

레이저 안전

Safe Use of Lasers

서 정

한국기계연구원 레이저기술연구그룹

레이저는 산업 현장에서 점차적으로 확대 보급되어 유용하게 사용되는 반면에 작업자는 레이저의 오용으로 인한 잠재적인 위험에 노출될 경우가 생길 수 있다. 가시광선 파장대를 제외한 영역의 레이저 빔은 눈에 보이지 않으며, 금속에 닿으면 예측하지 않는 방향으로 반사될 가능성이 있으므로 위험한 점도 있다. 또한, 레이저 가공기의 테이블도 매년 대형화되고, 속도도 증가하므로 테이블에 끼이거나 말려들 위험도 존재하고 있다. 따라서, 레이저 사용 작업자들은 레이저 및 가공기가 갖고 있는 위험성을 정확히 인식하고 확실하게 취급을 하여야 한다.

1. 레이저 위험(laser hazards)

레이저 사용으로 인해 작업자가 받을 수 있는 위험들은 다음과 같이 구분될 수 있다.

- ① 레이저 방사에 따른 위험 (laser radiation hazards)
- ② 화학적 위험 (chemical hazards)
- ③ 전기적 위험 (electrical hazards)
- ④ 2차적 위험 (secondary hazards)

1.1 레이저 방사에 따른 위험

레이저 빔 방사는 다음과 같이 구분되며 각각 인체에 다른 생물학적 영향을 미치고 있다.

- ① Non-ionizing radiation : Optical radiation (ultraviolet, visible, infrared)
- ② Ionizing radiation : X-rays, Gamma rays

또한, 레이저 빔이 인체에 대한 영향에서 특히 문제가 되는 것은 눈과 피부에 대한 장애이다.

1.1.1 눈에 대한 위험 (eye hazards)

레이저 빔이 직접 또는 반사경 등에 의해 반사되어 눈에 닿았을 때 레이저 빔의 파장에 따라 장애 요인은 달라진다. 연속파와 비교적 긴 펄스 폭의 레이저 빔은 열작용 또는 광화학작용으로 다음에 나타낸 바와 같은 장애를 일으킨다.(그림 1 참조)

- ① 파장 400~1400nm(visible and near-infrared spectral range)의 빔은 망막위에 집광될 수 있으며, 열작용, 광화학작용(430nm 부근의 빔)으로 망막장애를 일으킨다.
- ② 파장 200~400nm 및 1400~10⁶nm (ultraviolet and far-infrared spectral

region)의 빔은 각막, 수정체의 조직에 흡수되어 화상, 시력저하를 동반하는 백내장 등을 일으킨다.

한편, 짧은 펄스 폭의 레이저 빔에서는 충격파에 의한 망막화상, 안저출혈 등이 일어나고 고도의 시력저하를 일으킨다.

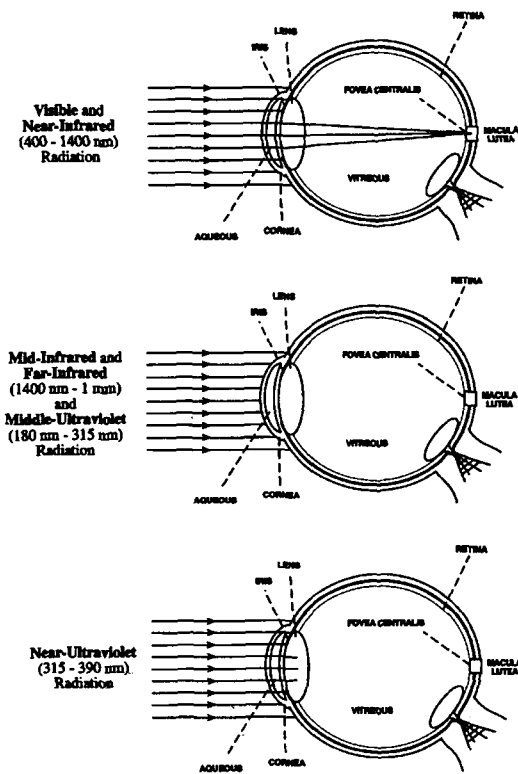


그림 1. 각 파장대의 레이저 빔의 흡수 영역

1.1.2 피부에 대한 위험 (skin hazards)

- ① 파장 230~380nm(actinic ultraviolet)의 레이저 빔은 홍반(수포형성)이나 피부암을 유발할 수 있다. 가장 위험한 영역은 280~315nm 파장대이다.
- ② 파장 700~1000nm(infrared)의 레이저 빔은 피부화상과 과도한 피부건조화를 유발한다.

