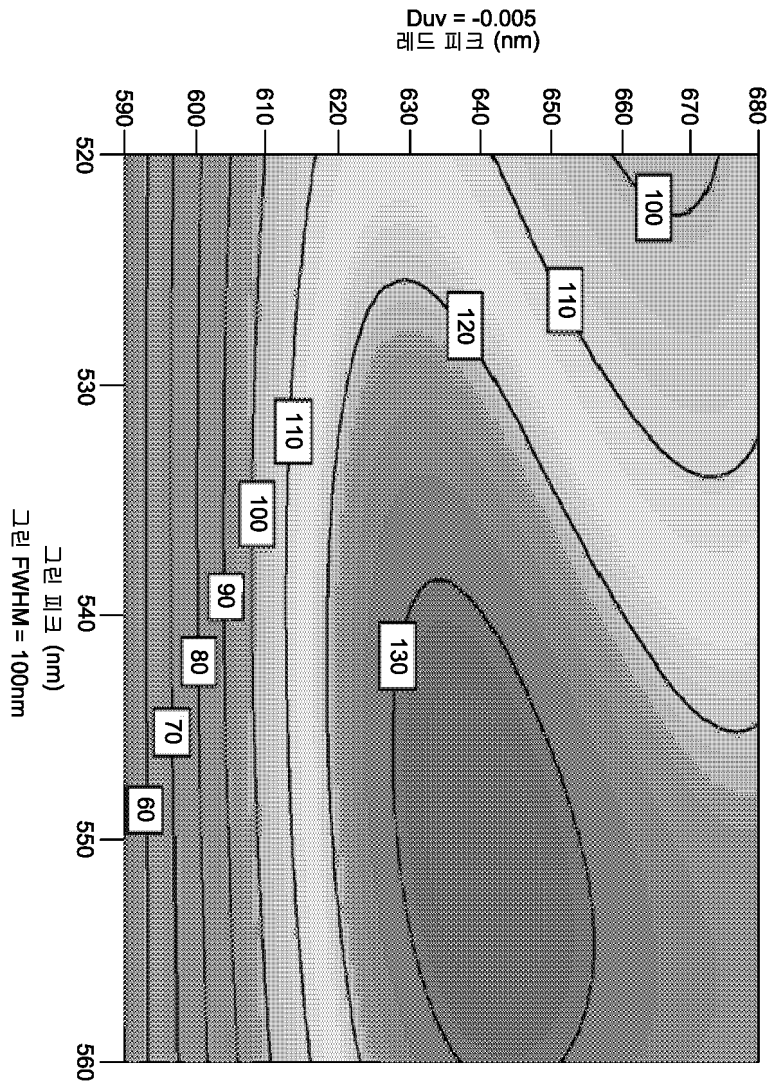
도면23d



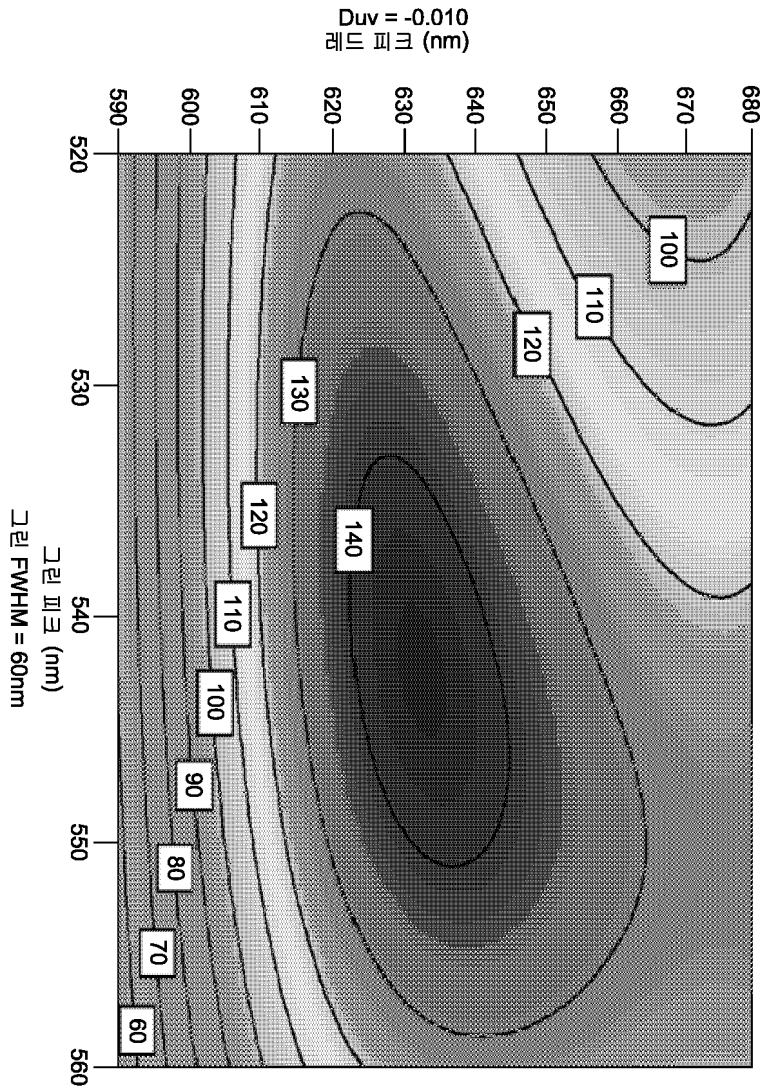
도면23e



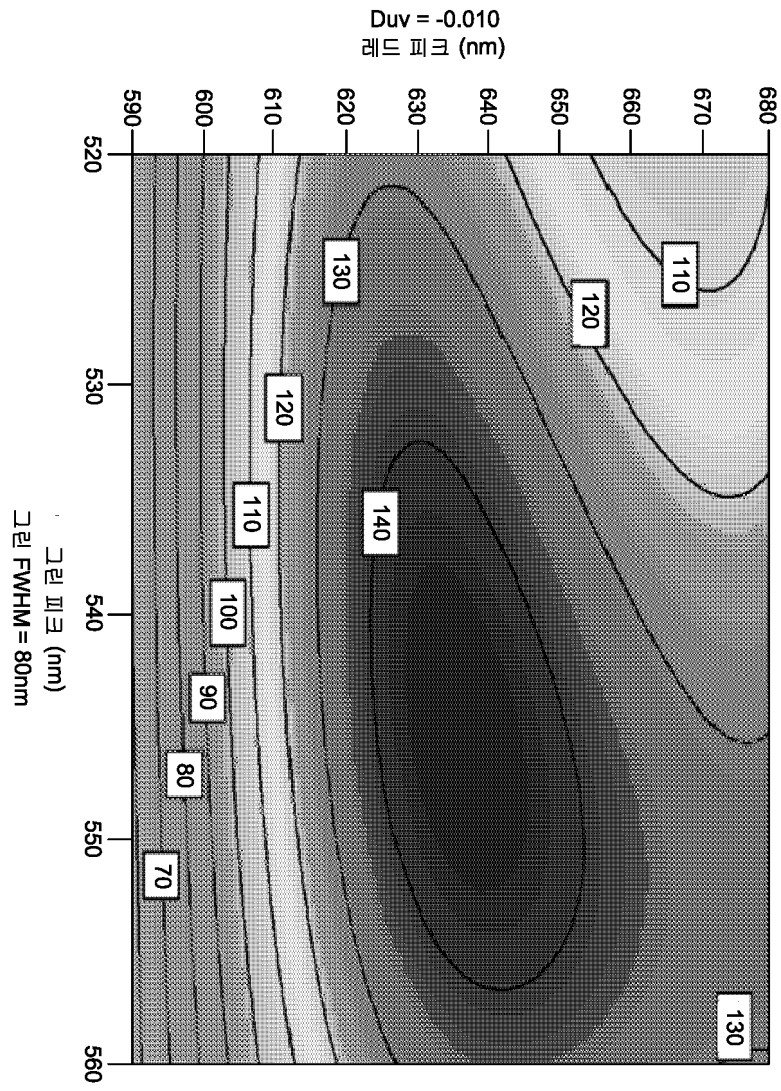
