

칼라 CCD 영상을 이용한 고휘도 LED 전구의 빔 열화 분석

Analysis of High Luminance LED Beam Degradation using Color CCD Image

조재완*, 최영수, 이재철, 구인수, 홍석봉
(Jai-Wan Cho, Young-Soo Choi, Jae-Chul Lee, In-Soo Koo, and Seok-Boong Hong)

Abstract: VLC (Visible Light Communication) is a wireless communication method using light that is visible to the human eye. It has a major advantage that it causes no interference to RF-based devices. This makes wireless communication possible in RF hazardous areas such as nuclear facilities. In order to apply VLC communication in harsh environment of nuclear power plant, the high luminance LEDs, which are key components of the VLC communication, have been gamma-ray irradiated at the dose rate of 4 kGy/h during 72 hours up to a total dose of 288 kGy. The radiation induced color-center was formed in the LED housing cap made of transparent plastic or acryl material. The beam degradations of high luminance LEDs by high dose-rate gamma-ray irradiation are analyzed using color CCD image processing technology.

Keywords: visible light communication, high luminance LED, gamma ray, color center, dose rate

1. 서론

원자로 건물(in-containment building) 내부의 센서/통신망 체계는 유선(실배선)으로 구축되어 있다. 이를 무선 센서/통신망 체계로 구축하기 위한 검토가 진행되고 있다[1]. 원자로가 정지된 상태의 예방정비기간에 원자로 건물 내부의 주요 설비에 대한 건전성 평가를 위해 센서(온도) 데이터를 무선으로 송수신하는 무선 데이터 전송시스템을 시험한 사례는 보고되고 있다[2]. 원자로를 가동하여 전력을 생산하는 상업운전기간에 무선 센서/통신망 체계가 원자로 건물 내부에 적용된 사례는 보고되지 않고 있다. 이는 무선단말에서 방출되는 전자파에 의한 EMI, RFI 에 의해 원자력발전소 안전성 관련 핵심기기, 계통 및 설비의 오동작이 초래될 수 있기 때문이다. 특히 방사선 감시계통(RMS: Radiation Monitoring System)의 고감도 방사선(능) 계측센서 및 전치증폭기 회로가 EMI, RFI에 취약하다. 무선 통신시스템이 원자력 발전소 안전계통의 주요기기, 계통 및 설비의 오동작을 야기하지 않으려면 무선단말의 전계강도가 미약해야 하고 직진성이 우수해야 한다. 무선 단말에서 방출되는 전자파의 전계강도가 크면 전자파 및 고주파 유도에 의한 방사선 감시계통의 오동작을 유발하여 방사성 물질 누출의 오 경보를 발생시켜 원자로를 정지시키거나 또는 방사성 물질이 누출됨에도 불구하고 방사선 감시계통의 경보가 발생되지 않아 원자로를 계속 가동하게 되고 이로 인해 방사성 물질이 원자로 건물 외부로 누출되는 중대 사고를 야기할 수 있기 때문이다. 원자로 건물내부에 무선 센서/통신망체계를 적용하기 위해서는 주파수, 전계강도, 데이터 전송 프로토콜 및 중계(hopping) 방식 등에 대한 기술검토와 분석이 선행되어야 한다. 이러한 기술검토와 분석을 토대로 무선 통신시스템에 대한 예비 안전성 평가 보고서(PSER: Preliminary Safety Evaluation Report), 인허가 평가

보고서(LER: Licensing Evaluation Report), 안전성 분석보고서(SAR: Safety Analysis Report) 등의 안전성 검증체계 개발이 요구된다. 이러한 안전성 검증체계 개발 및 시험평가에 상당한 시일이 소요되므로 미국 원자력 규제기관(NRC: Nuclear Regulation Council)에서도 20~30년 후에 건설예정인 GEN IV 등의 제 4세대 원전에 무선통신시스템이 채택될 것으로 예측하고 있다[3].

