

반사를 리용한 CO₂레이자확대 및 집초광학계설계

김영철, 리광성, 리국섭

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학기술을 확고히 앞세우고 과학기술과 생산을 밀착시키며 경제건설에서 제기되는 모든 문제들을 과학기술적으로 풀어나가는 기풍을 세워 나라의 경제발전을 과학기술적으로 확고히 담보하여야 합니다.》

CO₂레이자를 재료가공에 리용하자면 레이자를 집초시켜야 한다. 선행연구[1]에서는 레이자집초광학계로서 주로 렌즈를 리용한 광학계를 리용하였다. 이 경우에 집초렌즈와 가공대상과의 거리가 짧은것으로 하여 가공과정에 생기는 증발물이 렌즈를 오염시키는 현상을 피할수 없다.

우리는 오염현상을 방지할수 있는 가공대상까지의 거리가 충분히 큰 반사를 리용한 CO₂레이자확대 및 집초광학계를 설계하였다.

수차가 없는 집초광학계의 경우 가공대상에서 집초점의 크기는 다음의 식으로 주어진다.[2]

$$d = 2f\theta \quad (1)$$

여기서 f 는 집초광학계의 초점거리, θ 는 레이자빔뿔음의 퍼짐각이다.

수차가 없는 경우 레이자의 퍼짐각은 TEM₀₀의 경우에 근사적으로 다음과 같다.[2]

$$\theta \approx \lambda / D_L \quad (2)$$

여기서 λ 는 레이자의 파장이고 D_L 은 레이자빔뿔음의 직경이다.

따라서 집초점의 크기는 다음과 같이 주어진다.

$$d = 2f\lambda / D_L \quad (3)$$

즉 집초점의 크기는 초점거리와 레이자빔뿔음의 직경비 f/D_L 에 비례한다. CO₂레이자의 경우 $\lambda = 10.6\mu\text{m}$ 이므로 $200\mu\text{m}$ 의 집초점의 크기를 얻자면 $f/D_L = 10$ 정도여야 한다.

반사를 리용한 확대 및 집초광학계의 기하광학적구조의 설계모형을 그림 1에 보여 주었다.

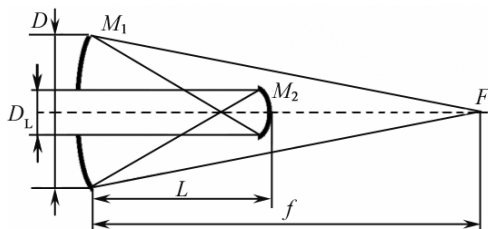


그림 1. 반사를 리용한 확대 및 집초광학계의 기하광학적구조의 설계모형
 M_1 , M_2 는 거울, F 는 집초점, D_L 은 레이자빔뿔음의 직경, D 는 확대된 빔뿔음직경, L 은 광학계의 길이, f 는 초점거리

광학계의 확대를 M 은 다음과 같다.

$$M = \frac{D}{D_L} \quad (4)$$

그림 1로부터 레이자빔뿔음의 퍼짐각이 대단히 작으므로

$$(M + 1)R_2 = 2L. \quad (5)$$

여기서 R_2 는 거울 M_2 의 곡률반경이다.

구면거울의 공식으로부터 다음의 관계가 성립

한다.

$$\frac{2}{MR_2} = \frac{2}{R_1} - \frac{1}{f} \quad (6)$$

여기서 R_1 은 거울 M_1 의 곡률반경이다.

식 (5)와 (6)으로부터

$$\frac{1}{L} = \frac{M}{M+1} \left(\frac{2}{R_1} - \frac{1}{f} \right). \quad (7)$$

실제의 광학계에서는 수차가 존재한다. 그러므로 집초점의 크기는 수차로 인한 레이저 빛뭉음의 퍼짐으로 하여 식 (3)으로 주어지는 크기보다 더 커지게 된다.

우리가 설계한 광학계의 경우에 수차는 기본적으로 거울 1에서 생긴다.

광학계의 길이가 거울 1의 초점길이와 거의 일치하므로 수차로 인한 퍼짐각은 거울 1의 초점에 점광원이 있을 때 수차로 인한 퍼짐각으로 근사평가할수 있다.

수차를 평가하기 위한 기하학적도해를 그림 2에 보여주었다.

광선추적법[3]을 리용하여 수차를 평가하자.

그림 2에서 각 x_1 , x_2 , x_0 사이에는 다음의 관계가 성립한다.

$$x_2 = x_1 - x_0 \quad (8)$$

$$\tan(x_1) = \frac{\sin(x_0)}{\cos(x_0) - \frac{1}{2}} \quad (9)$$

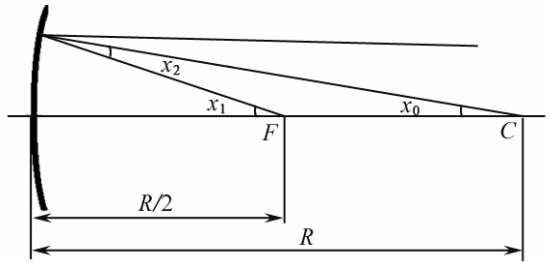


그림 2. 수차를 평가하기 위한 기하학적도해

빛의 반사법칙으로부터 수차로 인한 퍼짐각은 다음과 같다.

$$x = x_0 - x_2 \quad (10)$$

레이저빛뭉음의 리용률은 다음과 같다.

$$\eta = 1 - \left(\frac{D_L}{D} \right)^2 \left(\frac{f}{f-L} \right)^2 = 1 - M^{-2} \left(\frac{f}{f-L} \right)^2 \quad (11)$$

광학계설계에 대한 요구는 레이저빛뭉음리용률이 충분히 큰 조건에서 각 x_1 을 0으로부터 광학계의 직경에 해당하는 각 D/R_1 까지 변화시킬 때 수차로 인한 퍼짐각의 최대값이 식 (2)로 주어지는 퍼짐각보다 작아야 한다는 것이다.

