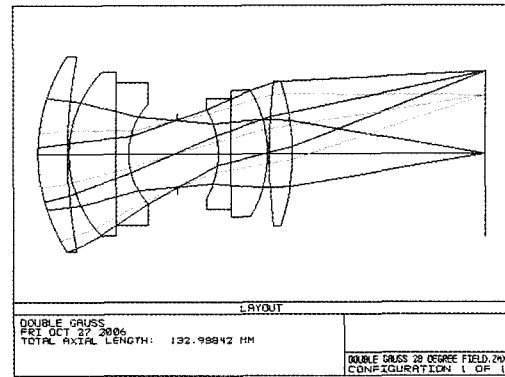


Zemax는 세계적으로 광학 설계 및 해석에 널리 사용되는 프로그램의 하나입니다. 본인은 Zemax 제품이 나온 초기부터 사용한 오랜 사용자 중의 한 명이고, 매년 인하대 광기술교육센터에서 'Zemax를 이용한 기초 광학설계'와 'Zemax를 이용한 고급 광학설계'라는 강좌를 수행하는 관계로 국내에서 계신 분들의 Zemax에 대한 질의에 답변을 하게 되었고, 이에 Zemax에 대한 주된 질문은 무엇인지 알게 되었습니다.

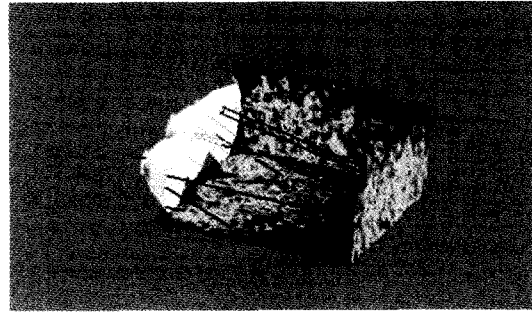
본 글은 이러한 질의에 대한 답변을 드리는 형태로, Zemax에 대한 소개 및 설명을 드리고자 합니다. (단, 본 글은 Zemax의 판매 촉진을 목적으로 하고 있지 않으며, 최대한 객관적으로 서술하였습니다.)

1. Zemax가 뭔가요?

현재 광학 설계 프로그램으로는 크게 Zemax, CodeV, LightTools, ASAP, TracePro 등이 있습니다. 이 광학 프로그램들은 '광선 추적'을 기반으로 하고 있으며, 광선을



a) 순차 광선 추적



b) 비순차 광선 추적

그림 1. Zemax에서 수행된 광선 추적도

광학의 TOOL 1

광학 설계 및 해석 프로그램인 ZEMAX에 대한 소개

이준호*

취급하는 방법에 따라 순차 광선 추적 프로그램과 비순차 광선 추적 프로그램으로 분류됩니다. 쉽게 설명하자면, 렌즈 설계용 프로그램과 조명 설계용 프로그램으로 이해하시면 됩니다.

Zemax는 1990년도 초반에 미국 아리조나 대학에서 박사 학위를 받은 Dr. Kenneth Moore가 연구 과정에서 개발한 광학 설계 프로그램을 박사 학위 취득 후 상업용으

로 만든 렌즈 설계용 프로그램입니다. Zemax는 초기 렌즈 설계용 프로그램으로 개발되었기에, 순차 광선추적만 가능했지만, 추후 계속된 프로그램 업그레이드를 통하여 현재 비순차 광선 추적 및 이들의 혼합인 혼합 광선 추적이 가능해져 렌즈 설계는 물론, 조명 설계 및 해석, 산란 광 해석이 가능해졌습니다. 즉, 앞서 언급한 렌즈 설계용 프로그램과 조명 설계용 프로그램의 혼합 프로그램입니