본 논문에서는 원자로 건물내부의 센서/통신망 체계로 가시광 무선 통신을 검토한다[4-6]. 가시광은 광파이므로 전자파 및 고주파 간섭이 없다. 또한 전자파에 비해 파장이 짧기 때문에 직진성(LOS: Line-of-Sight) 이 우수하다. 육안으로 관측되는 가시광을 변조하여 데이터를 전송하는 방식이므로 적절한 광학계 구성에 의해 원자로건물 내부의 안전계통기에 직접적인 영향을 끼치지 않는 통신선로를 구축할 수 있다. 가시광 무선통신 체계를 원자로 건물 내부의 센서/통신망에 적용하기 위해서는 가시광 무선통신 시스템이 설계기준 사고(DBA: Design Basis Accident) 요건의 고선량 감마선 피폭 환경에서 생존성이 검증되어야 한다[7].

본 논문에서는 가시광 무선 통신의 핵심소자인 고휘도 LED에 대해 고선량 감마선을 조사하였다. 원자로 냉각재 계통의 냉각수 온도 측정용 RTD (Resistance Temperature Detector) 센서의 설계기준사고 요건에 해당하는 4 kGy/h의 선량율로 72시간 동안 고선량 감마선을 조사하였다[8]. 누적피폭선량(TID: Total Irradiation Dose) 기준으로 288 kGy 이상의 감마선을 조사한 결과 고휘도 LED 전구에서 착색(browning effect) 현상이 발견되었다. 고선량 감마선 조사에 따른 고휘도 LED 전구의 착색 특성을 칼라 CCD 카메라를 이용한 영상처리기술로 분석하였다. 고 휘도 LED의 발광 패턴을 칼라 CCD 카메라로 관측한다. 관측된 LED 빔 패턴을 RGB 색상으로 분리하고 투영 프로파일링(projection profiling) 기법으로 RGB 성분의 세기를 구하였다. LED 빔 패턴을 가우시안 분포로 가정하고 RGB 성분의 빔 세기 분포곡선을 가우시안 함수로 모델링하여 고선량 감마선 조사에 따른 고휘도 LED의 빔 밝기 및 확산각을 비교하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 12. 16., 수정: 2010. 1. 7., 채택확정: 2010. 4. 13.
조재완, 최영수, 이재철, 구인수, 홍석봉: 한국원자력연구원
(jwcho@kaeri.re.kr/yschoi@kaeri.re.kr/jclee2@kaeri.re.kr/iskoo@kaeri.re.kr/boong@kaeri.re.kr)

II. 고휘도 LED의 고선량 감마선 조사

그림 1은 고휘도 백색 LED의 고선량 감마선 조사특성을 나타낸다. 직경이 3mm, 5mm, 8mm인 고휘도 LED 들을 고선량 감마선 조사하였다.

고휘도 LED의 전기적 특성인 문턱전압은 감마선 조사전이나 조사후에도 두드러진 차이는 없었다. 투명 아크릴 또는 플라스틱 재질의 LED 전구는 고선량 감마선 조사후에 갈색으로 착색되었다. 본 논문에서는 LED 전구(하우징)의 착색이 LED의 빔 특성에 어떠한 영향이 있는지를 규명한다. 칼라 CCD 카메라와 간단한 영상처리 (투영 프로파일 분석) 알고리즘을 이용하여 고선량 감마선 조사 전후의 LED 빔의 발광 패턴을 분석하였다.

III. 실험 및 결과

감마선 조사에 따른 LED 빔의 발광 패턴을 분석하기 위하여 그림 2와 같이 실험 장치를 구성하였다. LED 구동회로에서 40~60mA의 DC 전류를 공급한다. LED 빔은 간유리에 빔 패턴이 형성된다. 이를 칼라 CCD 카메라로 간유리에 맺힌 LED 빔 패턴을 획득한다. 측정에 사용한 고휘도 LED는 적색, 녹색, 청색, 황색 및 백색의 5 종류이다. 이들의 전기 광학적 특성을 표 1에 나타낸다. 고선량 감마선에 피폭된 고휘도 LED들과 감마선에 노출되지 않은 고휘도 LED들의 빔 패턴을 영상으로 획득하고 이들의 빔 패턴을 R,G,B 성분으로 분리하고 각각의 R,G,B 영상에 대해 투영 프로파일링 처리를 통해 빔의 세기 분포곡선을 구하였다. LED 빔 패턴의 관측 영상은 배경 조명의 영향을 줄이기 위해 야간의 암실 환경에서 구하였다. 투영 프로파일링 기법은 식 (1), (2)에 나타난 바와 같이 축 또는 축 방향으로 LED 빔의 세기를 적분한 것이다. 이를 이용하면 잡음이나 국부적인 변화에 강건한 LED 빔의 세기분포를 구할 수 있다. 식 (1), (2)에서 h, v는 2차원 영상의 수평, 수직방향 크기이고, X_n 은 수평방향의 n번째 영상좌표에서 수직(Y축) 방향으로 영상의 밝기를 합산한 값이며, Y_n 은 수직방향의 n 번째 영상좌표에서 수평(X축) 방향으로 영상의 밝기를 합산한 값이다. 본 논문에서 사용한



