

위험기계 방호장치에 적용되는 레이저에 관한 연구

이충렬 · 김창봉*†

산업안전보건연구원 안전공학연구실 · *공주대학교 공과대학 정보통신공학부
(2002. 4. 17. 접수 / 2002. 7. 20. 채택)

The Study on the Laser in the Safety Device for Dangerous Machine

Choong-Lyul Lee · Chang-Bong Kim*†

Department of Safety Engineering, Occupational Safety & Health Institute

*Division of Information and Communication Engineering, Kongju National University

(Received April 17, 2002 / Accepted July 20, 2002)

Abstract : The safety device of infrared type for dangerous machine 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 data given by ANSI in this simulation.

Key Words : safety-device, laser, nominal ocular hazard distance, maximum permissible exposure

1. 서 론

프레스 등 위험기계로 인한 재해를 예방하기 위하여 현재 감응식 방호장치를 사용하고 있으나 신뢰도 및 사용 편리성 면에서 개선하여야 할 사항들이 있다. 방호장치의 신뢰성 및 편리성의 측면에서 이를 개선하기 위해서는 레이저를 이용한 방호장치를 개발하는 것이 적합하다. 그러나 레이저를 적용하는 방호장치의 개발에는 레이저의 강도에 따라 인체에 미치는 유해성 영향 등을 분석하여 그 결과를 고려하여 방호장치를 개발하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 현장의 작업자가 프레스 등의 위험기계를 사용하여 작업하는 가운데 방호장치에 장착된 레이저가 인체에 직접 혹은 간접적으로 접촉할 가능성이 높으므로 레이저 설치 시 인체에 미치는 유해성을 분석하고 그 결과를 이용하여 레이저를 이용한 방호장치의 개발에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

레이저가 인체에 미치는 유해성에 관한 연구는 수년 전부터 연구가 되어 왔으며 특히 레이저의 파장에 따라 혹은 노출시간에 따른 생물학적인 유해

성에 대해서 많은 연구가 진행되었다¹⁻⁷⁾. 그 연구들 중에서 레이저가 특히 인체의 눈에 미치는 유해성에 대한 여러 실험 및 연구결과가 보고되었으며⁸⁻¹⁰⁾ 그 연구결과와 한 예로서는 Nd:YAG 레이저를 이용하여 1.3-1.55 μm IR 파장을 발생시키어 높은 출력을 갖는(1W 및 2W) 레이저 빛을 원숭이 및 토끼의 눈에 조사시키면서 망막, 각막, 홍채 및 수정체에 미치는 유해성을 조사한 연구¹¹⁾ 등이 있다. 또한 최근에는 광통신 시스템에서 적용되는 어븀첨가광증폭기(Erbium-Doped Optical Amplifier)의 활용에 따라서 발생하는 광원의 출력이 거의 1W에 도달하게 되므로 이에 따라 광통신시스템에 적용되는 레이저 광원이 인체의 눈에 미치는 연구가 필요하게 되었으며 그에 따라 최근에 광통신 시스템을 유지 및 보수하는 작업자의 눈에 미치는 유해성에 대한 연구가 있었다¹²⁾.

본 연구의 II 장에서는 레이저광이 비레이저광과는 틀린 단일성(Monochromaticity), 코히런스(Coherence), 방향성(Directionality) 및 초점성(Focusability)에 대한 분석이 이루어지며 이러한 특성으로 인하여 비레이저광에 비해서 레이저광이 인체의 눈 및 피부에 조사될 때 심각하게 생기는 인체의 유해성과 일반적인 레이저의 등급 및 레이저를 다룰 때 알

†To whom correspondence should be addressed.
aggie@kongju.ac.kr

아야 할 레이저 안전 용어에 대하여 설명하였다. 다양한 종류의 레이저에 대한 파장대 및 레이저광의 직경 및 레이저광의 퍼짐정도, 광출력 등을 비교하며 그 유해정도를 조사한다.

제3장에서는 방호장치에 적용되는 레이저에 대한 유해정도를 시뮬레이션을 통하여 분석평가한다. 분석평가에 앞서 레이저광에 노출되면 제일 위험한 신체의 일부인 눈에 대한 구조 설명 및 노출 허용정도를 미국표준규격(ANSI)의 시방서¹³⁾에서 제시되는 파라미터 값들을 토대로 눈과 레이저광의 안전거리(Nominal Ocular Hazard Distance : NOHD)를 분석한다. 제4장에서는 본 연구의 결과에 대해서 기술하고 맺는다.

