

레이저 안전

한빛레이저 김정묵

1. 서설

국내의 산업현장에 도입된 레이저 시스템은 최근 들어 10% 이상의 성장 추세를 보이고 있는데 이는 레이저 시스템의 성능이 기존에 적용되던 다른 방법들에 비해 고효율, 고부가가치의 제품 생산을 가능케 하기 때문이다. 향후, 산업 전반에 걸친 지속적인 레이저 시스템의 도입이 이루어지겠지만 레이저 시스템의 올바른 사용을 위한 레이저 안전 규정에 대한 제도적인 준비는 레이저 시스템이 이미 가공을 비롯한 여러 산업현장에서 주류를 이루고 있는 일본이나 미국에 비해 너무 취약한 실정이다. 미국의 경우는 ANSI를 비롯하여 CDRH, OSHA, ACGIH, CRCPD, IEC 등과 같은 기구에서 다방면에 걸친 안전규정을 정하고 있다.

ANSI를 예로 들면 '레이저의 안전사용'을 위한 규정인 ANSI Z-136.1과 '레이저 다이오드와 LED 소스를 적용한 광섬유 통신의 안전사용'에 대한 규정인 ANSI Z-136.2, '의료시설에서의 안전한 레이저 사용'에 관한 규정인 ANSI Z136.3 등이 있으며 'The national electrical code-1990 handbook'이나 'Practice for occupational and educational eye and face protection'과 같은 규정들도 있다. 본 연재에서는 ANSI Z136.1을 기준으로 하여 위험평가와 레이저의 분류, 레이저의 클래스에 따르는 위험, 안전에 관한 규격, 레이저 가공장치 사용자의 안전을 위한 예방대책 등에 대하여 3회 정도에 걸쳐 알아보고자 한다.

Ref : ANSI Z136.1-1993(American National Standard for the Safe Use of Lasers)

2. 일반

2.1 범위 및 응용

이 표준안은 180nm와 1mm 사이의 파장대역에서 동작하는 레이저와 시스템의 안전 사용에 대한 권장사항을 제공하는 것이며 이 표준안의 목적은 레이저와 시스템의 안전한 사용을 위해 적합한 지침을 제공하는 것이다. 이 목적을 이루기 위해서는 먼저, 레이저 시스템을 그 위험 정도에 따라서 분류하고 각 분류에 대한 적당한 통제방법을 열거하는 것이다.

Z136 시리즈에 있는 다른 특수 응용 표준안들은 이 표준안의 요구에 대한 예외조항을 가질 수도 있다. 그 각각의 예외들은 적용되는 표준안의 범위에 포함되는 응용에만 한정하여 유효하다.

이 표준안에서 언급되는 위험 분류법의 근거는 의도된 목적대로 사용되는 동안 눈이나 피부에 생화학적인 손상을 일으키는 원인이 되는, 레이저의 주요 빔(primary beam)이나 반사된 주요 빔의 정도에 따른다. 예를 들면 클래스 1의 레이저는 동작 후 유지되는 동안에 손상을 일으킬 정도의 복사선을 발생하지 못하는 것으로 간주되므로 다른 어떤 형태의 규제로부터도 예외가 된다. 저출력에 해당되는 클래스 2의 레이저는 2와 2a의 두 하부 클래스로 나뉘어진다. 클래스 2의 레이저는 스펙트럼의 가시광 영역(0.4~0.7 μ m)에 해당하는 복사선을 방출하며, 이때 눈의 보호는 일반적으로 반사적인 눈 깜박임이나 경계하는 정도의 행동에 의해서도 이루어질 수 있다. 중간 출력 정도에 해당되는 클래스 3의 레이저는 3a와 3b의 두 하부 클래스로 나뉘어진다. 클래스 3의 레이저는 눈에 직접적으로 조사되거나 금속경에 반사되어 조사되는 경우는 위험할 수 있지만 확산반사가 되는 경우는 크게 위험하지는 않다. 그리고 클래스 3의 레이저는 일반적으로

화재나 화상의 위험은 없다. 클래스 4의 레이저(고출력)는 눈이나 피부에 직접 조사나 확산에 의한 조사 모두 해로우며 화재 위험도 일어날 수 있다. 또한 클래스 4의 레이저는 레이저에 의한 대기 오염물질과 유해한 플라즈마 복사선을 발생할 수 있다.

이 표준안에서 제시된 분류방법은 동작특성에 근거, 레이저에 의해 발생하는 것과 잠재적인 위험에 관련되어 있음을 인지해야 한다. 또한 레이저가 사용되는 조건이나 레이저와 다른 환경요소를 사용한 각 개인의 안전 교육의 정도, 그리고 개인적인 요소들이 안전제어 방법의 완전한 범위를 결정하는데 있어 고려해야 할 중요한 요소가 된다. 이 표준안을 적용하기 위해 권장되는 절차는 아래와 같다.

- (1) 적합한 레이저나 그 시스템의 등급을 결정
- (2) 해당 레이저 시스템의 등급에 대한 적절한 방법을 적용

이 절차는 대부분의 경우 레이저 복사선이나 잠재적 위험에 대한 정량적인 분석, 또는 이 표준안의 후반에 주어진 최대 허용가능 노출광량(MPE)의 측정 필요성을 제거할 것이다.