도면23f



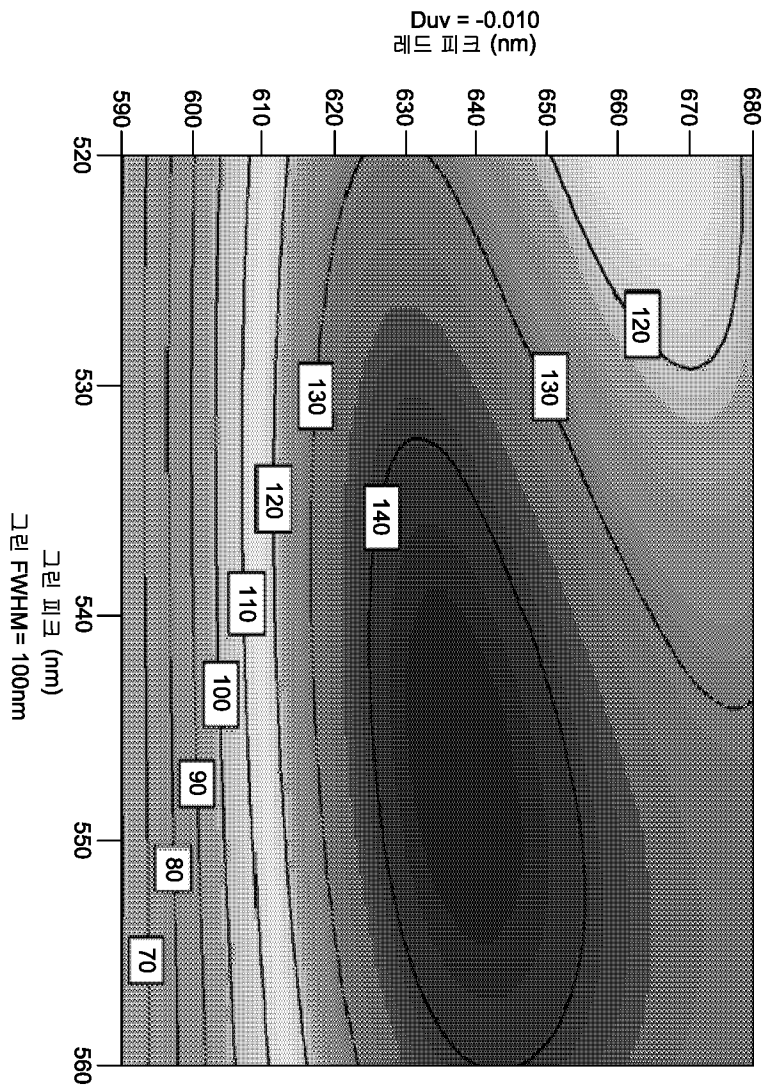
도면23g



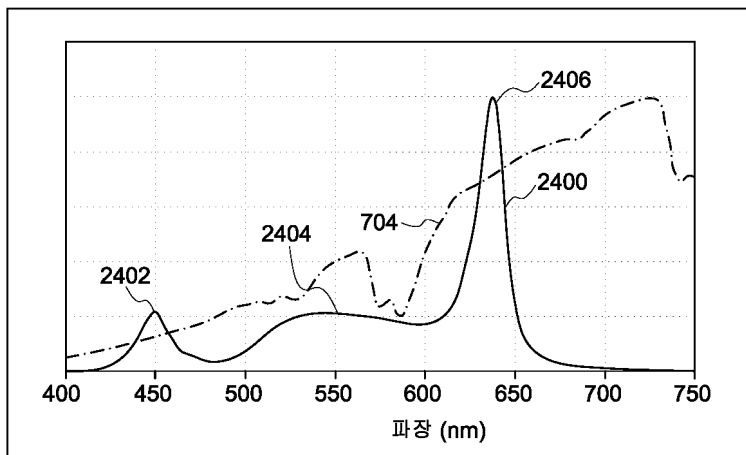
도면23h



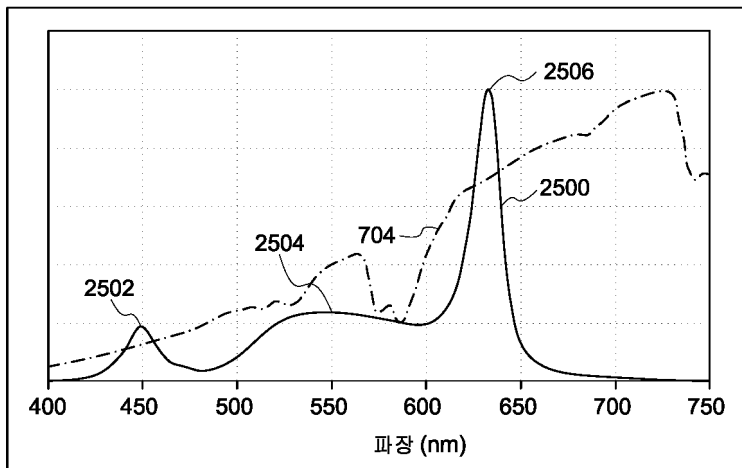
