서울대학교 레이저 안전 지침

2019. 2

서울대학교 환경안전원

목차

1. 목적 4

2. 적용범위 4

3. 정의 4

3.1. 레이저 (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation: LASER) 4

3.2. 노출한계 (Accessible Emission Limit: AEL) 4

3.3. 최대허용노광량 (Maximum Permissible Exposure: MPE) 4

3.4. 공칭장해구역 (Nominal Hazard Zone: NHZ) 4

3.5. 1등급 레이저 (Class 1 Laser) 5

3.6. 1M등급 레이저 (Class 1M Laser) 5

3.7. 2등급 레이저 (Class 2 Laser) 5

3.8. 2M등급 레이저 (Class 2M Laser) 5

3.9. 3R등급 레이저 (Class 3R Laser) 5

3.10. 3B등급 레이저 (Class 3B Laser) 6

3.11. 4등급 레이저 (Class 4 Laser) 6

4. 레이저 안전관리자 7

5. 레이저 사용자 등록 및 출입 7

6. 레이저 연구실 표지 7

7. 레이저 안전 장비 및 점검 7

8. 레이저 일반 안전 조치사항 8

9. 레이저 등급에 따른 안전 조치사항 9

1) 1등급 레이저 9

2) 1M등급 레이저 9

3) 2등급 레이저 10

4) 2M등급 레이저 10
5) 3R등급 레이저 10
6) 3B등급 레이저 11
7) 4등급 레이저 11
10. 고출력 4등급 레이저 안전 조치사항 12
10.1. 50W이상 500W 미만 평균출력 레이저 안전 조치사항 12
10.2. 500W 이상 평균출력 레이저 안전 조치사항 15
11. 인터락 안전 시스템의 해제 16
12. 안구 보호(Eye Protection) 16
13. 피부 보호(Skin Protection) 18
14. 외부 연구원에 대한 안전 조치사항 18
15. 기타 안전 조치사항 19
16. 레이저 사고 시 긴급 조치사항 19

부록

[붙임1] 레이저 이용 연구실 정보 20
[붙임2] 레이저 작동 중 안내문 표시 21
[붙임3] 레이저 안전수칙 22
[붙임4] EC 60825-1 - safety of laser products 23
[붙임5] EN 207 30
[표] 레이저 안전등급 분류(IEC 60825-1) 32

서울대학교 레이저 안전지침

1. 목적

학내에서 학술 연구용으로 사용하는 레이저에 대한 안전 취급 기준을 정하여 관련 연구를 수행하는 연구원의 건강과 안전을 확보하고자 함을 목적으로 한다.

2. 적용범위

학내 대학(원) 및 연구소 등에서 레이저를 사용하는 모든 연구실에 적용한다.

3. 정의

3.1. 레이저: "레이저(LASER)"는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation의 약어로 전자기파의 유도 방출(stimulated emission)현상을 통해 빛을 증폭(light amplification)하는 장치 및 시스템을 말한다.

3.2. 노출한계(Accessible Emission Limit: AEL): "노출한계"란 레이저 등급별로 허용되는 최대 레이저 출력을 말한다.

3.3. 최대허용노광량(Maximum Permissible Exposure: MPE): "최대허용노광량"이란 통상적인 환경에서 직접적인 노출에도 신체 손상을 야기하지 않는 최대 레이저 출력을 말한다.

3.4. 공칭장해구역(Nominal Hazard Zone: NHZ) "공칭장해구역"은 레이저의 출력이 최대허용노광량을 초과하는 구역을 말하고, θ를 레이저광선의 발산각, P를 레이저광선의 출력, a를 출력 레이저광선의 지름이라 할 때,

$$NHZ = \frac{1}{\theta}\left(\left(\frac{4P}{MPE \times \pi}\right)^{\frac{1}{2}} - a\right)$$

로 정의한다.

국제 전자기술 위원회(International Electrotechnical Commission, IEC)는 레이저광선에 직접적 혹은 간접적으로 노출되었을 경우 발생할 수 있는 잠재적인 피부 및 안구의 손상 가능성에 따라 레이저의 등급을 정의 및 분류하였다. 본 서울대학교 레이저 안전가이드는 이 분류에 따라 레이저를 구분하고 등급별 레이저의 안전한 사용 지침을 제시한다. 레이저의 분류에 대한 구체적인 조건 및 등급별 노출한

계에 대한 설명은 [붙임4] 첨부되어있는 IEC 60825-1를 참조하도록 한다.

3.5. 1등급 레이저: “1등급 레이저”란 특정 광학계※ 사용을 포함한 보통의 사용조건에서 안전하고 위해성이 없는 레이저를 말한다. (1등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

※ “특정 광학계”란 주어진 조건에서 사용될 경우 레이저광선의 광세기가 보통의 사용조건에서 보다 더욱 높아지는 효과를 가져 올 수 있는 광학 기구 및 장치를 말한다.

3.6. 1M등급 레이저: “1M등급 레이저”란 특정 광학계 사용을 제외한 보통의 사용조건에서는 안전하고 위해성이 없는 레이저를 말한다. 이 경우 특정 광학계를 사용하여 레이저광선을 관찰하는 경우 위해성이 있을 수 있다. (1M등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

3.7. 2등급 레이저: “2등급 레이저”란 1/1M등급 레이저보다 더 높은 위해성을 가지는 레이저로서, 가시광선영역(400 - 700 nm)의 파장에서 동작하고, 특정 광학계 사용을 포함한 보통의 사용 조건에서 안구가 레이저광선에 노출되었을 때 가시광선 특성상 유발된 눈 깜박임과 같은 반사작용을 통해 안구가 보호될 수 있는 수준까지의 출력 특성을 갖는 레이저를 말한다. (2등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

3.8. 2M등급 레이저: “2M등급 레이저”란 1/1M등급 레이저보다 더 높은 위해성을 가지는 레이저로서, 가시광선영역(400 - 700 nm)의 파장에서 동작하고, 특정 광학계 사용을 제외한 보통의 사용 조건에서 안구가 레이저광선에 노출되었을 때 가시광선 특성상 유발된 눈 깜박임과 같은 반사작용을 통해 안구가 보호될 수 있는 수준까지의 출력 특성을 갖는 레이저를 말한다. 이 경우 특정 광학계를 사용하여 레이저광선을 관찰하는 경우 위해성이 있을 수 있다. (2M등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

※ 레이저의 출력 파장이 가시광선 영역과 비가시광선 영역에 걸쳐서 모두 존재하는 경우, 비가시광선 영역의 출력이 1(M)등급 레이저의 노출한계보다 작아야 2(M)등급 레이저로 분류될 수 있다.

예) 중심파장이 405 nm이고 대역폭이 20 nm로 395 - 415 nm 의 출력파장을 가지는 레이저가 있을 경우, 비가시광선 영역인 395 nm 이상 400 nm 미만의 파장 영역에서의 출력이 1등급 노출한계보다 작아야 2등급 레이저로 분류될 수 있음.

3.9. 3R등급 레이저: “3R등급 레이저”는 직접적으로 레이저광선에 노출되는 경우 잠재적인 위해성이 있고 가시광선영역(400 - 700 nm)에서 동작하는 경우에는 2등급 레이저 노출한계의 5배 이하의 출력을 가지고, 비가시광선영역에서 동작하

는 경우에는 1등급 레이저 노출한계의 5배 이하의 출력을 가지는 레이저를 말한다. (3R등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

3.10. 3B등급 레이저: "3B등급 레이저"는 난반사되거나 산란된 레이저광선에 의한 노출에는 안전하지만 직접적으로 레이저광선에 노출되는 경우에는 위해성이 있는 레이저를 말한다. (3B등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

3.11. 4등급 레이저: "4등급 레이저"란 직접적인 노출뿐만 아니라 난반사 및 산란 등에 의한 간접적인 노출에도 위해성이 있고 안구 및 피부 손상, 화재 등의 사고를 야기할 수 있어 사용에 각별한 주의가 요구되는 레이저를 말한다. (4등급 레이저에 대한 자세한 분류 및 노출한계에 대한 계산은 [붙임4]의 IEC 60825-1을 참조)

