

# Synopsys 광학 솔루션을 활용한 카메라 광학계 설계

## Camera System Design using Synopsys OSG Tools

Gore Yang / Senior Manager  
Optical Solution Group

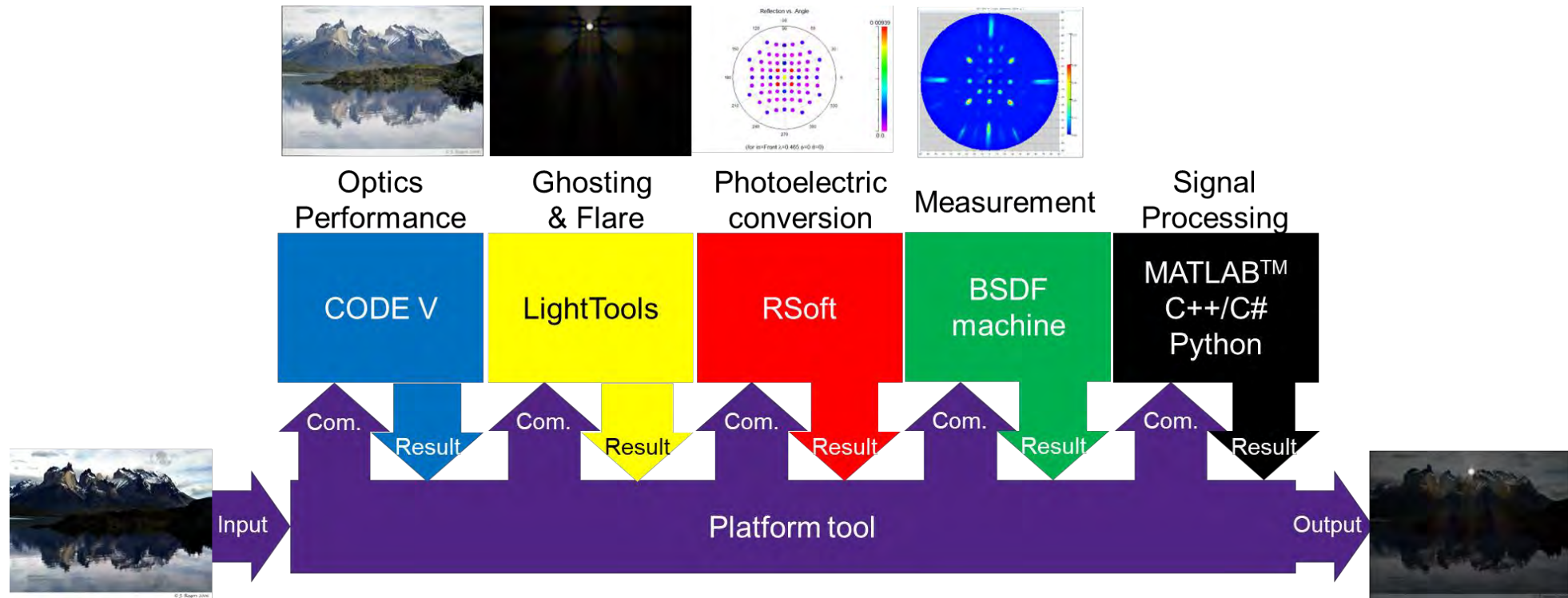
October 2022



# 서두 및 요약

## Abstract

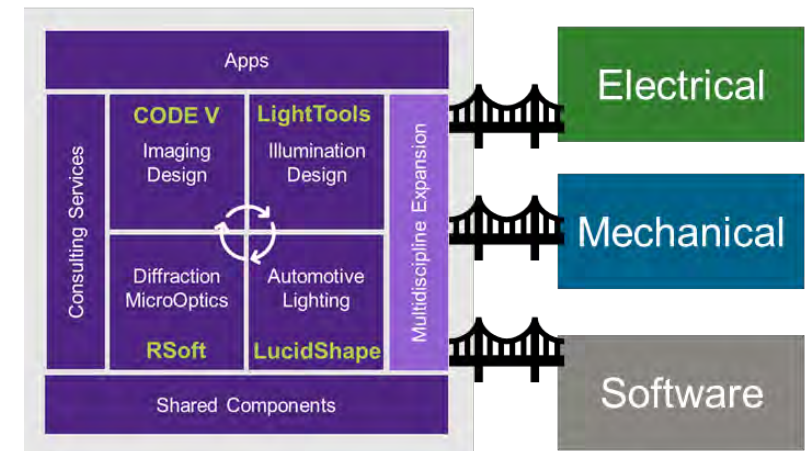
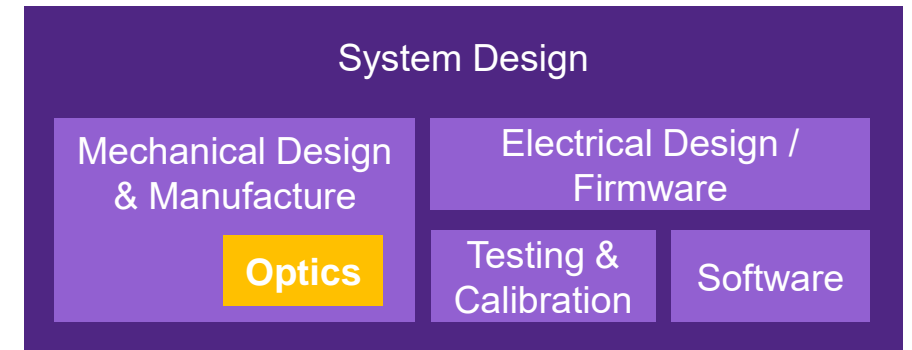
- 카메라는 여러 공급 업체에서 설계하고 조립한 많은 구성 요소로 이루어져 있습니다.
- Synopsys 광학 솔루션 그룹에서 제공하는 광학 솔루션은 시스템 수준 설계에서 데이터를 정렬하고 시뮬레이션을 수행 하도록 지원합니다.
- 이 프리젠테이션에서는 제품 관리자의 관점에서, Synopsys 광학 솔루션을 사용하여 어떻게 카메라의 광학 성능을 평가 하고 시뮬레이션하는지에 대한 방법을 소개합니다.



