레이저를 이용한 위험기계 방호장치 개발

이충렬 · 이광길 · 이관형
한국산업안전공단 산업안전보건연구원

1. 서 론

이 논문에서는 프레스 등 위험기계로 인한 재해를 예방하고자 기존 방호장치의 문제점을 분석하고, 이에 대하여 개선 및 보완이 가능한 대체기술인 레이저식 방호장치를 개발하였다. 위험기계는 일반적으로 방호장치를 부착하여 판매하도록 되어 있으나 이 방호장치 들이 모든 위험을 완벽하게 방호한다고는 할 수 없다. 따라서 미흡한 기존 방호장치의 여러가지 결점을 새로운 기술개발을 통하여 해결하고 이를 현장에 보급할 수 있도록 함으로써 위험기계로 인한 재해를 예방하는 것이 시급하다. 또한 기존 제품 중에는 성능은 뛰어나지만 구입가격이 너무 높아 현장에서 사용하지 못하는 제품들도 있다. 이러한 제품들은 현실적으로 현장에 사용할 수 있도록 경제성 있는 제품으로 개선 또는 개발하는 것이 필요하다.

이번 연구에서는 레이저를 이용한 위험기계 방호장치의 모델 및 시제품을 제작한 후 (그림 1), 사용 중인 프레스에 장착, 현장 실험을 통하여 문제점들을 점검하고 보완하였다.

이에 앞서 레이저의 종류별 유해성을 조사·연구하여 유해성이 없는 레이저를 선정하였다. 그리고 레이저광의 에너지 강도 조정 실험을 실시하고 여기서 수집된 데이터를 분석·평가하여 시제품 설계 데이터로 활용하였다.

2. 레이저의 특성 및 방호장치에 적용범위

2.1 방호장치에 적용 가능한 레이저광선의 선정

그림 2에서 방호장치에 적용 가능한 레이저 빔의 직경과 방출 광파워를 구할 수 있다. 따라서 공칭안장해거리가 0이 되는 지점에서 빔의 직경과 광파워를 찾아내면 표 1과 같이 3개 지점이 찾아진다. 여기에서 레이저빔의 직경이 가능한 작은 것이 수광기의 초점을 맞추기가 편리하고 발광기의 생산이 용이하므로 방출 광파워는 0.5×10^{-3}와 레이저빔의 직경은 0.5cm를 방호장치에 적용하는 것이 타당하다고 판단하였다.

표 1. 공칭안장해거리가 0 m 지점에서 빔의 직경과 광파워의 산정

순번	방출 광파워	빔 직경
1	0.5×10^{-3}w	0.5
2	1×10^{-3}w	0.7
3	2×10^{-3}w	1

3. 레이저식 시제품 설계 · 제작 및 실험

3.1 레이저식 방호장치의 주요부

레이저식 방호장치 주요부는 그림 3, 그림 4 및 그림 5와 같이 기존 광전자식과 유사하며 발광기, 수광기, 지지부 및 제어부 등으로 구성된다. 이중에서 레이저식 방호장치의 주요부분인 제어부, 발광기 및 수광기에 연동되는 중요한 요소는 다음과 같다.

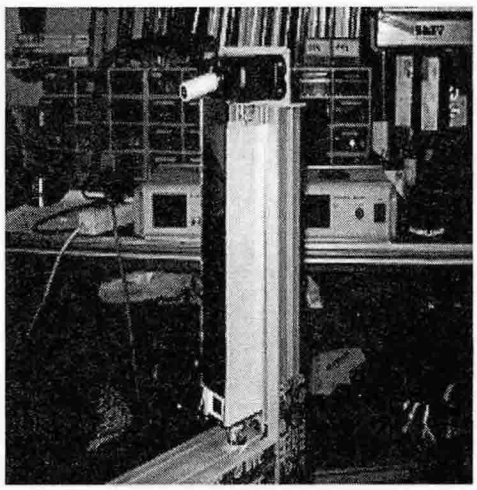

그림 1. 레이저식 방호장치 시제품

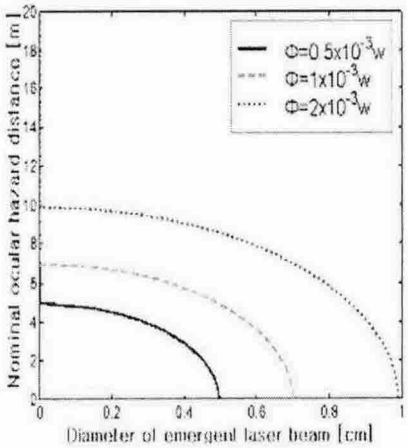

그림 2. 빔의 직경 대 공칭 안장해 거리 (방출 광파워를 변화)