등급	노출한계	설명	비고
1/1M	-	- 위험 수준이 매우 낮아 인체에 무해한 수준 -1M의 경우 특정 광학계를 통한 레이저광선을 관측할 시 안구 손상의 가능성이 있음[1)]	
2/2M	1 mW (0.25초 이상의 노출시간인 경우)	- 0.25초 미만의 노출에는 위험성이 적지만 장시간 노출될 경우 안구 손상을 야기할 수 있음 - 2M의 경우 특정 광학계를 통한 레이저광선을 관측할 시 안구 손상의 가능성이 있음[1)]	
3R	5 mW (가시광선 영역에서 0.35초 이상의 노출시간인 경우)	- 직접적인 노출이나 특정 광학계를 통해 레이저광선을 관측하는 경우 안구 손상을 야기할 수 있음	보안경 착용 권고[2)]
3B	**500 mW (315 nm 이상의 파장에서 0.25초 이상의 노출시간인 경우)**	**- 직접적인 노출뿐 아니라 거울 등에 의해 정반사되어 오는 레이저광선에 노출되어도 안구 손상을 야기할 수 있음**	**보안경 착용 필수**
4	**>500 mW**	**- 직접적인 노출뿐 아니라 반사, 산란된 레이저광선에 의한 노출에도 안구 손상 및 피부 화상을 야기할 수 있음 - 50 W 이상의 출력을 가지는 레이저는 추가적인 안전지침이 필요함**	**보안경 착용 필수**

※ 노출한계는 출력 파장, 노출 시간 등의 조건에 따라 상황별로 다른 값을 가짐. 표에 제시된 값들은 특정한 상황(예: 가시광선 영역, 0.25초 이상의 노출시간)에서의 노출한계 값임. 따라서 실제 레이저의 사용에 있어서는 [붙임4]의 IEC 60825-1를 참조해 레이저 등급 및 동작특성에 따른 노출한계의 계산이 필요함.

[1)] 1M/2M에서 M은 magnification으로 사용자가 레이저의 출력단 뒤에 렌즈 등의 광학부품을 놓았을 때, 안구

손상의 위험이 생길 수 있는 경우를 말함. 이 경우, 레이저광선이 퍼져서 나올 때와 평행하게 나올 때의 두 가지 경우를 생각해 볼 수 있음.

[2)]3R 레이저의 경우, 직접적인 노출로 인한 잠재적인 위해성이 있으므로 사용하는 레이저의 최대허용노광량에 따라 보안경의 착용 여부를 결정해야 함.

4. 레이저안전관리자

레이저의 위험성 평가 및 안전관리를 수행하는데 충분한 지식을 가진 사람으로서 지도교수 또는 지도교수가 지정한 자로 한다. 레이저안전관리자는 연구원에게 안전교육 실시 및 안전절차를 숙지하도록 해야 한다.

5. 레이저 사용자 등록 및 출입

5.1. 레이저 사용 연구원은 레이저연구실 출입기록과 사용일지를 기록하고, 3B 등급 이상의 레이저 사용 연구원은 레이저를 취급하기 전과 3년마다 다음의 검진과 안전교육을 이수하여야 한다.

1) 안구 및 시력 검사

2) 레이저 안전교육 및 취급절차

5.2. 레이저 연구실은 일반인의 출입을 통제하고, 교육 또는 견학 방문자의 경우에는 레이저 안전관리자의 안내를 받아 출입할 수 있도록 한다.

6. 레이저 연구실 표지

6.1. 레이저 안전관리자는 레이저연구실 출입문에 다음의 안전표지와 수칙을 게시하고 모든 안전장치들이 정상적으로 작동되는지 확인하여야 한다.

1) 레이저안전관리자 이름 및 연락처가 표시된 [붙임1]의 레이저 이용 연구실 정보

2) 일반인의 출입을 금지하는 표시(관계자 외 출입금지) [붙임2], 레이저 작동 중임을 알리는 경광등 및 비상 버튼 설치 및 사용 안내문 게시

3) 사용 중인 레이저들에 대한 상세정보(등급, 파장, 출력)와 출입이 인가된 연구원의 이름을 게시

4) 3B 그리고 4등급의 레이저의 경우 사용이 허가된 연구원의 이름을 게시

7. 레이저 안전 장비 및 점검

7.1. 사용 레이저에 적합한 레이저 보안경을 항상 구비해 두고 착용하여야 하며,

레이저 안전관리자는 6개월 마다 레이저 장비에 대한 안전검사를 실시한다.
7.2. 안전검사 결과 부적합 사항은 즉시 보완하여 안전사고를 사전에 예방한다.
7.3. 사용 레이저 및 개인보호장비의 목록을 작성하고 점검 시 이를 제공할 수 있도록 관리한다.
7.4. 레이저 장비를 변경 할 경우는 이를 레이저 안전관리자에게 알려야 하며 모든 안전 연동 장치가 올바르게 작동하는지 확인하여야 한다.

8. 레이저 일반 안전 조치사항

8.1. 레이저로 인한 안전사고를 방지하기 위해 연구원은 레이저의 등급, 출력 파장, 출력 세기에 대해 숙지하고 있어야 하며 이와 관련한 안전가이드에 따라 실험을 진행해야 한다.
8.2. 레이저의 위치, 레이저광선의 경로, 레이저광선 경로 주위의 반사체의 유무, 렌즈 그리고 거울 등의 광학계의 위치에 대해 완벽히 숙지하고 있어야한다.
8.3. 레이저로 인한 안전사고는 사용자뿐만 아니라 주위에 있는 사람에게도 발생할 수 있으므로 레이저를 사용하지 않더라도 항시 레이저의 위치와 등급에 따른 레이저의 경고 문구를 숙지하고 있어야한다.
8.4. 레이저광선은 어떠한 상황에서도 반드시 사용자의 눈높이를 피해서 진행하도록 해야 한다.
8.5. 레이저 광선이 거울, 렌즈 등의 광학부품을 지나는 경우, 의도되지 않은 반사광 및 산란광이 발생하지 않도록 유의하여 광학부품을 정렬 하도록 한다.
8.6. 특정 등급의 레이저 중에서 어떤 경우는 시스템적으로 해당 레이저의 등급보다 상위 등급의 레이저를 광감쇠기 등을 통해 그 출력 및 에너지를 감소시켜 동작시키는 방식을 취한다. 이러한 레이저의 경우, 광감쇠기를 제거하는 등 시스템적인 변경을 행할 시에는 레이저 안전책임자의 승인을 받아야 하고, 변경된 레이저에 대한 안전 조치사항은 해당 상위 등급의 원 레이저 등급 및 변경된 시스템의 최종적인 특성을 고려하여 결정하도록 한다.
8.7. 레이저 중에는 안전 열쇠 제어기가 장착되어 있어서 안전 열쇠가 있어야만 레이저가 동작되는 경우가 있다. 3R등급 이상의 레이저의 경우, 안전 열쇠는 레이저 동작이 멈춘 상태에서만 분리될 수 있도록 해야 하며, 레이저가 사용되지 않을 시에는 레이저에서 분리되어 따로 안전한 장소에 보관되도록 한다.

8.8. 고전류나 고전압을 통해 레이저를 동작하는 경우, 전원장치를 조작할 때에 안전사고가 발생하지 않도록 주의해야 하며 전선 연결부는 절연체로 감싸고 사용하지 않을 시 단락시켜놓아야 한다.

8.9. 사용하는 레이저의 파장에 따라 발생할 수 있는 신체 손상 및 안전사고에 대해 인지하고 적합한 보안경 및 보호 장비를 착용하여야 한다. 다음은 레이저에 노출됨에 따라 발생할 수 있는 신체 손상 및 신체에의 영향을 레이저의 출력 파장에 따라 나타낸 것이다.

동작 스펙트럼 영역	출력 파장	신체 손상 및 영향
Ultraviolet	200 ~ 400 nm	각막, 수정체, 피부에 영향
UV-C	200 ~ 280 nm	각막과 결막에서 흡수, 피부암, 피부노화
UV-B	280 ~ 315 nm	대부분 각막과 결막에 흡수되나 백내장을 야기할 수 있음
UV-A	315 ~ 400 nm	수정체에서 모두 흡수하나 백내장을 야기할 수 있음, 색소 침착, 화상
Visible	400 ~ 780 nm	망막에서 흡수, 색소 침착, 피부 화상
Infrared	780 nm ~ 1 mm	망막, 각막, 수정체, 피부에 영향
NIR	780 nm ~ 1500 nm	망막, 수정체 손상 및 피부 화상
Mid and Far IR	1500 nm ~ 1 mm	각막 손상 및 피부 화상

8.10. 레이저 사용자는 그 안전한 사용을 위해 사전에 레이저 안전 조치사항 및 사용 지침에 관한 안전교육을 받아야 한다. 특히, 3B등급 이상의 레이저의 경우, 레이저 사용에 대한 경험이 충분하고 레이저 안전사고에 대한 대비 및 대처 능력을 충분히 지니고 있어서, 보통의 사용조건에서 해당 레이저를 안전하게 사용할 수 있다고 판단되는 레이저 사용자에게만 그 사용 권한이 주어져야 한다. 이 때, 그 사용 권한은 레이저 안전관리자가 부여한다.