# 성공적인 시스템 설계를 위한 필수 요소

## Success in System Design

- 일반적으로 제품의 일부로서 카메라는 핵심 기능을 담당하며 광학 관련 요소 및 품질은 시스템 설계 시 매우 중요한 문제입니다.
- 엔지니어가 시스템을 설계할 때, 아래의 내용을 고려해야 합니다:
  - 렌즈 성능 평가
  - 아래의 내용을 포함한 미광 분석
    - 렌즈/매커니즘 반사 및 산란으로 인한 미광
    - 센서 내 미세구조로부터 생기는 반사
  - 이미지 품질 시뮬레이션
- Synopsys 광학 솔루션을 사용하여 설계자는 시스템의 광학 성능을 효율적으로 확인할 수 있습니다.



# 렌즈 성능 평가

## Lens Performance Evaluation

- 이미지 센서

- a. 종류 Color CMOS
- b. 해상도 4224 x 3136 (Active Area 3800 x 2828)
- c. 픽셀 크기 1.12 microns
- d. 감도 영역 4.73 x 3.51 mm (full diagonal ~6-mm, Active Area 4.256 x 3.168 mm)

- 대물 렌즈

- e. 초점 거리 Fixed, 6.0 mm
- f. f/넘버 Fixed aperture, f/3.5
- g. 스펙트럼 대역 656, 589, 430 nm with 1,2,1 weighting
- h. 반시야각 26.5°
- i. 기하학적 왜곡 < 4%
- j. 선예도 Radial & Tangential MTF

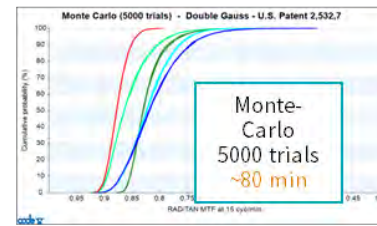
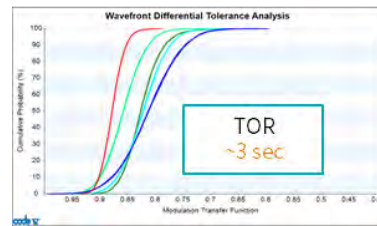
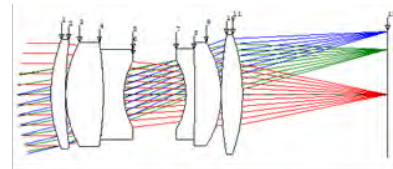
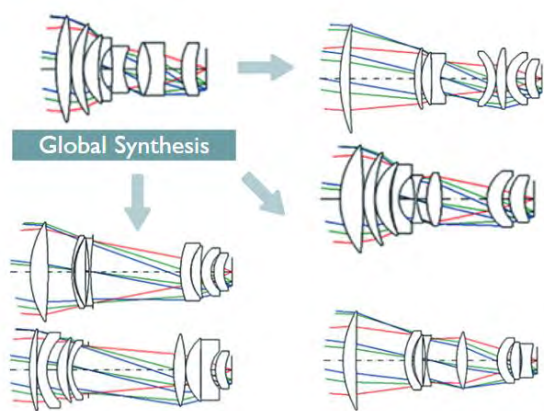
Low freq., 56 lp/mm	> 50%
High freq., 224 lp/mm	> 25%

- j. 비네팅 Corner relative illumination > 60%
- k. 투과율 Lens alone, > 80%
- l. 렌즈 매수 (1-4) made from common glasses or plastics

# CODE V를 활용한 렌즈 성능 평가

## Lens Performance Evaluation Using CODE V

- CODE V는 렌즈 설계에 활용되는 매우 강력한 도구입니다.
  - 최적화, 공차 및 이미지 시뮬레이션을 신속하게 수행할 수 있는 다양한 기능 보유



M100 Hubble Space Telescope (HST)

IMS result using actual conic constant of primary  
Matches images taken before corrective optics  
(461x461 original image)

IMS result using desired conic constant of primary  
Matches images taken after corrective optics

- 또한 CODE V는 렌즈 성능을 평가하는 강력한 도구입니다.
  - SpecBuilder, Hidden Lens Module (HLM), 이미지 프로세스를 위한 매크로 함수 및 COM API 보유



# CODE V를 활용한 렌즈 성능 평가

## Lens Performance Evaluation Using CODE V

- 렌즈를 평가하는 엔지니어는 보통 렌즈 제조사로부터 자세한 데이터를 얻을 수 없을 때가 많습니다. 그러나 원하는 렌즈 성능을 검증하기 위해 "CODE V SpecBuilder"의 데이터를 렌즈 제조사에 제공할 수 있습니다.