1.2 화학적 위험 (chemical hazards)

일부 레이저(excimer, dye and chemical laser)에서 빔 발생을 위해 사용하는 재료들은 위험하거나 독성의 물질이므로 주의해야 한다. 또한, 용접, 절단 등의 재료 가공 중에 유독가스나 미세입자들에 의한 위험도 잠재해 있다.

1.3 전기적 위험 (electrical hazards)

레이저와 관련된 가장 치명적인 위험은 전기적 위험 요소이다. 특히 고출력 레이저에서는 빔 발생을 위한 고전압단의 취급에 있어서는 전문적인 지식이 있는 작업자가 다루어야 한다.

1.4 2차적 위험 (secondary hazards)

- ① 냉각제 사용(cryogenic coolant, 특히, LN2)의 위험
- ② 고출력 레이저부터 나오는 소음
- ③ Optical pump 혹은 lamp 의 폭발
- ④ 화재

2. 안전에 관한 규격

2.1 인체에 대한 노광의 기준

인체에 대한 레이저 빔의 조사가 어느 한도를 넘으면 피부는 화상을 입게 된다. 또, 눈은 특히 예민해서 피부보다도 낮은 한도에서 손상을 받는다. 레이저 조사로 장해 발생율이 50%가 되는 값의 1/10를 MPE (Maximum Permissible Exposure : 최대 허용 노출광량)라고 부른다. MPE는 인체에 관한 노출광량을 관리하는 지표로서 사용되고, 이것은 위험수준과 안전수준과의 명료한 경계라고 할 수는 없다.

ANSI Z136.1 이나 JIS C6802에서 눈과

피부에 대한 MPE는 각각 정해져 있으며, 레이저의 파장과 조사시간이나 기타의 조사 조건(연속파, 펄스파 등)에 따라서 MPE는 다르게 규정되어 있으며, 표 1~3에 정리되어 있다.

2.2 레이저 발전기의 클래스(class) 구분

레이저 발전기는 잠재적인 위험수준에 따라 클래스 1~4의 4개의 클래스로 분류하고 있다. 클래스 구분을 위해 클래스 1 AEL (Accessible Emission Limit : 피폭 방출 한계)이 정해져 있으며, 이는 한계노출시간 (limiting exposure duration, Tmax)이 $T_{max} = 3 \times 10^4$ sec (약 8시간)에서 표 1~3의 MPE를 초과하지 않은 안전한 수준을 의미한다. 또한, $AEL = MPE \times ALP$ (Area of Limiting aPerture)를 의미하며, ALP는 표 4에 규정되어 있다. 따라서, 클래스 1 AEL은 조사조건에 대한 레이저 빔의 출력으로 주어지게 되고 이를 기준으로 하여 클래스를 분류하고 있다. 클래스 2 이상은 순차로 위험도가 크게 되고, 클래스 4가 가장 위험도가 높다.

표 1 Intrabeam MPE for the eye for selected CW lasers

Laser Type	Wavelength (μm)	Maximum Permissible Exposure		Exposure Duration (s)
		(J cm^{-2})	(W cm^{-2})	
Argon	0.275	3×10^{-3}	-	10 to 3×10^4
Helium-Cadmium	0.325	1	-	10 to 3×10^4
Argon	0.351	1	-	10 to 3×10^4
Helium-Cadmium	0.4416	-	2.5×10^{-3}	0.25
Argon	0.488, 0.514	10^{-3}	-	10 to 10^4
Argon	0.488, 0.514	-	10^{-6}	$>10^4$
Helium-Neon	0.632	-	2.5×10^{-3}	0.25
Helium-Neon	0.632	10×10^{-3}	1.0×10^{-3}	10
Helium-Neon	0.632	0.17	-	>453 to 10^4
Helium-Neon	0.632	-	17×10^{-6}	$>10^4$
Krypton	0.647	-	2.5×10^{-3}	0.25

Laser Type	Wavelength (μm)	Maximum Permissible Exposure		Exposure Duration (s)
		(J cm^{-2})	(W cm^{-2})	
Krypton	0.647	10×10^{-3}	1.0×10^{-3}	10
Krypton	0.647	0.28	-	>871 to 10^4
Krypton	0.647	-	28×10^{-6}	$>10^4$
InGaAlP	0.670	-	2.5×10^{-3}	0.25
GaAs	0.905	-	0.8×10^{-3}	>1000
Neodymium-YAG	1.064	-	1.6×10^{-3}	>1000
InGaAsP	1.310	-	12.8×10^{-3}	>1000
InGaAsP	1.550	-	0.1	>10
Carbon-Dioxide	10.600	-	0.1	>10