2. 레이저의 이론

2.1. 레이저의 구조

Fig. 1은 일반적인 레이저의 구조를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 레이저는 크게 세 부분으로 나누어져 구성된다. 세 부분의 명칭은 펌프(The Pump) 혹은 외부에너지원(External Energy Source), 이득매질(The Gain Medium) 및 공진기(The Resonator)이다. 각 부분의 역할을 기술하면 다음과 같다.

펌프는 레이저의 이득매질에서 밀도반전(Population Inversion)을 발생시키는데 필요한 외부에서 공급되는 에너지를 지칭하며, 만일 펌프가 존재하지 않는다면 이득매질에서 밀도반전을 일으키지 못하여 레이저의 증폭효과를 이룰 수 없어서 레이저 기능을 할 수 없게 된다. 펌프는 광학적, 전기적, 화학적, 열적인 형태로 레이저의 이득매질에 있는 원자를 여기(excite)시켜서 밀도반전을 일으키는 역할을 한다. 예를 들어 기체레이저의 일종인 He-Ne 레이저의 경우 펌프는 전기적인 방전(Discharge)을 통하여 이루어진다. 이러한 펌프를 전기적인 펌핑(Electrical Pumping)이라고 한다.

이득매질 혹은 증폭매질(Amplifying Medium)은 레이저에서 중요한 부분을 차지한다. 많은 다양한 레이저들은 레이저를 구성하는 이득매질의 종류에 따라, 즉 이득매질이 각각 CO₂, He-Ne, Nd:YAG 이므로 CO₂레이저, He-Ne 레이저, Nd:YAG 레이저로 각각 불린다. 일반적으로 레이저는 이득매질(Gain Medium)의 종류에 따라 기체, 고체, 액체 레이저로 분류되며, 광센서 및 광통신소자로 쓰이는 반도체레이저(Semiconductor Laser) 및 발광다이오드(Light

Emitting Diode) 등으로 분류된다. 이득매질의 가장 중요한 기능은 펌핑으로 인한 밀도반전을 지원하는 역할이다. 공진기는 광학적인 궤환기(Optical Feedback Device)로서 이득매질에서 발생된 광자를 이득매질을 통해서 앞뒤로 진행시키는 역할을 한다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 공진기는 평면 혹은 곡면형태로 된 유리거울로 한쪽거울은 반사율이 100%인 면으로 구성하고 다른 하나의 거울면은 반사율이 100%보다 적게 만들어서 공진기 내부에서 증폭된 빛의 일부가 밖으로 유출되어 레이저 빛이 나올 수 있도록 된 구조로 되어있다.

2.2. 레이저의 특징

2.2.1. 단일성(Monochromaticity)

레이저는 다른 광원과 달리 빛을 광스펙트럼 분석기에 분석하면 좁은 파장대에 걸쳐서 나타나지만 일반적인 램프 광원 등은 아주 넓은 폭의 파장대에 걸쳐서 나타난다. 완전한 단일광(Perfectly Monochromatic)이라는 것은 스펙트럼상에서 단일파장만 나타내는것을 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.

2.2.2. 코히어런스(Coherence)

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

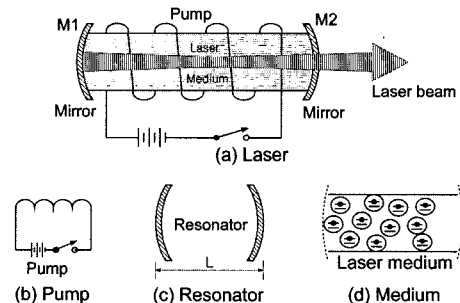


Fig. 1. Basic elements of a laser

공간적 코히어런스가 우수하다.

