

근거리 적외선 무선 통신에서 마이크로 렌즈 배열을 이용한 광무선 송신기의 안전도 개선

준회원 이 동 수*, 정회원 이 만 섭**

The Improvement of Eye Safety for the Optical Wireless Transmitter of Short-range Infrared Wireless Communication System

Dong-soo Lee* Associate Member, Man-seop Lee** Regular Member

요 약

실내 환경에서 응용되는 근거리 적외선 무선 통신 기술은 자유 공간상에서 광신호의 손실로 인한 전송 거리의 제한으로 시스템을 구성하는 데 어려움이 있었고, 이를 극복하기 위한 방법으로 광신호의 출력을 높이면 인체에 치명적인 손상을 줄 수 있는 약점이 있었다. 본 논문에서는 근거리 적외선 무선 통신에서 전송 거리를 확대하기 위해 광원의 안전도를 개선하는 새로운 방법으로 마이크로 렌즈 배열을 이용하여 광원의 크기를 확대하는 방법을 제안하고, 이에 대한 안전도 개선 효과를 최대 허용 노출(maximum permissible exposure)을 바탕으로 분석하였다. 그리고, 마이크로 렌즈 배열을 사용하는 경우, 기존의 점광원을 사용하는 경우와 비교하여 위험 거리(nominal optical hazard distance) 없이 안전하게 보낼 수 있는 광 출력이 광원과 마이크로 렌즈 배열 사이의 이격 거리(separation distance)가 커질수록 증가하는 것을 나타내었다.

ABSTRACT

This paper studies the use of a microlens array in short-range infrared wireless communications. Eye safety, a major issue of short-range infrared wireless communications, restricts the amount of power that can be transmitted and thus, reduces the system's speed and range because the short-range infrared wireless communication system is normally power margin limited. The microlens array allows more optical power to be launched safely because it can transform a point source, such as a laser diode, into a multi-point source. The improvement of eye safety is evaluated by comparing maximum permissible exposure along propagation distance and the safe launch powers for microlens array sources are also calculated.

I. 서 론

근거리 적외선 무선 통신 기술은 자유 공간상에서 신호의 전송 매체로 적외선을 이용하기 때문에 기존의 라디오 주파수를 이용하는 무선 통신 기술에 비해 고속의 통신 서비스를 경제적으로 제공할 수 있는 장점을 갖고 있지만, 적외선의 자유 공간상에서의 손실로 신호의 전송 거리가 제한되는 단점이 있었다. 또한, 이를 극복하기 위해서 광원으로

사용되는 LED(Light Emitting Diode), 또는 LD(Laser Diode)의 출력을 높이면 인체의 눈이나 피부에 치명적인 손상을 줄 수 있어^[1], 적외선 무선 통신에서는 광원의 출력을 안전하게 높여 신호의 전송 거리를 신장시킬 수 있는 효과적인 방법을 필요로 하였다.

광원의 안전도를 개선하기 위한 기존의 방법으로, 낮은 광 출력의 LD 또는 LED를 배열로 이용하여 눈의 망막에 집중되는 광 출력을 분산시키거나 홀

* 한국정보통신대학원대학교 공학부(hazel@icu.ac.kr),
논문번호: 00329-0821, 접수일자: 2000년 8월 21일

** 한국정보통신대학원대학교 공학부(leems@icu.ac.kr)

로그래를 이용하는 방법이 제안되어 있다^{[2][3]}. 그렇지만 광원으로 LD 또는 LED배열을 사용하면 송신기의 부피가 커질 수밖에 없어 근거리 적외선 무선 통신 시스템을 소형으로 제작할 수 있는 장점을 상실하게 되고, 홀로그래를 이용하는 방법은 홀로그래의 제작오차에 의한 중심 광이 발생되어 안전도의 개선 효과를 저하시키는 단점을 갖고 있다^[3].

본 논문에서는 근거리 적외선 무선 통신에서 전송 거리를 신장시키기 위해 송신 광원의 출력을 높이는 경우에 안전도를 개선할 수 있는 새로운 방법으로 마이크로 렌즈 배열(microlens array)을 이용하여 광원의 크기를 확대하는 방법을 제안하고, 이에 대한 안전도 개선 효과를 최대 허용 노출(maximum permissible exposure, MPE)을 기준으로 비교하여 분석한다.