이 표준안의 목적으로, 작은 반경을 가진 단거리 관찰의 경우나 클래스 3의 레이저를 제외하고, 오직 클래스 4의 레이저만이 위험한 확산반사를 만들 수 있기 때문에, 일반적으로 확산반사에 대한 계산은 클래스 4의 레이저에 대해서만 필요하다. 레이저 위험 분류 시스템은 온전히 레이저 복사선 방사에 따른다.

3. 정의(definitions)

아래에 열거되는 용어들의 정의는 기본적인 뜻을 나타내기보다는 실용적인 면에 기초를 두었으므로 본 표준안과 부록에서 사용되는 것에 한정되어 사용되지만 레이저 분야에 사용된 사전용어를 구성하기 위해 의도한 것은 아니다.

- <도달하기 쉬운 방출 한계 : AEL> : 특정 클래스 내에서 허용된, 도달하기 쉬운 복사선 레벨의 최고값
- <도달하기 쉬운 방사 : accessible radiation> : 보통의 사용에서 인간의 눈이나 피부가 노출 가능한 복사선
- < α_{max} > : 주어진 노출시간에 대한 최대의 노출 허용한계(MPE)가 일정한 복사로 제한된 것 이상의 제한 각(angular limit)-무수정체(Aphakic) : 결정렌즈가 없는 눈
- 혐오 반응(aversion response) : 밝은 빛이나 해로운 빛에 노출되는 것을 피하기 위해 눈을 감거나 고개를 돌리는 작용으로 밝은 레이저 소스로부터의 노출에 대한 혐오반응이 눈을 깜박이는 반사적인 시간을 포함하여 0.25초 이내인 경우
- 빔의 직경(beam diameter) : 단위면적당의 파워가 피크 파워의 $1/e(0.368)$ 배가 될 때 빔의 단면에서 정반대의 두 점 사이의 거리
- C_A : 700-1400nm 의 근 적외선(near infrared; IR-A)대역폭에서 MPE값을 증가시키는 교정변수로 피부나 망막의 색소 녹내장에서 발견되는 멜라닌 색소 입자의 감소된 흡수특성에 근거
- C_B : 적색 끝단의 가시광 스펙트럼(550-700nm)에서는 광 화학적 위험성이 크게 감소되기 때문에 MPE값을 증가시키게 되는 교정변수
- C_C : 1150과 1400nm 사이의 대역에서 망막 이전의 복사에너지 흡수 때문에 눈의 노출에 대한 MPE로부터 눈에 대한 extended source MPE를 계산하기 위해 사용되는 교정변수
- C_E : 레이저의 소스가 α_{min} 을 넘는 가시각에 대할 때 intrabeam MPE로부터 눈에 대한 extended source MPE를 계산하기 위해 사용되는 교정변수
- C_P : 눈의 반복적인 노출 때문에 MPE를 감소시키는 교정변수
- 디옵터(diopter) : 렌즈의 파워(굴절률)의 단위로서 $1/f_0$ 로 정의되며 f_0 는 렌즈의 초점길이를 meter단위로 나타낸 것
- embedded 레이저 : 본래의 레이저 능력보다 높은 클래스 수를 가진 레이저로서 공학적 측면에서 용이한 방사를 제한하는 특징 때문에 보다 낮은 시스템 분류가 적합한 곳에 포함
- extended source : 레이저 복사선 소스의 한 형태로 α_{min} 보다 큰 각이 눈에 대하는 경우
- intrabeam viewing : 호의 값을 제한하는 α_{min} 보다 작거나 같은 각으로 소스가 눈에 대하는 관찰조건. 이 부류는 모든 평행광선과 점광원(point source)을 포함
- Jaeger's test : 가까운 시각의 예민함을 테스트 하기 위해 카드 위에 다양한 크기로 인쇄된 시편으로 원거리의 시각의 예민함을 시험하기 위한 Snellen chart와 유사
- Lambertian 면 : 방출 또는 반사된 복사가 관찰각(viewing angle)과는 무관한 이상적인 면
- 현의 제한각(α_{min}) : 분명한 관찰각으로 intrabeam viewing과 extrabeam viewing으로 나누어짐
- 제한 구경(D) : 조사와 방사노출이 평균할 수 있는 것에 대한 원의 최대 지름
- 노출제한시간(T_{max}) : 설계나 의도된 사용에 따라서 특별히 제한된 노출시간
- 최대 허용가능 노출 광량(MPE) : 눈이나 피부에 해로운 생화학적 변화 또는 위험한 영향 없이 노출 가능한 레이저 복사선의 정도로 눈이나 피부에 대한 MPE의 기준은 8장에 상세하게 기술
- 최소 가시거리 (Minimum viewing