2.2.3. 방향성(Directionality)

레이저의 빛은 다른 광원에서 나오는 빛과 달리 방향성이 매우 좋다. 예를 들어 햇빛을 유리거울을 사용하여 햇빛의 방향을 자신이 원하는 방향으로 반사시켜서 보낼 수는 있으나 햇빛 자체가 빛의 퍼짐 각도가 크기 때문에 대다수 많은 햇빛이 원하는 정확한 부분으로 모이기가 어렵고 흐트러지는 것을 볼 수 있다. 그러나 레이저에서 나오는 빛은 우리가 원하는 방향 및 장소에 정확하게 보낼 수 있다. 따라서 다른 광원과 비교해서 레이저의 빛은 방향성이 매우 좋다고 할 수 있다. 레이저의 방향성에서 중요한 요인은 레이저로부터 나오는 빛의 퍼짐 정도이다. 특히 본 연구와 관련하여 레이저 빛이 눈에 미치는 유해성을 고려할 때 방호기계에 장착되는 레이저에서 나오는 레이저광의 퍼짐 정도를 알아야 하는 것은 대단히 중요하다. Fig. 2는 He-Ne 레이저를 예를 들어 레이저광의 진행거리와 빔의 직경과의 관계를 시뮬레이션 시켜보았다. 결과로 He-Ne 레이저와 같은 빔의 직경 1.6cm를 얻으려면 빛의 진행거리가 320m가 되어야 한다는 계산 결과가 나온다. 즉, 후자의 파장이 200nm인 레이저가 He-Ne 레이저 보다 퍼지는 각도가 적기 때문에 더 멀리 진행할 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

2.2.4. 초점성(Focusability)

레이저 및 일반 비레이저 광원(열적광원(Thermal Source)도 포함)도 렌즈를 사용하여 한 점으로 빛을 모을 수 있는데 방호기계를 설계하면서 방호기계에 장착하는 센서용 레이저 선정시 레이저의 파장, 광출력등의 선정도 중요하지만 레이저의 퍼짐각도 및

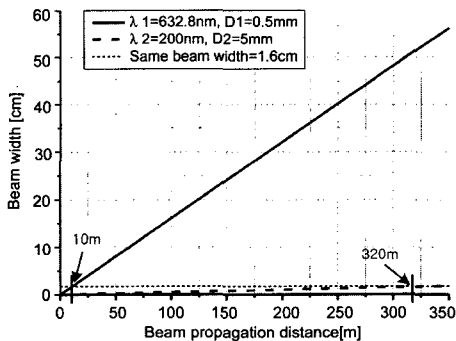


Fig. 2. Beam width versus propagation distance

레이저 앞에 장착되는 렌즈의 초점거리도 중요한 파라미터가 된다. Fig. 3은 방호장치에 적용될 수 있는 레이저의 퍼짐각도를 변화시키면서 레이저 앞에 장착된 렌즈의 초점거리를 3가지 종류, 10cm, 40cm, 80cm를 사용하였을 때의 초점거리에 맺히는 빔 사이즈를 계산한 결과이다.

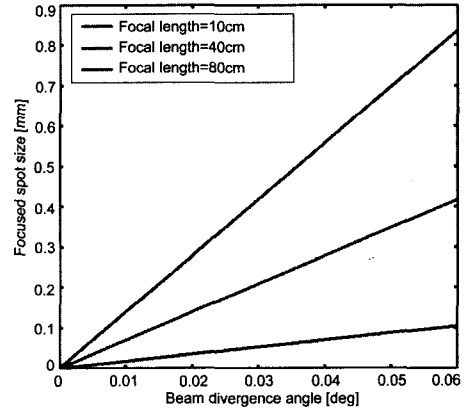


Fig. 3. Focal length versus spot size

3. 레이저의 등급 및 레이저의 안전용어

3.1. 레이저의 등급

레이저의 등급은 미국 캔터키대학의 레이저 안전 연구실 및 ANSI에서 분류한 내용을 참조하였다.

(1) I급 레이저

이 레이저는 일반적으로 지속파로서 0.4μW 정도로서 출력이 매우 낮다. I급 레이저의 예는 레이저 프린터 내부에 장착된 스캔용 레이저, 컴팩 디스크 플레이어 내에 장착된 레이저, CD ROM용 레이저 등에 쓰인다. 출력이 낮기 때문에 특별한 통제조건이나 경고표시가 필요 없다. 그러나 직접적으로 사람의 눈에 노출시키는 것은 피해야 한다.

(2) II급 레이저

이 레이저는 낮은 출력의(< 1mW) 가시광선 레이저이지만 인체의 눈에 노출될 경우 위험을 가할 수 있다. II급 레이저의 예의 대표적인 것은 레이저 포인터이다. II급 레이저를 장시간(15분 이상) 눈에 노출되면 위험하다. 따라서 II급 레이저를 자신의 눈에 직접 비추는 것은 위험할 뿐만 아니라 다른 사람의 눈에 비추어도 안된다.

