

KOSHA GUIDE

E - 69 - 2012

# 디스플레이 레이저 방사 안전에 관한 기술지침

2012. 6

한국산업안전보건공단

## 안전보건기술지침의 개요

o 작성자 : 충북대학교 안전공학과 김두현 교수

o 개정자 : 한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원 안전연구실

o 제·개정 경과

- 2011년 6월 전기안전분야 제정위원회 심의(제정)

- 2012년 4월 전기안전분야 제정위원회 심의(개정)

o 관련규격 및 자료

- KS C 6702(레이저 제품의 방사 안전 기준)

- IEC 60825-1 Safety of laser products Part 1 : Equipment classification, requirements and user's guide

- HSG95 The radiation safety of lasers used for display purposes

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제2편 제3장(전기로 인한 위험방지)

o 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 6월 20일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

## 디스플레이 레이저 방사 안전에 관한 기술지침

### 1. 목적

이 지침은 레이저 제품의 제조자 및 사용자가 준수해야 하는 디스플레이 레이저 방사에 대한 안전 작업 및 위험성을 제공하기 위한 사항을 정함을 목적으로 한다.

### 2. 적용범위

이 지침은 레이저 제품 및 레이저 시스템에서 방사되는 레이저 빔에 대한 안전 기준에 대하여 적용한다. 다만, 의료용 레이저 제품에는 적용하지 않는다.

### 3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “제조자”라 함은 레이저 제품 및 이것에 부수되는 안전 예방 장치 및 대책의 설계·제조·수리·개조를 하는 사람을 말한다.

(나) “사용자”라 함은 레이저 제품을 운전(조작) 또는 감시하고 이용하는 사람을 말한다.

(다) “최대 허용 노광량(Maximum Permissible Exposure, 이하 MPE라 한다.)”이라 함은 정상 상태에서 사람에게 피해를 입히지 않을 정도로 노출되는 레이저 방사 레벨을 말한다. MPE 레벨은 눈이나 피부가 노출 즉시 또는 긴 시간 후에 나타나는 상해 없이 노출될 수 있는 최대 레벨을 나타내며 방사 파장, 펄스 지속시간, 400~1400 nm 범위에서의 가시 및 근접 적외선 방사에 의한 망

막 상의 크기에 관계가 있다.

- (라) “레이저 안전관리자(Laser safety officer)”라 함은 레이저의 위험성 평가와 안전관리를 수행하는 데 충분한 지식을 갖추고, 레이저의 위험 제어를 감독할 책임이 있는 사람을 말한다.
- (마) “정반사(Specular reflection)”라 함은 거울로부터의 반사와 같이 방사의 입사빔과 반사 빔 사이각의 상관관계를 유지하는 표면반사를 말한다.
- (바) “레이저 시스템(Laser system)”이라 함은 추가 구성요소에 상관없이 적절한 레이저 에너지원과 결합된 레이저를 말한다.
- (사) “레이저 방사(Laser radiation)”라 함은 제어된 유도방출에 의해 레이저 제품에서 방출되는 180 nm에서 1 mm 사이의 파장 범위를 갖는 전자파 방사선을 말한다.
- (아) “접근 방출 한계(Accessible emission limit, 이하 AEL이라 한다.)”라 함은 특별한 등급 내에서 허용되는 최대 접근 가능 방출 레벨을 말한다.
- (자) “주사 레이저 방사(Scanning laser radiation)”라 함은 고정 기준 프레임에 대하여 전파의 시변 방향, 원점 및 형태를 갖는 레이저 방사를 말한다.
- (차) “빔 확산(Beam divergence)”이라 함은 빔 지름에 의해 정해지는 원추의 원거리 평면각을 말하며, 단위는 rad 이다.
- (카) “방사전력(Radiant power)”이라 함은 방사 형태로 방출, 전달 및 수신되는 전력을 말하며, 단위는 W 이다.
- (2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 안전보건규칙에서 정하는 바에 따른다.