표 2 Intrabeam MPE for the skin for selected CW lasers

Laser Type	Wavelength (μm)	Maximum Permissible Exposure		Exposure Duration (s)
		(J cm^{-2})	(W cm^{-2})	
Argon	0.275	3×10^{-3}	-	3×10^4
Helium-Cadmium	0.325	1	-	10 to 1000
Argon	0.351	1	-	10 to 1000
Helium-Cadmium	0.4416	-	0.2	>10
Argon	0.488	-	0.2	>10
Argon	0.514	-	0.2	>10
Helium-Neon	0.6328	-	0.2	>10
Krypton	0.647	-	0.2	>10
GaAs	0.905	-	0.5	>10
Neodymium-YAG	1.064	-	1.0	>10
Carbon-Dioxide	10.600	-	0.1	>10

표 3 Intrabeam MPE for the eye and skin for selected pulsed lasers

Laser Type	Wavelength (μm)	Duration (s)	Maximum Permissible Exposure (J cm^{-2})	
			Eye	Skin
Excimer(ArF)	0.193	2×10^{-8}	3×10^{-3}	3×10^{-3}
Excimer(KrF)	0.248	2×10^{-8}	3×10^{-3}	3×10^{-3}
Excimer(XeCl)	0.308	2×10^{-8}	6.7×10^{-3}	6.7×10^{-3}
Excimer(XeF)	0.351	2×10^{-8}	6.7×10^{-3}	6.7×10^{-3}
Ruby(Normal-pulsed)	0.6943	1×10^{-3}	1×10^{-5}	0.2
Ruby(Q-switched)	0.6943	$5 \sim 100 \times 10^{-9}$	5×10^{-7}	0.02
Rhodamine 6G dye laser	0.500-0.700	$0.5 \sim 18 \times 10^{-9}$	5×10^{-7}	0.03 to 0.07
Nd:YAG (Normal pulsed)	1.064	1×10^{-3}	5×10^{-5}	1.0
Nd:YAG (Q-switched)	1.064	$5 \sim 100 \times 10^{-9}$	5×10^{-6}	0.1
Carbon Dioxide	10.6	1×10^{-3}	10×10^{-3}	10×10^{-3}

표 4 Limiting apertures for hazard evaluation and AEL determination

Spectral Region (μm)	Duration (s)	Aperture Diameter (mm)	
		Eye	Skin
0.180 to 0.400	10^{-9} to 0.25	1.0	3.5
	0.25 to 3×10^4	3.5	3.5
0.400 to 1.400	10^{-9} to 3×10^4	7.0	3.5
1.400 to 10^2	10^{-9} to 0.3	1.0	3.5
	0.3 to 10^4	$1.5 t^{3/8}$	3.5
10^2 to 10^3	10 to 3×10^4	3.5	3.5
	10^{-9} to 310^4	11.0	11.0

클래스 2는 $T_{\text{max}} \leq 10^3$ sec에서 클래스 1 AEL를 초과하지 않는 수준을 의미한다.

일반적으로 저출력이며 파장 400~700nm (visible spectral range)의 레이저는 여기에 속하는데 눈은 빛에 대해 피하거나 깜빡거림이 있으므로 확실한 위험은 존재하지 않으나, 오래동안 계속해서 보지 않은 것이 좋다. 연속파의 경우 출력 1mW 레이저가 이에 속하며, 펄스파의 경우 $T_{\text{max}}=0.25$ sec에서 클래스 1 AEL을 초과하지 않아야 한다.

한편, 연속파 레이저의 경우 0.5W이하의 레이저는 클래스 3에 속하며, 출력 >0.5W의 레이저는 모두 클래스 4의 분류에 들어간다. 클래스 1~4의 자세한 분류내용은 표 5와 표 6에 정리되어 있다.