9. 레이저 등급에 따른 안전 조치사항

1) 1등급 레이저

자체 안전시스템이 있거나 시스템이 밀폐되어 있어 어떤 사용 환경에서도 레이저 광선이 안구에 노출되지 않아 추가적인 안전 조치를 필요로 하지 않는다.

2) 1M등급 레이저

1M등급 레이저의 경우 특정 광학계를 통한 노출이 발생할 경우 안구 손상을 야기

할 수 있으므로 안구에 도달하는 레이저광선의 세기가 최대허용노광량 미만이 되도록, 이에 합당한 셔터 등의 안전장치를 설치하거나 보안경 등의 보호 장비를 착용한 후 레이저를 사용하여야 한다. 광학 기구를 이용한 내부 광 관찰은 통제 되어야 하며 렌즈 등의 광학부품을 사용 시 다음의 두 경우에 대해서는 안구 손상에 대한 위험이 증가 할 수 있다.

1. 출력광선이 퍼지는 경우(diverging beams)
   - 광학부품이 레이저 출력단으로부터 100mm 이내에 있는 경우
2. 출력광선이 평행할 때(collimated beams)
   - 출력광선의 지름이 아래 표의 파장별 최대 가능 지름보다 클 경우

파장	최대 가능 지름
200 - 400 nm	1 mm
400 - 1400 nm	7 mm
1400 - 10^5 nm	1 mm
10^5 - 10^6 nm	11 mm

3) 2등급 레이저

0.25초 미만의 노출에 대해서는 안전하나 이보다 긴 시간동의 노출이나 직접적인 노출은 안구 손상을 야기할 수 있다.

4) 2M등급 레이저

2M등급 레이저의 경우 1M등급 레이저와 마찬가지로 특정 광학계를 이용해서 레이저 시스템을 관측할 시에는 안구에 도달하는 레이저광선의 세기가 최대허용노광량보다 미만이 되도록 하는 셔터, 보안경 등을 착용해야 한다. 렌즈와 같은 광학부품을 사용할 경우도 1M등급 레이저와 마찬가지로 두 가지의 출력광선 형태에 따라 보안경과 같은 적합한 보호 장비를 착용한 후 실험을 진행해야 한다.

5) 3R등급 레이저

직접적인 노출이나 특정 광학계 등을 이용하여 레이저광선을 관찰할 시 안구 손상을 야기할 수 있다. 출력 파장 및 노출 시간에 따라 최대허용노광량이 정해지므로 사용하는 레이저에 대한 최대허용노광량을 정확히 인지하고 있는 상태에서 실험을 진행해야 한다. 3R 레이저가 스크린 등을 이용한 인클로저※를 통해 광차폐가 되어 있는 경우, 보안경을 착용할 필요가 없으나 레이저광선이 광섬유 등을 통해 인클로

저 밖으로 나오거나 인클로저 없이 레이저광선이 자유 공간에서 진행을 하도록 설계되어 있는 경우에는 레이저광선에의 직접적인 노출로 인한 잠재적인 위해성이 있으므로 사용하는 레이저의 최대허용노광량에 따라 보안경의 착용 여부를 결정해야 한다.

※인클로저: “인클로저”란 고출력 레이저가 외부로 노출되는 것을 막기 위한 광차폐 시스템으로 500W 이상의 출력을 갖는 고출력 레이저는 필수적으로 설치가 되어야 한다. 고출력 레이저광선에 대한 직접적인 측정은 인클로저 내부에서 이루어져야 하고, 스펙트럼 측정 등과 같이 레이저광선에 대한 간접적인 측정을 위한 목적에서는 충분히 감쇠된 레이저광선을 인클로저 외부로 통하게 할 수 있다. 이 때, 인클로저 외부로 인출되는 레이저광선의 출력은 반드시 최대허용노광량 미만이 되도록 해야 한다.

6) 3B등급 레이저

레이저광선에 의한 직접적인 노출이나 정반사된 광선에 의한 노출은 심각한 안구 손상을 야기할 수 있으므로 의무적으로 보안경을 착용하고 실험을 진행해야 한다.

레이저 안전관리자가 부여한 사용 권한이 있는 경우에만 사용할 수 있다. 레이저 안전 교육을 받지 않은 사용자가 3B등급 레이저가 사용되고 있는 공간에 들어가기 위해서는 3B등급 레이저에 접근 권한이 있는 사용자가 같이 입회하여야한다.

레이저 안전관리자는 공칭장해구역에 대한 범위를 명시적으로 정해야하고 모든 실험은 출입문이 닫힌 채로 진행되어야 한다. 또한 인터락 시스템을 통해 레이저가 켜지면 레이저의 동작을 알리는 경광등 역시 자동으로 켜지도록 해야 하고 레이저가 동작하고 있을 시 실험실의 출입문이 열리면 자동으로 빔셔터가 동작해 레이저의 출력을 막는 안전장치를 설치해 발생할 수 있는 안전사고의 가능성을 최소화해야 한다.

7) 4등급 레이저

3B등급 레이저의 기준보다 높은 출력을 갖는 고출력 장치이다. 직접적인 노출뿐만 아니라 난반사, 산란된 광선에 의한 노출로도 안구 및 피부 손상을 야기할 수 있으므로 의무적으로 보안경을 착용해야하고 신체가 노출되지 않는 옷을 입어야 한다. 이뿐만 아니라 화재를 발생시킬 수 있으므로 사용에 있어서 각별한 주의가 필요하

다.

레이저 안전관리자가 부여한 접근 권한이 있는 경우에만 사용할 수 있다. 사용 권한이 없거나 레이저 안전교육을 받지 않은 경우, 사용 권한이 있는 사용자의 입회 여부와 관계없이 절대 4등급 레이저를 사용할 수 없다.

3B등급 레이저와 마찬가지로 레이저 안전관리자는 공칭장해구역에 대한 범위를 명시적으로 정해야하고 출입문이 닫힌 채로 레이저가 동작해야 한다. 인터락 시스템을 설치해 레이저의 동작과 경광등의 작동을 동기화하고 출입문이 열렸을 시 빔셔터를 통해 자동으로 레이저의 출력을 제어하도록 해야 한다.

레이저광선이 진행하는 경로에는 반사나 산란을 유발하는 어떠한 물체도 있으면 안 되고 광학부품을 사용할 시에는 그 정렬을 정확히 해 불필요한 반사 및 산란을 최소화해야 한다.

또한, 4등급 레이저는 화재를 발생시킬 수 있으므로 레이저 시스템 주위나 레이저 광선이 진행하는 경로 주위에는 가연성 물질을 위치시키지 않도록 하고 빔스톱, 빔블록과 같은 안전장치는 비가연성 물질을 이용하여야 한다.

10. 고출력 4등급 레이저 안전 조치사항

10.1. 50W이상 500W 미만 평균출력 레이저 안전 조치사항

수십 와트(W) 레벨 이상의 출력을 가지는 고출력 레이저는 그 사용에 있어서 각별한 주의를 기울이지 않으면 피부와 눈에 매우 심각한 상해를 가할 위험이 있고 가연성 물질에 조사되었을 경우 화재와 유독 가스를 발생 시킬 위험이 있다. 따라서 다음 지침은 실험에 참여하는 연구원에게 고출력 레이저의 안전한 사용을 위한 추가 정보 및 지침을 제공하기 위한 것이다.

1) 고출력 레이저를 사용하고자 하는 사람은 다음의 요구 사항들을 충족해야 하고 실험을 시작하기 전에 레이저 안전관리자에게 허가를 받아야 한다.

2) 모든 고출력 레이저 사용자는 고출력 레이저의 작동법 및 안전 지침을 숙지해야 한다.

