유한 물점을 갖는 2 반사경계에서 자이델 3차 수차 계수의 효과적인 활용 방안

Curvature Linear Equation of a Two-Mirror System with a finite Object Distance

임천석*, 이정기**

한남대학교 물리학과

*csrim@hannam.ac.kr, **azavictory@empal.com

광학계를 기초 설계 하는데 있어 다양한 방법이 제시되고 있지만, 가장 체계적인 접근법으로 생각되는 것이 자이델 3차 수차 계수의 활용이다.
본 연구에서는 전산 수치해석적인 기법을 사용하지 않고서는 접근하기 어려운 고차방정식으로 된 자이델 3차 수차 계수를 대체할 수 있는 곡률선형방정식이라는 새로운 방법의 기초 설계 법을 제시한다. 여기서 제시되는 곡률 선형 방정식은 우선 자이델 3차의 구면 수차 계수가 소거되는 조건을 만족하는 곡률간의 선형 관계식에 한정 하도록 했다.(추후 다른 수차 계수들에 대해서도 연구를 지속할 예정이다.) 이로부터 종전의 난해한 자이델 기초설계법과는 달리 곡률선형방정식을 활용하여, 유한 물점을 갖는 2 반사경계의 설계를 용이하게 할 수 있다.

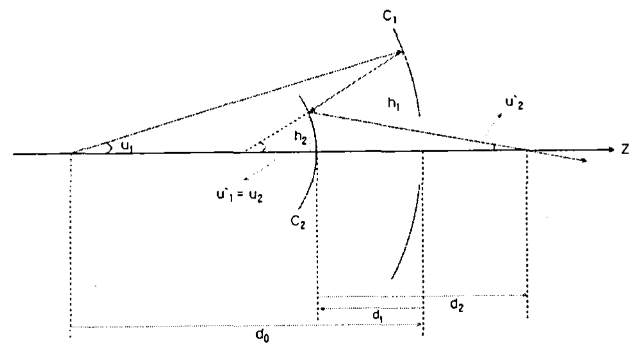

그림 1. 두 반사경에서 유한 물체에 대한 광선추적

근축광선 추적식을 이용하여 C_1(주경)와 C_2(부경)에 대하여 각각을 광선 추적하여 Seidel 3차 수차계수를 다음과 같이 유도하였다.

$$S_I = h_1^2 (C_1 - \frac{1}{d_0})^2 h_1 (-2C_1 h_1) + 2h_1^2 (C_1 - E - \frac{C_2 d_1}{d_0} - \frac{1}{d_0})^2 h_1^2 (1 - 2C_1 d_1 + \frac{d_1}{d_0})(E + C_1 + \frac{C_2 d_1}{d_0})$$

$$\frac{S_I}{h_1^4} = -2C_1 (C_1 - \frac{1}{d_0})^2 + 2(C_1 - E - \frac{C_2 d_1 + 1}{d_0})^2 (1 - 2C_1 d_1 + \frac{d_1}{d_0})(E + C_1 + \frac{C_2 d_1}{d_0})$$

구면수차가 0이 되게 하는($S_I/h_1^4 = 0$) d_1을 찾기 위해, 실험적인 기본 조건으로 주경의 곡률 범위를 -7~7(m^{-1}), 주경의 지름 = 30 mm으로 정하고 물체의 거리(d_0)를 변화시킴으로써 구할 수 있었다.

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)	$S_{II}/h_1^3 \cdot \beta$
-7.0	0.5	1.0	-0.00318	-6.80297	0.03	0.029	0.95546	4.58058
-6.5	0.5	1.0	-0.00354	-6.28971	0.03	0.029	0.95394	4.31633
-6.0	0.5	1.0	-0.00396	-5.77464	0.03	0.028	0.95244	4.04961
-5.5	0.5	1.0	-0.00445	-5.25740	0.03	0.028	0.95104	3.77992
-5.0	0.5	1.0	-0.00501	-4.73752	0.03	0.028	0.94986	3.50634
-4.5	0.5	1.0	-0.00565	-4.21442	0.03	0.028	0.94912	3.22771
-4.0	0.5	1.0	-0.00635	-3.68740	0.03	0.028	0.94918	2.94238
-3.5	0.5	1.0	-0.00704	-3.15560	0.03	0.028	0.95069	2.64807
-3.0	0.5	1.0	-0.00752	-2.61812	0.03	0.028	0.95489	2.34146
-2.5	0.5	1.0	-0.00715	-2.07420	0.03	0.029	0.96423	2.01770
-2.0	0.5	1.0	-0.00397	-1.52418	0.03	0.029	0.98413	1.66994
-1.5	0.5	1.0	0.00962	-0.97195	0.03	0.031	1.02886	1.28908
-1.0	0.5	1.0	0.07746	-0.43293	0.03	0.037	1.15492	0.86526
-0.5	0.5	1.0	-1.00000	0.00000	0.03	-0.030	0.00000	1.50000
0.5	0.5	1.0	-1.00000	0.50000	0.03	0.030	2.00000	-0.25000
1.0	0.5	1.0	1.00000	-1.50000	0.03	0.000	-1.00000	0.00000
1.5	0.5	1.0	-0.38812	0.92407	0.03	0.053	2.16435	0.15879
2.0	0.5	1.0	-0.18006	1.45330	0.03	0.046	1.72022	0.12262
2.5	0.5	1.0	-0.09924	2.00509	0.03	0.042	1.49619	-0.01593
3.0	0.5	1.0	-0.06144	2.55723	0.03	0.039	1.36867	-0.20723
3.5	0.5	1.0	-0.04126	3.10366	0.03	0.037	1.28880	-0.42624
4.0	0.5	1.0	-0.02939	3.64344	0.03	0.036	1.23510	-0.66023
4.5	0.5	1.0	-0.02189	4.17715	0.03	0.035	1.19699	-0.90253
5.0	0.5	1.0	-0.01688	4.70573	0.03	0.035	1.16879	-1.14954
5.5	0.5	1.0	-0.01338	5.23010	0.03	0.034	1.14721	-1.39926
6.0	0.5	1.0	-0.01085	5.75101	0.03	0.034	1.13024	-1.65053
6.5	0.5	1.0	-0.00897	6.26910	0.03	0.033	1.11659	-1.90268
7.0	0.5	1.0	-0.00753	6.78486	0.03	0.033	1.10540	-2.15530

표 1. 물체거리가 1 m 일 때, 구면 수차가 0이 되는 d_1, C_2의 값

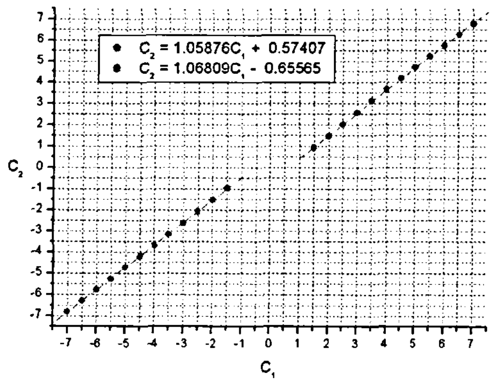

그림 2. 구면 수차가 0이 되는 C_1(주경)과 C_2(부경)의 선형방정식

위의 표 1를 바탕으로 그림 2와 같은 곡률 선형 방정식을 구함으로써 최적화의 초기해를 쉽게 결정할 수 있다.

참고문헌

[1] 임천석, 기하광학 (테크미디어, 2003).

[2] 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, February 2005, pp. 448~454.