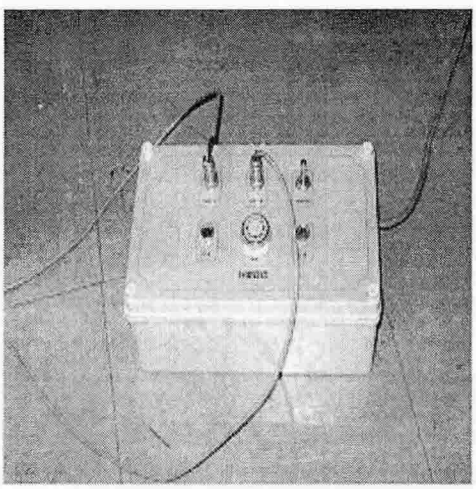

그림 3. 방호장치 제어박스

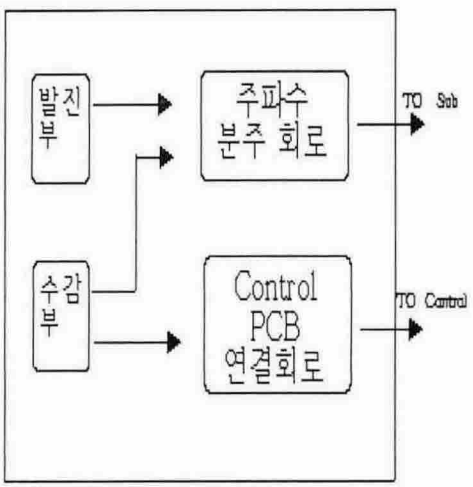

그림 4. Main PCB 회로 분할 모듈

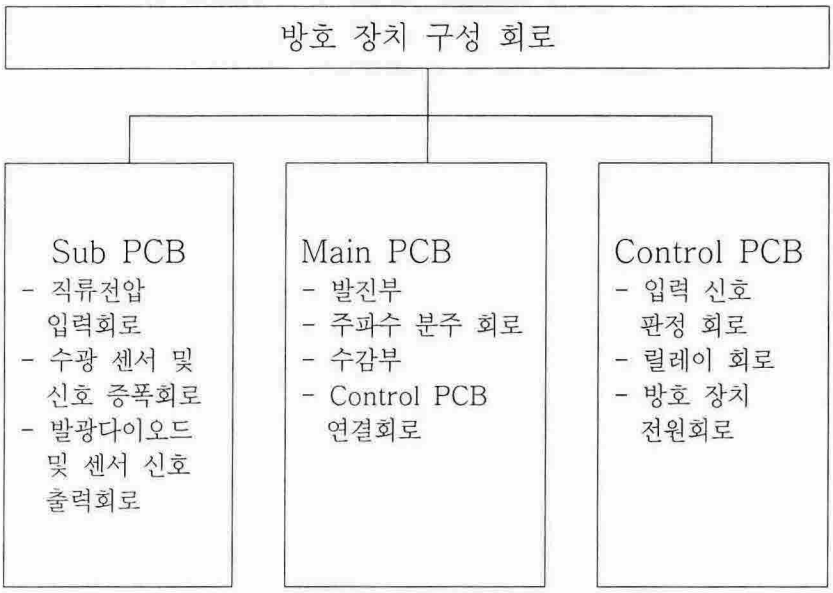

그림 5. 레이저식 방호장치 제어장치의 구성

3.1.1 레이저광 조정기

레이저식 방호장치에서는 레이저광이 수광기의 수광범위에 정조준되어야 하므로 그림 6 및 그림 7과 같은 레이저 조정기를 제작하였다.