그림 1. 고휘도 백색 LED의 고선량 감마선 조사.
Fig. 1. High dose-rate gamma irradiation of high luminance LED.

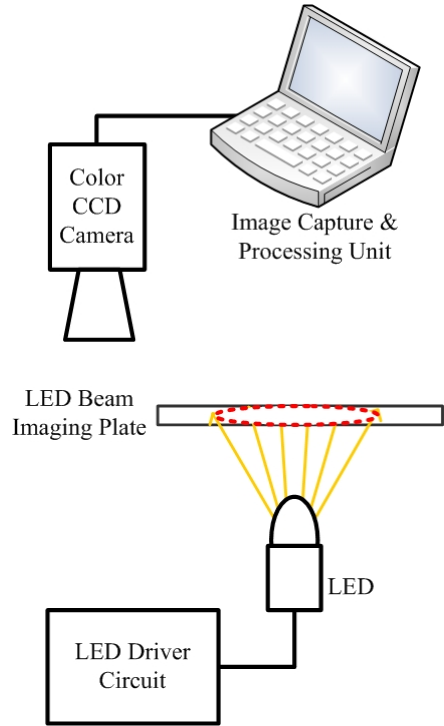


그림 2. LED 빔 패턴 측정 장치.
Fig. 2. The measurement unit of an LED beam pattern.

표 1. 고휘도 LED의 전기 광학적 특성.

Table 1. Electrical characteristics of high luminance LEDs.

Color	Forward Voltage (V)		Luminous Intensity (mcd)		View Angle (deg)	Dominant Wavelength (nm)	
	min	max	min	max	typ.	min	max
Red	1.7	2.6	2,100	5,800	35	615	635
Green	2.8	4.0	4,500	9,900	30	510	535
Blue	2.8	4.0	1,200	3,500	30	450	480
Yellow	1.8	2.6	4,500	7,600	35	583	600
White	2.7	3.3	5,000 @ 20 mA		30		

영상의 크기는 640×480 이므로 h=640 이고, v=480 이다.

$$X_n = \sum_{i=0}^h Y_i, \quad n \in [0, v] \tag{1}$$

$$Y_n = \sum_{i=0}^v X_i, \quad n \in [0, h] \tag{2}$$

그림 3, 4는 감마선 조사 전과 고선량 감마선 조사 후의 고휘도 녹색 LED의 빔을 칼라 CCD 카메라로 관측한 영상을 나타내고 있다. 고휘도 녹색 LED의 RGB 성분의 빔 세기 분포를 투영 프로파일링 기법으로 구한다. 그리고 감마선 조사 전후의 RGB 성분중에서 최대값을 기준으로 정규화처리를 수행한 결과를 그림 5, 6에 나타내고 있다. 그림 5, 6에서 고선량 감마선 조사후의 고휘도 녹색 LED의 빔의 세기는 감마선 조사 전에 비해 감소되었다. 투영 프로파일링 기법에 의해 구한 LED 빔의 세기분포는 가우시안 분포를 보이고 있다. 따라서 위의 분포곡선을 식 (3)과 같이 가우시안 함수로 모델링하고 데이터 fitting을 통해 가우시안 함수를 도출하였다.

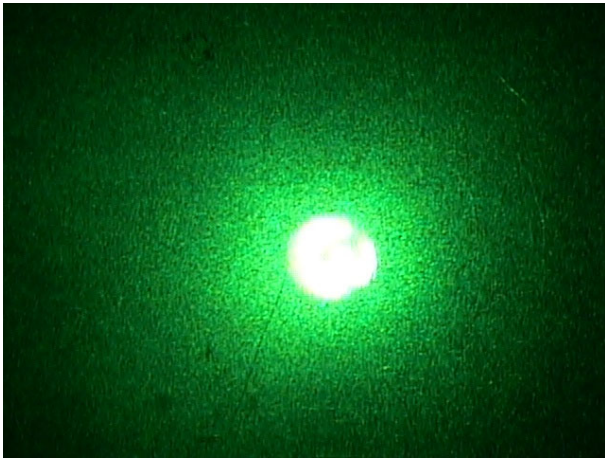


그림 3. 녹색 LED의 빔 패턴 (조사 전).
Fig. 3. Beam pattern of green LED (before gamma ray).