표 5 Typical laser classification - continuous wave (CW) lasers

Wavelength Range (μm)	Laser Type	Wavelength (μm)	Class 1* (W)	Class 2 (W)	Class 3b** (W)	Class 4 (W)
Ultraviolet 0.180 to 0.280	Nd:YAG (quadrupled)	.266 only	$\leq 9.6 \times 10^{-4}$ for 8 hours	—	>Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
	Argon	0.275				
0.315 to 0.400	Helium-Cadmium	.325 only	$\leq 3.2 \times 10^{-4}$	—	>Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
	Argon	0.351, 0.363 only				
	Krypton	0.3507, 0.3564 only				
Visible 0.400 to 0.700	Helium-Cadmium	0.4416 only	$\leq 0.4 \times 10^{-4}$	—	>Class 1 but $\leq 1 \times 10^{-3}$	Class 1 but ≤ 0.5
	Argon	0.476, 0.488, 0.514				
	Krypton	0.530				
	Nd:YAG (doubled)	0.532				
	Helium-Neon	0.543				
	Dye	0.400-0.550				
	Helium-Selenium	0.460-0.550				
	Helium-Neon	0.632				
	Dye	0.550-0.700				
	InGaAlP	0.670				
Ti:Sapphire	0.670					
Krypton	0.647, 0.676	$\leq 1.1 \times 10^{-4}$, 3×10^{-4}				
Near Infrared 0.700 to 1.400	GaAlAs	0.780	$\leq 0.18 \times 10^{-4}$ $\leq 0.25 \times 10^{-4}$ $\leq 0.32 \times 10^{-4}$ $\leq 0.64 \times 10^{-4}$ $\leq 0.64 \times 10^{-4}$ $\leq 4.40 \times 10^{-4}$	—	>Class 1 but ≤ 0.5	>0.5
	GaAlAs	0.850				
	GaAs	0.905				
	Nd:YAG	1.064				
	Helium-Neon	1.080, 1.152 only				
InGaAsP	1.310					
Far Infrared 1.400 to 10^6	InGaAsP	1.550	$\leq 9.6 \times 10^{-3}$	—	>Class 1 but ≤ 0.5	>0.5
	holmium	2.100				
	Erbium	2.940				
	Hydrogen Fluoride	2.800 - 3.000				
	Helium-Neon	3.390 only				
	Carbon Monoxide	5.000-5.500				
	Carbon Dioxide	10.6				
	Water Vapor	118				
Hydrogen Cyanide	337	$\leq 9.5 \times 10^{-4}$				

* Assumes no mechanical or electrical design incorporated into laser system to prevent exposures from lasting to $T_{\text{max}} = 8$ hours (one workday); otherwise the Class 1 AEL could be larger than tabulated.

표 6 Typical laser classification - single pulse lasers

Wavelength Range (μm)	Laser Type	Wavelength (μm)	Pulse Duration	Class 1* (W)	Class 3b (W)	Class 4 (W)
Ultraviolet 0.180 to 0.280	Excimer (ArF)	0.193	2×10^{-8}	$\leq 23.7 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Excimer (KrF)	0.248	2×10^{-8}	$\leq 23.7 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Nd:YAG (Q-sw, quad)	0.266	2×10^{-8}	$\leq 23.7 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Excimer (XeCl)	0.308	2×10^{-8}	$\leq 2.6 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Nitrogen	0.337	1×10^{-8}	$\leq 44 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Excimer (XeF)	0.351	2×10^{-8}	$\leq 2.6 \times 10^{**}$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
Visible 0.400 to 0.700	Rhodamine 6G (Dye)	0.450-0.650	1×10^{-8}	$\leq 0.2 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Copper Vapor	0.510, 0.578	2.5×10^{-8}	$\leq 2 \times 10^7$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Nd:YAG (doubled)	0.532	20×10^{-8}	$\leq 0.2 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Ruby (Q-sw)	0.6943	1×10^{-8}	$\leq 4 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Ruby (long pulse)	0.6943	1×10^{-8}	$\leq 4 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Ti:Sapphire	0.700-1.000	6×10^{-8}	$\leq 1.9-7.7 \times 10^7$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
Infrared 0.700 to 10^6	Alexandrite	0.720-0.800	1×10^{-8}	$\leq 0.76-1.1 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.03	>0.03
	Nd:YAG (Q-sw)	1.064	20×10^{-8}	$\leq 2 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.15	>0.15
	Er:Glass (Q-sw)	1.540	10×10^{-8}	$\leq 9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Co:MgF	1.750-2.600	8×10^{-8}	$\leq 97-9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Holmium	2.100	2.5×10^{-8}	$\leq 9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Hydrogen Fluoride	2.600-3.000	4×10^{-8}	$\leq 1.0-1.1 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Erbium	2.940	2.5×10^{-8}	$\leq 9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Carbon Dioxide (Q-sw)	10.6	1×10^{-7}	$\leq 9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125
	Carbon Dioxide	10.6	1×10^{-8}	$\leq 9.7 \times 10^6$	>Class 1 but ≤ 0.125	>0.125

* Assuming that both skin and eye may be exposed, i.e. 1.0 mm beam (area of limiting aperture = $7.9 \times 10^{-2} \text{ cm}^2$).