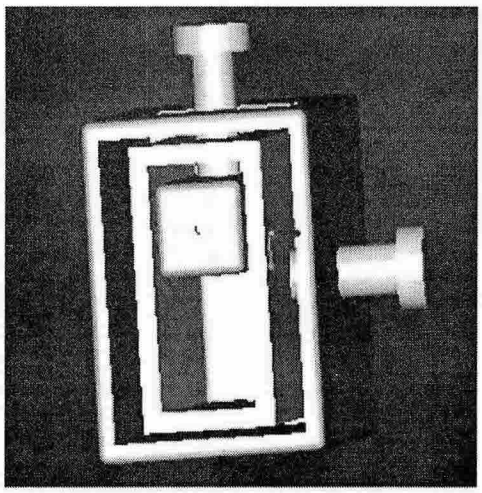

그림 6. 레이저광 조준장치 측면 투시도

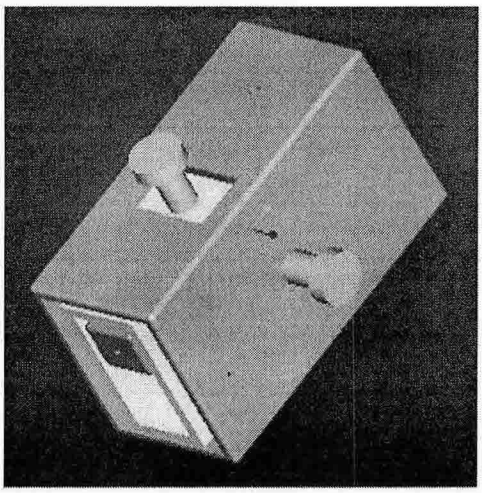

그림 7. 레이저 조준장치 정면 투시도

3.1.2 발진부

발진부는 그림 5의 Main PCB전체 회로에서 왼쪽 상단에 위치하고, 3단의 Inverter로 구성된 무안정 멀티바이브레이터(Astable Multivibrator)이다. Main PCB에서 발진부는

방호장치 전체에 시스템 클럭을 제공한다.

3.1.3 주파수 분주 회로

주파수 분주 회로는 그림 5의 Main PCB 전체 회로에서 오른쪽 상단에 위치한다.

3.2 레이저식 방호장치 제작 및 실험

3.2.1 수광기의 렌즈별 실험

수광기의 렌즈별 실험 결과는 다음과 같았다. 볼록렌즈를 적용하여 실험해본 결과 볼록렌즈가 레이저광을 한 곳으로 모아주는 역할을 함으로써 렌즈의 직경보다도 레이저광이 더 좁은 면적에 도달하여야만 감지가 가능함으로 그 감지 범위가 매우 좁은 편이다.

오목렌즈를 이용하여 실험한 결과 오목렌즈는 레이저광을 분산시켜서 센서가 이를 쉽게 감지할 수 있도록 하려고 실험해 보았으나 레이저광 자체가 단색광이므로 분산의 효과를 볼 수 없었다.

3.2.2 반투명 Film의 적용실험

반투명 Film를 적용하여 실험한 결과 광선이 확산되는 효과가 있으므로 방호장치의 발광부에서 조사된 레이저광이 수광기에 감지되는 범위가 넓어져 그 효과가 매우 좋았다.

센서의 감도가 좋아 에너지를 집중시키는 렌즈를 사용하는 것보다 약간 불투명한 평판 플라스틱을 사용하는 것이 수광상태가 좋았다. 이와 같은 재료는 레이저를 사방으로 분산시킴으로 센서 주변으로 레이저광이 입사되어도 센서가 이를 감지할 수 있다. 또한 평판의 크기를 최대한 크게 하여 레이저광의 조준을 쉽게 할 수 있도록 하였다. 수광기의 안쪽은 난반사된 후의 레이저광을 센서 방향으로 반사되도록 반사율이 높은 재료를 사용하면 좋다.

3.2.3 수광 평판 관련 실험 및 데이터

(1) 수광기 설계 데이터

수광기는 센서가 레이저를 감지할 수 있는 확산각의 범위를 실험해보아 확산각의 70% 수준에서 안전확산각(sa)을 정한다. 센서와 평판과의 거리는 안전확산각(sa)과 평판의 크기를 기준으로 설계한다.

(2) 필름실험

Film을 여러장 겹쳐서 설치해가며 발광된 광을 수광기에서 감지할 수 있는 거리를 측정하였다.