- distance) : 사람의 눈으로 볼 수 있는 가장 가까운 거리 또는 10cm나 그 이상의 정도
- 명목상의 위험영역(NHZ) : 동작 중에 발생하는 조사나 방사노출이 MPE를 초과할 것으로는 예상되지 않는 정도를 넘어 사람의 눈에 미치게 되는, 장애물에 가려지지 않는 레이저로부터의 빔 거리
- 광학적 밀도(optical density, D_λ) : $D_\lambda = -\log_{10} T_\lambda$
여기서 T_λ 는 투과도
- 레일리 산란(Rayleigh scattering) : 복사선의 파장에 비견될 만큼 작은 알갱이들을 가진 매개물을 지나는 동안 일어나는 복사선의 산란
- 입체각(solid angle) : 원추형 최고점에서 3차원으로 형성되는 각의 퍼짐으로, 중심이 원추형의 최고점에 있는 단위 구면에 접한 원추형에 의해 차단된 영역에 의해 측정
- 스테라디안(steradian, Sr) : 입체각에 대한 측정단위 공간상의 어느 점에 대하여 4π 스테라디안이 존재함
- T_1 : MPE에 근거한 망막의 열적인 상처가 MPE에 근거한 광 화학적 상처에 의해 대체된 노출시간

4. 위험평가와 분류

레이저 시스템의 아래 세 가지 응용 측면이 전체 위험 평가에 영향을 미치므로 제어 방법의 적용에도 영향을 미치게 된다.

- (1) 레이저 시스템이 사람에게 손상을 입힐 수 있는 정도
 - (2) 레이저가 사용되는 환경
 - (3) 레이저 복사선에 노출될 수 있는 사람
- 레이저의 분류안은 (1)번의 측면에 근거한다. 레이저 시스템은 동작되는 동안 발생하는 복사선에 따라 분류될 것이다. 이 표준안에서 분류된 레이저 시스템은 적합하게 위험 분류

된 라벨이 부착되게 된다. 연방 레이저 제품 성능 표준안에서 사용되는 분류 라벨도 본 표준안의 것을 만족하게 될 것이다.

(2)와 (3)의 측면은 레이저 응용에 따라 바뀌게 될 것이며 쉽게 표준화 할 수는 없다. 전체 위험 평가 절차는 비록 대부분의 경우에서 (1)의 측면이 제어방법에 가장 큰 영향을 미치겠지만 위의 세 가지 측면 모두를 고려해야 할 것이다.

레이저 안전이나 광공학 또는 물리학에 대한 교육을 받은 사람이 세부 위험 평가의 계산이나 레이저 시스템의 분류 결정을 수행하게 될 것이다. 어떤 경우에 있어서 레이저 안전요원은 이러한 자질을 갖추지 못하였을 수도 있으므로 책임을 위임하기 위해 선택될 수도 있다.

이러한 경우 각각의 평가는 해당 훈련을 받았거나 경험이 있어 적합한 기술적 지원을 할 수 있는 사람에 의해 수행되며 그 다음 레이저 안전요원에 의해서 분류와 위험 결정이 정확히 이루어졌는지 확인될 수 있다. 이러한 분석에서 발생한 실수는 부적당한 제어방법을 초래하여 레이저 영역에 있는 사람들에게 잠재적인 위험을 안길 수 있음을 인식해야 한다.

4.1 레이저 고려사항

레이저 분류에 대해 책임 있는 사람이나 레이저 안전요원은 레이저 출력 자료가 측정방법에 따라 유효한지를 증명해야 한다. 분류는 의도된 용도로 사용될 경우의 최대 출력에 근거하여 산정 된다.

■ 복수 파장의 레이저

복수의 파장을 방출할 수 있는 레이저 시스템의 분류는 가장 위험한 동작조건에 근거하여 이루어져야 한다.

- 하나의 파장에서 동작 될 수 있게 설계된 복수파장 레이저는 단파장 레이저로 분류

될 수 있다.

- 둘이나 그 이상의 파장영역에서 동작할 수 있게 설계된 복수파장 레이저는 각 동작 영역에 대해 분류될 수 있으며 각 영역에 대한 적합한 제어방법도 결정된다.

■ 반복 펄스형 레이저

펄스가 반복적으로 방출되는 레이저나 노출을 평가하기 위해서는 특별한 교정 요소를 사용해야 한다.

■ 레이저 위험평가 결정을 위해서 요구되는 레이저의 복사 측정 변수들

- 모든 레이저의 분류는 필수적으로 다음의 변수들을 요구한다.

- (1) 파장이나 파장의 영역
- (2) CW나 반복 펄스형 레이저의 경우 : 평균 출력 에너지와 노출 제한시간 Tmax
- (3) 펄스형 레이저의 경우 : 펄스에 따른 전체 에너지(또는 피크 에너지), 펄스의 지속, 펄스 반복 주파수, 빔의 복사 노출

- Extended-source 레이저 시스템(레이저 어레이, 주사 레이저 다이오드나 출력 광학장치 내에 영구 확산 장치를 가진 레이저와 같은)의 경우는 위에서 열거한 것 외에 소스에서 나온 (subtended) 관찰각에 대한 지식도 요구된다.

- 클래스 1의 최대 복사선 레벨(AEL) : 상처 발생에 대한 레이저의 잠재성을 결정하기 위해서는 레이저 출력의 조사와 복사 노출뿐만 아니라 레이저 빔의 에너지나 펄스 에너지가 광학장치에 의해서 집중 되어 눈에 대한 MPE의 제한 구경 영

역으로 한정될 경우에 존재하는 위험이 필수적으로 고려되어야 한다.