3) 레이저 안전관리자는 레이저 사용자가 고출력 레이저 사용과 관련한 작동법 및 안전 지침을 완벽히 숙지하고 있는지를 확인한 후에 고출력 레이저의 사용에 대한 권한을 부여해야 한다.

4) 고출력 레이저 사용자는 레이저를 동작하기 전에 모든 안전 조치가 취해져있는지 그리고 모든 안전장치가 정상적으로 작동하는지 확인해야 한다. 지켜지지 않은 안전지침이 있다면 그 부분에 대한 수정이 완료되기 전까지 절대로 고출력 레이저 실험을 진행해서는 안 된다.

5) 보안경은 모든 방향에서 오는 레이저광선을 막을 수 있어야한다. 또한 보안경을 통과하면 레이저광선이 안구에 도달하게 되므로 보안경은 레이저가 동작하는 파장 범위에서 충분한 감쇠 레벨을 가져야한다. 레이저 고글이 고출력 레이저광선에 직접적으로 닿을 경우 고글이 손상되거나 파괴될 수 있으므로 사용자는 고글을 착용하기 전 고글의 손상여부를 확인해야 한다. 또한 고출력 레이저는 안구뿐 아니라 신체의 다른 부위에도 상해를 입힐 수 있으므로 노출의 위험을 최소화하기 위해 보호 장비 등의 적합한 조치를 취해야 한다.

6) 고출력 레이저에는 유사시에 레이저의 전원을 차단하는 인터락 시스템※이 설치되어야 한다. 이 때, 셔터 인터락 시스템은 셔터가 고출력의 레이저를 견딜 수 있도록 설계되지 않았을 경우 셔터에 의한 반사광선이나 산란광선이 레이저를 손상시킬 수 있고 화재를 발생시킬 수도 있기 때문에 고출력 레이저의 인터락 시스템으로 사용 되서는 안 된다.

※ 인터락 시스템: “인터락 시스템”이란 레이저가 동작 중에 실험실 출입문이 열린 경우나 갑작스럽게 레이저에 이상이 생긴 경우 등의 예상치 못한 상황에서 레이저출력이 외부에 노출되지 않도록 레이저 출력을 차단하거나 그 동작을 정지시키는 시스템으로 3B등급 이상의 고출력 레이저에는 필수적으로 설치가 되어야 한다.

7) 고출력 레이저 실험은 레이저의 위치, 레이저광선의 경로, 광학부품의 위치, 진

행경로별 레이저의 출력변화 등의 모든 고려할 수 있는 상황을 반영하여 설계되고 진행되어야 한다. 모든 레이저광선은 광학 테이블 위에서만 진행해야하고 머리 높이보다 아래에서 진행해야 한다. 어떤 광학부품에서 레이저광선이 반사되거나 회절되어 새어나올지 예상하고 이러한 광선은 빔스톱으로 차단해야 한다. 매우 높은 출력을 가지는 레이저의 경우 수냉식 빔스톱을 사용해야하며 그 외의 일부 광학 부품에도 수냉을 통해 열로 인해 발생 할 수 있는 문제를 최소화해야 한다. 반사 방지 코팅을 사용하더라도 레이저의 출력이 높으면 표면에서 반사된 광선의 출력 역시 높으므로 반사광선에 의한 안전사고 문제 역시 고려해야 한다.

8) 광학 부품, 출력 측정기(Power-meter) 및 빔 스톱 등 레이저광선이 진행하는 경로에 있는 물체들은 움직임에 의해 유발되는 손상, 화재, 레이저광선 노출이 발생하지 않도록 광학 테이블에 단단히 고정해야 한다.

9) 레이저 및 광학 부품 등의 정렬은 저출력으로 레이저가 동작하는 상황에서 수행되어야 한다. 레이저가 고출력으로 작동 할 때는 절대로 레이저광선 경로에 물건을 넣거나 빼서는 안 된다. 비가연성 물질의 스크린 및 빔 튜브를 고출력 레이저 주위에 설치해 레이저 사용자가 의도치 않게 레이저광선에 노출되어 부상을 입을 위험을 최소화해야 한다.

10) 실험실에서 넥타이 착용 및 느슨한 옷을 입는 것을 피해야 하며 긴 머리는 시야를 가리지 않도록 묶는다. 고출력 레이저로 인한 광학 부품의 손상으로 레이저광선의 방향이 급작스럽게 변하거나 산란광의 증가할 수도 있으므로 손이나 얼굴을 레이저광선 경로에 너무 가까이 두지 않도록 주의해야 한다.

11) 레이저광선에 노출 되었을 시 유독 가스를 발생시킬 수 있는 유기용매 및 일부 플라스틱 제품 등과 가연성 물질은 레이저광선 경로로부터 멀리 두어야 한다.

12) 레이저 안전관리자는 화재 감지기 및 새오나오는 빛을 감지해 레이저의 출력을 제어할 수 있는 인터락 시스템을 설치하여 화재 및 산란광선에 의한 안전사고를 대비 할 수 있도록 해야 한다.

10.2. 500W 이상 평균출력 레이저 안전 조치사항

아래에 언급된 추가 안전 조치는 레이저 평균 출력이 500W 이상인 레이저에는 필수로 적용 되어야 한다.

1) 돌발적인 노출을 방지하기 위해 레이저 및 관련 실험 시스템은 스크린 등을 이용한 인클로저로 외부로부터 차단되어야하며 출입문, 빔스크린 등은 레이저 시스템의 출력을 제어하는 인터락과 동기화되어 있어야 한다.

2) 레이저 시스템을 외부로부터 차단하는 인클로저 시스템은 레이저 시스템의 동작 이상으로 레이저광선의 방향이 바뀐 상황에서도 실험자가 문제를 인지하고 레이저의 동작을 정지하기까지의 시간 동안 레이저의 최대출력을 충분히 견딜 수 있어야 한다. 이 때, 최소 2분 이상의 시간 동안 레이저의 최대출력을 견딜 수 있도록 인클로저 시스템이 설계되고 구성될 것을 권장한다.

3) '정지' 스위치 버튼을 눈에 잘 보이는 곳에 설치하여 비상 시 쉽게 작동 시킬 수 있어야 한다.

4) 레이저가 완전히 밀폐되어 있어도 레이저 작동 시 항상 레이저 안전 보안경을 착용해야 한다.

5) 레이저 정렬을 위한 저출력 모드나 가이드 모드에는 인클로저를 제거한 상태 혹은 인클로저 인터락 시스템이 연결되지 않은 상태로 레이저가 동작 할 수 있지만 500W 이상의 고출력으로 레이저를 동작 할 시에는 인클로저 인터락이 항상 연결되어 있어야 한다.

6) 원칙적으로 인클로저는 레이저 시스템을 밀폐시키는 형태로 설계되어야 하지만 레이저 시스템의 동작 성능 진단을 위해서 저출력으로 동작 시에는 사용자가 레이저 시스템에 접근할 수 있도록 설계될 수도 있다.

7) 고출력 레이저 사용자는 레이저를 이용한 실험을 진행하기 전에 적절한 안전 조치가 마련되었는지 확인해야하고 이를 레이저 안전관리자에게 보고해야 한다.

8) 고출력 레이저의 실험은 2명 이상의 사용자가 함께 진행하는 것을 권장한다. 단, 늦은 시각에 실험을 진행하는 경우에는 2명 이상의 사용자가 함께 실험을 진행하는 것을 원칙으로 한다. 늦은 시각에 혼자 실험을 진행해야하는 상황이 발생할 경우에는 반드시 레이저 안전관리자로부터 사전 승인을 받은 후 실험을 진행해야 한다.

9) 실험시간이 길어질 경우 실험 중간에 충분히 휴식시간을 가질 것을 권고한다.

11. 인터락 안전 시스템의 해제

원칙적으로 고출력 레이저의 인터락 시스템은 해제되어서는 안 되며, 허가 없는 인터락 해제로 인한 사고는 형사상의 과실로 간주될 수 있다. 다만, 아래와 같은 조건들 하에서 키패드로 작동하는 인터락 우회 시스템을 설치 및 동작시킬 수 있다.