II. 마이크로 렌즈 배열을 이용한 광원의 안전도

근거리 적외선 무선 통신에서는 인체에서 적외선에 가장 민감한 눈에 손상을 주지 않도록 광원의 출력을 제한해야 한다. 일반적으로 레이저의 출력이 인체에 미치는 영향에 대한 연구는 오랫동안 진행되어 왔고^{[4][5]}, 이러한 결과로 ANSI(American National Standards Institute)와 IEC(International Electrotechnical Commission)에서 레이저의 안전한 사용을 위해 레이저의 출력(total emitted power)을 제한하고 있다^{[6][7]}. 근거리 적외선 무선 통신에서는 광원으로 사용되는 LD 또는 LED의 출력이 인체에 영향을 전혀 주지 않는 조건을 만족해야 하고, 이러한 조건은 사용되는 광원의 출력이 최대 허용 노출(MPE) 이하로 제한되어야 함을 의미한다^{[6][8]}. 그러므로 최대 허용 노출은 근거리 적외선 무선 통신을 위한 광원의 안전도를 판단하는 기준으로 사용되고, 본 논문에서는 단위 면적 당 광신호의 세기(mW/cm^2)로 표현한다.

최대 허용 노출은 광원의 형태와 광원으로부터의 전송 거리에 따라 달라진다^[6]. 즉, LD와 같이 발광되는 면적이 매우 작은 점광원의 경우에는 그림 1의 (a)에서 보는 것과 같이 광원으로부터 나오는 적외선이 눈의 수정체(lens)에 의해 빛이 한 점에 맺히므로 상대적으로 큰 세기의 신호가 집중되어 망막을 손상시키게 된다. 그러므로 점광원의 경우에는 최대 허용 노출이 매우 낮게 되어 광원의 출력을 높일 수 없게 된다. 반면에 발광면이 상대적으로 넓은 경우에는 눈으로 들어오는 빛이 망막의 넓은 면

에 분포하게 되므로 점광원의 경우보다는 높은 세기의 광신호가 들어와도 안전하게 된다.

마이크로 렌즈 배열은 그림 1의 (b)에 도식된 것처럼 점광원의 앞에 위치하여 다중 광원으로 변환시켜 주기 때문에 광원의 발광면을 넓히는 효과를 주므로 최대 허용 노출을 증가시키는 역할을 하게 된다.

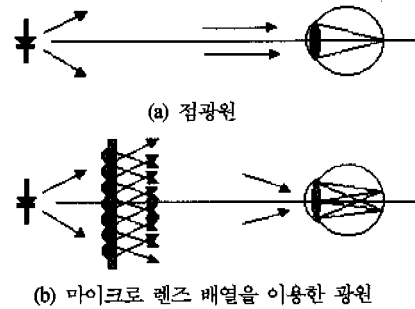


그림 1. 마이크로 렌즈 배열의 효과

III. 복사 형태에 따른 최대 허용 노출의 변화

마이크로 렌즈 배열을 사용하는 경우의 최대 허용 노출의 변화는 점광원의 복사 형태(radiation pattern)에 따라 달라지게 된다.

우선, 발산각, θ_{div} 이내의 각도에서 광신호의 세기가 동일한 평면 복사 형태의 점광원에 대해서는 크기가 같은 마이크로 렌즈 배열을 통과하는 광신호의 세기가 각도가 커질수록 감소하지만, 발산각이 작은 경우에는 그 차이를 무시할 수 있으므로 마이크로 렌즈 배열에 의한 종속 광원의 세기가 동일하다고 가정 할 수 있고, 이 경우는 LD 또는 LED를 배열로 사용하는 광원의 최대 허용 노출과 유사한 수준의 안전도를 얻을 수 있다.

종속 광원의 세기가 동일한 배열 광원의 최대 허용 노출은 전송 거리에 따라서 그림 2에 도식된 것처럼 변하게 된다. 배열 광원에 대한 눈으로부터의 대응각이 $0.11\text{mrad}(\alpha_{min})$ 보다 작은 거리에서는 눈의 수정체에 의한 배율이 작아지므로 이 때의 최대 허용 노출은 점광원과 동일한 수준을 갖게되고, 광원에 근접하면 최대 허용 노출은 면광원처럼 증가한다. 여기서 수정 계수, C_B 는 눈으로부터 광원에 대응되는 각을 α [mrad] 라고 하면 $\alpha/0.11$ 의 값을 갖고, α 가 $100\text{mrad}(\alpha_{max})$ 보다 크게 되면 $\alpha^2/11$ 의 값을 갖는다^[6]. 그리고 종속광원에 더욱 가까워질수록 각각의 종속 광원은 별개의 광원으로 구분

하여 최대 허용 노출을 고려해야 한다. 그러므로 광원에 근접한 거리에서는 각각의 종속 광원의 최대 허용 노출과 배열광원을 면광원으로 고려해서 얻어지는 최대 허용 노출을 비교하여 보다 엄격한 기준을 적용한다.