#### 4. 레이저의 위험요소

- (1) 엔터테인먼트, 극장 및 공공 전시용으로 사용되는 레이저는 눈 손상의 심각한 위험성이 발생된다. 레이저 출력이 0.5 W를 초과하는 경우 심각한 피부 화상의 위험을 발생시킨다.
- (2) 가시광선(400~700 nm) 및 보이지 않는 근적외선(700~1400 nm) 파장이 발생하는 레이저의 간접성 빛에 눈의 초점이 모여 위험하다.
- (3) 레이저는 매우 먼 거리로부터 발생되어도 눈에 도달할 수 있는 간접성 빛을 발생시키고, 레이저 광원에 의하여 망막에 형성된 작은 상은 높은 출력밀도를 나타낸다. 미크론 크기의 망막상(Retinal image) 크기는 출력 밀도를 100,000배 증가시킬 수 있다.
- (4) 밀리와트(mW) 출력은 깜빡임 등과 같은 자연적인 반사작용이 발생되기 전에 망막에 장기적 손상을 준다. 망막에 대한 영향은 햇빛이 쏟아지는 날 돋보기로 종잇조각을 태우는 것과 유사하다.
- (5) 전구 등의 비간접성 광원은 동일 방사출력의 레이저보다 망막에서의 출력 밀도가 낮아 위험성이 작다.
- (6) 눈의 손상 반응을 일으키는 임계점은 파장, 노출 시간과 가시(可視) 상황 등의 요인에 좌우된다. 과도한 노출 이후의 심각한 손상은 과도하게 노출된 망막의 부분과 눈 안쪽에서 발생한 출혈의 크기에 따라 좌우되고, 그 영향은 부분 실명으로부터 완전 실명까지 발생될 수 있다.
- (7) 망막 부위의 황반으로 인한 상처는 영향을 받은 눈의 중심 시야에 큰 손상을 일으키는 원인이 된다. 손상이 시신경 내부에서 일어났다면 시야의 영구적인 상실이 나타날 수 있다. 양쪽 모두의 경우, 손상은 시력장애를 일으키는 눈에서의 출혈과 연관된다.
- (8) 레이저로 유발된 망막 손상은, 항상 영구적으로 지속된다.

## 5. 제조자의 요구사항

### (1) 기본 방호장치

(가) 레이저 방사 디스플레이 설비 내의 광학 소자의 위치 안정성과 강인성 등 광학 설계의 요구조건은 사용자에 의해 좌우된다. 또한 관련된 요인은 일시적 설치 또는 상설 설치, 옥내용 또는 옥외용에 따라 좌우된다.

(나) 레이저 시스템과 모든 관련 장비는 유연하게 이동되거나 잘못된 배치가 발생되지 않도록 해야 한다. 이는 미허가된 구조 변경으로부터 설비를 보호하는데 필요하다.

### (2) 디스플레이 경계 지역과 접근의 제한

(가) 설비 가동이나 유지보수 및 조립하는 동안 적용 가능한 MPE를 초과하는 방출 지역은 제조자가 이를 확인해야 하고 사용자에게 문서로 전달해야 한다.

(나) MPE를 초과하는 지역은 레이저 위험지역으로서 경고 표지를 부착해야 하고, 접근 허가는 눈 보호구 착용 등의 적절한 예방조치를 취한 허가받은 사람으로 제한해야 한다.

(다) 설치자가 필요한 디스플레이 지역경계를 만들 수 있도록 제조자는 설비 설계와 운전시 안전에 대한 정보를 제공해야 한다.

(라) 레이저 디스플레이 모드(투사된 출력 패턴)는 빔 이동을 제한하여 미리 정해진 지역에서만 일어날 수 있도록 차폐한다. 차폐물의 재료는 견고하게 설치되어야 하고, 흑색 페인트로 칠한 철판이나 알루미늄 판 또는 화재위험성이 없는 곳에서는 화학처리된 블럭보드로 만들어져야 한다.

(마) 정적 및 스캔 방출을 투사하는데 사용되는 단일 레이저 구경에 있어서, 방출 형태에 대한 각도 범위 조건이 일정하지 않아 항상 차폐물을 고정시킬 수 없

다. 차폐물은 각각의 디스플레이 모드를 적절하게 선정할 수 있도록 교환 가능하게 설계되어야 한다.