(3) IIIa급 레이저

이 레이저는 지속파로서 1-5mW 정도의 광출력을

갖는 레이저이다. IIIa 등급에 속하는 레이저의 예로서는 위의 II급 레이저인 레이저 포인터 또는 레이저 스캐너등이 포함된다. IIIa급 레이저를 직접 눈으로 보는 것은 매우 위험하다. 따라서 자신 및 타인의 눈에 이 레이저를 겨누어서는 안되며, 더욱이 렌즈등의 집광렌즈를 통해서 보아서는 더욱 더 위험하다.

(4) IIIb 급 레이저

이 레이저는 지속파로서 5-500 mW 정도의 펄스 동작으로 $10 J/cm^2$ 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) IV급 레이저

이 레이저는 고출력 레이저로서 지속파로서는 500mW 이상이고 펄스동작으로서는 $10 J/cm^2$ 이상의 광출력을 갖는다. IIIb 등급에 속하는 레이저의 예로서는 공업용, 의료용으로 쓰이는 레이저로서 의료용은 수술용으로 공업용은 용접 및 커팅의 용도로 쓰인다. 이 레이저가 직접적 혹은 간접적(반사파)으로 인체의 눈 및 피부에 노출되면 치명적이므로 세심한 주의가 필요하다. 따라서 IV급 레이저가 설치된 장소에서는 경고 사인을 부착하는 것은 물론이고, 눈을 보호하는 안경을 꼭 착용하여야 한다. 또한 레이저 주변에 빛이 반사가 될 수 있는 어떠한 물체라도 있으면 레이저 빛이 반사되어 눈에 치명적인 결과를 초래 할 수 있으므로 모든 반사 될 수 있는 물체는 레이저 주변에서 먼 곳으로 띄어 놓아야 한다.

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 α_{min} 로 표시하며, 관측자의 눈의 위치에서 바라본 레이저 광원의 대응 시각을 말하며, 점광원 시각(Small-Source Viewing)과 확산광원 시각(Extended-Source Viewing)으로 분

류가 되며 $\alpha_{min}=1.5mrad$ 으로 정한다. 즉 1.5mrad 보다 적으면 점광원으로 크면 확산광원 시각으로 분류한다.

(4) 공칭 안장해 거리(Nominal Ocular Hazard Distance, NOHD)

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

위의 안전용어들은 방호장치 적용조건에서의 레이저의 유해성 평가를 위한 파라미터들로 사용되었다.

4. 방호장치에 적용 조건에서의 레이저의 위험정도 분석 및 평가

눈과 피부의 구조 및 레이저에 대한 생물학적인 반응은 한국 산업 규격¹⁴⁾의 레이저 제품의 방사안전 기준을 참고하여 기술하였다.

4.1. 눈의 구조 및 생물학적 반응

4.1.1. 눈의 구조와 생물학적 반응

안구는 구형으로 지름이 24mm이고, 바깥쪽은 튼튼한 결합조직인 강막으로 이루어져 있다. 앞면에서 보면 흔히 검은자위라고 불리는 투명한 각막과 흰자위라 불리는 결막으로 덮여진 강막을 볼 수 있다. 각막은 상피, 내피, 실질로 이루어져 있는데 상피는 세균감염에 대한 저항력이 매우 낮고, 손상을 입게되면 강한통증과 눈물, 눈부심 등의 증상이 나타나고, 내피가 손상되면 각막에 백탁증상이 나타난다. 상피는 저항력은 떨어지지만 재생력은 매우 좋다. 내피의 경우는 재생력이 매우 낮아 손상을 입게되면 다시 좋아지기가 힘들어진다. 눈의 자세한 구조는 Fig. 4와 같다.

눈의 장해 요인으로는 레이저광의 과장과 광 강

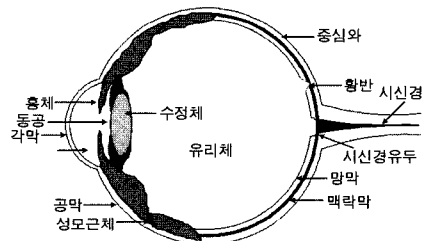


Fig. 4. A cross section of right side eye.

