

# 광센서에 적용되는 레이저가 인체의 눈에 미치는 위해성 연구

이규량(1) · 김창봉(1) · 김익상(2)

공주대학교 정보통신공학부(1), 배재대학교 정보통신공학부(2)

rang19@ice.kongju.ac.kr

## The Study of Harmful Effect on Human's Eye in the Optical Sensor Laser

Kyu-Rang Lee(1) · Chang-Bong Kim(1) · Ik-Sang Kim(2)

Division of Information and Communication Engineering, Kongju National University(1)

Division of Information and Communication Engineering, Paichai University(2)

E-mail : rang19@ice.kongju.ac.kr

### Abstract

The infrared type laser for optical sensor being used currently has a harmful effect on human's eye and skin. In this paper we explain about the characteristics of laser source and analyze the amount of harmfulness on human's eye by simulation method. We used the datas given by ANSI in this simulation.

### I. 서론

현재 여러 가지 유형의 광센서가 다양한 분야에 적용되고 있으며, 직·간접적으로 인체의 눈 및 피부에 노출되고 있다. 레이저가 인체에 미치는 위해성에 관한 연구는 수년 전부터 연구가 되어 왔으며 특히 레이저의 파장에 따라 혹은 노출시간에 따른 생물학적인 위해성에 대해서 많은 연구가 진행되었다[1]. 그 연구들 중에서 레이저가 특히 인체의 눈에 미치는 위해성에 대한 여러 실험 및 연구결과가 보고되었다[2].

본 논문에서는 광센서에 적용되는 레이저가 인체의 눈에 미치는 위해정도를 시뮬레이션을 통하여 분석하였다. 본 시뮬레이션에서는 미국표준안(ANSI)의 시방서에서 제시된 파라미터 값들을 토대로 눈과 레이저광의 안전거리(Nominal Ocular Hazard Distance(NOHD))에 대하여 분석 및 평가하였다[3].

### II. 레이저의 특징

#### 2.1 단일성(Monochromaticity)

레이저의 파장은 좁은 폭의 파장대에 나타나지만 일반적인 램프 광원들은 아주 넓은 폭의 파장대에 걸쳐서 나타난다. 완전한 단일광(Perfectly Monochromatic)이라는 것은 스펙트럼상에서 단일파장만 나타내는 것을 말하는데 실제로 그러한 광원은 존재하지 않는다. 따라서 레이저는 다른 광원에 비해서 단일성(Monochromaticity)이 있다고 말하며, 단일성의 기준은 광원의 스펙트럼상에서 정의한 선폭(Linewidth)의 크고 작음으로 판단한다.

#### 2.2 코히어런스(Coherence)

코히어런스의 정의는 다른시간과 다른위치에서 광원에서 나오는 광파의 위상의 상관관계의 정도를 말하고, 시간적 코히어런스와 공간적 코히어런스로 분류된다. 시간적 코히어런스는 광파의 단일성의 정도를 말하고 공간적 코히어런스는 파면(Wavefront)에 걸쳐서 위상의 일치성의 정도를 말한다.

#### 2.3 방향성(Directionality)

레이저의 빛은 다른 광원에서 나오는 빛과 달리 방향성이 매우 좋다. 레이저의 방향성에서 중요한 요인은 레이저로부터 나오는 빛의 퍼짐정도이다. 특히 본 연구와 관련하여 레이저 빛이 눈에 미치는 위해성을 고려할 때 레이저광의 퍼짐 정도는 대단히 중요하다. 그림 1은 He-Ne 레이저를 예로 들어 레이저 빔의 진행거리와 빔의 직경과의 관계를 시뮬레이션 시켜보았다. He-Ne 레이저의 파장을  $\lambda=632.8\text{nm}$ 으로 레이저 빔의 직경을

D1=0.5mm으로 나타내었고, 비교의 예로 파장이  $\lambda$  2=200nm이고 빔의 직경이 D2=5mm인 레이저를 He-Ne 레이저와 비교했을 때, 두 레이저가 일정거리를 진행 후 같은 빔의 직경 1.6cm을 얻으려면 레이저광의 진행거리가 He-Ne 레이저의 경우에는 10m인 반면, 비교의 예로 든 레이저의 경우는 320m가 되어야 한다는 계산 결과가 나왔다. 즉, 레이저광의 파장 및 빔의 직경에 따라 레이저 빔의 퍼짐정도가 틀려 진다는 것을 알 수 있다.