2.3 레이저 클래스에 따른 안전

레이저 빔 방사에 의한 위험 제어는 다음의 조건에 따라 다르다.

- ① 레이저 위험 등급
- ② 레이저 사용 환경
- ③ 작업자

2.3.1 클래스 1 레이저 안전 규칙

예를 들면, gallium-arsenide laser와 같은 "Eye safe" 레이저는 레이저 빔이 눈에 직접 조사되거나 피부에 집속(3.5mm spot)되더라도 위험이 존재하지 않으므로 특별한 안전을 요하지 않는다.

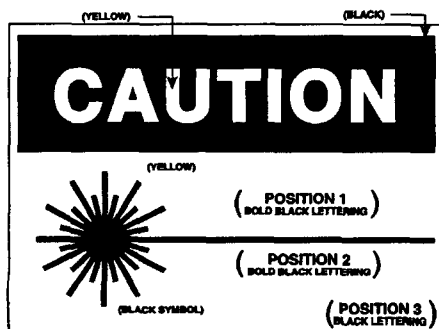


그림 2 Sample warning sign for class 2 and

한국레이저가공학회지 제2권 제3호, 1999년 12월

certain class 3a lasers

Position 1 : precautionary or protective instructions

Position 2 : type of lasers, wavelength, maximum output, pulse durations, etc.

2.3.2 클래스 2 레이저 안전 규칙

클래스 2 레이저는 저출력이며 파장 400~700nm(visible spectral range)로 눈에 보이기 때문에 빛에 대해 눈이 피하는 반응(0.25 sec)이나 깜빡거림에 의해 눈의 손상이 없는 레이저이다. 그러나, 레이저 빔이 직접 눈에 조사되거나 개인에 따라 눈의 반사 반응에 따라 위험할 수도 있다. 1 mW 이내의 헬륨네온 레이저나 다이오드 레이저가 이 클래스에 속하는데 그림 2와 같은 CAUTION 라벨을 붙여야 하며 다음의 2가지 운전 규칙을 따라야 한다.

- ① 레이저 빔의 닿는 영역내에서 레이저 빔을 응시하지 않도록 한다.
- ② 가까운 거리에서 눈에 레이저 빔을 비추어서는 안된다.

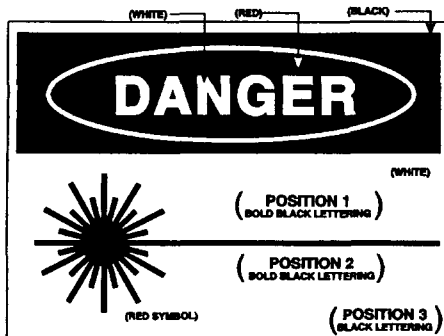


그림 3 Sample warning sign for class 3a lasers and for class 3b and class 4 lasers

Position 1 : precautionary or protective instructions

Position 2 : type of lasers, wavelength, maximum output, pulse durations, etc.

2.3.3 클래스 3 레이저 안전 규칙

클래스 3 레이저는 중간출력을 갖고 있으나, 빛이 눈에 닿으면 심각한 위험을 초래할 수 있다. 단, 산란되어 반사되는 빛에 의한 위험이나, 피부 손상, 화재 위험은 없다. 따라서, 다음의 운전 규칙을 따라야 한다.

- ① 레이저 빔을 눈에 비추지 말아야 한다.
- ② 보호안경을 착용한다.
- ③ 숙련된 작업자만이 레이저를 운전해야 하며, 미숙련자의 오동작을 방지하기 위해 key switch를 사용하도록 하며, 경고등을 설치해야 한다.
- ④ 빔 경로의 외주부를 차단하고 작업자의 눈높이보다 높게 한다.
- ⑤ 그림 2와 그림 3과 같은 라벨을 부착한다.

2.3.4 클래스 4 레이저 안전 규칙

클래스 4 레이저는 고출력이므로 가장 심각한 위험을 갖고 있으며, 전기적, 화학적 위험이나 화재 등 2차적인 위험들이 동반될 수 있다. 따라서, 고출력 레이저 운전을 위

해서는 다음의 규칙을 따라야 한다.