도로 나누어 볼 수 있다. 파장이 장파장인 1500nm 이상의 경우 눈 안에 빛이 들어가지 못하고 각막 표층에 에너지가 흡수되어 조사시 표면에 영향을 준다. 가시광 과 근적외선 영역인 400~1200nm 파장에서는 투명한 각막과 수정체에 의해 집광 작용을 하여 눈에 심각한 장해를 주기 쉽다. 400nm보다도 작은 단파장에서는 광로 도중 흡수도가 커져 안구에는 거의 도달하지 않는다. 레이저광의 조사시 반응으로 온도상승에 의한 눈의 조직 구성 단백질의 변성, 파괴, 광화학 반응에 의한 장해와 플라즈마류, 압력파에 의한 파괴를 들 수 있는데 이런 장해는 단독으로도 복수형으로도 나타날 수 있다. 단위면적당 광 강도가 극단적으로 높아지면 광학적 반응과 플라즈마류나 압력파에 의해 주변 조직의 파괴가 일어나고, 홍채, 망막, 맥락막 등의 혈관에 장해를 받게 되었을 경우에는 안구 안으로 출혈이 생기게 되는데 출혈이 심하게 되면 심각한 장해를 일으킨다. 또한 아직까지 MPE값 이하의 약한 빛에 대한 누적에 의한 장해는 알려져 있지 않은데, 레이저광의 조사로 장해를 받기 쉬운 기관인 눈의 의학적 관리 측면에서 특별한 안과 검진보다는 정기적인 안장해 교육이 필요할 것으로 보인다.

4.2. 위해성 평가 분석

실제 방호장치에 부착된 레이저의 위해성 평가 분석을 위해 3가지 경우의 노출, 즉 직접노출, 반사에 의한 노출 및 렌즈를 통한 노출에 대하여 평가 및 분석하였다.

4.2.1. 직접 노출

작업자가 위험기계를 사용시 레이저광이 직접 노출되었을 때 위해정도를 분석하기 위해 앞에서 정의한 눈의 MPE를 적용시킬수 있는데 이때 MPE 값은 ANSI 에 제시된 값을 사용한다. Table 1은 ANSI 에 나오는 다양한 레이저에 대한 눈의 MPE를 나타낸 것이다.

Fig. 5의 파라미터인 r_{NOHD} 은 눈의 안전거리인 공칭 안장해 거리를 나타낸 것으로서 작업자의 눈의 안전성을 확보할 수 있는 거리인 r_{NOHD} 의 여러 파라미터를 변화시키면서 계산한 시뮬레이션 결과이다.

Fig. 5 (a)는 레이저의 빔의 직경을 변화 시키면서 (a=0.2, 5, 10cm) 방출 광파우어를 변화 시켰을 때 공칭 안장에 거리를 계산한 결과를 보여주며 Fig. 5

Table 1. 다양한 레이저의 눈에 대한 MPE

Laser Type	Wavelength (μm)	Exposure Duration (s)	Maximum Permissible Exposure	
			(J·cm ⁻²)	(W·cm ⁻²)
Argon	0.275	10 to 3×10 ⁴	3×10 ⁻³	-
Helium-Cadmium	0.325	10 to 3×10 ⁴	1	-
Helium-Cadmium	0.4416	0.25	-	2.5×10 ⁻³
Argon	0.488	10 to 58	-	1×10 ⁻³
Argon	0.488	58 to 10 ²	5.8×10 ⁻²	-
Helium-Neon	0.632	0.25	-	2.5×10 ⁻³
Helium-Neon	0.632	10 to 3×10 ⁴	-	1×10 ⁻³
Krypton	0.647	0.25	-	2.5×10 ⁻³
Krypton	0.647	10 to 3×10 ⁴	-	1×10 ⁻³
InGaAlP	0.670	0.25	-	2.5×10 ⁻³
GaAs	0.905	10 to 3×10 ⁴	-	2.6×10 ⁻³
Neodymium:YAG	1.064	10 to 3×10 ⁴	-	5×10 ⁻³
InGaAsp	1.310	10 to 3×10 ⁴	-	4×10 ⁻³
Carbon-Dioxide	10.600	10 to 3×10 ⁴	-	0.1