### (3) 감독

(가) 설비 계획시 레이저 안전관리자를 임명해야 한다. 안전관리자는 작업의 조언 보다는 작업 실행에 대한 책임을 져야 한다. 그리고 설비를 사용자에게 양도하기 전에 공학적 측면이나 행정적 측면에서 안전 조항의 시험 및 검사 그리고 감사(Audit)에 관여해야 한다.

(나) 관리되는 설비는 디스플레이 되는 동안 관객이나 대중들이 접근할 수 있는 임의의 장소로부터 측면으로 2.5 m, 상부로 3 m 이내로는 위험한 방출요소가 존재하지 않도록 설계되어야 한다. 관리되지 않는 설비는 수직 이격거리를 6 m로 늘려야 한다.

(다) 빔 경로에 반사되는 물체를 놓는 등의 MPE를 초과하는 노출 상황이 없도록 해야 한다.

(라) 설치자는 설비 사용자와 필요한 관리감독에 대하여 합의해야 한다.

### (4) 조립

(가) 디스플레이 설비는 작업절차에 따라 조립되어야 한다.

(나) 방출 수준은 정상 운전수준 이하로 되어야 하며, 디스플레이 지역의 접근은 자격이 있고 훈련 받은 자만 허용되어야 한다.

(다) 디스플레이 지역은 분명하게 경고 표지로 경계를 정해야 하고, 되도록이면 조립절차동안 울타리로 봉쇄해야 한다.

(라) 눈의 부상 위험이 있다면 적절한 보호 조치를 해야 한다.

(5) 레이저 제어의 보안과 구획

3B등급(KSC IEC 60825-1 레이저 제품의 안전성) 레이저 제품과 그 이상의 모든 디스플레이 레이저 제품은 허가받고 사용할 수 있도록 설계되어야 한다.

(6) 비상 레이저 방사 차단

(가) 디스플레이 레이저 설비는 분명하게 인식이 가능하고 간단하게 조작할 수 있는 하나 또는 그 이상의 비상 정지 장치를 갖추어야 한다.

(나) 유지관리의 빈도와 작동에 대한 점검은 문서로 기록되어야 한다.

(7) 노출 조건의 결정

(가) 정상 운전 동안 및 고장 상태 이후에 발생하는 위험한 접근 방사 장소는 사용자에게 설비를 양도 및 위임하기 전에 확인시키고 알려주어야 한다. 이는 계산 또는 측정에 의한 포괄적인 방출 안전성 평가가 필요하다.

(나) 위험한 방출 장소를 규명할 경우 고려해야 하는 요인은 다음과 같다.

- ① 예측 가능한 고장 상태에서부터 발생하는 개인의 노출 위험성
- ② 잠재적인 목표물에 대한 정반사의 범위
- ③ 무광 페인트 표면과 같은 확산 반사의 경우 정반사가 큰 입사각에서 빛을 발생하는가의 여부

(다) 정반사 작용은 표면 반사 특성과 관련하여 불확실성이 있는 모든 경우를 고려하여야 한다.

(라) 계산 정확도는 정의된 디스플레이 지역 내에서 접근 방출 크기에 의하여 확인되어야 한다. 이것은 장비를 설치하는 동안이나 완성될 때 모두 행해져야 한다.

(마) 주사 레이저 방사가 고장 상태에서 방사되어 노출 위험이 있거나 불확실한 방



사 특성을 지닌 표면이 있는 곳에서는 정확하게 측정해야 한다. 정적인 연속과 빔을 위해서 3R등급의 AEL를 측정해야 한다.

#### (8) 양도 준비

(가) 제조자는 사용자를 위해 양도문서를 준비해야 한다. 문서에는 디스플레이 레이저 설치의 안전 운전을 위해 필요한 안전보건 예방조치나 규정을 명시해야 한다.

(나) 양도문서는 다음 사항을 포함해야 한다.