* 공주대학교 광공학과 조교수

광학 설계 및 해석 프로그램인 ZEMAX에 대한 소개

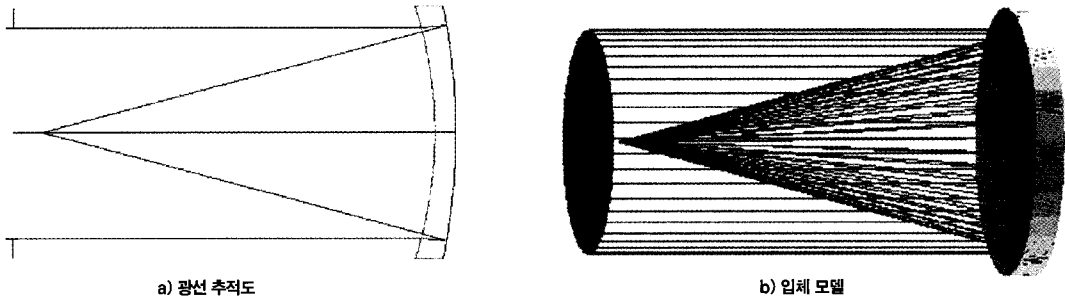


그림 2. 만진 망원경의 광선 추적

Surf: Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.000000
STO	Standard	Infinity	200.000000		50.000000
2*	Standard	-200.000000	10.000000	BM7	60.000000 U
3*	Standard	-300.000000	-10.000000 P	MIRROR	60.000000 U
4*	Standard	-200.000000 P	-185.893463 M		60.000000 U
5	Standard	Infinity	0.000000		0.013540
IMA	Standard	Infinity	-		0.013540

그림 3. Zemax에서 만진 망원경(그림 2)의 모델링

다. 그림 1은 Zemax에서 계산 및 전시된 순차 및 비순차 광선 추적도를 보여주고 있습니다.

2. Zemax는 무엇을 할 수 있나요?

Zemax는 크게 Zemax-SE와 Zemax-EE의 두 개의 버전으로 나뉘어져 있습니다. 물론 가격도 \$2,000 및 \$4,000로 크게 차이가 나며, 기능도 차이가 납니다. Zemax가 될 수 있는지 확인하지 전에 본인이 가지고 있는 Zemax 프로그램의 버전이 무엇인지 확인해야 합니다. Zemax의 광선 추적 방식은 순차 광선 추적, 비순차 광선 추적 및 혼합 광선 추적으로 나뉘지며, 방식에 따라 기능이 분류될 수 있습니다. 앞서 얘기한 Zemax의 SE 버전은 순차 광선 추적의 기본 기능만 허용하면, EE 버전은 순차 광선 추적의 고급 기능 및 비순차 광선 추적 방식을 모두 허용합니다.

순차 광선 추적 기반

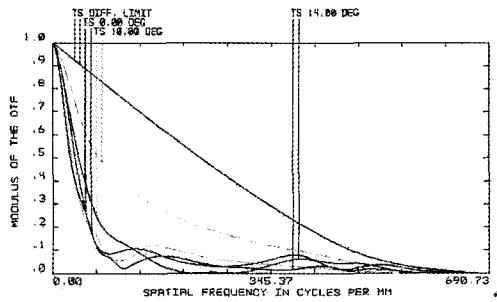
순차 광선 추적 기반 기능은 크게 네 가지로 분류할 수 있다: 1) 모델링, 2) 해석, 3) 최적화, 4) 공차 설계.

첫째, 모델링은 순차 광선 추적 즉, 모든 광선 추적은 전

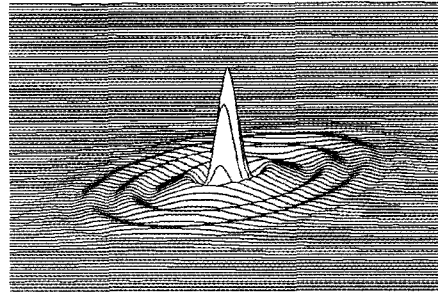
달+굴절/반사로 이뤄지고, 모든 광학 데이터는 면의 정보로 표현된다는 가정하에 광학 데이터를 모델링 하게 됩니다. 예로 만진 망원경은 한 개의 렌즈 뒷면에 반사 코팅되어 있는 광학계로 실제 광학계는 1개의 렌즈 즉 두 개의 면으로 구성되어 있으나, Zemax에서는 광선의 전달 및 굴절의 수에 따라 3개의 광학면으로 모델링 됩니다. 그림 2와 그림 3은 광선 추적도와 실제 모델링을 보여주고 있습니다.