Image sensor

- Type
- Resolution
- Pixel size
- Sensitive area

Objective Lens

- Focal length
- f/number
- Spectral Band
- Semi-Field of View
- Geometric Distortion
- Sharpness
- Vignetting
- Transmission
- Number of Elements

Color CMOS  
4224 x 3136  
1.12 microns  
4.73 x 3.51 mm (full diagonal -6mm)

Fixed, 6.0 mm  
Fixed aperture, f/3.5  
656, 589, 430 nm with 1,2,1 weighting  
26.5°  
< 4%

Radial & Tangential MTF

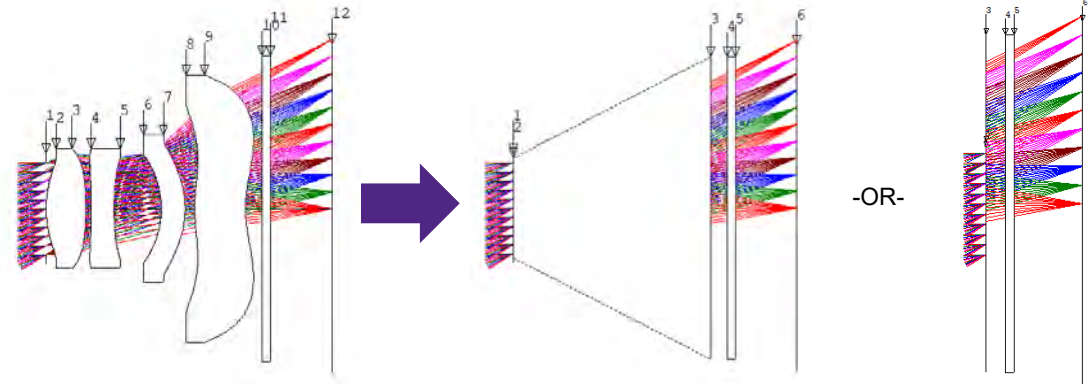
Low freq., 56 lp/mm > 50%  
High freq., 224 lp/mm > 25%

Corner relative illumination > 80%  
Lens alone, > 80%  
(1-4) made from common glasses or plastics

Specifications and Goals Table

Label	Name	Goal Mode	Target	Value	Notes
EFL	Effective Focal Length (mm): individual values over Z1 F1; direction - mean of X & Y	in the range (inclusive)	5.5000, 6.5000	5.9553	
F/#	F-number (First Order): individual values over ZA F1; direction - mean of X & Y	equal to	3.5000	3.5000	
CODE V Model Attribute - System Units		equal to	Millimeters	Millimeters	
FOV	Field of View Semi-FOV, deg: individual values over ZA; direction - Y	in the range (inclusive)	23.4000, 26.5000	23.9635	
MTF@50p	MTF (Sine Wave, at 56.000 cycles/mm or cycles/arcsec units): individual values over ZA FA DA; azimuth - 0 deg	greater than or equal to	0.5000	0.6104, 0.8493	
MTF@50p	MTF (Sine Wave, at 56.000 cycles/mm or cycles/arcsec units): individual values over ZA FA DA; azimuth - 90 de	greater than or equal to	0.5000	0.1610, 0.8493	
MTF@24p	MTF (Sine Wave, at 224.000 cycles/mm or cycles/arcsec units): individual values over ZA FA DA; azimuth - 0 de	greater than or equal to	0.2500	0.0039, 0.4175	
MTF@24p	MTF (Sine Wave, at 224.000 cycles/mm or cycles/arcsec units): individual values over ZA FA DA; azimuth - 90 d	greater than or equal to	0.2500	0.0039, 0.4175	
Distortion	Distortion (magnitude, percent): individual values over ZA FA; uncalibrated distortion	less than or equal to	-0.0000	0.0000, 0.4802	
RI	Relative Illumination (percent): individual values over ZA FA	greater than or equal to	60.0000	86.4099, 100.0000	
Total Track	Overall Length to Image (mm): individual values over ZA	less than or equal to	-0.0000	1.7000	
BFL	Back Focal Length	greater than or equal to	0.5000	0.7000	
microlens ACI	ACI of Image Sensor	less than or equal to	25.0000	20.3896	
CODE V Model Attribute - Wavelength					
	Wavelength (nm): W1	equal to	656.0000	656.0000	
	Wavelength (nm): W2	equal to	589.0000	589.0000	
	Wavelength (nm): W3	equal to	430.0000	430.0000	

- 또한, 자체적으로 성능을 확인할 수 있도록 "Hidden Lens Module" (HLM) 을 사용하여 민감한 정보를 제외한 데이터를 제공해줄것을 렌즈 제조사에 요청할 수 있습니다.