도면23i



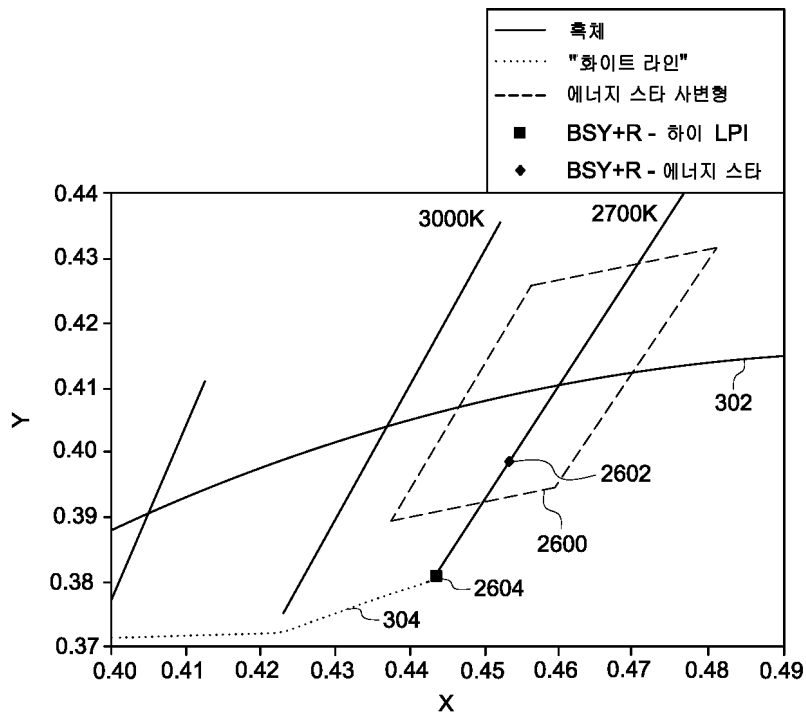
도면24



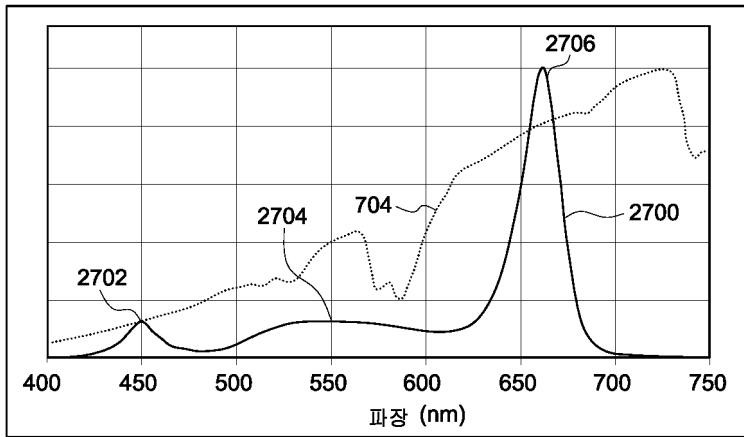
도면25