- ① 디스플레이 지역내에 정해진 지점의 노출수준 계산치와 측정치 및 설비의 안전을 증명하는 서류
- ② 디스플레이 제어의 사용과 효과에 대한 명확한 지시사항
- ③ 허용되는 모든 디스플레이 효과, 안전 영향 및 사용상 제약조건에 대한 세부사항
- ④ 수동 정지와 감시 요구조건에 대한 정보
- ⑤ 자동 비상 정지 시스템, 작동모드, 유지요건과 기능확인에 대한 정보
- ⑥ 일상적인 수리와 유지관리 절차의 세부사항(빈도, 실행자, 요구되는 보호 안경 및 의복에 관한 것)
- ⑦ 사용자에게 의해 실행되는 일상적인 조정과 배치확인에 대한 세부사항(빈도, 기록관리, 개선조치 사항을 포함)
- ⑧ 조작자의 경험과 교육 요구조건
- ⑨ 레이저 안전관리자와 제조자의 주소 및 전화번호
- ⑩ 준수되어야 하는 특수조건

(다) 양도문서는 디스플레이 지역과 설치 규모를 보여주는 축척 도면이나 사진을 포함해야 한다.

#### (9) 장소 선정시 고려사항

(가) 종이층과 상층부 바닥, 발코니와 계단은 레이저에 노출될 수 있는 지역으로

빔 경로의 위험요인 평가와 레이저 차폐가 중요하다.

- (나) 제조자는 외부거울이 안전하게 장착되고 미허가자에게 접근되지 않도록 해야 한다. 클램프 기구는 오조작을 할 수 없도록 페일 세이프(Fail safe) 설계를 해야 한다. 위험한 방출을 하는 거울은 위험도를 최소화하는 범위로 반사각을 제한하기 위해서는 가려야 한다.
- (다) 제조자는 양도 문서에 사용자가 수행하는 외부 광학부품의 점검 형태와 빈도를 규정해야 한다. 모든 광학요소의 올바른 배치를 위한 점검은 규정된 절차에 의해 매일 행해져야 한다. 기존에 설치된 조명장치, 반사성 실내장식, 그리고 젖은 표면 등과 같이 다른 반사 위험성에 대한 가능성도 문서에 포함되어야 한다.
- (라) 일부 설비는 가설천정 후면에 레이저 시스템을 장착하여 디스플레이 요소들 사이로 통과하는 방출에 대해서 물리적으로 접근을 차단하는 것이 가능하다. 가설천정의 부분이 레이저 장치가 작동되는 동안 제거되어서는 안 된다는 주의문을 붙여두어야 한다.
- (마) 옥외 디스플레이는 날씨나 통행으로 인한 진동, 고의적 파손과 충격에 의해 영향을 받기 때문에 외부의 목표물에 대한 보안과 견고성이 중요하다. 옥외에서 외부 광학부품이나 레이저 빔의 사소한 불일치는 투사 거리가 긴 경우 목표물을 놓쳐 위험한 방출을 초래할 수 있으므로 주의해야 한다.
- (바) 사람은 갑자기 나타나기 때문에 디스플레이 지역내 또는 인근에 있는 건물, 지붕 및 보행로 등이 비어있다고 가정해서는 절대 안 된다.
- (사) 가로등주, 비계, 유리창, 물줄기, 젖은 표면 등과 같은 물체로 인한 반사 위험요소를 피하기 위해서는 주의가 필요하다.
- (아) 빔이 유리 부스 또는 건물의 창문을 통해 전송된다면 반사 위험요소를 제거하기 위한 예방조치를 취해야 한다.

(자) 빔이 투사될 수 있는 모든 창문은 열거나 제거해야 한다.

## 6. 사용자 요구사항

### (1) 인수 준비

(가) 조작자가 안전 운전 교육이 완료될 때까지 사용자는 설비를 사용해서는 안 된다.

(나) 제조자가 양도 문서를 제공할 때까지 사용 장소의 조작자는 설비에 대한 책임을 보류해야 한다. 양도문서는 설비 조작자가 설비의 안전 운전과 유지관리를 위해 필요한 절차를 완전하게 이해할 수 있도록 상세하게 작성되어야 한다.

(다) 제조자와 동의한 이후에는 양도 문서에 정해진 조건을 변경해서는 안 되며, 설비의 운전방법을 변경할 경우에는 제조자와 협의해야 한다.

### (2) 감독

(가) 다음의 요구조건이 모두 만족되지 않는다면 디스플레이 레이저 설비의 운전은 자격이 있는 훈련된 조작자에 의해서 감독되어야 한다.

- ① 설비는 관객 또는 대중을 비추도록 설계되어 있지 않다.
- ② 설비는 공연장에 영구적으로 설치되어 있다.
- ③ 설비는 자동으로 작동되도록 설계되어 있고, 오조작이 불가능하다.