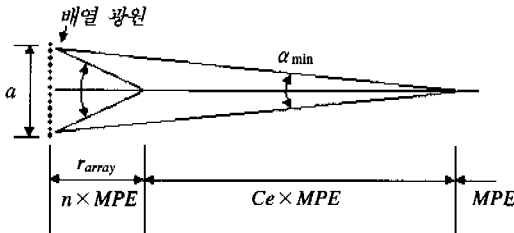


그림 2. 평면 복사 형태의 광원에 대한 최대 허용노출의 변화

그림에서 r_{array} 는 종속 광원의 최대 허용 노출과 면광원의 최대 허용 노출이 같아지는, 광원으로부터의 거리이고, 이것은 $n = Ce$ 가 되는 것을 의미하므로 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{array} = \frac{a}{2 \tan\left(\frac{n \cdot \alpha_{min}}{2}\right)}, \quad \alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max} \quad (1)$$

$$= \frac{a}{2 \tan\left(\frac{\sqrt{n \cdot \alpha_{min} \cdot \alpha_{max}}}{2}\right)}, \quad \alpha \geq \alpha_{max}$$

여기서, a 는 배열 광원의 크기(mm), n 는 종속 광원의 개수를 나타낸다.

반면에 gaussian 복사 형태의 점광원에 대해서는 중심 축 상에서의 지향 이득이 동일한 복사 강도를 갖는 평면 복사 형태의 광원의 지향 이득보다 2배만큼 크므로^[9], 안전도를 고려할 때 중심 축 상에 있는 종속 광원을 기준으로 해야 한다. 따라서 gaussian 복사 형태를 갖는 점광원에 의한 마이크로 렌즈 배열의 최대 허용 노출은 전송 거리에 따른 지향 이득을 고려하여 그림 3에 도식된 것처럼 변

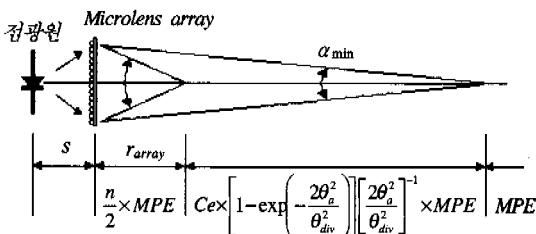


그림 3. gaussian 복사 형태의 광원에 대한 최대 허용노출의 변화

하고, 광원으로 근접할수록 지향 이득은 2배만큼 증가하므로 최대 허용 노출은 평면 복사 형태에 대한 최대 허용 노출의 1/2이 되는 값을 갖는다.

여기서 평면 복사 형태의 광원에 대한 gaussian 복사 형태의 광원의 지향 이득(G)은 아래의 식 2와 같이 나타낼 수 있고, 광원의 대응각이 0.11mrad (α_{min})보다 작게 되면 점광원에서 수평면에 대응되는 각, θ_a 가 작아지므로 1이 되고, 광원에 근접하면 θ_a 가 증가하므로 2로 수렴하게 된다. 단, 평면 복사 형태는 광신호가 θ_{div} 까지만 분포하므로 이 경우의 θ_a 는 θ_{div} 까지 증가하는 것으로 가정하여 지향 이득이 θ_a 가 증가할수록 발산하지 않도록 하였다.

$$G = \frac{2\theta_a^2 / \theta_{div}^2}{1 - \exp(-2\theta_a^2 / \theta_{div}^2)} \quad (2)$$

그리고 이때의 r_{array} 는 지향 이득(G)을 고려하여 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{array} = \frac{a}{2 \tan\left(\frac{n \cdot \alpha_{min}}{4} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right)\right]^{-1} \left[\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right]\right)}, \quad \alpha_{min} < \alpha < \alpha_{max} \quad (3)$$

$$= \frac{a}{2 \tan\left(\frac{1}{2} \left[\frac{n \cdot \alpha_{min} \cdot \alpha_{max}}{2} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right)\right]\right]^{-1} \left[\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right]^{\frac{1}{2}}\right)}, \quad \alpha \geq \alpha_{max}$$

광원의 파장이 850nm이고 노출 시간이 10s일 때, 마이크로 렌즈 배열에 의한 종속 광원의 크기와 개수를 각각 5.5mm와 360개로 가정하면 광원의 복사 형태에 따른 최대 허용 노출이 그림 4에 도식된 것처럼 전송 거리에 따라 변하게 된다. gaussian 복사 형태의 광원을 사용하면 평면 복사 형태의 광원보다 안전도가 광원에 가까울수록 저하되는 것을 알 수 있다.