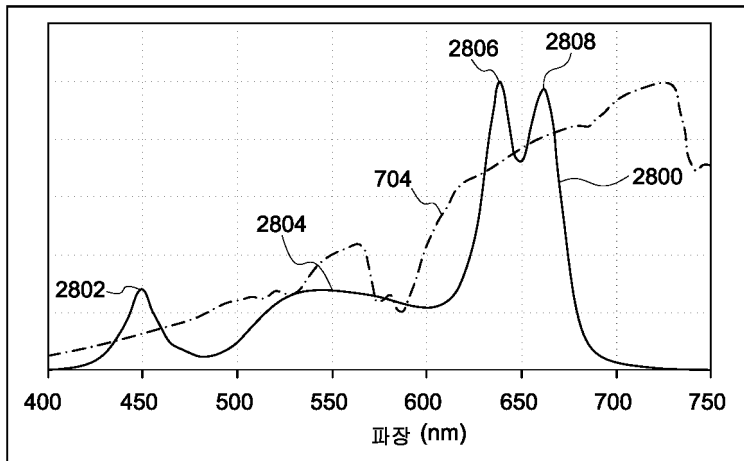
도면26



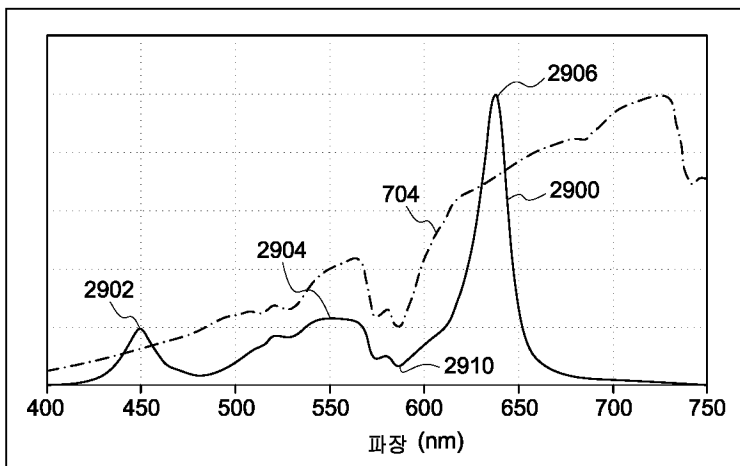
도면27



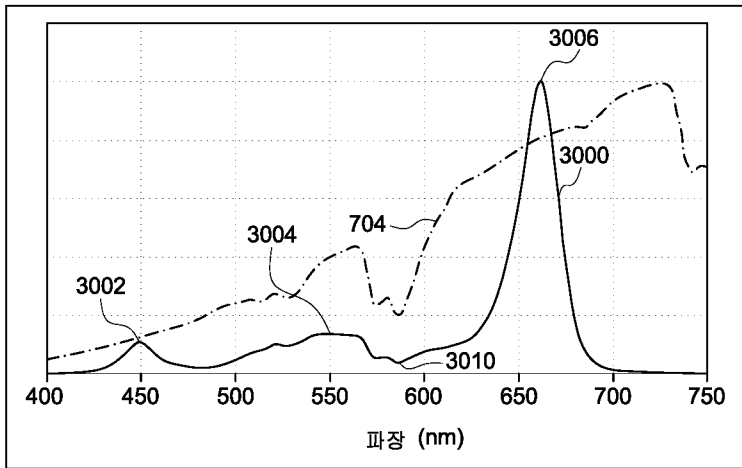
도면28