- ① 빔 경로의 외주부를 완전히 차단해야 한다.
- ② 레이저 장치를 외부와 차단하여 작업자는 일정한 문으로만 출입이 가능하도록 하며, 이 문이 열리면 레이저가 작동하지 않도록 해야 한다.
- ③ 보호장비를 착용하여 인체(눈, 피부 포함)로부터 레이저빔을 완전히 차단해야 한다.
- ④ 숙련된 작업자만이 레이저를 운전하도록 key switch로만 작동되도록 해야 하며 그림 3과 같은 라벨을 부착해야 한다.

3. 레이저 가공장치 메이커의 안전한 예방대책

앞에서 레이저 운전을 위해 안전규칙에 대해 설명하였다. 이에 근거하여 레이저 가공장치의 안전을 위해서 다음과 같은 예방대책이 메이커에 의해서 실시되고 있으므로 작업자는 이것을 잘 이해하고 사용하는 것이 대단히 중요하다.

- ① 열쇠에 의한 제어 : 열쇠를 빼어 놓으면 운전을 할 수 없도록 한다.
- ② 라벨 : 위험성을 표시, 경고하기 위하여 보기 쉬운 장소에 라벨을 부착한다.
- ③ 레이저 방사경고 : 레이저를 방사하는 중에는 소리 또는 빛으로 경고를 한다.

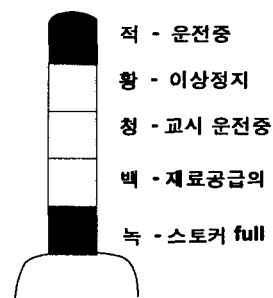


그림 4 복연 패트 라이트의 예

그림 4는 복연 패트 라이트 (pat light)의 예이며, 색에 따라서 운전상태를 표시한다. 이 경우는 각각 색의 의미를 관계자가 알고 있어야 한다.

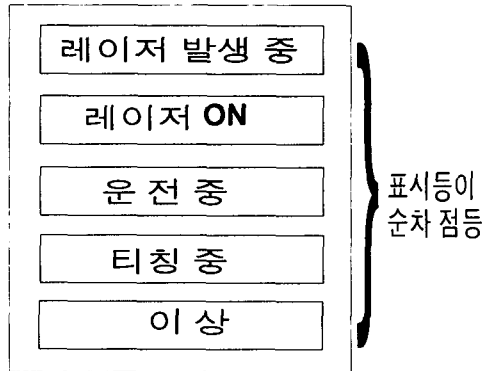


그림 5 문자 표시등의 예

그림 5는 표시등에 문자를 넣어서 알기 쉬운 경고장치의 예이며, 작업자가 보기 쉬운 위치에 설치하는 것이 대단히 중요하다. 필요하다면 여러 장소에 설치한다.

- ④ 감전방지 : 레이저 발전기에는 고전압을 사용하기 때문에 감전방지를 고려한 구조로 한다. 고전압 부분의 커버를 열면 전원이 들어가지 않도록 연동장치(interlock)를 설치하고, 또한 경고라벨을 부착한다.
- ⑤ 비상정지 스위치 : 조작반에는 누르기 쉬운 위치에 적색의 비상 정지 스위치가 있으며, 이것을 누르면 레이저의 발진, 가공기의 동작이 함께 급정지한다.

4. 레이저 가공장치 사용자의 안전한 예방대책

레이저 가공장치는 메이커가 안전한 예방대책을 고려하여 제작하는 것은 물론, 사용자도 안전에 관하여 아래와 같은 예방 대책

을 강구하여야 한다.

- ① 레이저 안전 관리자 : 클래스 3a 이상의 레이저 장치를 운전하는 경우는 레이저 안전관리자를 임명할 필요가 있다. 안전관리자는 레이저의 위험성과 안전관리에 관한 충분한 지식을 가지고, 레이저 안전관리의 실행을 지시하며 책임을 지는 것이 요구된다.

- ② 안전교육 : 관계자 전원이 안전관리에 관한 충분한 지식을 공유하는 것이 대단히 중요하다.

특히, 작업자 한사람이 혼자서 할 수 있을 때까지 안전지식을 주지시키기 위한 안전 교육이 중요하다.

- ③ 레이저 관리구역 : 레이저 빔에 피폭할 염려가 있는 구역은 차폐, 포위, 울타리 등을 설치하여 관리구역을 설정한다. 관리구역은 표시로 명시하고, 허가하지 않은 자의 출입을 금지한다. 또한, 출입자에 대하여서는 관리구역내에서 준수할 사항을 명확하게 하고 반드시 안전교육을 받도록 한다.