1) 레이저 안전관리자가 인터락이 해제된 경우에도 레이저의 안정적인 동작에 문제가 없다고 판단한 경우
2) 인터락의 해제시간이 10초 미만인 경우
3) 고출력 레이저의 사용이 허가된 사람들에게만 인터락 우회 시스템의 비밀번호가 알려진 경우
4) 인터락 우회 시스템의 비밀번호가 매달 변경되는 경우
5) 레이저광선이 인클로저 및 실험실 밖으로 나가지 않도록 충분한 조치가 취해진 경우
6) 레이저 시스템이 동작하고 있는 상태에서 40분 이상 방치되지 않은 경우

12. 안구 보호(Eye Protection)

12.1. 실험을 진행하다 보면 레이저에 근접해야하는 경우가 생길 수 있다. 이러한 경우 안전장치 및 레이저 제어 시스템이 적용된 상황이라 하더라도 레이저광선으로부터 안구를 적절히 보호할 수 있도록 제작된 보안경 사용이 요구된다. 실험자는 보안경이 레이저광선을 막지 못한다면 안구가 레이저광선에 직접적으로 노출될 수

있다는 점을 항시 인지해야 한다.
12.2. 모든 파장으로부터 안구를 보호할 수 있는 보안경은 존재하지 않으므로 실험에 사용되고 있는 레이저의 동작 파장에 따라 그에 적합한 보안경을 선택해 착용해야한다. 즉, 선택된 보안경은 해당 레이저의 동작 파장에서 해당 레이저의 출력을 견딜 수 있고, 최종적으로 안구에 도달하는 레이저광선의 세기를 최대허용노광량 이하로 줄일 수 있어야 한다. 보안경에는 반드시 설계된 파장, 해당 파장에서의 광 흡수율, 최대 출력 등급 등이 명확하게 표시되어 있어야 하고 [붙임5]의 유럽 표준 규범 (EN 207)에 준하도록 선택되어야 한다.

12.3. 파장 가변 레이저의 경우 다른 레이저 보다 보안경의 사용에 있어서 추가적인 조치가 필요하다. 이러한 레이저에 대해서는 광대역 레이저 보안경이 사용 되어야하고 보안경의 안전성에 대하여 의심의 여지가 있는 경우 레이저 안전관리자와 반드시 상의를 해야 한다.

12.4. 어떤 종류의 보안경을 사용하더라도 시야가 충분히 확보되어 안전하게 이동할 수 있어야 한다.

12.5. 서로 다른 파장에서 동작하는 레이저들을 동시에 동작시키는 경우, 모든 동작 파장에서 적절한 보호 특성을 가지는 보안경을 착용해야 한다. 부득이한 경우 레이저 안전관리자와 반드시 상의를 해야 하며, 인클로저, 빔스크린 등의 장치를 통해 안전사고의 가능성을 최소화하도록 한다.

12.6. 레이저 사용자는 항시 실제 사용 중인 레이저의 파장 및 동작 특성을 인지하고, 이에 적합한 보안경만 사용해야하며, 그 사용에 혼선이 있어서는 안 된다.

12.7. 안구 손상을 입은 환자가 발생할 경우에는 즉시 병원에 데려 가야한다 (16조 레이저 사고시 긴급조치 참조). 이 때, 레이저는 즉시 그 동작을 정지시키고, 가능할 경우 전원을 차단하도록 한다. 사고현장은 그대로 보존하고, 반드시 레이저 안전관리자에게 보고한다.

13. 피부 보호(Skin Protection)

13.1. 고출력 레이저에서 아주 가깝게 작업해야하는 경우 팔과 손이 레이저광선에 노출되지 않도록 긴팔 옷을 입어야 하며 추가적인 보호를 위해 팔 덮개와 장갑을 사용해야 한다. 자외선의 경우 에너지가 높고 투과도가 높으므로 각별한 주의를 기울여야한다. 특히 첨두 출력이 높은 펄스형 자외선 레이저의 경우, 안구 손상 및 피부 손상 등의 위험도가 매우 높으므로, 이를 항시 인지하고, 이에 대한 적절한 보호 조치를 취해야 한다.

13.2. 어두운 실험실에서 실험을 진행할 경우, 밝은 실험실에서 레이저를 동작시킬 때보다 안전사고가 발생할 가능성이 더 크다. 따라서 실험실 환경을 어둡게 한 조건에서 실험을 진행해야할 경우에는 장비의 국부적 차폐, 전자기 차폐 등 안전사고의 가능성을 최소화 할 수 있는 조치를 취하도록 한다.

14. 외부 연구원에 대한 안전 조치사항

3B등급 이상의 고출력 레이저를 외부 연구원이 사용하고자 할 경우 반드시 사전에 레이저 안전관리자로부터 출입 허가를 받아야 하며 다음의 절차를 따라야 한다.

1) 외부 연구원은 레이저 안전관리자로부터 고출력레이저에 대한 접근 및 사용 허가를 받아야 하고 이에 대한 사항은 서류로 작성하여 외부 연구원과 레이저 안전관리자가 각각 1부씩 보관한다.
2) 레이저 안전관리자는 고출력 레이저에 대한 접근 및 사용 권한을 주기 전에 외부 연구원이 고출력 레이저를 사용하기 위한 적절한 수준의 경험 및 교육을 받았는지 확인해야 한다.
3) 외부 연구원은 서울대학교 레이저 안전 수칙을 숙지하고 준수해야 한다.
4) 적절한 레이저 안전 보안경을 착용해야하며 항시 고출력 레이저에 접근 권한이 있는 사용자부터 감독을 받아야 한다.
5) 실험을 수행하기에 앞서 사용할 레이저에 대한 위험성을 파악하고 이에 대한 안전절차를 숙지하여야 한다.

15. 기타 안전 조치사항

많은 경우 레이저는 전기·전자 시스템에 의해 구동되거나 개별 전기·전자 측정 시스템과 함께 사용되는데, 실험시 정전기로 인한 예기치 못한 레이저의 오동작 혹은 실험자의 반사작용 때문에 안전사고가 발생할 우려가 있다. 이를 미연에 방지하기 위해 실험자는 정전기방지용 접지 팔찌 착용 등 전기적 안전조치를 취할 필요가 있다. 이 외에 레이저 사용 중 발생할 수 있는 기타 물리적, 전기적, 화학적, 생물학적 등의 안전사고에도 유의하여 실험을 진행하도록 한다.

16. 레이저 사고 시 긴급 조치사항

16.1. 사고 시 레이저는 즉시 동작을 정지시키고 가능한 경우 전원을 차단해야 한다. 또한, 사고 원인이 조사될 때까지 연구실은 사고 상황을 그대로 유지하여야 한다.

16.2. 안구가 레이저광선에 노출되거나 레이저에 의한 화상 등의 중상을 입은 경우 즉시 119에 전화하여 구급차를 요청한다. 화상인 경우, 최대한 빠른 응급 처치가 선행되어야 한다. 부상 시에는 동료의 동행은 정신적인 안정감과 레이저 사고에 대한 세부 정보 제공이 가능하다는 점에서 도움이 된다. 레이저 사고 발생 시에는 반드시 레이저 안전관리자 및 환경안전원(880-5500)에 보고해야 한다.

[붙임1]

레이저 이용 연구실 정보

	연구실명	
	지도교수 (연구책임자)	
	레이저안전관리자 (연락처)	
장비명: 등 급: 파 장: 출 력:		

[붙임2]

[붙임3]

레이저 Laser Safety rules 안전수칙

레이저 일반 안전사항

- 레이저의 동작특성을 충분히 숙지하고 안전지침을 따를 것
- 레이저의 위치, 레이저광선의 경로, 사용하는 광학계의 위치를 숙지할 것
- 레이저광선으로 인해 레이저 사용자뿐만 아니라 주변 사람들에게도 안전사고가 발생할 수 있음을 숙지 할 것
- 레이저광선이 사용자의 눈높이를 피해 진행하도록 할 것
- 의도되지 않은 반사 및 산란광선이 발생하지 않도록 광학부품을 정렬 할 것
- 고전류나 고전압으로 레이저를 동작시키는 경우, 전기 안전사고에 유의 할 것
- 사용하는 레이저에 따라 적합한 보안경 및 보호 장비를 착용할 것
- 레이저 안전수칙 및 안전지침서 등 설비 운영에 관한 안전교육을 수강할 것

※레이저 안전교육: 환경안전원(www.ieps.snu.ac.kr)

고출력 레이저 (등급 3B, 등급 4) 안전 수칙

- 레이저 실험은 레이저 안전관리자가 부여한 권한이 있는 사용자만 수행 할 것
- 실험을 진행하기 전에 안전조치 사항 및 안전장치의 동작여부를 확인할 것
- 유사시에 레이저 출력을 차단하거나 그 동작을 정지시키는 인터락 시스템을 설치할 것
- 레이저광선에 노출되었을 시 유독 가스를 발생시킬 수 있는 물질들은 레이저광선 경로로부터 멀리 둘 것