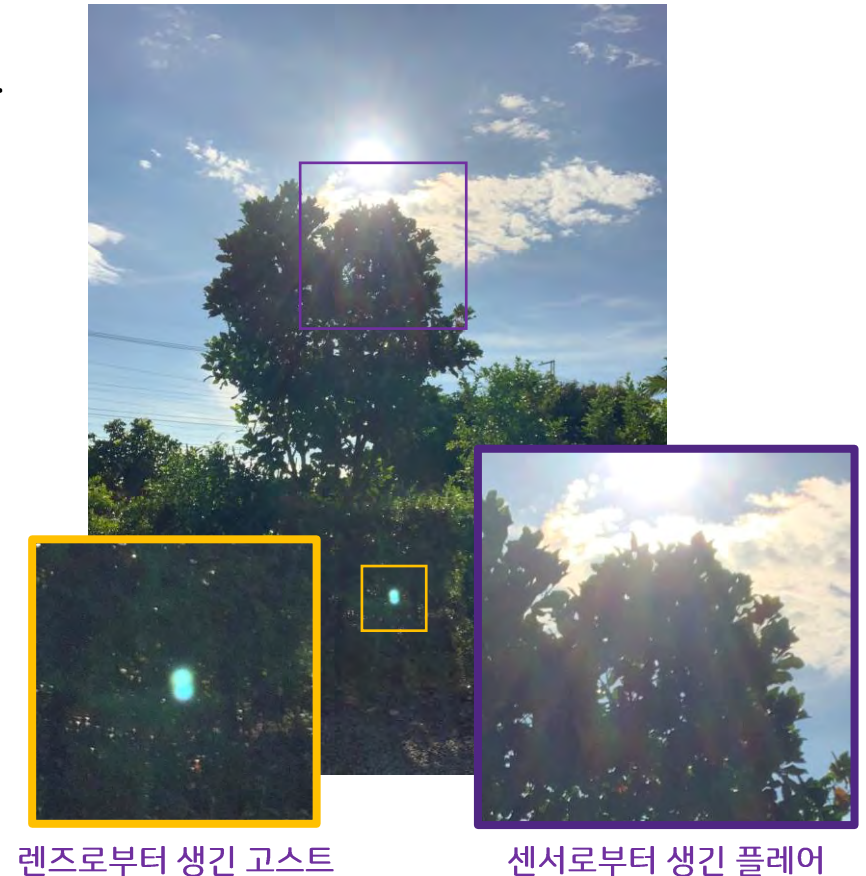


# 미광 분석

## Stray Light Analysis

- 미광은 광학 시스템에서 발생하는 빛으로, 설계 시 의도하지 않은 불필요한 빛입니다.
- 광원의 의도된 경로와 다른 경로를 따르는 경우에 발생할 수 있습니다.
- 또는 다른 광원에서 발생할 수도 있습니다.
  - 카메라의 이미지 포맷 (센서) 렌즈는 직사각형 또는 정사각형이며 원형 렌즈는 모든 시야각을 커버하도록 설계되었습니다.

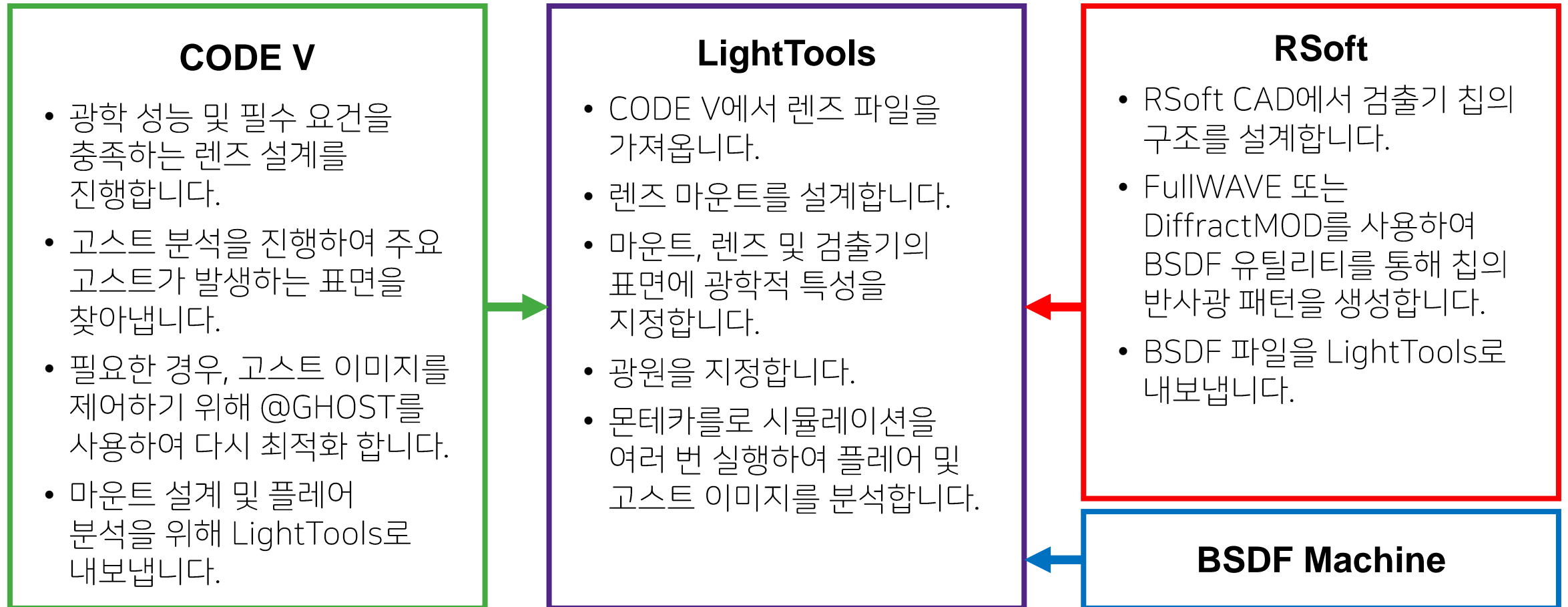
따라서 핫스팟은 이미지 포맷을 벗어나지만 여전히 시야각 안에 있을 수도 있습니다.