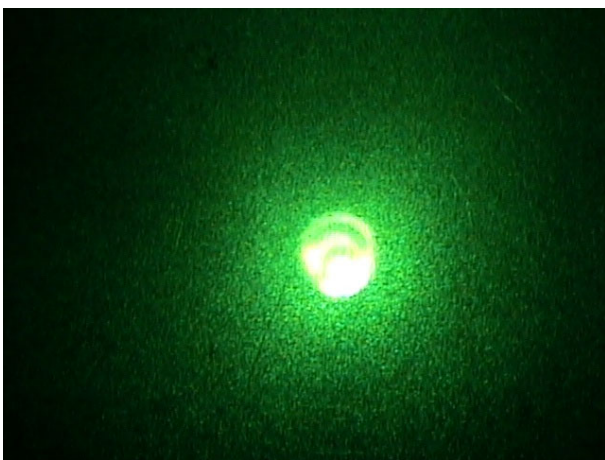


그림 4. 녹색 LED의 빔 패턴 (288 kGy 조사 후).
Fig. 4. Beam pattern of green LED (after 288 kGy).

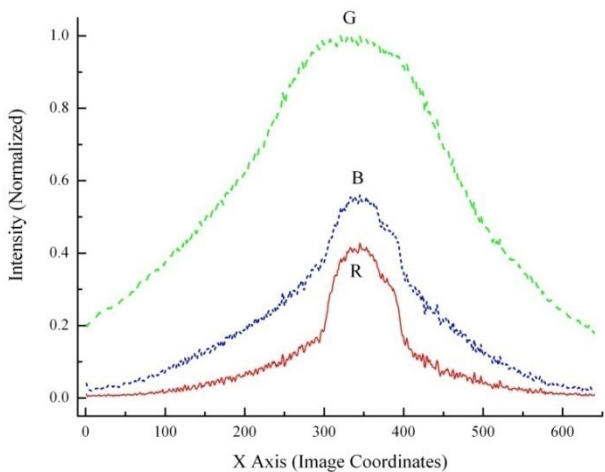


그림 5. 고휘도 녹색 LED의 빔세기 분포 (조사 전).
Fig. 5. Beam intensity profile of high luminance green LED (before gamma ray irradiation).

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{2(x-x_c)^2}{w^2}} \quad (3)$$

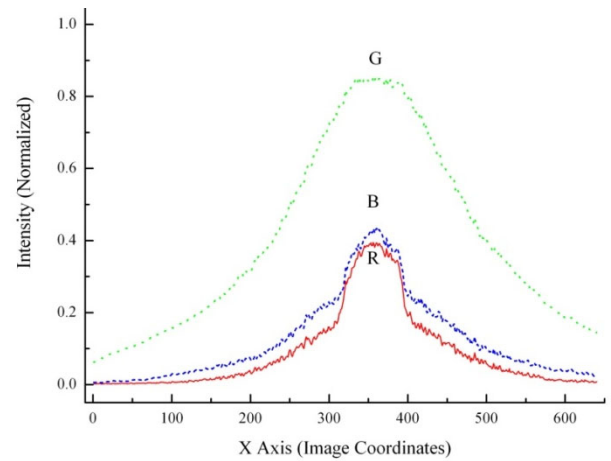


그림 6. 고휘도 녹색 LED의 빔세기 분포 (288 kGy 조사 후).
Fig. 6. Beam intensity profile of high luminance green LED (after 288 kGy gamma ray irradiation).

$$y_{max} = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} = y_0 + \frac{A}{1.2533w}, x = x_c \quad (4)$$