클래스 1의 AEL은 레이저가 일반적인 경우 '점광원'으로 간주되느냐 'extended source'로 간주되느냐에 따라서 두 가지 방법으로 정의된다.

- i) 대부분의 레이저는 점광원으로 간주될 수 있다. 이런 경우 클래스 1의 AEL은 두 요소의 곱에 의해서 정해진다.

- (1) 노출 제한시간 Tmax 동안의 눈에 대한 intrabeam의 MPE
- (2) 표 1의 눈에 대한 MPE의 제한구경 영역 이 경우, $AEL = MPE \times \text{제한구경의 영역}$ 이 된다.

ii) 0.4 ~ 1.4 μ m의 파장영역에서 방출하는 extended source 레이저 시스템의 경우 클래스 1의 AEL을 계산하기 위해서 사용한 MPE는 아래의 조건에 의한 extended source의 교정변수 C_e 에 의해서 교정된 표 2(별첨1)의 조사 또는 복사 노출로부터 결정될 것이다.

표 1

Limiting Apertures for Hazard Evaluation and AEL Determination

Spectral Region (μ m)	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	1.0	3.5
10^2 to 10^3	0.3 to 10^*	1.5 $t^{3/8}$	3.5
	10 to 3×10^4	3.5	3.5
	10^{-9} to 3×10^4	11.0	11.0

* Under normal condition these exposure durations would not be used for hazard evaluation

Note: The wavelength region λ_1 to λ_2 means $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$ μ m, e.g., 0.315 to 0.400 μ m means $0.315 \leq \lambda < 0.400$ μ m.

(1) C_E : 최소관찰거리 10cm 또는 이보다 큰 거리에서 보았을 때 소스에서 반사되어 눈에 비치는 각에 대해 계산된다.

(2) C_E 는 확대 광학장치에 의해 확대된, 이론적으로는 완벽한 광학 관찰 시스템

(50mm제한입사구경, 7mm 출사구경)의 입사구경에서, 소스에서 반사되어 눈에 비치는 각에 대하여 계산된다.

만약 이 정의를 적용하기 어렵다면, 점광원으로 간주될 경우의 정의가 적용될 수 있을 것이며 클래스 1의 AEL을 초과할 것이다.

클래스 2의 AEL은 MPE 값이 0.25초의 노출시간에 근거한다는 점을 제외하면 클래스 1의 AEL과 동일한 방법에 의해 결정되며 CW 점광원 조건의 경우 MPE는 2.5mW/cm²이다.

4.2 레이저 시스템 위험 분류의 정의

표 3과 4(별첨2, 3)는 레이저 시스템의 분류 레벨에 대한 요약을 제공한다.

표 3 : 방출지속시간이 0.25초보다 큰 CW 레이저의 경우,

표 4 : 방출지속시간이 0.25초보다 작은 펄스형 레이저의 경우

■ 클래스 1의 레이저 시스템

- 레이저 시스템의 설계나 의도된 사용에 있어서 최대의 가능 지속시간동안 클래스 1의 AEL을 넘는 레이저 복사선 레벨의 경우 이를 방출하지 못하는 레이저를 가진 시스템은 동작동안은 클래스 1의 레이저 시스템이며 embedded 레이저에 대한 모든 요구나 모든 형태의 규제에서도 제외된다. 이것은 방출된 레이저 복사선 위험에 대해 엄격하게 적용되며 다른 잠재적 위험들에 대해서는 해당되지 않는다.

- 특정 레이저 시스템은 T_{max} 가 3×10^4 초보다 작으며 레이저 복사선이 레이저 시스템의 의도된 사용에서 최대 가능 지속시간에 대한 클래스 1의 AEL을 초과하지 않을 경우 의해서

클래스 1로 명시될 수 있다.

■ 클래스 2a와 클래스 2의 가시광 레이저 시스템

- 레이저의 출력이 드러나도록 의도되지 않은, 가시광(0.4~0.7 μ m) 레이저 시스템은 10³초와 같거나 짧은 노출시간에 대해 클래스 1의 AEL을 초과하지 않는 복사선을 발생할 경우 의해서 클래스 2a로 명시될 수 있다.

- 클래스 2 레이저 시스템은 다음을 포함한다.

(1) 레이저 시스템의 의도된 사용에서 최대 가능 지속시간동안 클래스 1의 AEL을 초과하지만 1mW를 넘지 못하는 복사에너지를 방출할 수 있는 가시광(0.4~0.7 μ m) CW 레이저 시스템

(2) 레이저 시스템의 의도된 사용에서 최대 가능 지속시간동안에는 클래스 1의 AEL을 초과하지만 0.25초의 노출시간동안에는 클래스 1의 AEL을 초과하지 못하는 가시광(0.4~0.7 μ m)의 반복 펄스형 레이저 시스템

■ 클래스 3a, 3b 레이저 시스템

- 클래스 3a와 클래스 3b 레이저 시스템은 다음을 포함한다.