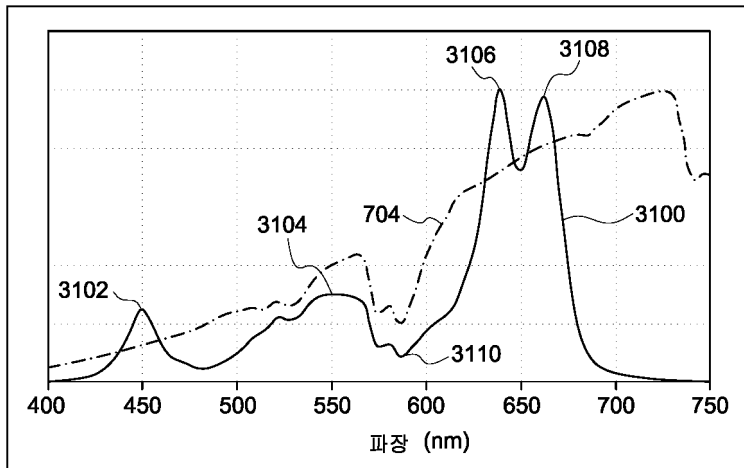
도면29



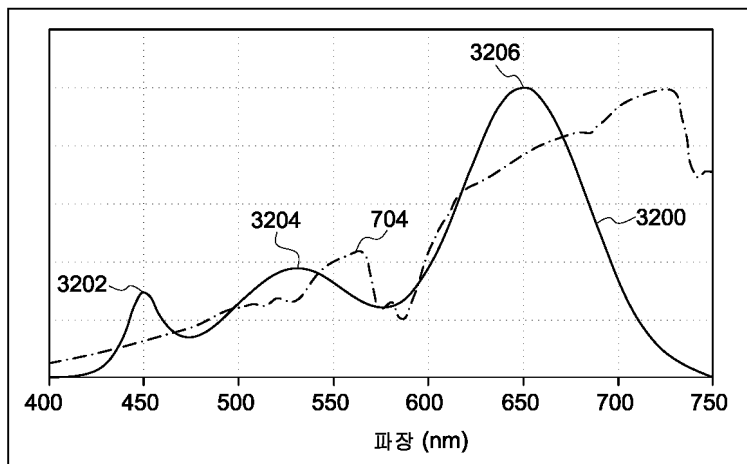
도면30



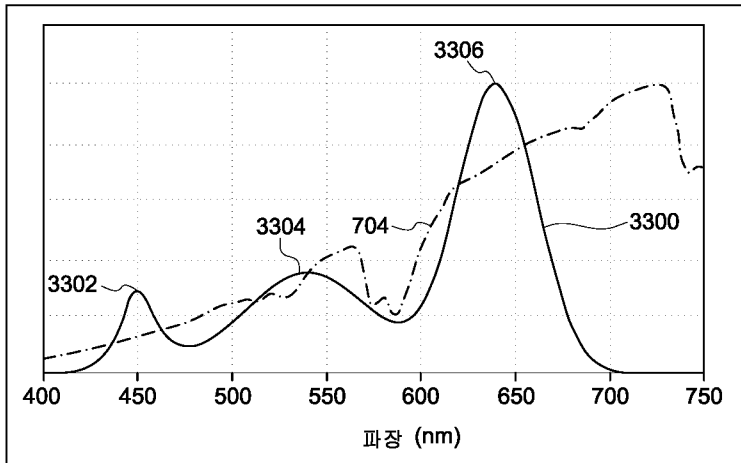
도면31