그림 7, 8에는 그림 5, 6의 분포 곡선 중에서 녹색 파장 성분만을 취하여 가우시안 함수로 모델링한 결과를 나타내며 표 2에 찾아낸 가우시안 함수의 진폭 A, 폭 w 및 빔 퍼짐 각 w/A 를 나타내었다. 그림 9는 고선량 감마선 조사전후의 고휘도 녹색 LED의 가우시안 모델 비교 곡선을 나타낸다. 그림 9는 그림 7, 8의 가우시안 모델 곡선으로부터 DC 성분 y_0 를 각각 제거하여 비교하였다. 그림 9의 비교 곡선과 표 2로부터 고선량 감마선 조사에 따른 고휘도 LED 전구의 착색으로 식 (4)에 나타난 빔의 최대진폭 (y_{max})는 약 11% 감소하고 빔 퍼짐각 (w/A)은 약 5.5% 증가함을 알 수 있다.

그림 10은 가시광 통신의 개념도를 나타내고 있다. 전송 데이터를 LED 구동회로를 통해 LED 발광파장의 빛으로 변환하여 공간에 방출한다. PD (Photo Detector)는 LED에 반대되는 개념의 수광 소자이다. 공간에 방출된 빛을 PD로 검출하고 증폭/복조 처리를 통해 전송 데이터를 복원한다. PD의 성능 지수는 양자효율(quantum efficiency, A/W)로 정의하며 빛의 광량(W)에 비례하는 전류(A)를 생성한다. 일반적으로 PD의 유효 단면적(수광 면적)에 보다 많은 빛이 모일수록 생성되는 전류가 증가하므로 신호의 복원이 용이하다. 빔 폭이 증가하면 LED와 PD 사이의 데이터 전송거리가 일정하다고 가정하면 PD의 유효 단면적에 LED 빔이 입사되는 광량이

표 2. 고휘도 녹색 LED 빔의 가우시안 모델 파라미터.
Table 2. Gaussian model parameters of high luminance green LED.

Parameter	Before gamma ray irradiation	After gamma ray irradiation (288kGy)
y_0	0.14	0.06
x_c	330.29	362.32
w	244.69	204.83
A	262.36	196.47

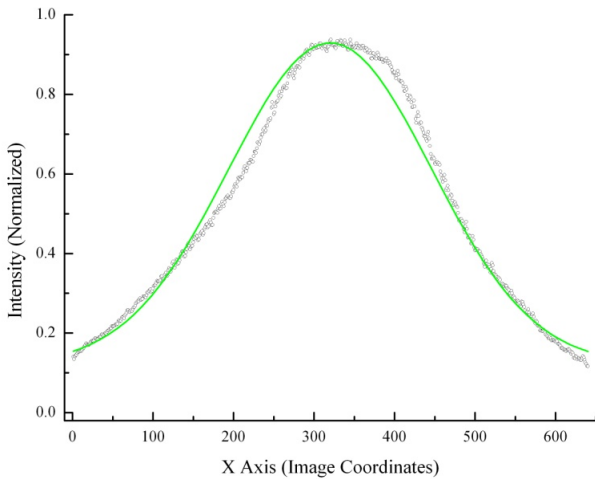


그림 7. 고휘도 녹색 LED(G)의 빔세기 분포 가우시안 모델 (조사 전).

Fig. 7. Gaussian model of beam intensity profile of high luminance LED(green). (before gamma ray).

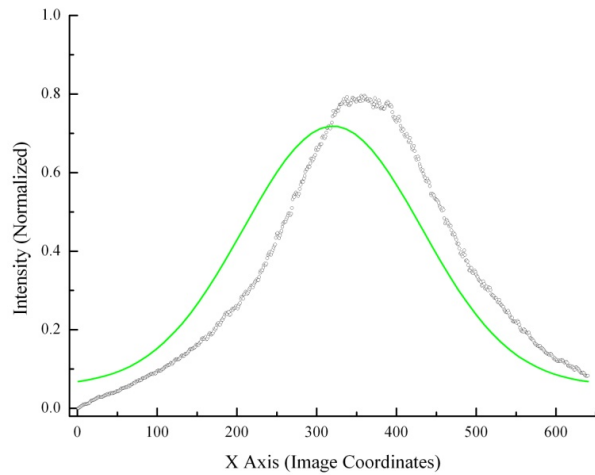


그림 8. 고휘도 녹색 LED(G)의 빔세기 분포 가우시안 모델 (288 kGy 조사후).