Film 겹침을 추가하여 감지기의 두께를 확대하였으나 3겹 이상의 셀로판을 겹쳐 썼을 때에는 확산효과의 상승이 거의 없었다(허용오차: 10%). 따라서 3겹의 수광판을 사

용하기로 하였다. 여기서 확산각(Θ)이란 감지영역을 넓히기 위하여 광선이 투과하여서 퍼져나가는 각을 말한다.

표 2. 광학 Film의 겹침 갯수에 따른 감지 거리 데이터

감지거리(d) / 측정회수	1장	2장	3장	4장
1회	102 ㎜	41 ㎜	44 ㎜	46 ㎜
2회	95 ㎜	41 ㎜	42 ㎜	42 ㎜
3회	78 ㎜	44 ㎜	43 ㎜	43 ㎜
4회	81 ㎜	41 ㎜	44 ㎜	44 ㎜
5회	78 ㎜	38 ㎜	44 ㎜	44 ㎜
평균거리(md)	86.8 ㎜	41.0 ㎜	43.4 ㎜	43.8 ㎜

(3) 확산각(Θ)의 계산

레이저광의 조준·조정의 편이성 증대를 위하여 조준 범위의 확대를 하기위하여 확산각(Θ)를 구하였다. 이때의 확산각은 P.E. Film에 레이저광이 투과하면서 확산되는 각도이다. 표 2의 평균거리를 이용하여 그림 8에서 식 1.과 같이 확산각을 구하였다. 여기서 md는 센서와 Film 사이의 평균거리이다.

(tanΘ = 20 / md ; md=43.4 허용호차 : 10%를 적용하여 3장의 평균인 43.4 를 쓴다)

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{20}{md}\right) = 50.65^{\circ} \quad (1)$$

(가) 안전확산각(sa)

확산각(Θ)는 감지영역을 넓히기 위하여 광선이 투과하여서 퍼져나가는 각을 말한다. 안전확산각은 확산각에 안전계수(0.7)를 적용하여 구한다.

$$sa = 50.65 \times 0.7 = 35^{\circ}.5 \quad (2)$$

(나) 평판의 크기에 따른 센터와의 안전거리(sd) 확보

평판의 폭(D)에 따른 센서와 평판의 거리는 그림 9와 같이 안전거리(sd) 이상으로 설계하였다.

3.2.4 반사판의 반사실험

레이저식 방호장치의 시제품에 대한 종합 실험한 결과 반사판의 사이가 2.2m까지는 레이저광이 수광기에 도달하는데 문제가 없었으나 현장에 용이하게 설치할 수 있도록 하기 위해서는 미러의 평판 정밀도가 더욱 더 좋아야 될 것으로 판단된다.

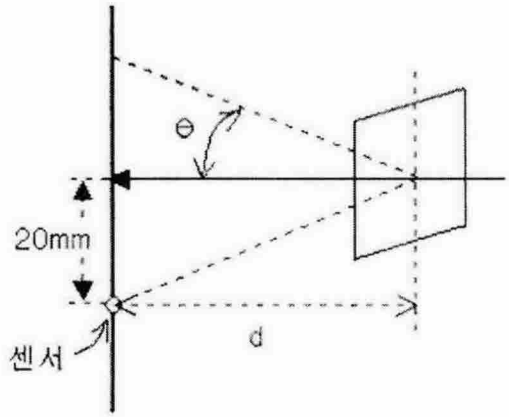

그림 8. 광의 산란에 의한 확산현상

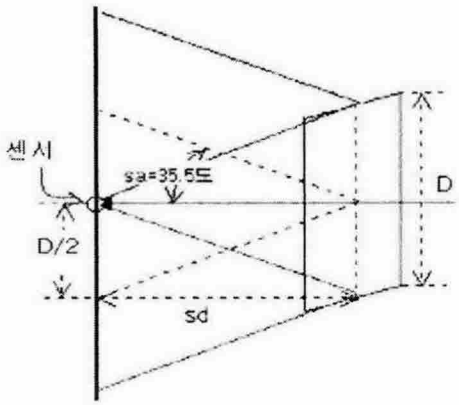

그림 9. 레이저광의 확산각

3.3 레이저식 방호장치 성능실험 및 결과

레이저식 방호장치에 실험을 실시하여 분석해본 결과, 미러의 수평성능의 확보로 레이저광 수광의 정확도 확보, 조정의 편이성, 내진동성 등이 양호한 것으로 나타났다. 그러나 시제품의 성능개선을 위해서는 레이저광의 반사성능을 향상시켜야 될 것으로 판단된다.