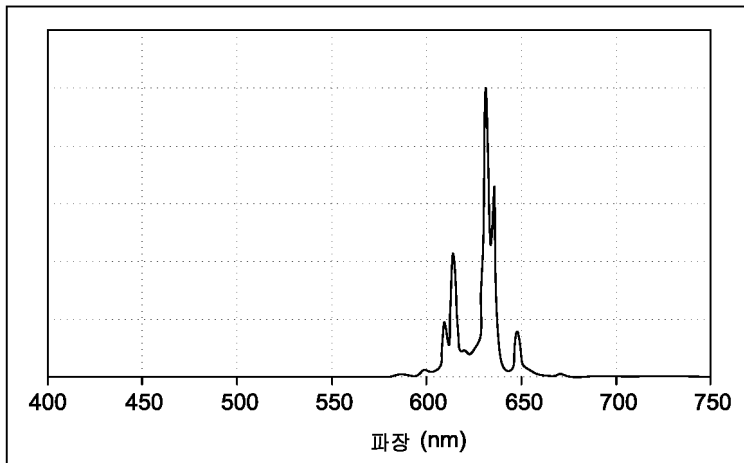
도면32



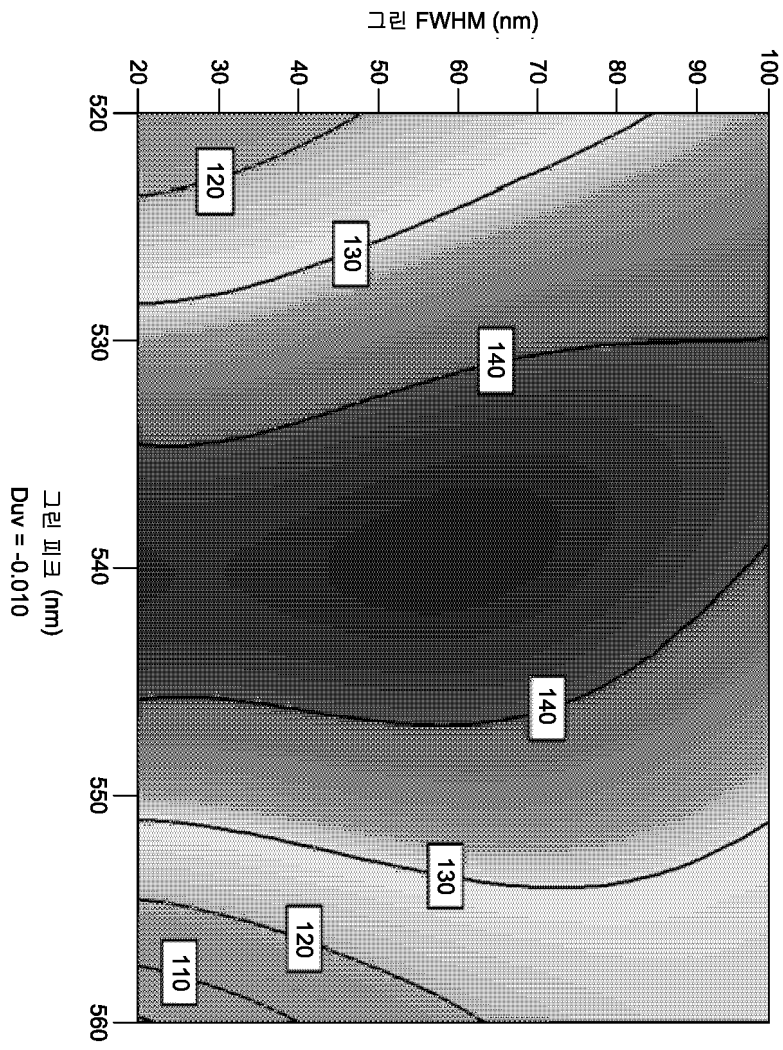
도면33



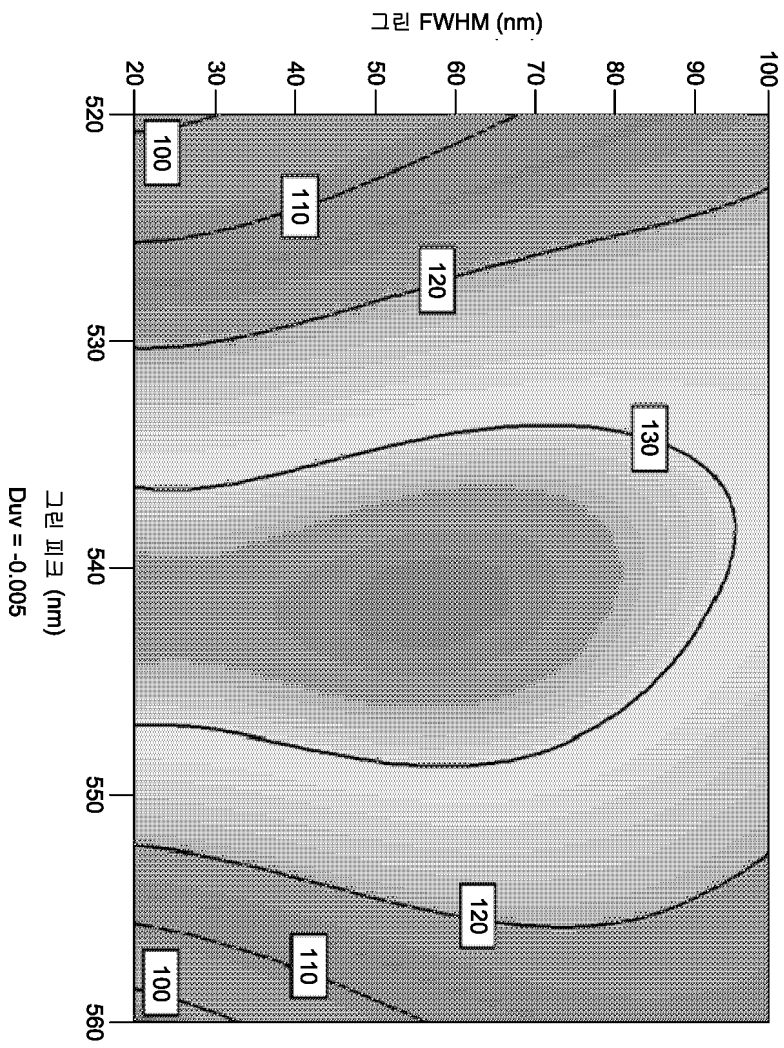