둘째, Zemax는 모델링 데이터를 기반으로 수차 분석, MTF, Encircled energy, PSF 등을 계산할 수 있습니다. 기본적으로 렌즈 설계에서 수반되는 모든 해석이 가능하다고 보면 됩니다. 일반 Zemax 사용자가 해석 기능을 사용함에 있어 어려움을 겪는 것을 여러 번 보았는데, 이것은 프로그램의 문제가 아니라 사용자가 Zemax를 사용하기 위해서는 기하 광학, 파동 광학, 광학 측정 등의 기초 지식이 필요하다는 점을 간과하기 때문입니다. 프로그램은 해석을 수행할 뿐 해석의 의미를 전달하진 않기 때문에, 사용자가 그 해석의 학문적 의미를 충분히 이해했을 때만 그 결과를 사용할 수 있습니다. 그림 4는 Zemax에서 수행 가능한 해석의 결과를 보여주고 있습니다.

셋째로, 렌즈 설계의 최적화는 Zemax와 같은 프로그램을 사용하는 근본 이유로 기존의 렌즈를 사용자가 설정한 판단 근거 및 제한 조건을 바탕으로 더 나은 설계를 찾아



a) MTF (Modulation Transfer Function)



b) PSF (Point Spread Function)

그림 4. Zemax에서 수행 가능한 해석의 예

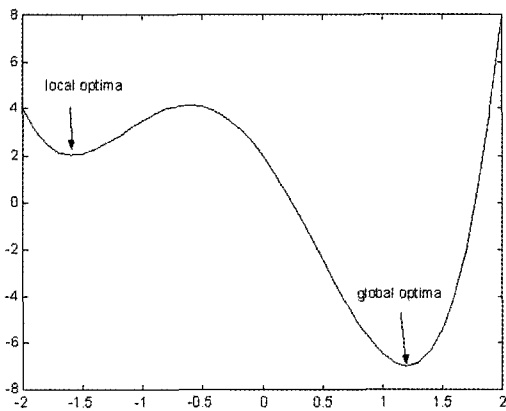
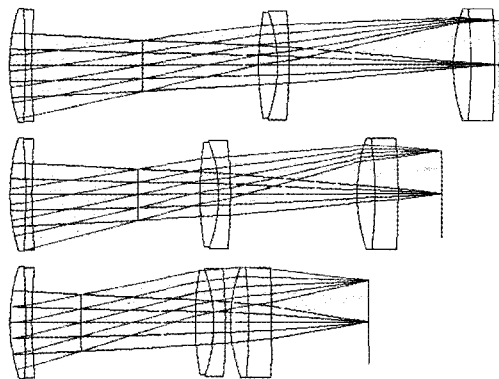


그림 5. 최적 해(solution)의 종류

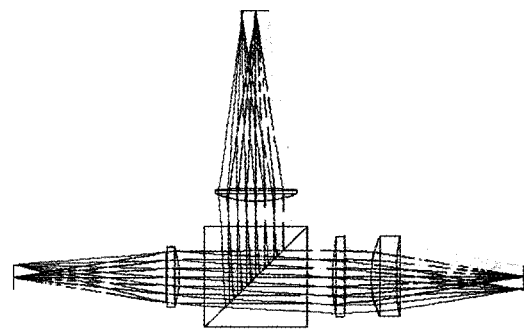
않지만 통상적인 방식보다는 넓은 영역의 최적해를 찾는 Global search와 설계에 큰 변화를 주며 사용자가 생각하지 못했던 방식의 해를 찾는 Hammer Optimization이 있습니다.

마지막으로 중요한 것은, 렌즈 설계의 공차 설계로 렌즈를 제작할 경우 어떤 공차를 가지고 제작할 것인지 수행하는 기능입니다.

