

광학설계의 최적화과정에서 Lagrange 부정승수를

이용한 능동적 제어

Active Control of Optimization Process in Lens Design

by Using Lagrange's Undetermined Multipliers

조용주, 이종웅*

청주대학교 대학원 물리광학과, *청주대학교 이공대 광학공학과

optics21@orgio.net, *julee@chongju.ac.kr

광학설계의 최적화에서는 최소자승법과 감쇠최소자승법이 주로 사용되고 있다. 최소자승법은 error의 제곱의 합을 최소화하는 방법으로, 이 방법은 최적점 부근에서의 불안정성이 발생하는 문제점이 있다. 감쇠최소자승법은 최소자승법에 적절한 감쇠항을 부가함으로써 최적점 부근에서의 불안정성을 줄여주고 있다.

본 연구에서는 광학설계의 제한조건을 Lagrange 부정승수⁽¹⁾를 사용하여 감쇠최소자승법의 정규방정식에 결합하여 제한조건을 유지하면서 merit function을 줄이는 방법에 대하여 연구하였다. 이 방법에서는 제한조건이 merit function의 error 함수보다 우선적으로 보정되며, 이를 이용하여 매 iteration 마다 merit function에서 절대값이 큰 error를 감쇠최소자승법의 정규방정식에서 제거하고 이 보정조건을 제한조건에 추가함으로써 다른 error항 보다 우선적으로 보정되도록 하였다. 이 때 이 error를 한번에 보정하는 경우에는 merit function의 진동이 심하고 광학계가 사용불가능한 형태로 변화하는 경우가 많아 적절한 target ratio를 설정하여 반복과정을 통하여 점진적으로 보정되도록 하였으며, 이를 통하여 최적화의 안정성을 개선할 수 있었다.

본 연구에서는 설계의 예로서 그림 1과 같은 형태의 double-Gauss형 사진렌즈계⁽²⁾를 사용하였고, 초기설계의 EFL은 49.40mm, BFL은 32.76mm이며, 10개의 곡률변수만을 사용하는 최적화과정을 통하여 EFL 50mm, BFL 33mm, d-선, F-선, C-선에 대한 rms spot를 보정하였다. EFL과 BFL은 error항에 포함하여 최적화 과정에서 변화하지 않도록 하였다. 그림 2는 감쇠최소자승법에서 multiplicative damping을 사용하여 최적화한 경우이며, damping factor는 1에서 0.07까지의 값을 사용하였다. 그림 2에서 damping factor가 0.5인 경우가 가장 안정하게 수렴하고 있음을 알 수 있다. 그림 3은 damping factor가 0.5인 경우에 절대값이 가장 큰 error 1개를 제한조건으로 하여 Lagrange 부정승수를 이용하여 감쇠최소자승법의 정규방정식과 결합한 경우이다. 여기에서 target ratio는 매 반복과정마다 제한조건이 1차 근사식에서 보정되는 error의 비율이며, 1인 경우는 error를 0으로 보정하며 0.1인 경우는 10%만을 보정한다. 그림3에서 target ratio가 0.5 이상인 경우는 merit function이 수렴하지만 진동이 매우 심함을 알 수 있다. Target ratio가 작은 경우에는 안정하게 수렴하였다. 그림 4는 감쇠최소자승법에서 damping factor를 0.5, target ratio 0.1로 고정하고, 제한조건으로 변경하는 error항의 수를 1개에서 5까지 증가시킨 결과이다. 제한조건이 1~2개인 경우에는 제한조건이 없는 경우보다 50회의 반복에서 merit function을 더 낮게 줄일 수 있었으며 안정하게 수렴하고 있다. 제한조건이 3개 이상인 경우에는 초기에

merit function이 증가한 후에 다시 감소하였으며, 3개인 경우에 merit function이 가장 작았다. 제한조건이 4개인 경우에는 수렴속도는 가장 빨랐으나 36번째 반복에서 급격하게 증가한 후에 다시 감소하는 것을 볼 수 있고, 5개인 경우에는 최적점에 도달하지 못하고 있다.

본 연구에서는 감쇠최소자승법을 이용한 광학계의 최적화에서 제한조건이 정규방정식의 error항보다 우선적으로 보정되는 것을 이용하여 절대값이 큰 error항을 제한조건으로 바꾸어 최적화의 효율을 높이는 방법에 대하여 연구하였으며, error항을 제한조건으로 바꿀때에 적절한 target ratio를 주어 안정성이 개선되도록 하였다. 이 방법을 10개의 곡률변수를 가진 렌즈계의 최적화에 적용하여 본 결과 기존의 감쇠최소자승법과 비교하여 빠르고 안정하게 보다 더 낮은 최적점에 도달함을 확인하였다.

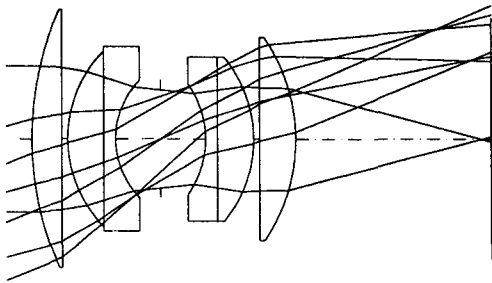


Fig 1. Optical layout of the initial photographic lens system.

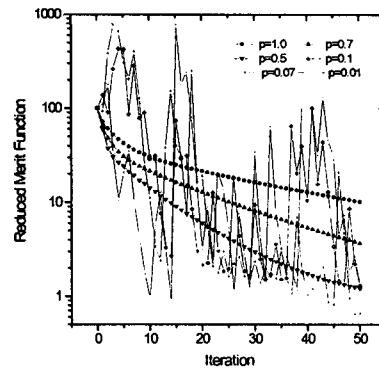


Fig 2. Optimization by using conventional DLS method. (multiplicative damping)

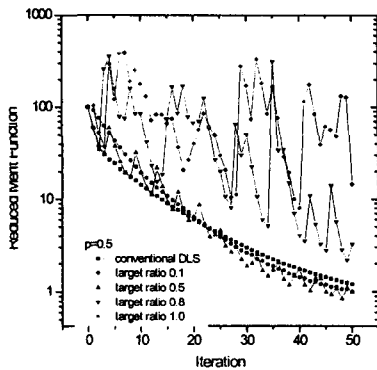


Fig 3. Variation of merit function as a function of target ratio. (DLS with single constraint)

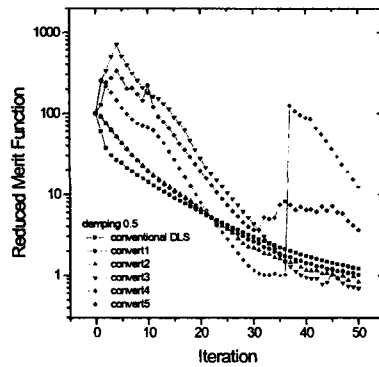


Fig 4. Variation of merit function depending on the number of constraints. (damping factor=0.5, target ratio=0.1)

참고문헌

- (1) Gordon H. Spencer, "A Flexible Automatic Lens Correction Procedure", Appl. Opt. 12, 1257 (1963).
- (2) 김기태, 이종웅, "직교화와 SVD를 도입한 광학설계의 최적화기법에 대한 연구", 한국광학회지, 363(1993).