도면34



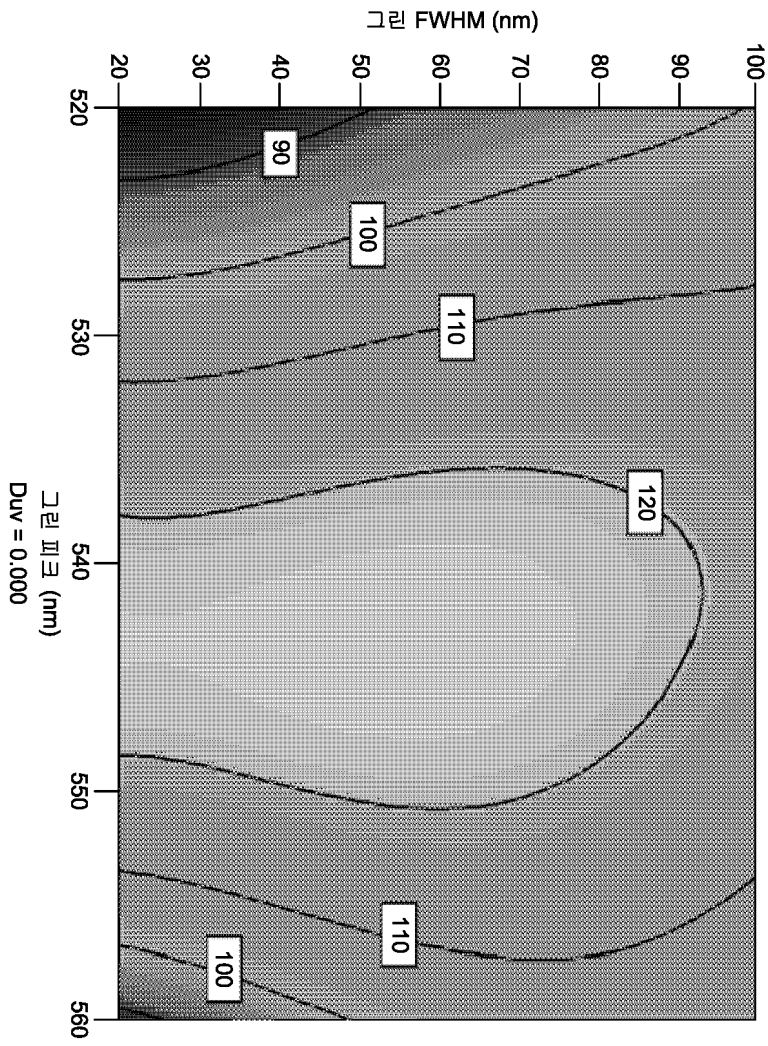
도면35a



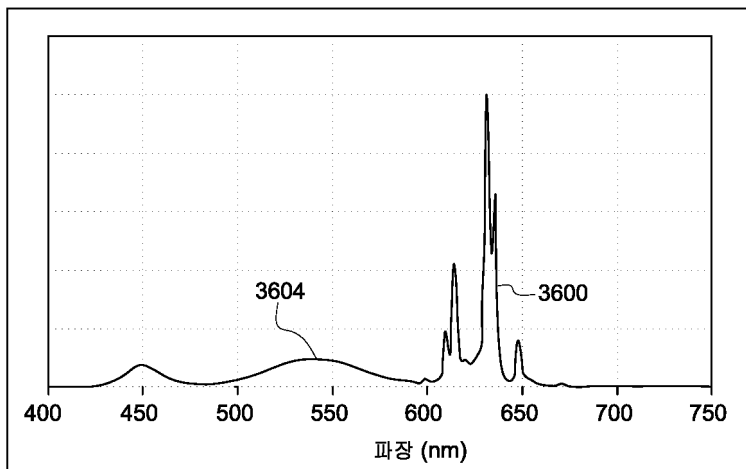
도면35b



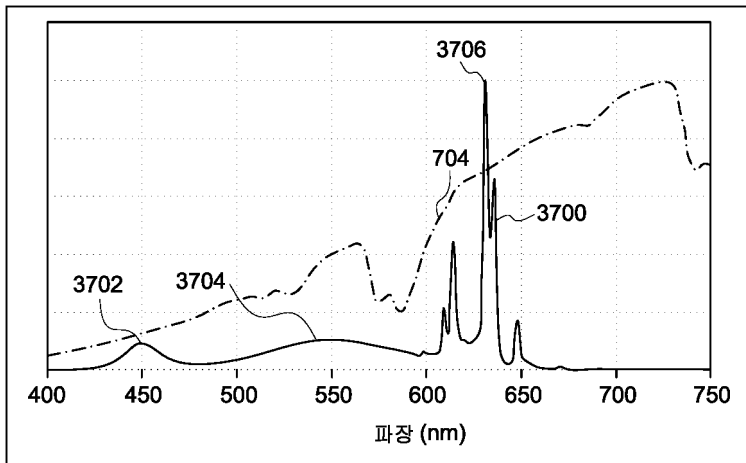
