유한물점에서 코마수차가 제거된 2반사경계의 곡률선형방정식

Curvature Linear Equation of a Two-Mirror System without the coma aberration at an Finite Object Distance

황석주*, 임천석, 조재흥
한남대학교 물리학과
*rapper1@nate.com

최적화를 위한 초기 입력데이터를 구하는 방법 중 자이델 3차 수차를 이용하는 해석적인 접근법은 원리적으로 볼 때는 가장 통찰력 있고 체계적인 방식이지만 설계과정에서 현실적으로는 잘 적용되지 않는다. 왜냐하면 이 방식은 복잡한 수차식들을 유도 및 정리해야하는 어려움이 있을 뿐만 아니라, 설계변수들이 상호간에 복잡하게 조합되어 있어 고차의 비선형 방정식을 풀어야만 하기 때문이다.

이러한 이유로 무한 물체거리를 갖는 2 반사경계에 대해 주경과 부경의 곡률 간에 선형성이 있는지를 검토하였고, 결과적으로 일반화된 구면수차와 코마수차가 거의 제로가 되는 조건에 한정된 곡률선형방정식이라고 하는 다루기 쉬운 단순한 형태의 방정식을 얻었다[1]. 또 유한 물체거리를 갖는 2반사경계에 대해서도 자이델 3차의 구면수차가 거의 제로가 되는 조건에 한정된 곡률선형방정식이 연구되었다.[2]

본 논문에서는 자이델 3차의 코마수차가 거의 제로가 되는 조건에 한정된 곡률선형방정식을 연구하였다.

그 결과 코마수차가 거의 제로가 되는 2반사경계의 두 곡률(C_1,C_2)에서 C_1의 영역이 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 이 식의 의미는 약간의 대수적인 계산으로 2반사경계의 코마수차가 0이 되는 초기 입력데이터를 손쉽게 얻을 수 있다는 것이다.

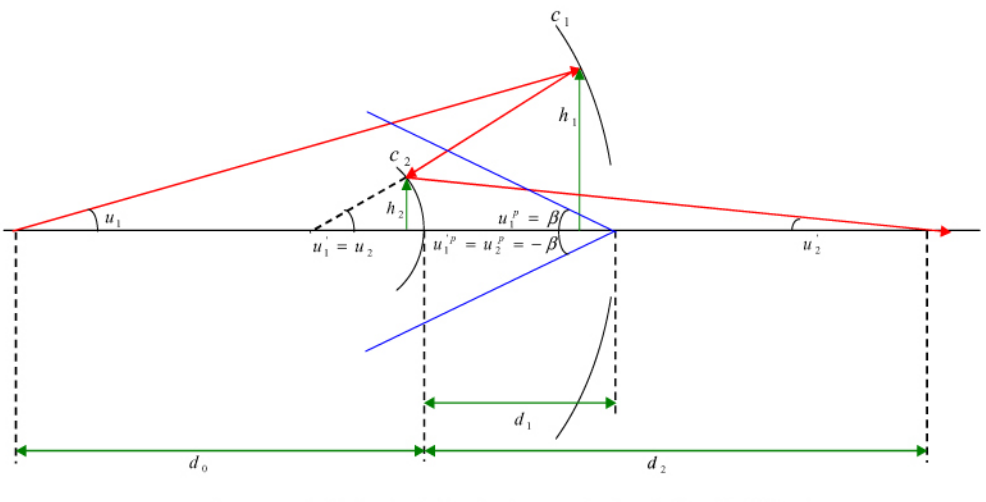

그림 1. 2반사경계에서 유한 물체에 대한 광선추적

근축광선 추적식을 이용하여 C_1(주경)과 C_2(부경)에 대하여 광선추적을 한 후 Seidel 3차수차계수를

다음과 같이 유도하였다.

$$S_{II} = [-(c_1 h_1 - \frac{h_1}{d_0}) h_1 (-2c_1 h_1)\beta] + [-h_1 (c_1 - E - \frac{c_2 d_1}{d_0} - \frac{1}{d_0})\beta(c_2 d_1 + 1) h_1 (1 - 2c_1 d_1 + \frac{d_1}{d_0}) 2h_1 (c_1 + E + \frac{c_2 d_1}{d_0})]$$

$$S_{II}/h_1^3 \bullet \beta = [-(c_1 - \frac{1}{d_0})(-2c_1)] + [-(c_1 - E - \frac{c_2 d_1}{d_0} - \frac{1}{d_0})(c_2 d_1 + 1)(1 - 2c_1 d_1 + \frac{d_1}{d_0}) 2(c_1 + E + \frac{c_2 d_1}{d_0})]$$

위 식에서 물체거리(d_0)를 1로 지정하고 C_1의 범위를-10~10까지로 지정하여 수치해석한 후 d_1, C_2값을 구하면 다음과 같다.