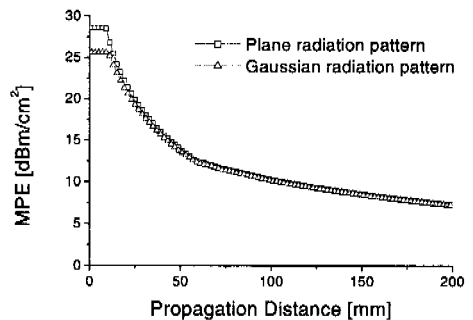


그림 4. 마이크로 렌즈 배열을 이용한 경우의 최대 허용 노출의 변화

IV. 안전하게 보낼 수 있는 최대 광 출력

점광원을 사용하는 경우에는 최대 허용 노출에 의해 송출할 수 있는 광 출력의 세기가 매우 약하게 제한되기 때문에 필요한 전송 거리를 확보하기 위해서 최대 허용 노출을 초과하는 수준으로 사용하는 경우가 있다. 이때에 광원에서 나오는 빛이 전송 거리에 따라 감쇠하여 일정한 거리 밖에서는 안전해질 수 있지만 일정 범위 안에서는 최대 허용 노출을 초과하게 되어 인체에 해를 입힐 수 있다. 이러한 범위를 위험 거리(nominal optical hazard distance)라고 하면^[6], 마이크로 렌즈 배열을 사용한 광원은 III장에서 구한 최대 허용 노출을 초과하지 않는 범위로 광신호의 세기를 제한하면 점광원을 사용하는 경우에 나타났던 위험 거리 없이 안전하게 보낼 수 있는 광신호의 세기가 증가하게 된다. 이때의 안전하게 보낼 수 있는 광신호의 세기(total power)는 전송 거리에 따른 광신호의 감쇠를 고려하여 아래의 식 4를 만족하는 최대 광 출력을 의미한다.

$$P_t \leq MPE \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot G_A^{-1} \quad (4)$$

여기서, G_A 는 광원으로부터 나오는 광 신호 중에서 수광면으로 입사되는 광신호의 세기의 비를 의미하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

1) 평면 형태인 경우,

$$G_A = \begin{cases} 1 & , \theta_a > \theta_{div} \\ \frac{\theta_a^2}{\theta_{div}^2} & , \theta_a \leq \theta_{div} \end{cases} \quad (5)$$

2) gaussian 형태인 경우

$$G_A = 1 - \exp\left(-\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right) \quad (6)$$

그러므로 식 4는 평면 복사 형태와 gaussian 복사 형태의 점광원을 사용하는 경우에 대해 각각 아래의 식 7, 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_t \leq MPE \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \left[\frac{\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right]^{-1} \quad (7)$$

$$P_t \leq MPE \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{2\theta_a^2}{\theta_{div}^2}\right)\right]^{-1} \quad (8)$$

여기서 P_t 는 광원에서 출력되는 광신호의 세기(mW), θ_{div} 는 송신기의 발산각(rad), MPE 는 최대 허용 노출(mW/cm^2)을 나타내고, D 는 수광면의 직경으로 여기서는 동공의 크기(0.7cm)를 의미한다.

파장이 850nm이고 30°로 발산되는 점광원 앞에 마이크로 렌즈의 중심 간격이 0.25mm인 마이크로 렌즈 배열을 사용하고 노출 시간을 10초로 가정할 경우에 식 7과 식 8에 의해 안전하게 보낼 수 있는 최대 광 출력을 광원의 복사 형태와 이격 거리에 따라 구하면 아래의 그림 5와 같다.