(1) 1.4 μ m~1mm 사이의 적외선과 0.18~0.4 μ m 사이의 UV 파장 대역을 가지는 레이저 시스템으로, 레이저 시스템의 의도된 사용에서 최대 가능 지속시간동안 클래스 1의 AEL을 초과하는 복사 에너지는 방출할 수 있지만 (a)0.25초와 같거나 큰 시간에 대해서는 0.5W를 넘는 평균 복사 에너지를 방출하지 못하는, (b)0.25초보다 짧은 노출시간에는 0.125J보다 큰 복사에너지를 만들 수 없는 레이저 시스템

(2) 0.4~0.7 μ m의 가시광을 발생시키는 CW 또는 반복 펄스형 레이저 시스템으로 0.25초의 노출시간동안은 클래스 1의 AEL을 초과하는 복사 에너지를 발생하지만 (CW 레이저의 경우는 1mW), 0.5W보다는 적은 평

균 복사에너지를 방출하는 레이저 시스템

(3) 클래스 1의 AEL을 넘는 복사에너지는 방출할 수 있지만 $0.7\mu\text{m}$ 나 이보다 작은 파장에 대해 0.03J 또는 $0.7\mu\text{m}$ 보다 큰 파장에 대해 $0.03\text{C}_A\text{J}$ 를 초과하는 복사에너지는 발생시킬 수 없는 가시광 또는 근적외선($0.4\sim 1.4\mu\text{m}$)의 펄스형 레이저

(4) 근적외선($0.7\sim 1.4\mu\text{m}$) CW 레이저 또는 펄스형 레이저로서 레이저 시스템의 의도된 사용에서 T_{max} 동안은 클래스 1의 AEL을 넘는 복사 에너지를 방출할 수 있지만 0.25초 보다 큰 주기에 대해서나 0.5W 의 평균에너지는 방출할 수 없는 레이저 - $0.4\mu\text{m}$ 보다 작거나 $0.7\mu\text{m}$ 보다 큰 파장에서는 클래스 1의 AEL보다 1~5배의 평균출력을 가질 수 있고, $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ 사이의 파장에 대해서는 클래스 2의 AEL의 5배의 평균출력을 가질 수 있는 모든 클래스 3의 레이저 시스템은 클래스 3a가 된다.

- 위의 조건을 만족하지 못하는 클래스 3의 레이저 시스템은 클래스 3b로 분류된다.

■ 클래스 4의 레이저 시스템

클래스 4의 레이저 시스템은 다음을 포함한다.

(1) $0.18\sim 0.4\mu\text{m}$ 사이의 UV와 $1.4\sim 1\text{mm}$ 사이의 적외선 레이저 시스템으로써 (a) 0.25초 나 이보다 큰 주기에 대하여 0.5W 보다 큰 평균복사 에너지를 방출하거나 (b) 0.25초 보다 짧은 노출시간에 대해 0.125J 보다 큰 복사에너지를 발생시키는 레이저 시스템

(2) $0.4\sim 0.7\mu\text{m}$ 의 가시광과 $0.7\sim 1.4\mu\text{m}$ 의 근적외선 레이저 시스템으로 (a) 0.25초 나 이보다 큰 주기에 대해 0.5W 보다 큰 평균복사 에너지를 방출하거나 (b) $0.03\text{C}_A\text{J}$ 보다 큰 복사에너지를 발생시키는 레이저 시스템

4.3 레이저가 사용되는 환경

레이저 시스템의 분류에 따라 환경변수에 대한 고려가 요구된다. 위험 평가에 있어서 이

들의 중요성은 레이저 분류에 따른다.

이 표준안에서는 특별히 요구되지 않는 안전요원에 의한 부가적인 통제방법의 적용결정은 클래스3과 클래스4의 레이저 시스템에 대한 환경의 고려에 의해 영향을 받는다.

그리고 위험한 레이저 복사선에 대한 사람의 노출 확률이 고려되어야 한다. 이것은 레이저가 실내에서 사용되는지 아니면 실외에서 사용되는지에 따른 영향을 받을 수 있다.

실내에서 사용되는 예로는 교실, 기계공장, 밀폐된 연구실 또는 공장의 생산라인 등이 포함된다. 실외에서 사용되는 사례로는 광산의 터널이나 고속도로 건설현장, 군대의 레이저 구역, 파이프라인 도랑의 건설이나 우주에서 사용되는 경우가 있다.

만약 보호되지 못한 사람이 레이저 빔에 노출될 가능성이 있다면 그 특정 위치에서의 레이저빔에 대한 조사나 복사노출이 요구된다.

■ 명목상의 위험영역(NHZ)

클래스 3b나 클래스 4 레이저의 빔 경로가 노출되어 있다면 안전요원에게 명목상의 위험영역(NHZ) 확보에 대한 책임이 주어질 것이다. 밀폐되지 않은 클래스 3b나 클래스 4 레이저 시스템의 빔이 MPE 레벨 이상의 복사선 레벨에 대한 노출로부터 사람을 보호하기 위한 적절한 통제가 이루어지는 영역 내에 있다면 이 영역은 NHZ를 포함한 것으로 간주된다.

NHZ는 레이저 메이커가 제공하는 자료와 측정자료, 또는 적절한 레이저 공식에 의해 평가된다.