- ④ 보호안경 : 레이저 빔이 직접 눈으로 들어오는 것은 대단히 위험하다. 가공할 때는 산란하여 오는 빔 때문에 관리구역의 출입자는 레이저 종류에 따라 적절한 보호 안경을 착용한다. 이 산란 빔은 피부에 닿거나 눈에 들어가도 곧바로 영향을 미치지 않는 낮은 레벨의 빔이지만 장기적으로는 장해를 일으킬 염려가 있으므로 보호 안경은 반드시 착용하는 습관을 붙여야 한다. 보호안경은 비산하는 스펙터의 보호에도 유효하다.

단, 보호안경을 쓰고 있다고 해서 결코 빔을 들여다 보아서는 안된다. 보호안경에 대한 과신은 금물이다. 또한, 보호안경을 쓴 경우에도 경고등이 보이지

않는 경우에는 곤란하므로 이점을 확인하여야 한다.

- ⑤ 연소하기 쉬운 것은 놓지 않음 : 가공 테이블위에 종이, 목재, 직물 등이 있으면 빔이 닿아서 연소 할 염려가 있으므로 이런 것은 놓지 않는다. 작업자는 연소하기 쉬운 것은 몸에 지니지 말고, 난연성 내열소재를 사용한 보호의류를 착용한다.
- ⑥ 2차 반사의 방지 : 가공테이블 위에 반사경 등의 빔을 반사하는 것은 놓지 않는다. 또한, 시계, 펜, 장신구 등과 같이 빔을 반사하는 것은 몸에 착용하지 않는다. 가공 재료가 구리, 구리합금, 알루미늄 등 반사율이 높은 재료의 경우에는 2차 반사가 크기 때문에 주의해야 한다. 레이저 가공에서는 재료의 표면에 대한 초점위치를 항상 일정하게 유지하는 것이 대단히 중요하며, 초점이 어긋나면 가공을 할 수 없고 반사가 크게된다. 이런 금속은 철계통의 금속을 가공하는 경우와 비교하여 높은 출력이 필요하며, 가공중에 열변형이 일어나고 초점이 어긋나서 반사가 시작된다. 이때의 반사는 산란에 비교하여 레벨이 매우 높기 때문에 대단히 위험하다. 구리를 가공할 경우는 반드시 빔 흡수재(반사 방지재)를 도포한다.
- ⑦ 소정재료 이외의 가공을 하지 않음 : 메이커는 사용자의 가공재료와 사용방법에 맞는 보호, 안전을 고려하여 기기를 제작하고 있다. 이 범위를 넘어서 사용하거나 소정의 재료 이외를 가공하면 위험이나 파손이 발생하는 경우가 있다.
- ⑧ 피가공물 칩의 청소 : 가공물 테이블 아래에 설치한 컨베이어 등에 칩이 쌓이면 빔이 닿아서 발화할 염려가 있으

므로 곧 바로 청소한다. 단 청소작업은 결코 가공중이나 컨베이어 운전 중에는 하지 않아야 한다.

- ⑨ 점검, 보수작업 : 렌즈나 반사경의 청소, 교환, 가공헤드나 노즐의 분해, 점검 등 광로에 손을 넣어야 하는 경우에는 반드시 열쇠 스위치에 의한 발진을 정지하고, 더욱이 발진기의 출구에 설치된 빔 셔터를 반드시 닫아 놓는다.
- ⑩ 광로 조정작업시의 안전 : CO₂ 레이저와 헬륨네온 레이저의 광축을 맞추는 것은 광로를 해방하여 CO₂ 레이저 빔이 나오기 때문에 위험하다. 광로에 사람이 들어가지 않도록 범위를 설치하고, "조정중 출입금지"의 위험표시를 한다. 광로의 끝에 내화벽돌의 블록과 강판을 설치하여 빔 스톱퍼(stopper)로 한다.
- ⑪ 헬륨네온 레이저의 취급 : 광축조정이나 조사위치의 겨냥에 사용하는 헬륨네온 레이저는 출력이 1mW이지만 눈에 직접 들어가지 않도록 주의한다.