# 미광 분석 순서

## Stray Light Workflow

- 아래는 Synopsys 광학 솔루션을 활용하여 카메라 시스템의 미광 분석을 하기 위한 일반적인 분석 순서입니다.

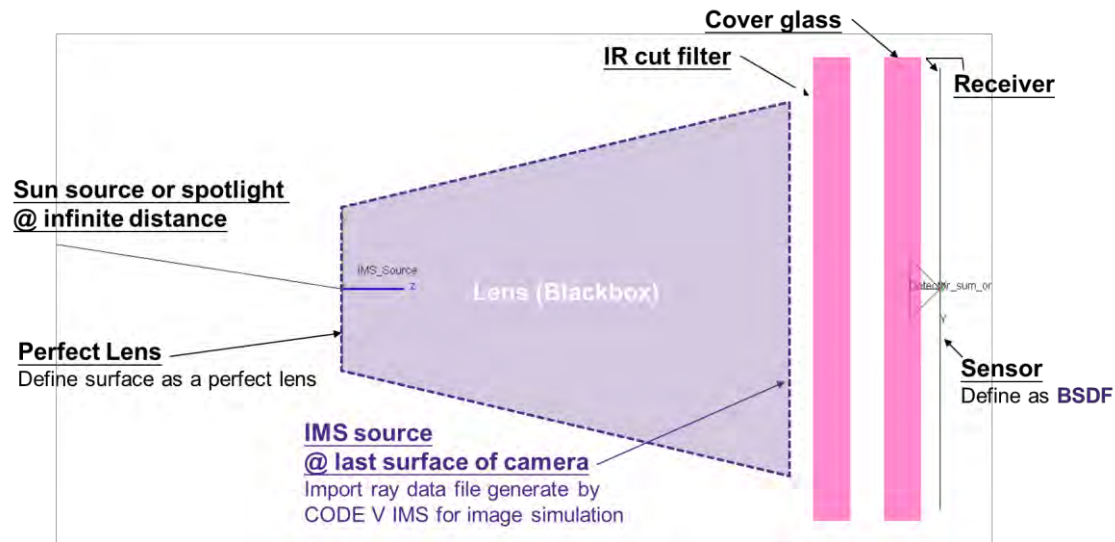




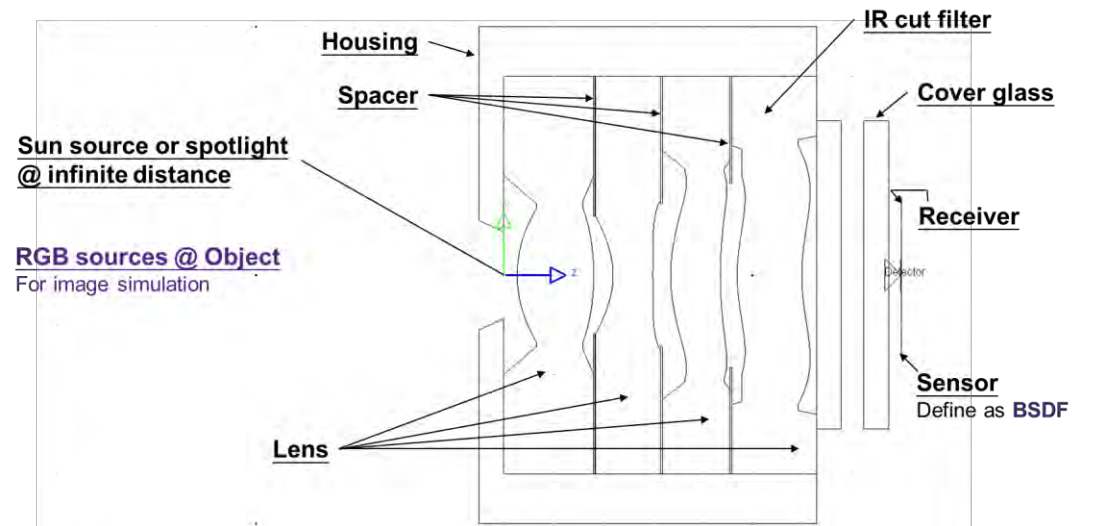
# 렌즈를 포함/미포함할 때의 LightTools 모델

## LightTools Models with/without Lens

- 시스템 설계 시 렌즈 정보를 얻지 못할 수도 있지만 렌즈와 센서 사이의 미광을 분석할 수 있습니다.



- 렌즈 설계자가 완성된 렌즈 구조를 생성하여 상세한 미광 분석을 진행할 수 있습니다.