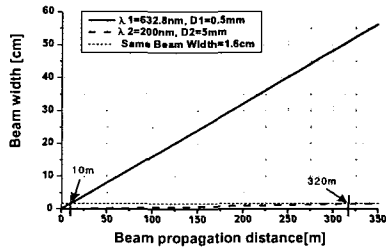


그림 1. 레이저 빔의 진행거리 대 빔의 직경

#### 2.4 초점성(Focusability)

레이저 및 일반 비레이저 광원도 렌즈를 사용하여 한 점으로 빛을 모을 수 있는데 센서용 레이저 선정시 레이저의 파장, 광출력등의 선정도 중요하지만 레이저의 퍼짐각도 및 레이저 앞에 장착되는 렌즈의 초점거리도 중요한 파라미터가 된다. 그림 2는 센서용 레이저에 적용될 수 있는 레이저의 퍼짐각도를 변화시키면서 레이저 앞에 장착된 렌즈의 초점거리를 3가지 종류, 10cm, 40cm, 80cm를 사용하였을 때의 초점거리에 맺히는 스팟 사이즈를 계산하였다. 결과로서 렌즈의 초점거리가 길수록 또는 레이저 빔의 퍼짐 각도가 클수록 스팟 사이즈가 커져서 센서용 레이저 빔에 많이 노출될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

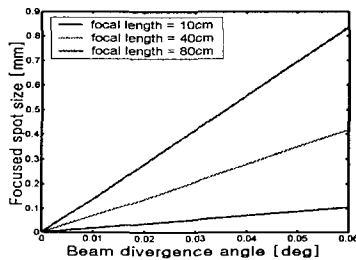


그림 2. 초점거리에 따른 레이저의 스팟사이즈

### III. 레이저의 등급 및 레이저의 안전용어

#### 3.1 레이저의 등급

레이저의 등급은 미국 켄터키대학의 레이저 안전연구실 및 ANSI에서 분류한 내용을 참조하였다[3].

##### (1) I 급 레이저

I 급 레이저는 일반적으로 지속파로서 0.4  $\mu W$  정도

로서 출력이 매우 낮다. I 급 레이저의 예는 레이저 프린터 내부에 장착된 스캔용 레이저, 콤팩 디스크 플레이어 내에 장착된 레이저, CD ROM용 레이저 등에 쓰인다. 출력이 낮기 때문에 특별한 통제조건이나 경고표시가 필요없다. 그러나 직접적으로 사람의 눈에 노출시키는 것은 피해야 한다.

##### (2) II 급 레이저

II 급 레이저는 낮은 출력의(< 1mW) 가시광선 레이저이지만 인체의 눈에 노출될 경우 위험을 가할 수 있다. 2급 레이저의 예의 대표적인 것은 레이저 포인터이다. 2급 레이저를 장시간(15분 이상) 눈에 노출되면 위험하다.

##### (3) IIIa 급 레이저

IIIa 급 레이저는 지속파로서 1-5 mW 정도의 광출력을 갖는 레이저이다. IIIa 등급에 속하는 레이저의 예로서는 위의 II급 레이저인 레이저 포인터 또는 레이저 스캐너 등이 포함된다. IIIa 급 레이저를 직접 눈으로 보는 것은 매우 위험하다. 더욱이 렌즈 등의 집광 렌즈를 통해서 보아서는 절대 안된다.

##### (4) IIIb 급 레이저

IIIb 급 레이저는 지속파로서 5-500 mW 정도의 펄스동작으로 10 J/cm<sup>2</sup> 정도의 광출력을 갖는 레이저이다. IIIb 등급에 속하는 레이저의 예로서는 레이저 쇼에 쓰이는 레이저등을 들 수 있고, IIIa 급 레이저와 마찬가지로 눈으로 직접 보는 것은 위험하다.

##### (5) IV 급 레이저

IV 급 레이저는 고출력 레이저로서 지속파로서는 500mW 이상이고 펄스동작으로서는 10 J/cm<sup>2</sup> 이상의 광출력을 갖는다. IIIb 등급에 속하는 레이저는 예로서는 공업용, 의료용으로 쓰이는데 의료용은 수술용으로 공업용은 용접 및 커팅의 용도로 쓰인다. 이 레이저가 직접적 혹은 간접적(반사파)으로 인체의 눈 및 피부에 노출되면 치명적이므로 세심한 주의가 필요하다.