광학계의 직경에 해당하는 각 D/R_1 이 각각 0.2, 0.29, 0.39, 0.48로 주어질 때 각 x_1 에 따르는 수차로 인한 퍼짐각을 조사하였다.

각 x_1 에 따르는 수차로 인한 퍼짐각을 그림 3에 보여주었다.

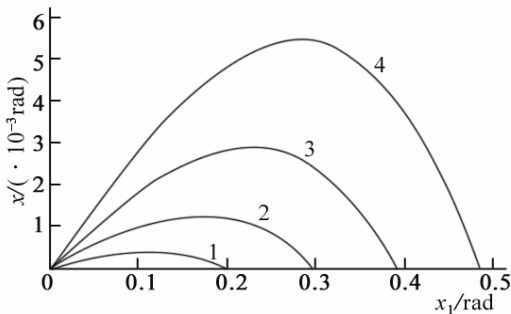


그림 3. 각 x_1 에 따르는 수차로 인한 퍼짐각 1-4는 D/R_1 이 각각 0.20, 0.29, 0.39, 0.48인 경우

그림 3으로부터 수차로 인한 최대퍼짐각은 광학계의 직경에 해당하는 각 D/R_1 의 0.6배 정도라는것을 알수 있다.

D/R_1 에 따르는 수차로 인한 퍼짐각을 그림 4에 보여주었다.

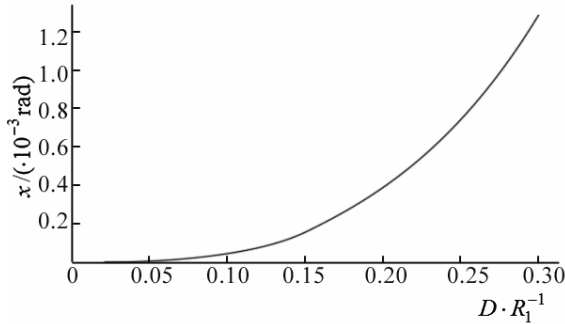


그림 4. D/R_1 에 따르는 수차로 인한 퍼짐각

200 μm 의 집초직경을 얻자면 $f/D=10$ 정도여야 하므로 광학계의 초점거리는 다음과 같다.

$$f=10D=500\text{mm}$$

한편 밀봉형 CO_2 레이자빛묶음퍼짐각은 $4 \cdot 10^{-3}\text{rad}$ 정도이므로 수차로 인한 퍼짐각은 이것을 확대률로 나눈 $4 \cdot 10^{-4}\text{rad}$ 보다 작아야 한다.

그림 4로부터 $4 \cdot 10^{-4}\text{rad}$ 에 해당하는 D/R_1 값은 0.2이므로 거울 1의 곡률반경은

$$R_1 = D/0.2 = 5D = 200\text{mm}.$$

식 (5)와 (7)로부터 광학계의 길이는 $L=137.5\text{mm}$, 거울 2의 곡률반경은 $R_2=25\text{mm}$ 이다. 이때 광학계가 가공대상으로부터 떨어져있는 거리는 $f-L=362.5\text{mm}$, 레이자빛묶음리용률은 $\eta=0.981$ 이다.

이로부터 레이자빛리용률이 높으면서도 가공대상까지의 거리를 종전의 수십 mm로부터 수백 mm로 충분히 보장하는 집초광학계를 반사거울들을 리용하여 설계하였다.

맺 는 말

반사를 리용하여 집초광학계를 설계하는 경우 구면거울의 수차로 인한 퍼짐각의 최대값이 광학계의 직경과 초점거리의 비에 의하여 주어지는 퍼짐각보다 작아야 한다.

참 고 문 헌

- [1] T. W. Hänsch; Handbook of Lasers and Optics, Springer-Verlag, 645~700, 2012.
- [2] O. Svelto; Principles of Lasers, Springer Science+Business Media, 400~450, 2010.
- [3] M. Bass; Handbook of Optics, McGraw-Hill, 1496, 1995.

Design of CO₂ Laser Magnifying and Focusing Optics using Reflection

Kim Yong Chol, Ri Kwang Song and Ri Kuk Sop

We proposed the design model of laser magnifying and focusing optics using reflection, computed the aberration of spherical mirror by optical ray trace, and obtained a design which give the magnification of 10 and focus spot diameter of about 0.2mm for sealed CO₂ laser magnifying and focusing optics.

Key words: sealed CO₂ laser, magnifying and focusing optics, reflection