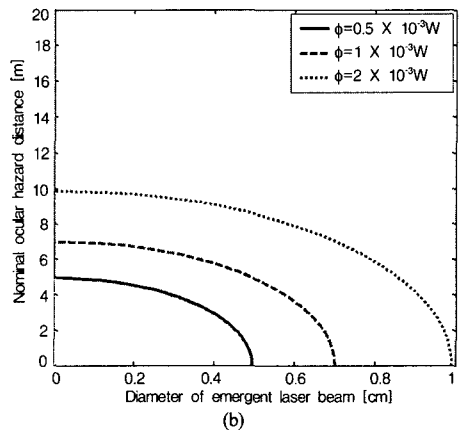
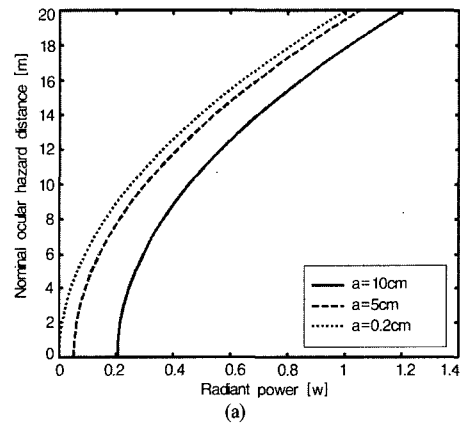


Fig. 5. (a) Radiant power versus Nominal Ocular Hazard Distance. (The beam diameter is varied). (b) Beam diameter versus Nominal Ocular Hazard Distance. at the entrance of laser.(The radiant power is varied).

(b)는 레이저의 방출 광 파워($P=0.5, 1, 2\text{mW}$)를 변화시키면서 방출 입구에서 빔의 직경대 공칭 안전 거리에 대한 결과이다. Fig. 5의 결과는 빔의 직경이 작아질수록 r_{NOHD} 는 길어지는데 이 의미는 빔의 직경이 적을수록 눈과 레이저간의 거리가 멀어야 안전하다는 것을 보여주고 있고, 방출 광 파워를 변화시켰을 때 빔의 직경 대 r_{NOHD} 의 관계는 같은 빔의 직경을 갖는 레이저에서 방출 광 파워가 큰 레이저일수록 r_{NOHD} 가 길어진다는 의미이다.

4.2.2. 반사에 의한 노출

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. 방호기에 적용되는 레이저의 광 파워가 대체적으로 작기 때문에 일반 반사체의 경우는 눈에 위해정도가 미미한 것으로 판단되므로 거울반사의 경우만을 고려한다. Fig. 6은 파장대가 $0.905\ \mu\text{m}$ 인 GaAs 레이저가 거울면에 반사되어 눈에 노출되었다고 가정했을 때를 시뮬레이션 시켜 보았다. 이때 MPE값은 Table 1에서의 $2.6 \times 10^{-3}\ \text{W}/\text{cm}^2$ 를 대입하였다.

Fig. 6의 결과로서 $0.905\ \mu\text{m}$ 인 GaAs 레이저를 사용하였을 경우에는 거울 반사에 의한 눈의 위해성을 피하기 위해서는 눈과 레이저의 거리가 2.15m 보다 커야 한다. 이때 거울면은 레이저와 눈 사이에 위치하며, 눈의 안전을 위해 너무 낮은 광 파워의 레이저를 선택한다면 수광부의 낮은 광 파워로 인해 수신감도가 떨어질 수 있는 단점이 있으므로 적절

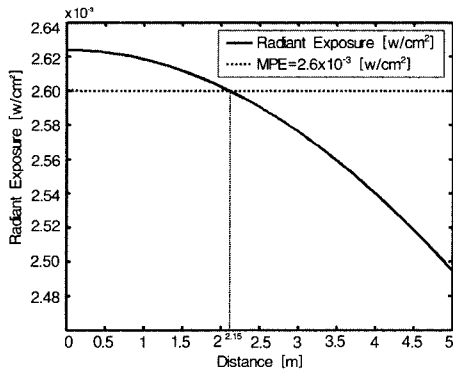
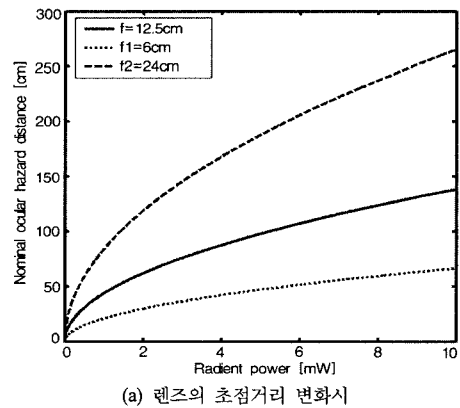


Fig. 6. Distance versus radiant exposure in the case of specular reflection.