레이저 안전사고 조치사항

- 레이저 안전사고 발생 시 즉시 레이저 동작을 정지시키고, 가능할 경우 전원을 차단 할 것
- 안구가 레이저광선에 노출되었거나 그 노출이 의심되는 사람은 즉시 병원 검사를 받을 것
- 안전사고 발생 시 레이저 안전관리자 및 환경안전원(880-5500)에 연락할 것

서울대학교 환경안전원 IEPS(Institute of Environmental Protection and Safety, SNU)
TEL. 02-880-5500

[붙임4]

IEC 60825-1 - safety of laser products

INTERNATIONAL STANDARD

IEC 60825-1

Edition 1.2

2001-08

Edition 1:1993 consolidated with amendments 1:1997 and 2:2001

GROUP SAFETY PUBLICATION

Safety of laser products –

Part 1:
Equipment classification, requirements and user's guide

Sécurité des appareils à laser –

Partie 1:
Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur

Reference number
IEC 60825-1:1993+A1:1997+A2:2001

Table 10 – Diameters of the measurement apertures and measurement distances

Wavelength nm	For values expressed in power W or energy J				For irradiance W/m² [b] or radiant exposure J/m² [b]	
	Condition 1		Condition 2			
For Class 1 see also 9.2g) For Class 2 see also 9.2h)	Aperture stop mm	Distance mm	Aperture stop mm	Distance mm	Limiting aperture mm	Distance mm
< 302,5 nm	–	–	7	14	1	0
≥ 302,5 nm to 400 nm	25	2 000	7	14	1	100
≥ 400 nm to 1 400 nm	50	2 000	7 [a]	r [a]	7	100
≥ 1 400 nm to 4 000 nm	25	2 000	7	14	1 for $t \le 0{,}35$ s $1{,}5\ t^{3/8}$ for 0,35 s < t < 10 s 3,5 for $t \ge 10$ s (t in s)	100
≥ 4 000 nm to 10^5 nm	–	–	7	14	1 for $t \le 0{,}35$ s $1{,}5\ t^{3/8}$ for 0,35 s < t < 10 s 3,5 for $t \ge 10$ s (t in s)	0
≥ 10^5 nm to 10^6 nm	–	–	7	14	11	0

[a] For the photochemical limits and $t \le 100$ s, r is given by

r = 14 mm for $\alpha \le 1{,}5$ mrad

r = 100 mm (α/11 mrad) for 1,5 mrad < $\alpha \le$ 11 mrad

r = 100 mm for $\alpha >$ 11 mrad

(for the test for Class 1M and 2M, refer to 9.2g) and h))

For the photochemical limits and $t > 100$ s, r is given by (for the definition of γ_p refer to 9.3c).

r = 14 mm for $\alpha \le 1{,}5$ mrad

$$r = \left(14 + 86\,\frac{\alpha - 1{,}5\ \text{mrad}}{\gamma_p - 1{,}5\ \text{mrad}}\right)\text{mm} \qquad \text{for } 1{,}5\ \text{mrad} < \alpha \le \gamma_p$$

r = 100 mm for $\alpha > \gamma_p$

(for the test for Class 1M and 2M, refer to 9.2g) and h))

For the thermal limits, r is given by

$$r = (100\ \text{mm})\sqrt{\frac{\alpha + 0{,}46\ \text{mrad}}{\alpha_{max}}}$$ if $\alpha < \alpha_{min}$, r = 14 mm. If $\alpha \ge \alpha_{max}$, r = 100 mm

(for the test for Class 1M and 2M, refer to 9.2g) and h)).

[b] In the wavelength range of 400 nm to 4 000 nm, these values are also applicable for the measurement of power or energy for Class 1M and Class 2M (see 9.2g) and h)).

c) Angle of acceptance

i) Photochemical retinal limits

For measurements of sources to be evaluated against the photochemical limits (400 nm to 600 nm), the limiting angle of acceptance γ_p is

for 10 s < $t \le$ 100 s: $\gamma_p = 11$ mrad

for 100 s < $t \le 10^4$ s: $\gamma_p = 1{,}1\ t^{0{,}5}$ mrad

for 10^4 s < $t \le 3 \cdot 10^4$ s: $\gamma_p = 110$ mrad

If the angular subtense of the source α is larger than the specified limiting angle of acceptance γ_p, the angle of acceptance should not be larger than the values specified for γ_p. If the angular subtense of the source α is smaller than the specified limiting angle of acceptance γ_p, the angle of acceptance shall fully encompass the source under consideration but need otherwise not be well defined (i.e. the angle of acceptance need not be restricted to γ_p).

NOTE For measurements of single small sources, where $\alpha < \gamma_p$ it will not be necessary to measure with a specific, well-defined angle of acceptance. To obtain a well-defined angle of acceptance, the angle of acceptance can be defined by either imaging the source onto a field stop or by masking off the source – see figures 16a and 16b respectively.

ii) All other limits

For measurement of radiation to be compared to limits other than the photochemical limits, the angle of acceptance shall fully encompass the source under consideration (i.e. the angle of acceptance shall be at least as large as the angular subtense of the source α). However, if $\alpha > \alpha_{max}$, in the wavelength range of 302,5 nm to 4 000 nm, the limiting angle of acceptance is α_{max} (100 mrad). Within the wavelength range of 400 nm to 1 400 nm, for the evaluation of an apparent source which consists of multiple points, the angle of acceptance has to be varied in the range of $\alpha_{min} \leq \gamma \leq \alpha_{max}$ (see 8.4d)).

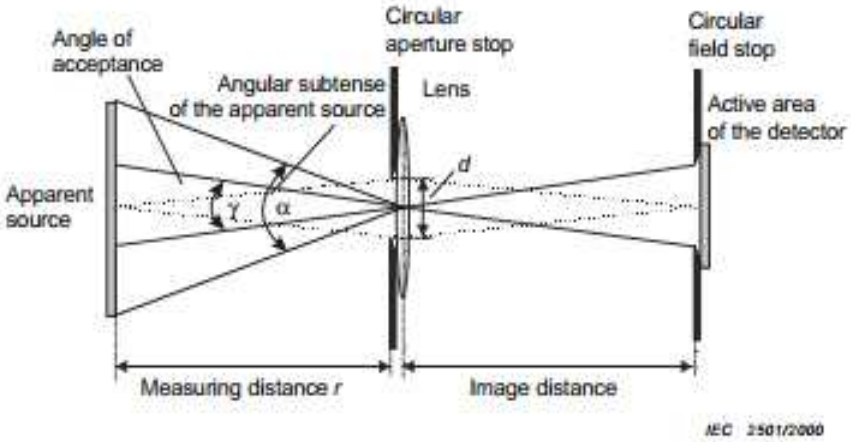

Figure 16a

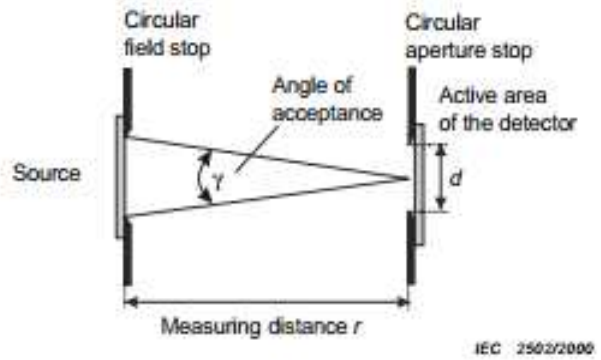

Figure 16b

Figure 16 – Measurement set-up to obtain a well-defined angle of acceptance – 16a: by imaging the apparent source onto the plane of the field stop – 16b: by placing a circular aperture or a mask (serving as field stop) close to the source

The angle of acceptance is determined by the ratio of the diameter of the field stop and the lens-field stop distance (image distance) (figure 16a), or by the ratio of the diameter of the field stop and the source-detector distance (figure 16b). Transmission and reflection losses due to the lens have to be taken into account. The measuring distance r as specified in table 10 is taken from the aperture stop.

Customer: ... Order No.: WS-... This file is copyright of IEC, Geneva, Switzerland. All rights reserved.