안전요원은 레이저 통제영역의 범위를 결정할 경우 반사되거나 산란된 복사선이 고려되어야 함을 확실히 해야한다. 만약 작업자가 NHZ 내에 있어야 하는 경우라면 적당한 통제방법도 확립되어야 한다. 서비스 동안에는 일시적으로 레이저가 통제된 영역이 요구될 수 있다.

NHZ를 벗어나면 복사선의 레벨이 MPE 이하로 유지되기 때문에 NHZ의 바깥에서는 부가적인 통제가 요구되지 않는다.

광학장치를 통해서 레이저의 주요 빔을 보는 것은 측정장치의 빔을 집속 시키는 능력 때문에 잠재적인 위험을 가질 수 있다. 그러므로 이러한 광학시스템의 적용은 NHZ의 경계 영역을 증가시킬 수 있고 전체에 대한 위험분석의 재고를 초래할 수 있다.

■ 실내에서의 레이저 동작

만약 레이저 빔이 밀폐되거나 통제된 영역에서만 동작된다면 실내에서의 레이저 동작 평가는 오직 레이저만 고려된다. 만약 실내에서 사용될 때 보호되지 못한 사람이 노출 될 위험이 있다면 레이저 시스템의 NHZ 평가는 아래의 단계적 절차들이 권장된다. 그리고 이런 평가는 레이저 빔 경로의 영구부품인 렌즈, 미러, 광섬유 등과 같은 모든 광학 부품들이 고려되어야 한다.

- 첫 번째 단계

모든 가능 빔 경로에 대한 NHZ를 결정하고 평가해야한다. 고정 위치의 변형으로 인한 빔의 이탈 경로와 불안정한 장착으로 생기는 빔의 이탈 경로, 그리고 베어링의 마모나 진동으로 생기는 다수의 빔 경로도 고려되어야 한다.

- 두 번째 단계

광학장치의 표면 등에서 발생하는 반사에 대한 NHZ를 결정해야한다.

- 세 번째 단계

불시에 레이저 빔의 초점이 형성될 경우 일어나는 유해한 확산반사의 범위를 결정해야한다. 이런 확산반사는 클래스 3의 작은 직경의 빔이나 초점이 형성되었을 때 발생할 수 있다. 그러나 소스의 angular subtense는 intrabeam MPE가 적용되는 모든 실제의 관찰 거리에서 충분히 작다. 이때의 NHZ를 결정해야한다.

- 네 번째 단계

동작 동안 NHZ 내에 작업자가 작업을 할 가능성을 결정해야한다.

- 다섯 번째 단계

다른 위험이 존재하는지를 결정해야한다.

■ 도달 거리를 지난 외부에서의 레이저 동작
특정 레이저 시스템의 전체 위험평가는 몇 가지 잠재적인 위험 사항의 범위를 정하는데 달려있다. 이 평가는 레이저 경로에 영구 부품이 되는 렌즈, 미러, 광섬유 등과 같은 모든 광학장치를 고려해야 한다. 이것은 아래의 단계를 차례로 수행하여 이를 수 있을 것이다.

- 첫 번째 단계

레이저의 NHZ를 결정해야 한다. 거리의 합수로써의 복사 노출의 계산이나 빔의 조사는 원형 빔에 대한 영역 계산으로 만들어질 수 있다. 이렇게 계산된 영역은 불확실한 대기의 영향이 일기 때문에 수백미터를 넘을 것으로 추정된다.

- 두 번째 단계

윈도우를 지난 투과나 검경에서의 반사로부터 잠재적 위험을 추정해야한다. 차량의 창과 미러, 그리고 건물의 창과 같은 전형적인 검경면은 수직으로 맞추어져 있으며 보통 수평면에서 수평의 빔을 반사시킬 것이다.

빔에 수직으로 향한 투명한 유리창으로부터 빔의 원래의 조사나 복사노출의 8% 이상이 레이저를 향해 반사될 수 있다. 만약 빔이 각을 가지고 편평한 검경면을 때리게 되면 빔의 더 많은 부분이 목표영역을 벗어나거나 측면으로 반사될 수 있다. 만약 빔이 연못이나 이와 유사한 표면을 살짝 스치는 각으로 때리게 되면 유효 반사율도 역시 높아질 것이다. 빗방울이나 젖은 나뭇잎 그리고 빛나는 대부분의 자연물과 같은 반사 검경면은 반사면에서 1미터를 넘어선 거리에서는 좀처럼 유해 복사강도만큼은 반사하지 않는다.

- 세 번째 단계
유해한 확산반사가 존재하는지를 확인하고 그에 대한 NHZ를 결정해야한다.(별첨의 표 5를 참조)

- 네 번째 단계
측면 영역 제한과 빔 경로를 막을 수 있는 측면 제한 범위를 결정하기 위해서 레이저 플랫폼의 안정성을 평가해야 한다.

- 다섯 번째 단계
NHZ 내에 사람이 있을 가능성을 검토

4.4 개인

레이저와 출력빔 근처나 작업자, 서비스요원과 같은 사람들은 전체 위험평가에 영향을 미칠 수 있기 때문에 부가적인 통제방안의 채택을 위한 결정에 영향을 미칠 수 있다.