(나) 조작자는 장비 고장, 불안정한 상황이 발생된 경우 디스플레이 장치를 정지시킬 수 있도록 방심하지 않아야 한다.

### (3) 레이저 안전관리자의 임명

(가) 사용자는 레이저 위험성의 평가와 제어에 관한 지식을 갖추고 제조자가 규정

한 레이저 안전 예방조치를 구현할 수 있는 레이저 안전관리자가 6(2)(가)의 요구조건을 만족하지 않는 설비에 임명되어 있음을 확인하여야 한다.

(나) 레이저 안전관리자는 디스플레이 설비에 대한 일상 관리, 운전 및 유지보수에 대하여 실질적인 책임을 갖고 있어야 한다.

(4) 조작자와 레이저 안전관리자 교육

조작자와 레이저 안전관리자는 디스플레이 레이저 설비에 의해 발생하는 위험요소의 수준과 사용자의 책임이 적절하도록 다음 사항을 갖추어야 한다.

(가) 설비에 사용되는 레이저 시스템에 대한 상세한 지식을 갖추고 있어야 한다. 예를 들면, 레이저 형태, 방사전력과 빔 확산, 방출 파장, 각각의 디스플레이 모드에 의해 초래되는 영향, 접근 방출 레벨 그리고 노출 위험성, 운행 제어와 제어 시스템과 관련한 모든 안전 운전에 대한 지식 등

(나) 제조자에 의해 규정된 모든 일상적인 시스템 정렬 점검사항을 완수하고 기록해야 한다. 여기에는 빔 배열이 목표물과 일치하는지에 대한 확인, 그리고 비상 정지의 기능 시험 등을 포함한다.

(다) 장비의 고장, 불규칙적인 상황 등에 대비해 비상 정지 순서를 숙지하고 있어야 한다.

(라) 레이저 방사의 유해한 영향, 공기를 통한 전파특성 및 표면에서의 반사특성에 대한 기본적인 이해가 있어야 한다.

(라) 레이저 안전관리자의 역할인 방출 안전성 평가를 실시하는 방법에 대한 지식을 알아야 한다.

(5) 사용자의 설비 수정

(가) 사용자는 조정과 효과의 범위를 알고 있어야 한다.

- (나) 장치의 부품이 제조자의 사양 이외의 효과를 만들기 위해 수정되었다면 사용자는 안전성 보장을 위해 필요한 계산, 측정치, 그리고 추가 수정사항은 반드시 보증해야만 한다.

## 7. 안전성 평가

- (1) 1 mW 방사전력을 초과하는 정적 레이저 빔을 보거나 계산 또는 측정에 의해 안전이 확보되지 않은 주사된 빔을 직접 본다면 눈 부상의 위험이 있다.

- (2) 위험성에 영향을 미치는 인자는 다음과 같다.

(가) 위험한 레이저 빔의 접근성

(나) 접근 레이저 빔의 출력 밀도

(다) 빔 투사(주사 또는 정적)의 형태

(라) 눈 깜빡임에 대한 반사운동 및 레이저 빔의 맹목적 응시가 없다는 가정이 합리적인지에 대한 여부

- (3) 잠재적 위험이 있는 디스플레이 레이저 설비는 사용되기 전에 안전성 평가를 받아야 한다.

(가) 레이저 빔을 의도적으로 보는지에 대한 여부, 우연하게 보일 수 있는지에 대한 여부 또는 설비 오동작을 초래하는지에 대한 여부

(나) 의도적으로 보는 레이저 빔(주사 방출)의 안전에 대한 평가

(다) 잠재적으로 위험한 빔에 사람 접근의 제한

(라) 설비의 오작동이 발생할 경우의 가시 안전과 노출 위험성의 중요성

(4) 디스플레이 레이저 시설은 시설 보정 또는 임무를 수행하고 있는 사용자에게 위험할 수 있다.

(5) 사용자와 설치자는 어떤 위험이 있는지 알고 있어야 하며, 위험을 평가해야 한다.

(6) 안전성 평가시 교육, 감독, 작업 안전 시스템과 보안경의 공급을 중요하게 고려되어야 한다.