도면35c



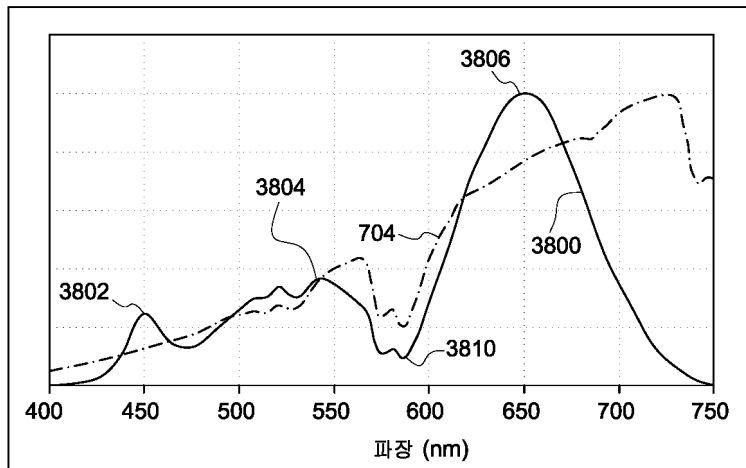
도면36



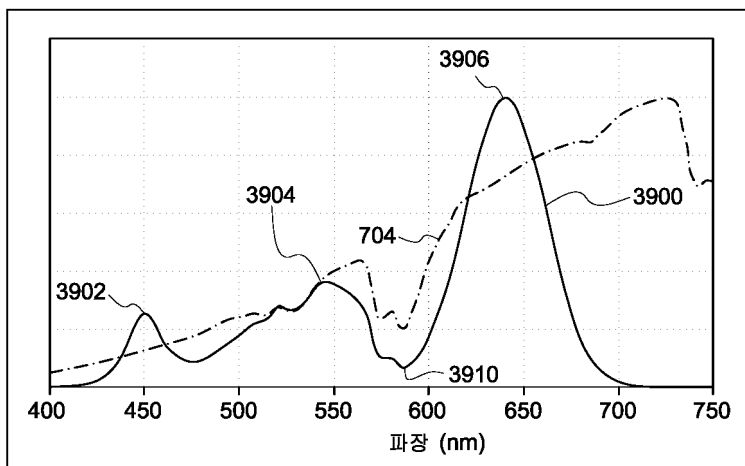
도면37



도면38



도면39



도면40