5. 레이저 가공시 안전확인

- ① 가공이 종료한 때는 반드시 빔 셔터를 닫고, 가공기 테이블의 구동이 꺼짐을 확인하고 나서 재료를 꺼낸다.
- ② 가공재료의 절단된 모서리는 칼날모양으로 되어 있는 것이 있으므로 손을 다치지 않도록 충분히 주의한다.
- ③ 테이블 위의 조정작업을 할 때는 손가락이 끼이지 않도록 주의한다.
- ④ 레이저 가공기의 부근에 인화성, 폭발성의 약품이나 가스통을 놓지 않도록 주의한다.
보조가스(assist gas)로 산소를 사용할 때는 특히 인화의 위험성이 높다.

6. ZnSe의 취급

렌즈나 PR 반사경의 재질인 ZnSe는 “독물 및 극물취급법”에서 독물로 지정되어 있다. 그래서 케이스는 “의약품의 독물”로 표시되어 있으며, 자물쇠를 사용하는 보관창고에 보관한다. 또 폐기는 중금속처리 업자에 의뢰하거나 메이커에 반환한다.

ZnSe는 분말이나 기화된 가스를 호흡하거나 마시지 않으면 문제가 없다. 또한, 융점은 1100°C 이상이며 상온에서는 가스화하지 않는다. 사용중에 분말로 되는 것은 아니므로 사용중에는 염려할 필요는 없다. 렌즈나 반사경을 취급한 후는 반드시 손을 씻도록 한다.

7. 레이저 매질가스 및 가공할 때 발생하는 가스

CO₂ 레이저의 매질가스에는 CO(일산화탄소)가 포함되어 있다. 또한 피가공물의 재료의 종류에 따라서는 가공할 때에 유해가스나 분진을 발생하는 경우가 있다. 여기서

- ① 이런 가스를 흡수하지 않도록 주의한다.
- ② 발전기의 진공배기관은 반드시 옥외에 배관하고, 통풍이 좋은 곳에 방출한다.
- ③ 가공실의 설치 : 유해가스, 가연성 가스, 분진을 많이 발생하는 재료를 가공하는 경우는 가공기를 가공실에 수납하고 가공실을 배기한다. 가공이 끝나고 가스가 완전히 배기된 후 가공실에 들어가도록 한다.

8. 기타 주의사항

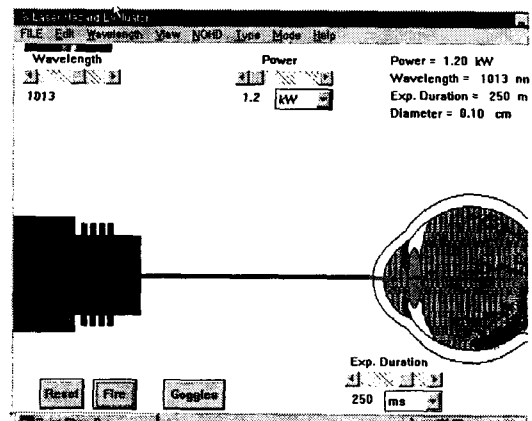
- ① 보조가스에 산소를 사용하는 경우는 화재발생의 위험성이 있고, 질소, 아르곤

등을 사용하는 경우에는 산소가 결핍되는 위험성이 있으므로 주의한다.

- ② 레이저 발전기는 고전압을 사용하고 있으므로 보호 커버를 열었을 때는 특히 주의를 해야한다. 또한, TEA CO₂ 레이저와 같이 콘덴서를 사용하는 경우는 전원을 차단하여도 콘덴서에 고전압의 전하가 남아 있어서 위험하므로 보수, 점검 전에 접지봉으로 확실히 전하가 달아나게 해야 한다.

9. 레이저 위험 평가 소프트웨어

아래의 그림은 레이저 위험 평가 소프트웨어의 일부를 보여주고 있다. 레이저 안전 규칙 ANSI Z136.1에 근거하여 개발된 것으로 레이저에 의한 인체의 손상에 대해 손쉽게 이해할 수 있는 교육프로그램이다.(한국기계연구원 보유)



참 고 문 헌

1. 石井, 八木 : CO₂ 레이저"加工技術, 日刊工業新聞社 (1992), 165~171.
2. 光産業技術振興協會編 : 레이저"安全 캠페인"ブック, 東京, 新技術コミュニケ

- シヨンス”, 1989.
3. 中央労働災害防止協會 : レーザ加工機安全衛生對策研究 委員會報告書(平成 元年 3月), 119.
 4. 重松 : 第13回 レーザ協會ウンターセミナー(1990)資料, 83.
 5. American National Standards Institute : Safe use of lasers, ANSI standard Z136.1.
 6. 朴成斗 編著 : 레이저 加工, 大光書林 (1994)