Table 1 – Accessible emission limits for Class 1 and Class 1M laser products [a, b]

Wavelength λ in nm \ Exposure time t in s	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1{,}8 \times 10^{-5}$	$1{,}8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 0,35	0,35 to 10	10 to 10^2	10^2 to 10^3
180 to 302,5	3×10^{10} W·m^{-2}		30 J·m^{-2}							
302,5 to 315	$2{,}4 \times 10^4$ W		($t \le T_1$) $7{,}9 \times 10^{-7}$ C_1 J					$7{,}9 \times 10^{-7}$ C_2 J ($t > T_1$)		
315 to 400			$7{,}9 \times 10^{-7}$ C_1 J						$7{,}9 \times 10^{-3}$ J	
400 to 700[d]	$5{,}8 \times 10^{-9}$ C_6 J	$1{,}0\ t^{0,75}$ C_6 J	2×10^{-7} C_6 J		$7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}$ C_6 J			400 to 600 nm[d]	Retina... $3{,}9 \times 10^{-3}$ C_3 J using γ_p = 11 mrad	3,9...
								400 to 700 nm[d]	Re... ($t \le T_2$) $7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}$ C_6 J	
700 to 1 050	$5{,}8 \times 10^{-9}$ C_4 C_6 J	$1{,}0\ t^{0,75}$ C_4 C_6 J	2×10^{-7} C_4 C_6 J		$7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}$ C_4 C_6 J					
1 050 to 1 400	$5{,}8 \times 10^{-8}$ C_6 C_7 J	$10{,}4\ t^{0,75}$ C_6 C_7 J	2×10^{-6} C_6 C_7 J			$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75}$ C_6 C_7 J			($t \le T_2$) $7 \times 10^{-4}\ t^{0,75}$ C_4 C_6 C_7	
1 400 to 1 500	8×10^5 W		8×10^{-4} J				$4{,}4 \times 10^{-3}\ t^{0,25}$ J	$10^{-2}\ t$ J		
1 500 to 1 800	8×10^6 W		8×10^{-3} J					$1{,}8 \times 10^{-2}\ t^{0,75}$ J		
1 800 to 2 600	8×10^5 W		8×10^{-4} J				$4{,}4 \times 10^{-3}\ t^{0,25}$ J	$10^{-2}\ t$ J		
2 600 to 4 000	8×10^4 W		8×10^{-5} J	$4{,}4 \times 10^{-3}\ t^{0,25}$ J						
4 000 to 10^6	10^{11} W·m^{-2}		100 J·m^{-2}	$5\,600\ t^{0,25}$ J·m^{-2}						

[a] For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4".

[b] The AELs for emission durations less than 10^{-13} s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10^{-13} s.

[c] The angle γ_p is the limiting angle of acceptance for the measuring instrument.

[d] In the wavelength range between 400 nm and 600 nm, dual limits apply and a product's emission must not exceed either limit applicable between 1 s and 10 s are used, for wavelengths between 400 nm and 484 nm and for apparent source sizes between 1,5 mrad and 82 mra $3{,}9 \times 10^{-3}$ C_3 J is extended to 1 s.

Table 2 – Accessible emission limits for Class 2 and Class 2M laser products

Wavelength λ nm	Emission duration t s	Class 2 AEL
400 to 700	$t < 0,25$	Same as Class 1 AEL
	$t \geq 0,25$	$C_6 \times 10^{-3}$ W *
* For correction factor and units see "Notes to tables 1 to 4".		

Table 3 – Accessible emission limits for Class 3R laser products [a, b]

Exposure time t in s / Wavelength λ in nm	10^{-13} to 10^{-11}	10^{-11} to 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1{,}8 \times 10^{-5}$	$1{,}8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 0,35	0,35 to 10	
180 to 302,5	Not appropriate		Not appropriate						
302,5 to 315	$1{,}2 \times 10^{5}$ W		($t \le T_1$) $4 \times 10^{-6} C_1$ J					$4{,}0 \times 10^{-6} C_2$ J ($t > T_1$)	
315 to 400			$4{,}0 \times 10^{-6} C_1$ J						
400 to 700	$2{,}9 \times 10^{-8} C_6$ J	$5{,}0\ t^{0,75} C_6$ J	$1 \times 10^{-6} C_6$ J	($t < 0{,}25$ s) $3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75} C_6$ J				$5{,}0 \times 10^{-3} C_6$ W	
								$5{,}0 \times 10^{-3} C_6$ W ($t \ge 0{,}25$ s)	
700 to 1 050	$2{,}9 \times 10^{-8} C_4 C_6$ J	$5{,}0\ t^{0,75} C_4 C_6$ J	$1 \times 10^{-6} C_4 C_6$ J	$3{,}5 \times 10^{-3}\ t^{0,75} C_4 C_6$ J					
1 050 to 1 400	$2{,}9 \times 10^{-7} C_6 C_7$ J	$52\ t^{0,75} C_6 C_7$ J	$1 \times 10^{-5} C_6 C_7$ J			$1{,}8 \times 10^{-2}\ t^{0,75} C_6 C_7$ J			($t \le T_2$) 3,5 × 10
1 400 to 1 500	4×10^{6} W		4×10^{-3} J				$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ J	$5 \times 10^{-2}\ t$ J	
1 500 to 1 800	4×10^{7} W		4×10^{-2} J					$9 \times 10^{-2}\ t^{0,75}$ J	
1 800 to 2 600	4×10^{6} W		4×10^{-3} J				$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ J	$5 \times 10^{-2}\ t$ J	
2 600 to 4 000	4×10^{5} W		4×10^{-4} J	$2{,}2 \times 10^{-2}\ t^{0,25}$ J					
4 000 to 10^{6}	5×10^{11} W·m^{-2}		500 J·m^{-2}	$2{,}8 \times 10^{4}\ t^{0,25}$ J·m^{-2}					

[a] For correction factors and units, see "notes to tables 1 to 4".

[b] The AELs for emission durations less than 10^{-13} s are set to be equal to the equivalent power or irradiance values of the AEL at 10^{-13} s.

Table 4 – Accessible emission limits for Class 3B laser products

Emission duration t s / Wavelength λ nm	$<10^{-9}$	10^{-9} to 0,25	0,25 to 3×10^4
180 to 302,5	$3{,}8 \times 10^5$ W	$3{,}8 \times 10^{-4}$ J	$1{,}5 \times 10^{-3}$ W
302,5 to 315	$1{,}25 \times 10^4\ C_2$ W	$1{,}25 \times 10^{-5}\ C_2$ J	$5 \times 10^{-5}\ C_2$ W
315 to 400	$1{,}25 \times 10^5$ W	0,125 J	0,5 W
400 to 700	3×10^7 W	0,03 J for t< 0,06 s 0,5 W for $t \geq$ 0,06 s	0,5 W
700 to 1 050	$3 \times 10^7\ C_4$ W	0,03 C_4 J for $t < 0{,}06\ C_4$ s 0,5 W for $t \geq 0{,}06\ C_4$ s	0,5 W
1 050 to 1 400	$1{,}5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 to 10^6	$1{,}25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4".			

Notes to tables 1 to 4

NOTE 1 There is only limited evidence about effects for exposures of less than 10^{-9} s for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm. The AELs for these exposure times and wavelengths have been derived by calculating the equivalent radiant power or irradiance from the radiant power or radiant exposure applying at 10^{-9} s for wavelengths less than 400 nm and greater than 1 400 nm.

NOTE 2 Correction factors C_1 to C_7 and breakpoints T_1 and T_2 used in tables 1 to 4 are defined in the following expressions and are illustrated in figures 1 to 8.