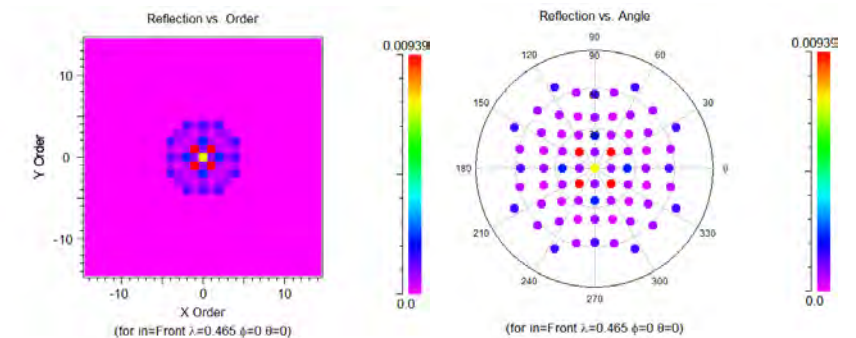
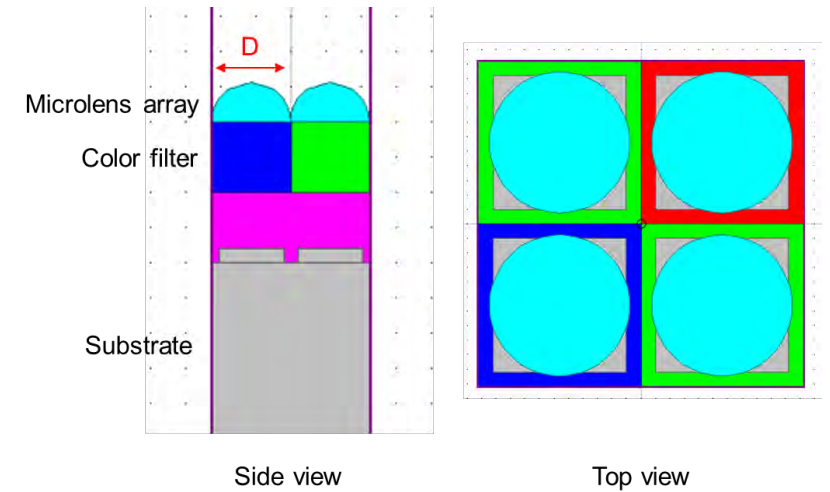


렌즈와 시스템을 설계하는 엔지니어는 모두 센서의 "반사된 산란 정보" (BSDF 데이터)를 가져와야 합니다.  
BSDF 데이터를 얻을 수 있는 두가지 방법 : 시뮬레이션 된 BSDF 또는 측정된 BSDF

# RSoft를 활용한 BSDF 시뮬레이션

## Simulation BSDF Using RSoft

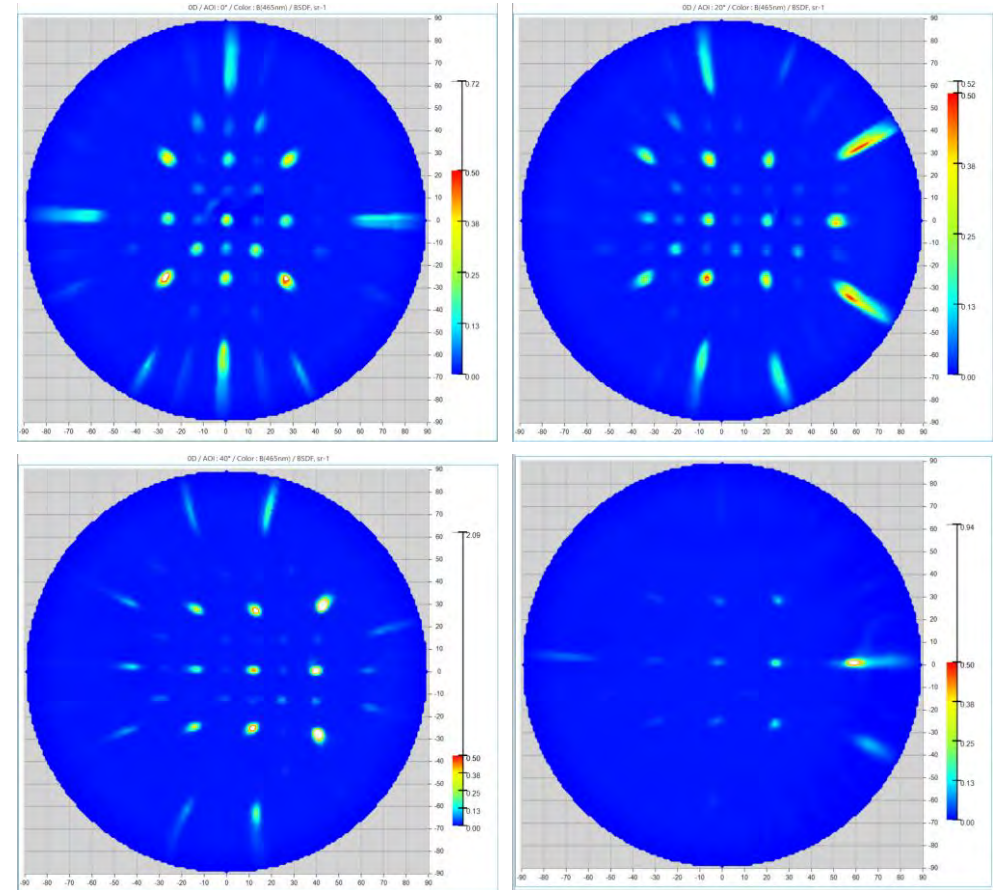
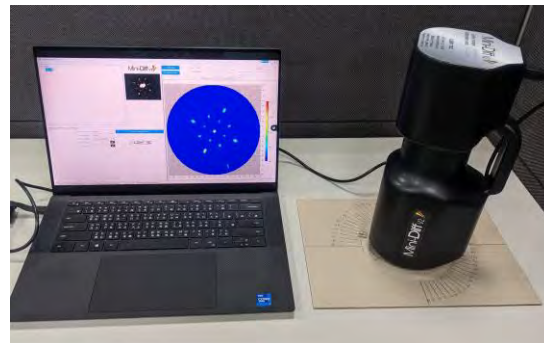
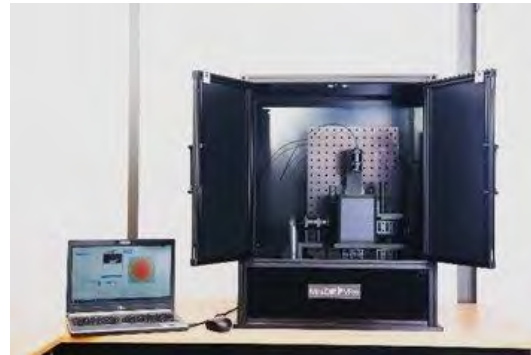
- 반도체 검출기를 사용하는 카메라의 미광 분석에서 가장 중요하게 고려해야 할 것 중 하나는 검출기 표면 자체에서 반사되는 빛입니다.
  - 소형 검출기 구조는 광선 추적만으로는 정확하게 모델링 할 수 없는 회절 패턴을 생성합니다.
- RSoft FullWAVE 또는 DiffractMOD 는 검출기 구조에서 반사광 패턴을 정확하게 모델링한 다음, 해당 정보를 양방향 산란 분포 함수 (BSDF)로 내보낼 수 있습니다.
  - RSoft BSDF Utility 활용