#### 3.2. 레이저의 안전 용어

##### (1) 최대 허용 노광량 (Maximum Permissible Exposure, MPE)

인체의 눈 및 피부에 조사하여도 해로운 영향을 주지 않는 범위내의 최대의 방사 레벨을 말한다.

##### (2) 피폭 방출 한계 (Accessible Emission Limit, AEL)

레이저 제품의 각 급에서 정한 최대 피폭 방출 레벨을 말한다.

##### (3) 한계시각 (Limiting Angular Subtense)

단위는 rad 이며, 기호로는  $\alpha_{min}$ 로 표시하며, 관측자의 눈 위치에서 바라본 레이저 광원의 대응 시각을 말하며, 점광원 시각 (Small-Source Viewing)과 확산광원 시각(Extended-Source Viewing)으로 분류가 되며  $\alpha_{min}=1.5$  mrad으로 정의된다.

##### (4) 공칭 안전해 거리 (Nominal Ocular Hazard Distance, NOHD)

레이저의 방사노광량이 눈에 대한 최대 허용 노광량(MPE)과 같아지는 곳의 레이저 광원으로부터의 거리를 말한다.

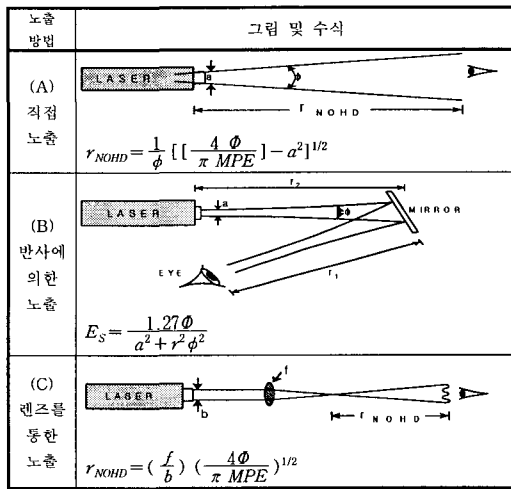
### IV. 광센서용 레이저의 위해정도 분석 및 평가

실제 특정장치에 부착된 광센서용 레이저의 위해성 평가 분석을 위해 3가지 경우의 노출, 즉 직접노출, 반사에 의한 노출 및 렌즈를 통한 노출에 대하여 평가 및 분석하였다. Table 1은 미국 ANSI 시방서에 제시된 다양한 레이저의 눈에 대한 MPE 값을 나타내고, Table 2도 미국 ANSI 시방서에 제시된 위해성 평가 및 분석에 사용된 수식 및 그림을 나타낸다[3].

Table 1. 다양한 레이저의 눈에 대한 MPE

Laser Type	Wavelength (μm)	Exposure Duration (s)	Maximum Permissible Exposure (W/cm <sup>2</sup> )
Helium-Cadmium	0.4416	0.25	2.5×10 <sup>-3</sup>
Helium-Neon	0.632	0.25	2.5×10 <sup>-3</sup>
Helium-Neon	0.632	10 to 3×10 <sup>4</sup>	1×10 <sup>-3</sup>
Krypton	0.647	0.25	2.5×10 <sup>-3</sup>
Krypton	0.647	10 to 3×10 <sup>4</sup>	1×10 <sup>-3</sup>
InGaAlP	0.670	0.25	2.5×10 <sup>-3</sup>
GaAs	0.905	10 to 3×10 <sup>4</sup>	2.6×10 <sup>-3</sup>
Neodymium:YAG	1.064	10 to 3×10 <sup>4</sup>	5×10 <sup>-3</sup>
InGaAsp	1.310	10 to 3×10 <sup>4</sup>	4×10 <sup>-3</sup>
Cabon-Dioxide	10.600	10 to 3×10 <sup>4</sup>	0.1

Table 2. 위해성 평가 및 분석에 사용된 그림 및 수식



#### 4.1 직접 노출시 위해성 분석 및 평가

광센서용 레이저광에 인체의 눈이 직접 노출되었을 때 그 위해정도를 분석해 보았다. 그림 3 및 그림 4의 결과에서 MPE 값은 Table 1의 GaAs 레이저의 MPE=2.6×10<sup>-3</sup>W/cm<sup>2</sup>의 값을 적용하였다. 그림 3에서 파라미터인 r<sub>NOHD</sub>은 눈의 안전거리인 공칭 안장해 거리를 나타낸 것으로서 작업자의 눈의 안전성을 확보할 수 있는 거리인 r<sub>NOHD</sub>에 대해서 여러 파라미터를 변

화시키면서 계산한 시물레이션 결과이다. 공칭 안장해 거리인 r<sub>NOHD</sub>은 Table 2(A)의 수식으로 계산을 할 수 있는데 이때 a는 레이저에서 나오는 입사입구에서의 빔의 직경, ϕ는 빔의 퍼짐 각도, ϕ는 방출광 파워어를 나타낸다.