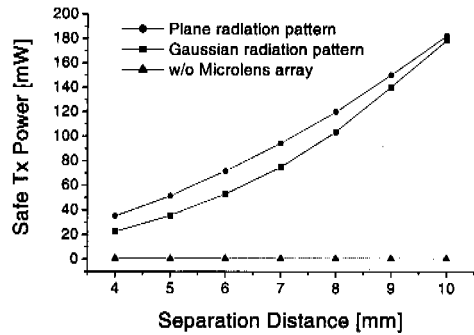


그림 5. 안전한 최대 광 출력

그림에 나타난 것처럼, 마이크로 렌즈 배열을 사용하지 않는 경우에 보낼 수 있는 최대 광출력은 0.78mW로 제한되지만 마이크로 렌즈를 사용하는 경우에는 이격 거리가 10mm인 경우에 178mW로 증가함을 알 수 있다. 그리고 복사 형태에 따른 광출력은 평면 복사 형태의 점광원을 사용하는 경우가 gaussian 복사 형태를 사용하는 경우보다 더 많은 광신호를 안전하게 보낼 수 있는데, 이것은 gaussian 복사 형태의 광신호가 중심에 집중되어 있어서 안전도를 저하시키기 때문이다. 그렇지만 이격 거리가 커질수록 평면 복사 형태의 점광원을 사용하는 경우와 gaussian 복사 형태를 사용하는 경우의 안전하게 보낼 수 있는 광출력의 차이가 줄어들게 되는데, 이것은 gaussian 복사 형태로 발산되는 광신호에 대한 최대 허용 노출이 전송 거리에 따라 평면 복사 형태의 광신호에 대한 최대 허용 노출에 가까워지기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 근거리 적외선 무선 통신에서 전송 거리를 확대하기 위해 광원의 안전도를 개선하는 새로운 방법으로 마이크로 렌즈 배열을 이용한

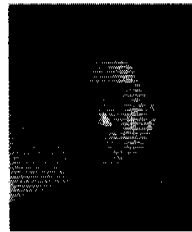
는 방법을 제안하고, 안전도 개선 효과를 고찰하였다. 그 결과, 마이크로 렌즈 배열을 사용하면 집광 원만 사용하는 경우보다 안전하게 보낼 수 있는 광출력이 이격 거리에 따라 약 200배까지 증가함을 보였고, 광원의 세기가 각도에 따라 균일하게 분포되는 평면 복사 형태가 gaussian복사 형태보다 안전도의 효과가 더 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] Larryl Matthews, Gabe Garcia, *Laser and Eye safety in the Laboratory*, IEEE Press, 1995.
- [2] Peter P. Smyth, David Wood, Simon Ritchie, Steve Cassidy, "Optical wireless : New enabling transmitter technologies", *ICC '93 Geneva. Technical Program, Conference Record*, 1993, pp. 562 - 566.
- [3] P. L. Eardley, D. R. Wisley, D. Wood, P. McKee, "Holograms for optical wireless LANs", *IEE proc. Optoelect., Special Issue on Free Space Optical Communications*, December 1995, pp. 365 - 369.
- [4] R. C. Petersen and D. H. Sliney, "Toward the development of laser safety standards for fiber-optic communication systems", *Applied Optics*, vol. 25, no. 7, April, 1986, pp. 1038 - 1047.
- [5] David H. Sliney, "Infrared laser effects on the eye : implications for safety and medical applications", *SPIE vol. 2097, Laser Applications*, 1993, pp. 36 - 43.
- [6] American National Standard Institute, *American National Standard for Safe Use of Lasers*, ANSI Z136.1 : 1993.
- [7] International Electrotechnical Commission, *Safety of laser products - Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*, IEC 60825-1, 1994.
- [8] R.Ramirez-Iniguez, R. J. Green, Indoor optical wireless communications, *Optical Wireless Communications, IEE Colloquium on*, 1999, pp. 14/1 -14/7.
- [9] Stephen G. Lambert and William L. Casey, *Laser Communications in Space*, Artech House, Inc., London, 1995.

이 동 수(Dong-soo Lee)

준회원



1993년 2월 : 서강대학교
물리학과 학사
2000년 2월 : 한국정보통신대학원
대학교 공학부 석사
2000년 3월~현재 : 한국정보통신
대학원대학교 공학부
박사과정

<주관 심분야> 통신공학, 광통신 공학

이 만 섭(Man-seop Lee)

정회원



1976년 2월 : 부산대학교
전자공학과 학사
1978년 2월 : 부산대학교
대학원 석사
1991년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과 박사

1979년 6월~1998년 12월 : 한국전자통신연구원 재
직(광대역통신연구부 부장)
1999년 1월~현재 : 한국정보통신대학원대학교 교수
(정보통신산학연공동연구센터 소장)
<주관심 분야> 광통신 시스템 및 네트워크, 광 패키지