(1) 주변환경에 의한 전자파 영향 실험에서 전원부 노이즈와 외부광선 노이즈가 없어 오동작이 발생하지 않았다.

(2) 방호장치의 신뢰성 측면에서 감지부 광선의 이중감지로 인한 오동작이 발생되지 않은 구조이므로 신뢰성이 좋다.

(3) 구조 자체를 블록화하여 볼트로 체결하였으므로 내구성이 양호한 편이다.

4. 기존 방호장치와 레이저식 방호장치의 특성 비교

광전자식 방호장치의 특성을 비교하여 보면 표 3과 같다. 이 표에서 알 수 있듯이 레이저 방식은 성능과 제조 단가 면에서 우수하다. 따라서 보급에 있어서 경쟁력이 있을 것으로 판단되며, 프레스 등 위험기계로부터 발생되는 재해를 예방하는데 도움이 될 것으로 본다.

표 3. 기존 광전자식 방호장치와 레이저식 방호장치의 특성 비교

분 류	광 전 자 식		
	라이트커튼식	광 선 식	레 이 저 식
원 리	적외선 프리즘 투과 방식	적외선 조사 방식	레이저광 조사 방식
성 능 (차 광 폭)	차광폭이 없음	차광폭이 30㎜	차광폭 10㎜ 이내로 조정 가능
감지구조	광선차단방식	광선차단방식	광선차단방식
구조일반	복 잡	복 잡	단 순

5. 결 론

본 연구에서는 프레스 등 위험기계 방호장치의 성능 및 신뢰성 향상을 위해서 레이저를 이용한 방호장치를 개발하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 다만, 본 연구에서는 수광거리가 2m인 경우에 한하여 제작·실험한 것인바, 향후 수광거리가 더 긴 것을 개발하는 연구가 필요하다.

(1) 레이저식 방호장치는 외부 전자파에 대한 노이즈 실험결과 오동작이 발생되지 않았고 전원부에서 오는 서지전압과 같은 노이즈로 인한 오동작도 발생되지 않았다.

(2) 레이저식 방호장치의 작동은 내부 및 외부 노이즈의 영향이 없고 감지부에서 이중감지로 인한 오동작이 발생하지 않음으로 신뢰성이 매우 양호한 것으로 판단된다.

(3) 레이저식 방호장치 구조자체를 블록화하여 볼트로 체결하였으므로 내구성이 양호하다.

(4) 기존 광선식 방호장치와 작업성이 유사하나 자동복귀 시스템으로 가동하는 것이 가능하므로 작업성이 편리하다.

(5) 레이저식 방호장치는 그 구조가 매우 간단하여 제작이 용이하고 고장율이 낮으며 유지보수가 간편하다.

참고문헌

[1] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, A guide for control of laser hazard, 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 Standard Institude, Safe Use of Laser, ANSI Standard Z-136-141, New York, 1978.

[4] P.S. Avdeev, Yu.D. Berezin, Yu.P. Gudarkovskii, V.R. Muratov, A.G. Murzin, and V.A. Fromzel, "Experimental determination of maximum permissible exposure to laser radiation of 1.54 ㎛ wavelength", Sov. J. Quatum Electronics, 1978.

[5] C.B. Bargeron, O.J. Deters, R.A. Farrell, and R.L. McCally, "Epithelial damage in rabbit corneas exposed to CO_2 laser radiation", Health Physics, 1989.

[6] T. Begqvist and B. Hartmann, Imaging properties of the eye and interaction of laser radiation with matter, Karolinska Institute, Department of Ophthalmology, Stockholm, Sweden, 1978.

[7] R. Bringruver, "Experimentelle und theoretische Untersuchungen zurthermischen schadigung des Augen hintergrundes durch Laserstrahlung", Goethe University, 1978 Dissertation (in German), Frankfurt, Germany, 1978.

[8] A. Cleuet and A. Mayer, "Risques lies a l'utilisation industeielle des laser: institut National de recherche et de Securite, Cahiers de Notes Documentaires"(in French). Paris, France, 1980.

[9] 한국산업규격, "레이저 제품의 방사 안전기준", 1995.