# Mini-Diff / REFLET을 활용한 BSDF 측정 데이터

## Measured BSDF Using MiniDiff / REFLET

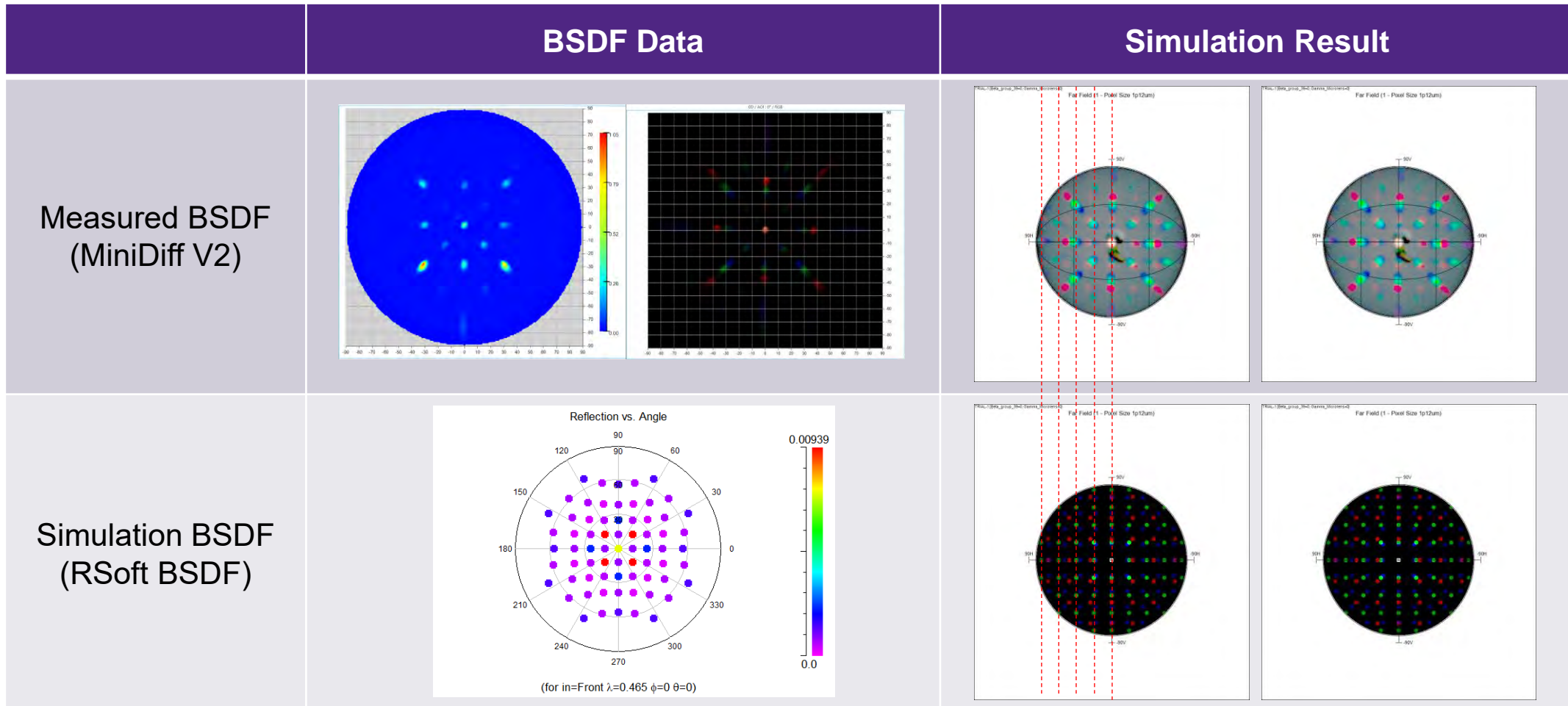
- BSDF 측정 장비는 센서 미세 구조에서 나타나는 회절로 인한 산란 현상을 관측 및 측정할 수 있습니다.