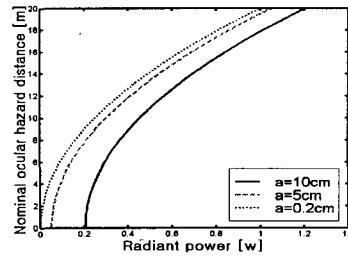


그림 3. 방출 광파우어 대 공칭 안장해 거리 (빔의 직경 변화)

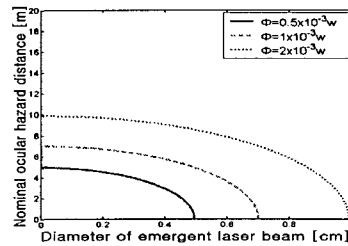


그림 4. 레이저 방출 입구에서의 빔의 직경 대 공칭 안장해거리 (방출 광파우어 변화)

그림 3의 결과는 빔의 직경 a를 10cm, 5cm, 0.2cm로 변화시킬 경우를 나타낸 것으로 빔의 직경이 작아질수록 r<sub>NOHD</sub>는 길어지는데 이 의미는 빔의 직경이 작을수록 눈과 레이저간의 거리가 멀어야 안전하다는 것을 보여주고 있고, 그림 4는 방출 광파우어 ϕ를 0.5×10<sup>-3</sup>W, 1×10<sup>-3</sup>W, 2×10<sup>-3</sup>W로 변화시켰을 때 빔의 직경 대 r<sub>NOHD</sub>의 관계를 나타낸 것으로 같은 빔의 직경을 갖는 레이저에서 방출 광파우어가 큰 레이저일수록 r<sub>NOHD</sub>가 길어진다는 의미를 갖게된다.

#### 4.2 반사에 의한 노출시 위해성 분석 및 평가

반사에 의한 노출은 크게 2가지 경우로 분류가 가능한데 첫 번째는 거울이 아닌 일반 반사체에 의하여 생기는 확산반사(Diffuse Reflection)와 두 번째는 일반 반사체에 의한 것이 아니라 거울에 의한 거울반사(Specular Reflection)의 경우가 있다. 거울반사에 의한 노출 광파우어 Es는 Table 2(B)의 수식으로 계산할 수 있는데 r은 레이저광이 진행한 전체거리를 나타낸다. 그림 5는 파장대가 0.905 μm인 GaAs 레이저가 거울면에 반사되어 눈에 노출되었다고 가정했을 때를 시물레이션 시켜 보았다. 이때 MPE 값은 Table 1에 제시된 GaAs 레이저의 MPE=2.6×10<sup>-3</sup>W/cm<sup>2</sup>의 값을 적용하였다.

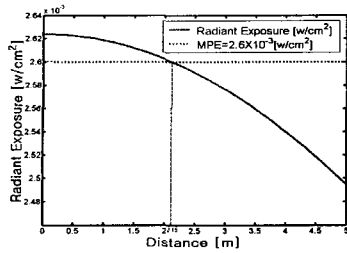


그림 5. 거울반사에서 거리에 따라 눈에 미치는 노출 광파우어

그림 5의 실선은 거울반사에 의해 거리에 따라 발생 되는 노출 광파우어를 나타내고, 점선은 거리가 2.15m 일 때 노출 광파우어가 0.905 $\mu$ m인 GaAs 레이저의 MPE=2.6 $\times$ 10<sup>-3</sup>W/cm<sup>2</sup>의 값을 갖는다는 것을 나타내며 2.15m보다 먼 거리에서는 MPE 값을 벗어나는 것을 나타낸다. 즉, GaAs 레이저를 센서용 광원으로 사용했을 경우, 거울 반사에 의한 눈의 위해성을 피하기 위해서는 눈과 레이저의 거리가 2.15m보다 커야 한다는 것을 의미한다. 그러나 눈의 안전을 위해 너무 낮은 광파우어의 레이저를 선택한다면 수광부의 낮은 광파우어로 인해 수신감도가 떨어질 수 있는 단점이 있으므로 적절한 광파우어를 갖는 레이저를 선택해야만 한다.