Parameter	Spectral region nm	Figures
$C_1 = 5{,}6 \times 10^3\ t^{0{,}25}$	302,5 to 400	1
$T_1 = 10^{0{,}8(\lambda - 295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 to 315	2
$C_2 = 10^{0{,}2(\lambda - 295)}$	302,5 to 315	3
$T_2 = 10 \times 10^{[(\alpha - \alpha min)/95{,}5]}$ s[a]	400 to 1 400	4
$C_3 = 1{,}0$	400 to 450	5
$C_3 = 10^{0{,}02(\lambda - 450)}$	450 to 600	5
$C_4 = 10^{0{,}002(\lambda - 700)}$	700 to 1 050	6
$C_4 = 5$	1 050 to 1 400	6
$C_5 = N^{-1/4}$ [b]	400 to 10^6	7
$C_6 = 1$ for $\alpha \leq \alpha_{min}$	400 to 1 400	[c]
$C_6 = \alpha/\alpha_{min}$ for $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$	400 to 1 400	[c]
$C_6 = \alpha_{max}/\alpha_{min} = 66{,}7$ for $\alpha > \alpha_{max}$ [d]	400 to 1 400	[c]
$C_7 = 1$	700 to 1 150	8
$C_7 = 10^{0{,}018(\lambda - 1150)}$	1 150 to 1 200	8
$C_7 = 8$	1 200 to 1 400	8

[a] $T_2 = 10$ s for $\alpha < 1{,}5$ mrad and $T_2 = 100$ s for $\alpha > 100$ mrad

[b] C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s

[c] C_6 is only applicable to pulsed lasers and to CW lasers where thermal injury dominates (see table 1)

[d] The limiting angle of acceptance γ shall be equal to α_{max}

$\alpha_{min} = 1{,}5$ mrad

$\alpha_{max} = 100$ mrad

N is the number of pulses contained within the applicable duration (see 8.4f) and 13.3)

NOTE 3 See table 7 for limiting apertures.

NOTE 4 In the formulae in the tables 1 to 4 and in these notes, the wavelength has to be expressed in nanometres, the emission duration t has to be expressed in seconds and α has to be expressed in milliradians.

[붙임5]

EN 207

EN207/EN208 Classification of Eye Protection

Laser goggles work by dissipating laser energy in a similar fashion to neutral density filters, however, unlike ND filters, laser goggles wavelengths thus allowing the user some degree of visibility. Whilst a laser goggle may have a sufficient density to protect the user i protection without immediately burning out.

The EN207 directive requires that a laser goggle must be able to protect the user for a minimum of 10 seconds (D rating) or 100 puls exposed to laser radiation.

The D rating applies to continuous wave lasers or lasers with a pulse duration of longer than 0.2 seconds, the power is measured in W maximum average power of the laser. The I standard applies to pulsed lasers of duration between 0.25 seconds to 10^{-6} seconds and th between 10^{-6} and 10^{-9} seconds, both are measured in J/m^2. Additionally there is also an M rating for lasers with pulse lengths shorter current line of goggles protect against such high frequencies.

The L scale is a measure of how well a goggle is able to cope with laser radiation and consists of 10 levels corresponding to the optic maximum power or energy density that the goggle can absorb in the minimum timeframe, without performance degradation, and also wavelength. If these two measures denote different L levels then the lower L number is used.

The L scale is further subdivided into 3 bands which account for the eyes natural ability to block shorter wavelengths. Band 1 covers 315nm, band 2 covers 316nm to 1400nm, band 3 covers 1401nm to 1000 microns.

EN207 – Classification and Specifications of filters and eye protection against Laser

Scale number	Max spectral transmittance At Laser Wavelength	Maximum power (E) and/or energy (H) density in the wavelength						
		180nm to 315nm			>315nm to 1400nm			>1400
		D W/m^2	I,R J/m^2	M W/m^2	D W/m^2	I,R J/m^2	M J/m^2	D W/m^2
L1	10^{-1}	10^{-2}	$3x10^{2}$	$3x10^{11}$	10^{2}	$5x10^{-2}$	$1.5x10^{-3}$	10^{4}
L2	10^{-2}	10^{-1}	$3x10^{3}$	$3x10^{12}$	10^{3}	$5x10^{-1}$	$1.5x10^{-2}$	10^{5}
L3	10^{-3}	1	$3x10^{4}$	$3x10^{13}$	10^{4}	5	0.15	10^{6}
L4	10^{-4}	10	$3x10^{5}$	$3x10^{14}$	10^{5}	50	1.5	10^{7}
L5	10^{-5}	10^{2}	$3x10^{6}$	$3x10^{15}$	10^{6}	$5x10^{2}$	15	10^{8}
L6	10^{-6}	10^{3}	$3x10^{7}$	$3x10^{16}$	10^{7}	$5x10^{3}$	$1.5x10^{2}$	10^{9}
L7	10^{-7}	10^{4}	$3x10^{8}$	$3x10^{17}$	10^{8}	$5x10^{4}$	$1.5x10^{3}$	10^{10}
L8	10^{-8}	10^{5}	$3x10^{9}$	$3x10^{18}$	10^{9}	$5x10^{5}$	$1.5x10^{4}$	10^{11}
L9	10^{-9}	10^{6}	$3x10^{10}$	$3x10^{19}$	10^{10}	$5x10^{6}$	$1.5x10^{5}$	10^{12}
L10	10^{-10}	10^{7}	$3x10^{11}$	$3x10^{20}$	10^{11}	$5x10^{7}$	$1.5x10^{6}$	10^{13}

The above classification offers complete protection for the user by not allowing any of the laser beam to reach the eye, however there user to be exposed to some of the beams power for the purposes of alignment. In these situations the European standard EN208 is use

The EN208 standard only applies to lasers that emit wavelengths in the visible section of the wavelength (400 to 700nm), this also ha requirement but only has 5 levels, compared to the 10 for EN207. The scale used for EN208 is the R scale. The power and Energy va beam diameter of 7mm. If the laser is considerably larger, then the selection can be based on the fraction of the power that would pas

EN208 – Classification of Eye protection filters for Laser alignment <400nm to <700nm			
Scale number	Spectral Transmittance	Power [1] W	Ener J
R1	10^{-1}	0.01	2x1
R2	10^{-2}	0.1	2x1
R3	10^{-3}	1	2x1
R4	10^{-4}	10	2x1
R5	10^{-5}	100	2x1

(1) Maximum Instantaneous laser power for continuous wave lasers for emission durations $>2x10^{-4}$ S
(2) Maximum Laser energy for Pulsed Lasers for Pulse Durations from $1x10^{-9}$ to $<2x10^{-4}$ S

[표] 레이저 안전등급 분류(IEC 60825-1)

등급	노출한계	설명	비고
1/1M	-	- 위험 수준이 매우 낮아 인체에 무해한 수준 -1M의 경우 특정 광학계를 통한 레이저광선을 관측 할 시 안구 손상의 가능성이 있음[1)]	
2/2M	1 mW (0.25초 이상의 노출시간인 경우)	- 0.25초 미만의 노출에는 위험성이 적지만 장시간 노출될 경우 안구 손상을 야기할 수 있음 - 2M의 경우 특정 광학계를 통한 레이저광선을 관측할 시 안구 손상의 가능성이 있음[1)]	
3R	5 mW (가시광선 영역에서 0.35초 이상의 노출시간인 경우)	- 직접적인 노출이나 특정 광학계를 통해 레이저광선을 관측하는 경우 안구 손상을 야기할 수 있음	보안경 착용 권고[2)]
3B	**500 mW (315 nm 이상의 파장에서 0.25초 이상의 노출시간인 경우)**	**- 직접적인 노출뿐 아니라 거울 등에 의해 정반사되어 오는 레이저광선에 노출되어도 안구 손상을 야기할 수 있음**	**보안경 착용 필수**
4	**>500 mW**	**- 직접적인 노출뿐 아니라 반사, 산란된 레이저광선에 의한 노출에도 안구 손상 및 피부 화상을 야기할 수 있음 - 50 W 이상의 출력을 가지는 레이저는 추가적인 안전지침이 필요함**	**보안경 착용 필수**

※ 노출한계는 출력 파장, 노출 시간 등의 조건에 따라 상황별로 다른 값을 가짐. 표에 제시된 값들은 특정한 상황(예: 가시광선 영역, 0.25초 이상의 노출시간)에서의 노출한계 값임. 따라서 실제 레이저의 사용에 있어서는 [붙임4]의 IEC 60825-1를 참조해 레이저 등급 및 동작특성에 따른 노출한계의 계산이 필요함.

[1)] 1M/2M에서 M은 magnification으로 사용자가 레이저의 출력단 뒤에 렌즈 등의 광학부품을 놓았을 때, 안구 손상의 위험이 생길 수 있는 경우를 말함. 이 경우, 레이저광선이 퍼져서 나올 때와 평행하게 나올 때의 두 가지 경우를 생각해 볼 수 있음.

[2)] 3R 레이저의 경우, 직접적인 노출로 인한 잠재적인 위해성이 있으므로 사용하는 레이저의 최대허용노광량에 따라 보안경의 착용 여부를 결정해야 함.