■ 만약 어린이나 다른 경고 라벨을 읽을 수 없는 사람이 유해한 레이저 복사선에 노출될 가능성이 있다면 위험 평가와 통제방안은 적절한 보완이 필요할 것이다.

■ 사람의 부류도 전체 위험 평가에 영향을 미친다. 군용의 거리 측정용 레이저나 건설 현장에서 사용되는 레이저와 같은 특별한 경우는

주요 위험 통제가 작업자에 달려 있음을 명심해야한다.

아래의 절차들은 노출될 수 있는 사람들의 조정과 관련된 고려사항들이다.

- (1) 레이저 사용자의 판단력의 성숙도
- (2) 레이저 사용자의 일반적인 교육과 경험의 정도
(고등학생이나 군인, 생산라인 종사자, 과학자 등)
- (3) 유해한 레이저 복사선이 존재하는 장소에서 방관자에 대한 자각과 적절한 안전 예방조치에 대한 자각
- (4) 레이저의 동작과 관련된 모든 사람들의 레이저 안전에 대한 교육의 정도
- (5) 사람들의 표준동작절차(SOP)와 권장된 제어절차의 준수에 대한 신뢰성
- (6) 레이저의 주요빔이나 반사 그리고 사고를 일으킬 수 있는 노출의 잠재성에 대한 사람들의 수와 그들의 위치
- (7) 레이저 복사선이 아닌 다른 위험요소 즉 사람들에게 예기치 않게 발생할 수 있는 것이나 또는 개인의 보호장비의 선택에 영향을 미칠 수 있는 것

별첨 1.

표 2

Maximum Permissible Exposure (MPE) for Ocular Exposure (Intrabeam Viewing) to Laser Beam[†]

Wavelength (μm)	Exposure Duration, t(s)	MPE		Notes
		(J · cm ⁻²)	(W · cm ⁻²)	
Ultraviolet				
0,180 to 0,302	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	3 × 10 ⁻³		or 0,56 t ^{1/4} , whichever is lower. (See Tables 8 and 9 for limiting apertures)
0,303	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	4 × 10 ⁻³		
0,304	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	6 × 10 ⁻³		
0,305	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	10 × 10 ⁻³		
0,306	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	16 × 10 ⁻³		
0,307	10 ⁻⁹ to 3 × 10 ⁴	25 × 10 ⁻³		

0.308	10^{-9} to 3×10^4	40×10^{-3}
0.309	10^{-9} to 3×10^4	63×10^{-3}
0.310	10^{-9} to 3×10^4	0.1
0.311	10^{-9} to 3×10^4	0.16
0.312	10^{-9} to 3×10^4	0.25
0.313	10^{-9} to 3×10^4	0.40
0.314	10^{-9} to 3×10^4	0.63
0.315 to 0.400	10^{-9} to 10	$0.56^{1/4}$
0.315 to 0.400	10 to 3×10^4	1.0

Visible and Near

Infrared

0.400 to 0.700	10^{-9} to 18×10^{-6}	0.5×10^{-6}
0.400 to 0.700	18×10^{-6} to 10	$1.8t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.400 to 0.700	10 to 10^4	10×10^{-3}
0.550 to 0.700	10 to T_1	$1.8 t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.550 to 0.700	T_1 to 10^4	$10C_B \times 10^{-6}$
0.400 to 0.700	10^4 to 3×10^4	$C_B \times 10^{-6}$
0.700 to 1.050	10^{-9} to 18×10^{-6}	$0.5C_A \times 10^{-6}$
0.700 to 1.050	18×10^{-6} to 10^3	$1.8C_A t^{3/4} \times 10^{-3}$
0.700 to 1.050	10^3 to 3×10^4	$320C_A \times 10^{-6}$
1.050 to 1.400	10^{-9} to 50×10^{-6}	$5C_C \times 10^{-6}$
1.050 to 1.400	50×10^{-6} to 10^3	$9.0C_C t^{3/4} \times 10^{-3}$
1.050 to 1.400	10^3 to 3×10^4	$1.6C_C \times 10^{-3}$

See Tables 8 and 9 for limiting apertures)

For multiple pulses apply correction factor C_P given in Table 6.

Far Infrared

1.400 to 1.500	10^{-9} to 10^{-3}	0.1
1.400 to 1.500	10^{-3} to 10	$0.56 t^{1/4}$
1.400 to 1.500	10 to 3×10^4	0.1
1.500 to 1.800	10^{-9} to 10	1.0
1.500 to 1.800	10 to 3×10^4	0.1
1.800 to 2.600	10^{-9} to 10^{-3}	1.0
1.800 to 2.600	10^{-3} to 10	$0.56 t^{1/4}$
1.800 to 2.600	10 to 3×10^4	0.1
2.600 to 10^3	10^{-9} to 10^{-7}	10×10^{-3}
2.600 to 10^3	10^{-7} to 10	$0.56 t^{1/4}$
2.600 to 10^3	10 to 3×10^4	0.1

See Tables 8 and 9 for limiting apertures)

For multiple pulses apply correction factor C_P given in Table 6.