Fig. 8. Gaussian model of beam intensity profile of high luminance LED(green). (after 288 kGy).

감소함을 의미한다. 이는 LED 변조 데이터의 정확한 복원을 어렵게 한다. 임의의 발광각 ϕ 에서의 광도(luminous intensity)는 식 (5)와 같이 표현된다[9].

$$I(\phi) = I(0)\cos^m(\phi) \tag{5}$$

식 (5)에서 m 은 Lambertian emission 계수로 다음과 같이 정의된다.

$$m = \frac{\ln 2}{\ln(\cos\Phi_{1/2})} \tag{6}$$

LED 광원으로부터 임의의 지점 (x, y) 에서의 조도(illuminance)는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{hor} = \frac{I(0)\cos^m(\phi)\cos(\psi)}{D_d^2} \tag{7}$$

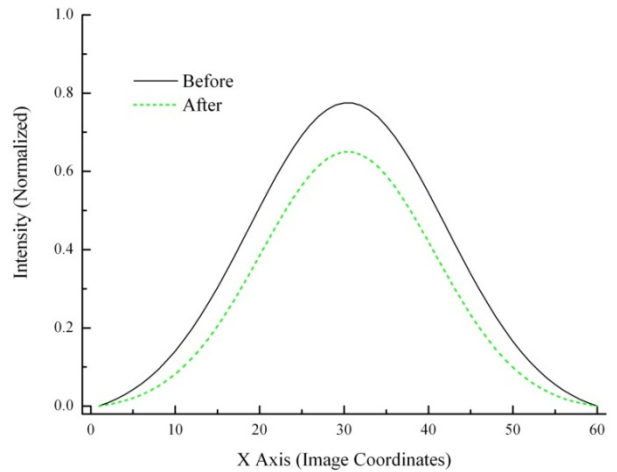


그림 9. 고선량 감마선 조사 전후의 고휘도 녹색 LED(G)의 빔 세기분포 가우시안 모델

Fig. 9. Gaussian models of beam intensity profile high luminance LED(green)s.

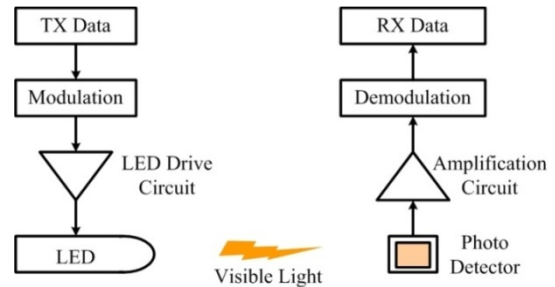


그림 10. 가시광 무선통신의 개념도.

Fig. 10. Concept of visible light communication.

식 (7)에서 ϕ 는 LED의 조사각(irradiance angle) 이고 ψ 는 입사각이다. D_d 는 LED 광원과 PD의 유효 수광표면 사이의 거리이고 $I(0)$ 는 LED 중심부의 조도이다. 본 연구에서는 LED와 PD는 동일 광축에 위치한다고 가정한다. 그러면 입사각 ψ 는 0° 또는 $\pi(180^\circ)$ radian 이므로 식 (7)은 다음과 같이 표현된다.

$$E_{hor} = \frac{I(0)\cos^m(\phi)}{D_d^2} \tag{8}$$

Lambertian emission 계수 m 은 표 1의 고휘도 녹색 LED의 $\Phi_{1/2}$ 값을 대입하면 약 -4.82 이다. 식 (8)에서 데이터 전송거리는 LED 중심부의 조도와 조사각의 함수이다. 표 2로부터 $I(0)$ 는 y_{max} 로 대체되며 ϕ 는 빔 퍼짐각 w/A 로 치환된다. 식 (8)로부터 동일한 거리 D_d 에서 고선량 감마선 조사에 의한 LED 전구의 착색으로 LED 중심부의 빔 세기가 감소하고 빔 퍼짐이 증가함에 따라 PD가 수광하는 조도는 약 11% 감소한다. 따라서 유효 통신거리가 5.6% 단축된다. Lambertian emission 계수 m 이 1일 때에 빔 퍼짐의 영향이 가장 크다. 표 2로부터 고선량 감마선 조사에 의한 LED의 빔 퍼짐 영향으로 조도는 약 0.9% 감소되는 것으로 계산되었다. 표 3은 고선량 감마선 조사한 여러 파장대의 고휘도 LED 들

표 3. 고선량 감마선 조사에 따른 고휘도 LED의 특성변화.
Table 3. Characteristics of high luminance LED after high dose-rate gamma ray irradiation.