C_1 (m^{-1})	E=1/(2EFL) (m^{-1})	d_0 = EFL (m)	d_1(m)	C_2 (m^{-1})	1st M 직경 (m)	2nd M 직경 (m)	BFL (m)	$S_{II}/h_1^3 \cdot \beta$
-10	0.5	1.00	0.000588408	-9.389502781	0.30	0.304	1.01177	0.00000
-9	0.5	1.00	0.000786673	-8.381319526	0.30	0.304	1.01416	0.00000
-8	0.5	1.00	0.001085162	-7.372002967	0.30	0.305	1.01736	0.00000
-7	0.5	1.00	0.001556323	-6.361394607	0.30	0.307	1.02179	0.00000
-6	0.5	1.00	0.002346128	-5.349395627	0.30	0.308	1.02815	0.00000
-5	0.5	1.00	0.003779144	-4.336131353	0.30	0.311	1.03779	0.00000
-4	0.5	1.00	0.006680961	-3.3224241	0.30	0.316	1.05345	0.00000
-3	0.5	1.00	0.013612217	-2.311233896	0.30	0.325	1.08167	0.00000
-2	0.5	1.00	0.035699565	-1.312567625	0.30	0.343	1.14280	0.00000
-1	0.5	1.00	0.184574766	-0.365190206	0.30	0.411	1.36915	0.00000
0	0.5	1.00	0	0.5	0.30	0.300	1.00000	1.50000
1	0.5	1.00	-1	0.5	0.30	0.900	3.00000	0.00000
2	0.5	1.00	-0.200946918	1.385972439	0.30	0.541	1.80379	0.00000
3	0.5	1.00	-0.053674302	2.647412041	0.30	0.397	1.32205	0.00000
4	0.5	1.00	-0.020360397	3.86969224	0.30	0.349	1.16288	0.00000
5	0.5	1.00	-0.009562609	5.019960785	0.30	0.329	1.09563	0.00000
6	0.5	1.00	-0.005176697	6.119833704	0.30	0.319	1.06212	0.00000
7	0.5	1.00	-0.003095937	7.18843095	0.30	0.313	1.04334	0.00000
8	0.5	1.00	-0.001991591	8.237508057	0.30	0.310	1.03187	0.00000
9	0.5	1.00	-0.001354063	9.273964478	0.30	0.307	1.02437	0.00000
10	0.5	1.00	-0.000961319	10.30193125	0.30	0.306	1.01923	0.00000

표1. 물체거리가 1 m 일 때, 코마수차가 0이 되는 d_1, C_2의 값

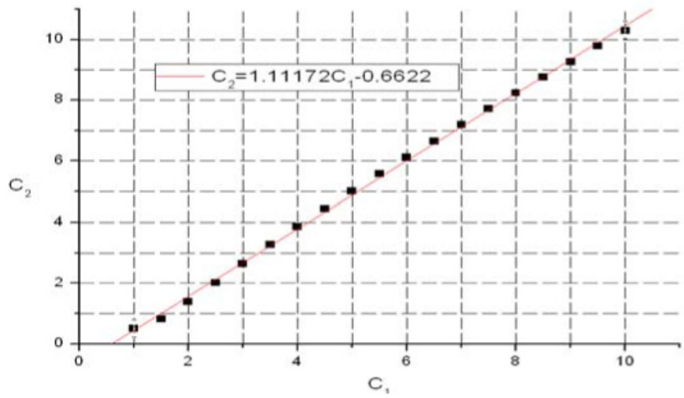

그림2. 구면 수차가 0이 되는 C_1(주경)과 C_2(부경)의 선형방정식

위의 표 1의 데이터로 그림 2와 같은 선형 방정식을 구함으로써 수차가 제거된 C_2를 결정할 수 있다.

참고문헌

1. Rim Cheon Seog,"Curvature Linear Equation of a Two-Mirror System with an infinite Object Distance" Journal of the Korean Physical Society, Vol. 46, No. 2, pp. 448~454. February (2005)
2. 이정기,임천석, "유한 물체 거리를 갖는 2반사경계의 곡률 선형 방정식"한국광학회지 Vol. 16, No. 5, pp. 423-427, October (2005)