4.3 렌즈를 통한 노출시 위해성 분석 및 평가

센서용으로 쓰이는 반도체 레이저 광원 레이저 입구에서 방사되어 나오는 빔의 퍼짐 정도가 빠르고 크기 때문에 레이저광이 멀리 진행하지 못한다. 따라서 센서용으로 쓰이기 위해서는 적절한 초점거리를 갖는 렌즈를 부착하여 사용하여야 한다. 레이저광이 렌즈를 통과하여 초점거리에 한 점으로 맺힐 때 적은 면적에 높은 광파우어가 집중되고, 이때 이러한 빔이 인체의 눈에 노출될 때 대단히 위험하게 되므로 많은 주의가 필요하다. 그림 6과 그림 7은 GaAs 레이저광을 렌즈에 통과시켰을 때 렌즈의 초점거리와 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경을 변화시키면서 광파우어 대 공칭 안장해 거리의 살펴본 결과이다. 공칭 안장해 거리  $r_{NOHD}$ 는 Table 2(C)의 수식으로 구하여 볼 수 있는데  $f$ 는 렌즈의 초점거리,  $b$ 는 렌즈에 입사하는 레이저광의 직경을 나타내고, MPE 값은 위와 마찬가지로 Table 1의 GaAs 레이저의 MPE=2.6 $\times$ 10<sup>-3</sup>W/cm<sup>2</sup>의 값을 적용하였다.

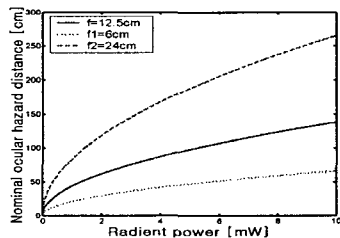


그림 6. 렌즈를 통한 노출시 초점거리 변화에 따른 공칭 안장해 거리

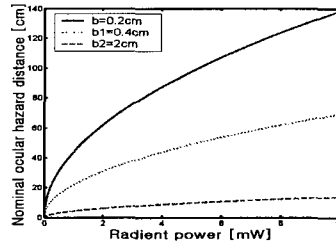


그림 7. 렌즈를 통한 노출시 레이저광의 직경 변화에 따른 공칭 안장해 거리

그림 6의 결과는 초점거리  $f$ 를 6cm, 12.5cm, 24cm로 변화시킬 경우 초점거리가 긴 렌즈를 쓸수록 안전거리가 길어진다는 것을 알 수 있었고, 그림 7은 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경  $b$ 를 0.2cm, 0.4cm, 2cm로 변화시킬 경우 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경이 작을수록 안전거리가 길어진다는 것을 알 수 있었다.

V. 결론

본 연구에서는 광센서에 적용되는 레이저가 인체의 눈에 미치는 위해 유형을 크게 3가지로 분류하여 분석하였다. 즉, 레이저가 직접 인체의 눈에 노출되는 경우의 직접 노출, 레이저광이 광센서 주변에 존재할 수 있는 반사체에 의해 노출 될 수 있는 경우 및 레이저광이 렌즈를 통하여 노출되는 경우 등으로 분류하였다. 이러한 경우들에 대하여 눈에 미치는 위해 정도를 여러 파라미터, 즉 최대 허용 노광량, 레이저 입구에서 나오는 빔의 직경, 레이저 방출 광파우어, 빛의 퍼짐각도, 렌즈의 초점거리등을 변화시키면서 공칭 안장해 거리에 대한 다양한 시뮬레이션을 해 보았다. 그 결과로서는 레이저의 방출 파우어가 크면 클수록, 레이저 입구에서 나오는 빔의 직경이 적으면 적을수록, 렌즈의 초점거리가 적으면 적을수록 공칭 안장해 거리가 적어진다는 것을 알 수 있었다. 이러한 데이터를 이용하여 광센서에 적용되는 레이저에 대한 선정 및 광센서 설치시 설계에 반영하여 인체의 눈에 대한 안전성을 확보하고자 하였다.

참고문헌

- [1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, "A guide for control of laser hazards", Cincinnati, OH, 1990.
- [2] E.A. Boettner and J.Remimer. Woltr, "Transmission of the ocular media", Health Physics, Vol. 1, No. 6.
- [3] ANSI, "American National Standard for Safe Use of Lasers", 2000