Parameter	Performance							
	Red	White (3 mm)	White	White I	White (8 mm)	Orange	Blue	Green
Intensity I_{var} (%)	4.27	17.37	21.04	38.97	15.60	15.46	4.22	10.88
Beam diffusion ϕ_{var} (°)	1.13	10.43	11.52	28.95	8.47	7.19	10.09	5.46

의 빔 특성 열화를 정리하였다.

표 3에서 빔 세기 편차 I_{var} 와 빔 퍼짐각 편차 ϕ_{var} 는 아래와 같이 정의하였다.

$$I_{var} = \frac{Y_{\max}(\text{before}, x=x_c) - Y_{\max}(\text{after}, x=x_c)}{Y_{\max}(\text{before}, x=x_c)} \quad (9)$$

$$\phi_{var} = a \tan(\phi_{\text{after}} - \phi_{\text{before}}) \quad (10)$$

표 3 으로부터 적색이나 청색 등의 단일 파장대의 발광 스펙트럼을 갖는 고휘도 LED가 고선량 감마선 조사에 의한 빔 특성 열화가 적음을 알 수 있다. 백색 LED에서 빔 특성 열화가 크다. 백색 LED는 2개 이상의 발광 파장성분을 합성하여 백색광을 생성한다[10]. 따라서 고선량 감마선 조사에 의한 2 개 파장 성분의 열화가 중첩되므로 단일 발광 파장대에 비해 빔 특성 열화가 큰 것으로 추정된다. 가시광 무선통신 시스템을 원자로 건물내부에 적용한다고 하면 표 3으로부터 적색 파장대의 고휘도 LED를 광원으로 이용하는 것이 효율적이다. 이는 Si 계열 PD의 감도(양자효율)도 적색~적외선 파장영역에서 높으므로 데이터 전송거리를 늘릴 수 있다. 단, 본 논문에서는 LED 소자만을 고려한다. 가시광 무선 통신 시스템을 구성하기 위한 수광소자(PD), 구동회로 들은 설계 기준사고요건의 고선량 감마선 조사환경에서 강건하다고 가정한다. 고선량 감마선에 노출되면 LED 보다 PD의 특성이 크게 열화된다. LED 전구와 마찬가지로 빛을 모으는 PD의 집광 렌즈도 투명 아크릴 또는 플라스틱으로 제조되므로 고선량 감마선 조사에 의해 착색된다. PD 집광 렌즈의 착색으로 수광 광량이 감소된다. 또한 집광 렌즈는 PD의 최적 감도 파장의 빛을 수광하도록 코팅처리된다. 고선량 감마선 조사에 의해 집광렌즈 코팅막의 착색 또는 손상이 예측되므로 감도는 보다 더 떨어질 것으로 예측된다. 따라서 원자로 건물 내부의 센서 통신망 체계를 가시광 무선 통신체계로 구축할 경우 가시광 LED (DBA 요건이 적용되는 원자로 냉각재 계통의 RTD 센서) - PD (DBA 요건의 고선량 감마선 피폭선원 으로부터 물리적 이격 거리를 가짐) 간의 단방향(simplex) 통신 체계가 바람직할 것으로 생각된다. 전 이중화 방식의 가시광 무선 통신 체계를 구축하기 위해서는 PD의 집광렌즈가 고선량 감마선 피폭에 강건한 석영(quartz) 계열의 결정체로 제조되어야 한다.