그 밖에 Zoom 렌즈 설계 및 순차 광선 추적의 비순차 광선 추적화를 가능케 하는 Multi-configuration 기능을 제공하고 있습니다.



a) Zoom lens



b) Beam splitter

그림 6. Zemax의 Multi-configuration 기법을 사용한 광학 시스템의 예

가는 방식입니다. 최적화는 기본적으로 설계가 시작한 근처에서 최적 해를 찾는 방식으로 운용되며, 이를 local optimization이라 합니다. Zemax는 기본적으로 Local optimization을 제공하고 있으며, 설계에 큰 변화를 주진

비순차 광선 추적 기반

앞에서 설명한 순차 광선 추적과는 전혀 다른 방식의 광선 추적인 비순차 광선 추적을 Zemax EE 버전에서는 허용합니다. 비순차 광선 추적은 광선을 실질적으로 쫓아가

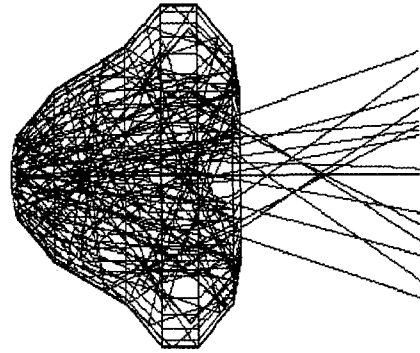
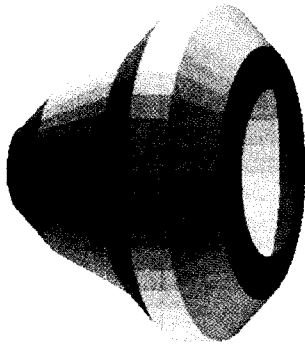


그림 7. Zemax에서 제공하는 비 순차 광선 추적에 사용되는 모델 및 광선 추적도

며, 실제 발생하는 굴절/반사/Scattering/Polarization 등을 계산하게 됩니다. 그림 7은 비순차 광선 추적에 사용된 모델과 광선 추적도를 보여주고 있습니다.

3. Zemax는 무엇을 할 수 없나요?

Zemax가 할 수 있는 부분과 할 수 없는 부분은 Zemax의 광선 취급의 분류에 따라 다음과 같이 나뉘집니다.

먼저, 순차 광선 추적 부분의 한계는 다음과 같습니다.

1. 모든 해석은 광선 기반입니다.
 - “광선”의 개념이 유효하지 않은 영역에 대한 해석은 신뢰할 수 없습니다. 통상적으로, 관계되는 물리적 크기가 파장의 5~10배 이상 되면 광선의 개념을 신뢰할 수 있지만, 그렇지 않은 경우 “파동”의 개념이 기반이 된 프로그램을 사용하셔야 합니다.
2. 한 개의 광선은 광선 추적이 끝날 때까지 한 개입니다.
 - Beam splitting, scattering 같이 광선이 나뉘는 해석은 가능하지 않습니다.
3. 광선은 무조건 순차적으로 진행합니다.
 - 물리적으로 의미가 있던 없던 광선은 순서대로 진행합니다. 광선의 진행 방향도 물리적 의미와는 상관 없이, 사용자가 지정한 대로 진행합니다.
 - 모든 광선은 언제나 같은 순서대로 진행되어야 합니다.
4. 회절 및 물리 광학 효과가 이미 계산된 식을 사용합니다.

→ MTF, PSF 및 회절 격자 등과 같이 빛의 파동 효과를 이미 반영한 식을 사용합니다. 이것은 빛의 파동의 전파를 통한 해석과는 다르며, 해석의 결과를 사용하기 위해서는 기 사용된 식의 제한 조건 및 의미를 알아야 합니다.

5. 빛의 편광 및 비 선형성은 고려되지 않습니다.
 - 광선의 편광 및 에너지에 따른 비선형성은 고려되지 않습니다.

다음으로 비 순차 광선 추적의 한계는 다음과 같습니다.

1. 모든 해석은 광선 기반입니다.
 - 마찬가지로 해석은 광선을 기반으로 하고 있기에, 모든 해석은 광선이 허용하는 범위에서 허용됩니다.
2. 복잡한 형태의 형상 제작
 - 계속된 프로그램 업그레이드를 통하여 모델링 기능이 강화되어 통상적인 3D 모델링은 가능하나, LightTools나 Ideas와 같은 프로그램에 비하여는 전문 모델링 기능이 떨어집니다.