† The MPE for diffuse reflections at wavelengths between 0.400 and 1.400 μm is obtained by multiplying the corresponding MPEs above by C_E . (See Table 6 and Figure 9 for correction factors and T1.)

Note : 1. For repeated(pulsed) exposures, see 8.2.2.

2. The wavelength region λ_1 to λ_2 means $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$, e.g., 0.180 to 0.302 μm means $0.180 \leq \lambda < 0.302 \mu\text{m}$.

별첨 2.

표 3

Accessible Emission Limits for Continuous-Wave Laser and Laser System*

Wavelength Range (μm)	Emission Duration (s)	Class1 † (W)	Class2 † (W)	Class3 ‡ (W)	Class 4 (W)
Ultraviolet 0.18 to 0.302	3×10^4	$\leq 9.6 \times 10^{-9}$ $\leq 3.2 \times 10^{-6}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5 depending on wavelength	> 0.5
0.302 to 0.4	3×10^4	depending on wavelength (see Table 5)	-	(see Table 5)	> 0.5
Visible 0.4 to 0.7	3×10^4	$\leq 0.4 C_B \times 10^{-6}$ (see Table 5)	> Class 1 but $\leq 1 \times 10^{-3}$	> Class 2 but ≤ 0.5	> 0.5
Near Infrared 0.7 to 1.05	3×10^4	$\leq 128 C_A \times 10^{-6}$ depending on wavelength (see Table 5)	-	> Class 1 but ≤ 0.5 depending on wavelength(see Fig.8)	> 0.5
1.05 to 1.4	$10^{\dagger\dagger}$	$\leq 3.9 \times 10^{-4}$ to $\leq 1.9 \times 10^{-3}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
	> 1000	$\leq 600 C_C \times 10^{-6}$ (see Table 5)	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
Far Infrared 1.4 to 4	10	$\leq 1.9 \times 10^{-3}$ to $\leq 1.6 \times 10^{-2}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
	> 10	$\leq 9.6 \times 10^{-3}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
Submillimeter 4 to 10^2	> 10	$\leq 9.6 \times 10^{-3}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5
	> 10	$\leq 9.6 \times 10^{-2}$	-	> Class 1 but ≤ 0.5	> 0.5

* Emission duration ≥ 0.25 s.

† When the design or intended use of the laser or laser system ensures personnel exposures of less than 104s in any 24-hour period, the limiting exposure duration may establish a higher exempt power level, as discussed in 3.2.3.

‡ See 3.3.2.1 for explanation of Class 2a laser.

§ For 1 to 5 mW cw laser systems (Class 3a) see 3.3.3.1 and 3.3.3.2.

† † For laser not intended to be viewed.

Note: The wavelength range λ_1 to λ_2 means $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$, e.g., 0.18 to 0.4 μm means $0.18 \leq \lambda < 0.4 \mu\text{m}$.

별첨 3.

표 4

Accessible Emission Levels(Radiant Energy)

for Single-Pulsed Laser and Laser System Classification*

Wavelength Range (μm)	Emission Duration (s)	Class1 (J)	Class3 (J)	Class 4 (J)
Ultraviolet 0.18 to 0.302† 0.302 to 0.4	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 2.4 \times 10^{-5}$	> Class 1 but ≤ 0.125	> 0.125
	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 2.4 \times 10^{-5}$ $\leq 3.1 \times 10^{-3}$	> Class 1 but ≤ 0.125 > Class 1 but ≤ 0.125	> 0.125 > 0.125
	Visible 0.4 to 0.7	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 0.2 \times 10^{-5}$ $\leq 0.25 \times 10^{-3}$	> Class 1 but ≤ 0.03 > Class 1 but ≤ 0.03
Near Infrared 0.4 to 0.7	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 0.2 \times 10^{-6}$ to 2×10^{-6} $\leq 0.25 \times 10^{-3}$ to 1.25×10^{-3}	> Class 1 but $\leq 0.03C_A$ > Class 1 but $\leq 0.03C_A$	> 0.03C _A > 0.03C _A
	1.05 to 1.4	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 2 \times 10^{-6}$ $\leq 1.25 \times 10^{-3}$	> Class 1 but ≤ 0.15 > Class 1 but ≤ 0.15
Far Infrared 1.4 to 10 ²	10 ⁻⁹ to 0.25	$\leq 80 \times 10^{-6}$ $\leq 3.2 \times 10^{-3}$	> Class 1 but ≤ 0.125 > Class 1 but ≤ 0.125	> 0.125 > 0.125
	Submillimeter 10 ² to 10 ³	10 ⁻⁹ to 3×10^{-3} 3 × 10 ⁻³ to 0.25	$\leq 10 \times 10^{-3}$ to 0.125 ≤ 0.125 to 0.4	> Class 1 but ≤ 0.125

* There are no Class 2 single-pulsed lasers.

** See Note in Section 8 for pulse widths less than 1 ns.

† Wavelength dependent (see Table 5).

Note : The wavelength range λ_1 to λ_2 means $\lambda_1 \leq \lambda < \lambda_2$, e.g., 0.18 to 0.4 μm means $0.18 \leq \lambda < 0.4 \mu\text{m}$.