IV. 결론

이본 논문에서는 가시광 무선 통신의 핵심소자인 고휘도 LED에 대해 고선량 감마선을 조사하였다. 원자로 냉각재 계

통의 냉각수 온도 측정용 RTD 센서의 설계기준사고 요건에 해당하는 4 kGy/h의 선량율로 72시간 동안 고선량 감마선을 조사하였다. 누적피폭선량(TID: Total Irradiation Dose) 기준으로 288 kGy 이상의 감마선을 조사한 결과 고휘도 LED 전구에서 착색(browning effect) 현상이 발견되었다. 고휘도 LED 전구의 착색으로 인한 LED 빔 특성 열화를 칼라 CCD 카메라를 이용한 영상처리기술로 분석하였다. 고휘도 LED의 발광 패턴을 칼라 CCD 카메라로 관측한다. 관측된 LED 빔 패턴을 RGB 색상으로 분리하고 투영 프로파일링(projection profiling) 기법으로 RGB 성분의 세기를 구하였다. LED 빔 패턴을 가우시안 분포로 가정하고 RGB 성분의 빔 세기 분포곡선을 가우시안 함수로 모델링하여 고선량 감마선 조사에 따른 고휘도 LED의 빔 밝기 및 퍼짐을 분석하였다. 실험 결과에 의하면 적색이나 청색 등의 단일 파장대의 발광 스펙트럼을 갖는 고휘도 LED 들이 고선량 감마선 조사에 의한 빔 특성 열화가 적었다. 고휘도 백색 LED는 2개 이상의 발광 파장성분을 합성하여 백색광을 생성한다. 고선량 감마선 조사에 의한 2개 파장 성분의 열화가 중첩되어 나타나므로 단일 발광 파장대에 비해 빔 특성 열화가 큰 것으로 추정된다. 고휘도 백색 LED를 이용한 조명과 근거리 가시광 무선통신시스템을 정상가동 중의 원자로 건물내부에 적용하기 위해서는 LED 전구 및 PD 집광렌즈를 고선량 감마선 피폭에 의해 착색현상이 거의 일어나지 않는 석영(quartz) 계열의 실리카 물질로 제조하여야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] B. J. Kaldenbach, "Assessment of wireless technologies and their application at nuclear facilities," NUREG/CR-6882, 2006.
- [2] 이광대, "격납건물 누설시험 데이터 취득 장치 및 누설 평가 소프트웨어 개발," R-2002-O-285, 한국 전력 공사, 2006
- [3] K. Korsah, R. Wetherington, R. Wood, L. F. Miller, K. Zhao, and A. Paul, "Emerging technologies in instrumentation and controls -an update," NUREG/CR-6888, 2006.
- [4] S. Shimada and Y. Takeda, "Trends in visible light communication and application to ITS," *Toshiba Review*, vol. 64, no. 4, pp. 27-30, 2009.
- [5] H. Hashimoto and A. Ogawa, "Optical wireless communications with LED traffic light systems," *Proc. of the 27th Symposium on Information Theory and Its Applications*, 2004.
- [6] T. Hara, S. Iwasaki, T. Yendo, T. Fujii, and M. Tanimoto, "A new receiving system of visible light communication for ITS," *Proc. of the 2007 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2007.
- [7] T. J. Collier, "interface requirements for process instrumentation for YGN 3&4 nuclear power plant," 10487-IC-IR870, Combustion Engineering Inc., 1994.
- [8] Weed Instrument, "N4000R-99 series RTD temperature transmitter - nuclear qualified," <http://www.weedinstrument.com>
- [9] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 50, no. 1, pp. 100-107, 2004.
- [10] 일본 기계공업연합회, "질화물계화합물 반도체 연계 기술전략지도 작성에 관한 조사보고서," 2006.



조재완

1984년 경북대학교 전자공학과 석사. 1987년~현재 한국원자력연구원 원자력 융합기술개발부 책임연구원. 관심분야는 로봇 비전, 적외선 영상 신호처리.



최영수

충북대학교 전자공학 박사. 1993년~현재 한국원자력연구원 원자력 융합기술 개발부 선임 연구원. 관심분야는 로봇 비전 기술 개발.



이재철

1988년 경북대학교 전자공학 석사. 1988년~현재 한국 원자력연구원 원자력 융합기술개발부 책임연구원. 관심분야는 로봇제어.



구인수

충남대학교 전자공학 박사. 현재 한국 원자력 연구원에서 일체형 원자로 (SMART) I&C 시스템, 연구용 원자로 I&C 시스템 설계에 참여. 관심분야는 원전 통신망 국제표준화 설계임.



홍석봉

성균관대학교 전자공학 박사. 현재 한국원자력 연구원에서 IT 기반 통신망 기술개발과제 책임. 관심분야는 미래형 원전 통신망의 국제 표준 프로토콜 개발임.