4. CodeV와 Zemax는 뭐가 다른가요?

Zemax 프로그램이 만들어질 당시 Microsoft사의 Window가 가정용 PC의 운용 체제로 널리 사용되기 시작했기 때문에, Zemax는 초기부터 Window의 프로그래밍 기법을 적용하여 이용자가 쉽게 배우고 사용하기 쉬운 장점이 있었습니다. 이와 달리 CodeV는 개발된 운용 체계가 DOS로 입력창에 특정 명령어를 입력하여 실행하는 command 방식으로 구성되어 있어, 사용에 능숙한 사용

자가 프로그램의 모든 기능을 충분히 사용하기에는 좋은 방식이지만, Window 방식에 익숙한 최근 사용자에게는 불편한 방식으로 구성되어 있습니다. 1990년 후반 CodeV도 window 환경으로 프로그램을 변경하였으나, 작동 방식을 보면 아직도 프로그램의 핵심 모듈은 여전히 예전 Dos 방식을 가지고 있고 있습니다.

하지만, CodeV와 Zemax의 본질적인 차이는 존재하지 않으며, 크게 보면 다음과 같은 차이가 있다고 볼 수 있습니다.

1. 구매 형태

→ Zemax는 한 프로그램당 \$4,000로 구매하는 것이고, CodeV는 매년 일정한 금액만큼 돈을 주고 빌리는 대여 형식입니다. 대여 금액은 대여를 하는 곳의 성격 즉, 학교/연구소/업체에 따라 크게 달라지나, 연구소 및 업체를 대상으로 할 경우 1년에 \$10,000~\$20,000하게 됩니다. 따라서, Zemax나 CodeV를 선택하는 가장 큰 요인으로 가격 및 구매 형태가 됩니다.

2. 서비스 차이

→ Zemax와 CodeV는 가격 차이만큼이나 구매 및 대여에 따라 업체로부터 기대하거나 받을 수 있는 서비스의 차이가 있습니다. 실제, CodeV는 지속적인 기술 자료를 사용자에게 배포하거나 기술 세미나를 개최함으로써 사용자가 실질적 도움을 받을 수 있는 반면 Zemax는 아직까지 국내에서 이렇다 할 만한 기술적 지원을 하지 않는 관계로 이미 Zemax에 익숙한 사용자가 아닌 경우 불편함을 가지게 됩니다.

3. 기능상 차이

→ 기능에서 보면 크게 본질적인 차이는 없지만, Zemax는 비순차 광선 추적 부분이 CodeV보다 조금 더 강화되어 있고, CodeV는 Monte-Carlo analysis에서 각 변수의 확률 분포 설정 및 Lens search 등과 같은 부분에서 Zemax에서 보다 세련된 기능을 선보이고 있습니다.

4. 전체 시장 점유율

→ 국내에서는 CodeV가 전통적으로 많이 사용되어 왔으나, 세계적인 시장 점유율로 보면 Zemax와

CodeV가 렌즈 설계 프로그램 시장을 양분하고 있는 것으로 보입니다. 단, 국내에서 높은 가격에도 불구하고 CodeV가 높은 점유율을 보이고 있는 이유는, CodeV 국내 대리점인 모던 하이테크의 열성적인 marketing 노력이 Zemax 국내 대리점인 셀렉트론보다 월등한 것이 한 이유가 될 것입니다.

5. Zemax에 질문 등을 해결할 수 있는 Working group은 있나요?

현재 다수의 국내 광학 관련 학과에서 광학 설계용 프로그램으로 Zemax를 사용하고 있는 실정과 매년 인하대에서 Zemax 관련 교육 참가자 수를 감안하면, 이미 Zemax 사용자의 수가 수 백 명에 달한 것으로 보이고, 앞으로도 사용자의 수가 계속적으로 증가할 것으로 보입니다. 하지만, 애석하게도 아직 Zemax 사용자 working group은 존재하지 않으며, 많은 Zemax 사용자가 바라는 한글판 도서도 아직은 출판되고 있지 않습니다. 조만간 Zemax working group의 형성과 관련 책자가 출판될 것을 기대하고 있습니다.