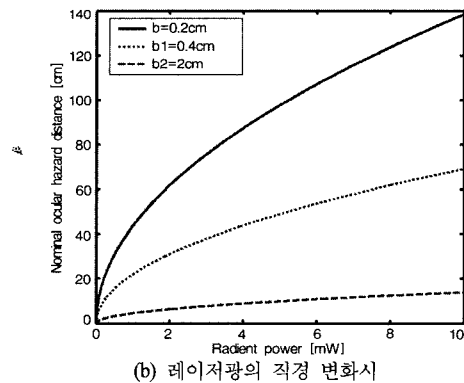
한 광 파워를 갖는 레이저를 선택해야만 한다.

4.2.3. 렌즈를 통한 노출

센서용으로 쓰이는 반도체 레이저 광원 레이저 입구에서 방사되어 나오는 빔의 퍼짐정도가 빠르고 크기 때문에 레이저광이 멀리 진행하지 못한다. 따라서 센서용으로 쓰이기 위해서는 적절한 초점거리를 갖는 렌즈를 부착하여 사용하여야 한다. 따라서 레이저광이 렌즈를 통과한 상태에서 인체의 눈에 얼마만큼의 위해를 가하는지를 작업자의 안전을 위해서 조사가 필요하다. 레이저광이 렌즈를 통과하여 초점거리에 한점으로 맺힐 때 적은 면적에 높은 광 파워가 집중되고 이때 이러한 빔이 작업자의 눈이나 피부에 노출될 때 대단히 위험하게 되므로 작업자의 많은 주의가 필요하다. Fig. 7는 GaAs 레이저 광을 렌즈에 통과시켰을 때 렌즈의 초점거리와 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경을 변화시키면서 광



(a) 렌즈의 초점거리 변화시



(b) 레이저광의 직경 변화시

Fig. 7. Radiant power versus Nominal Ocular Hazard Distance.

- (a) The focal length of lense is varied.
- (b) The diameter of laser beam is varied.

Fig. 7(a)는 렌즈의 초점거리를 변화시($f=6, 12.5, 24\text{cm}$) 초점거리가 긴 렌즈를 쓸수록 안전거리가 길어진다는 결과를 보여주고 있고, Fig. 7(b)는 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경을 변화시($b=0.2, 0.4, 2\text{cm}$) 렌즈에 입사되는 레이저광의 직경이 적을수록 안전거리가 길어진다는 것을 보여 주고 있다.

4.3. 방호장치에 적용되는 센서용 레이저 사용시 주의할 점

위험기계 방호장치에 적용되는 센서용 레이저에 대한 선정방법 및 사용시 주의 할점은 다음과 같다. 레이저의 선정시 고려해야 할 사항은 레이저 광 파워의 크기와 종류이다. 즉 레이저의 광 파워가 크면 클수록 센서의 수광부의 수신 감도가 좋아져서 센서의 기능이 좋아지는 장점이 있지만 높은 광 파워로 인한 눈의 위해정도가 커질 수 있는 단점이 있다. 따라서 적절한 광 파워를 갖으며 눈의 위해정도를 줄일 수 있는 레이저를 선정하는 것이 바람직하다. 또한 레이저 종류로서는 앞서서도 언급이 되었듯이 LED 및 반도체 레이저를 사용할 수 있고, 레이저 동작방법은 펄스 혹은 CW로도 가능하여야 한다.

레이저 사용 시 주의할 점은 적용되는 레이저의 크기 및 광 파워가 적더라도 일단 평행광으로 되어 눈에 노출되면 위험하다. 따라서 평행광으로 된 레이저광을 직접 육안으로 본다든지 하는 경우는 대단히 위험하므로 주의를 요한다.

5. 결 론

본 연구에서는 먼저 레이저의 유해성을 분석하기 전에 레이저의 구조와 특성을 조사하였다. 레이저의 특징으로 단일성, 코히어런스, 방향성, 초점성 등을 들 수 있는데 특히 레이저가 인체에 위해를 가하는 것은 다른 비레이저 광원과 달리 레이저 빛은 단일성을 갖으면서 방향성이 뛰어나고 적은 빔의 사이즈에 광파우어 밀도가 높기 때문에 인체의 눈 및 피부에 위해를 가할 수 있다는 것을 제시하였다.

또한 방호장치에 적용되는 레이저의 유해 정도를 분석 및 평가하였다. 레이저가 눈에 미치는 위해 유형을 크게 3가지로 분류하여 분석하였다. 즉, 레이저가 직접 작업자의 눈에 노출되는 경우의 직접 노출, 레이저광이 방호기계 주변에 존재할 수 있는 반사체에 의해 작업자의 눈에 노출 될 수 있는 경우

및 레이저광이 렌즈를 통하여 작업자의 눈에 노되는 경우 등으로 분류하였다. 이러한 경우들에 대하여 눈에 미치는 위해 정도를 여러 파라미터, 즉 최대 허용 노광량, 레이저 입구에서 나오는 빔의 직경, 레이저 방출 광 파워, 빛의 퍼짐각도, 렌즈의 초점거리, 반사체에서의 반사각 등을 변화시키면서 공칭 안장해 거리를 시뮬레이션을 하였다. 그 결과로서는 레이저의 방출 광 파워가 크면 클수록, 레이저 입구에서 나오는 빔의 직경이 적으면 적을수록, 렌즈의 초점거리가 적으면 적을 수록 공칭 안장해 거리가 적어진다는 것을 알 수 있었다. 이러한 데이터를 이용하여 위험기계에 적용되는 레이저에 대한 선정 및 레이저빔 강도의 결정 등 방호장치의 설계에 반영하여 유해성이 없는 방호장치의 개발과 개발된 방호장치의 안전한 사용에 활용되게 하고자 하였다.

참고문헌

- 1) American Conference of Governmental Industrial Hygienists, "A guide for control of laser hazards," Cincinnati, OH, 1990.
- 2) American Conference of Governmental Industrial Hygienists, "Documentation for the threshold limit values for chemical substances and physical agents in the workroom environment," Cincinnati, OH, 1993.
- 3) American National Standards Institute, "Safe use of lasers," New York, American National Standards Institute; Standard Z-136-141, 1978.
- 4) C.B.Barger, O.J.Deters, R.A.Farrell, and R.L. McCally, "Epithelial damage in rabbit corneas exposed to CO2 laser radiation," Health Physics, 1989.
- 5) T. Begqvist and B. Hartmann, "Imaging properties of the eye and interaction of laser radiation with matter," Stockholm, Karolinska Institute, Department of Ophthalmology, 1978.
- 6) A. Cleuet and A. Mayer, "Risques lies a l'utilisation industrielle des lasers Paris: Institut National de Recherche et de Securite, Cahiers de Notes Documentaires," 1980 (in french).
- 7) D.Courant, L. Court, and D.H. Sliney, "Spot size dependence of laser retinal dosimerty," SPIE Institute Series, 1989.
- 8) E.A. Boettner and J.Remimer. Woltr, "Trans-

- mission of the ocular media," Health Physics, Vol. 1, No. 6.
- 9) D.H. Sliney and M.L. Wolbarsht, "Safety with Lasers and Other Optical Sources," (Plenum Publishing Corp, New York, NY), 1980.
 - 10) P.S. Avdeev, Y.D. Berezin, Y.P. Gudakovskii, V.R. Murzin, and V.A. Fromzel, "Experimental Determination of Maximum Permissible Exposure to laser Radiation of 1.54nm Wavelength," Soviet Journal of Quantum Electronic, 1978.
 - 11) B.E. Stuck, D.J. Lund, and E.S. Beatrice, "Ocular effects of laser radiation from 1.06 to 2.06 μm ," SPIE Institute Series, 1980.
 - 12) B.A. Koelbl, "Eye safety concerns for ultra long haul networks," National Fiber Optic Engineers Conference, 2001.
 - 13) ANSI, "American National Standard for Safe Use of Lasers," 2000
 - 14) 한국 산업 규격, "레이저 제품의 방사 안전 기준," 1995.