# 측정된 BSDF & 시뮬레이션에서 얻어낸 BSDF

## Measured BSDF & Simulation BSDF

- 측정된 BSDF와 시뮬레이션에서 얻어낸 BSDF의 데이터 비교 및 센서의 매개변수 최적화



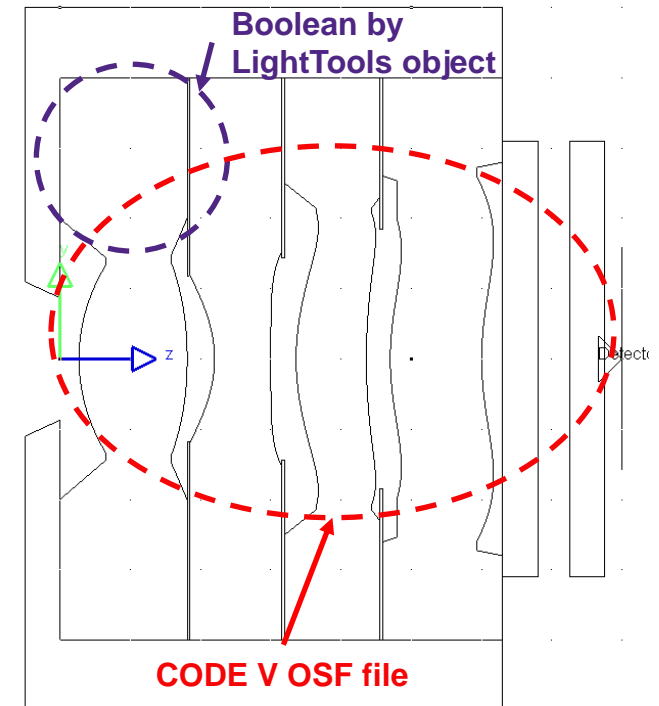
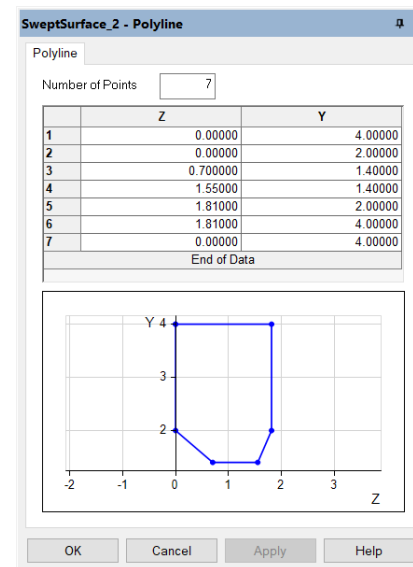
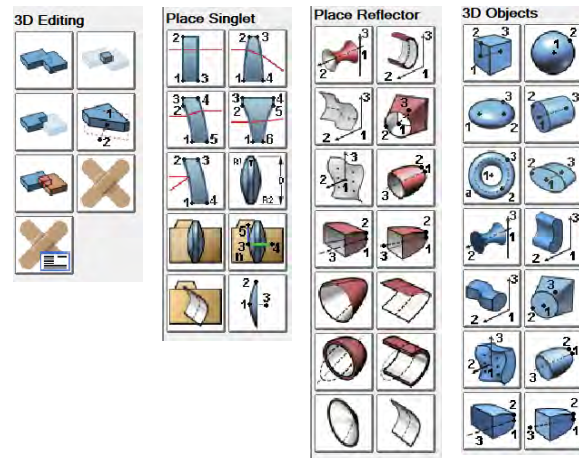
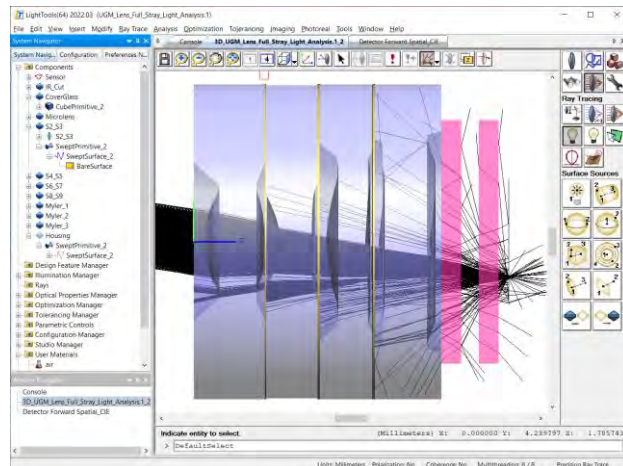


# LightTools를 활용한 미광 분석

## Stray Light Analysis Using LightTools

### - 렌즈 마운트 설계

- LightTools는 파라메트릭 3D 형상을 생성할 수 있는 CAD 환경을 제공합니다.



- LightTools의 SolidWorks Link 모듈을 활용하여 파라메트릭 3D 형상을 생성할 수 있습니다.
- SAT, STEP, IGES 및 CATIA V4, V5 포맷을 불러올 수 있습니다.

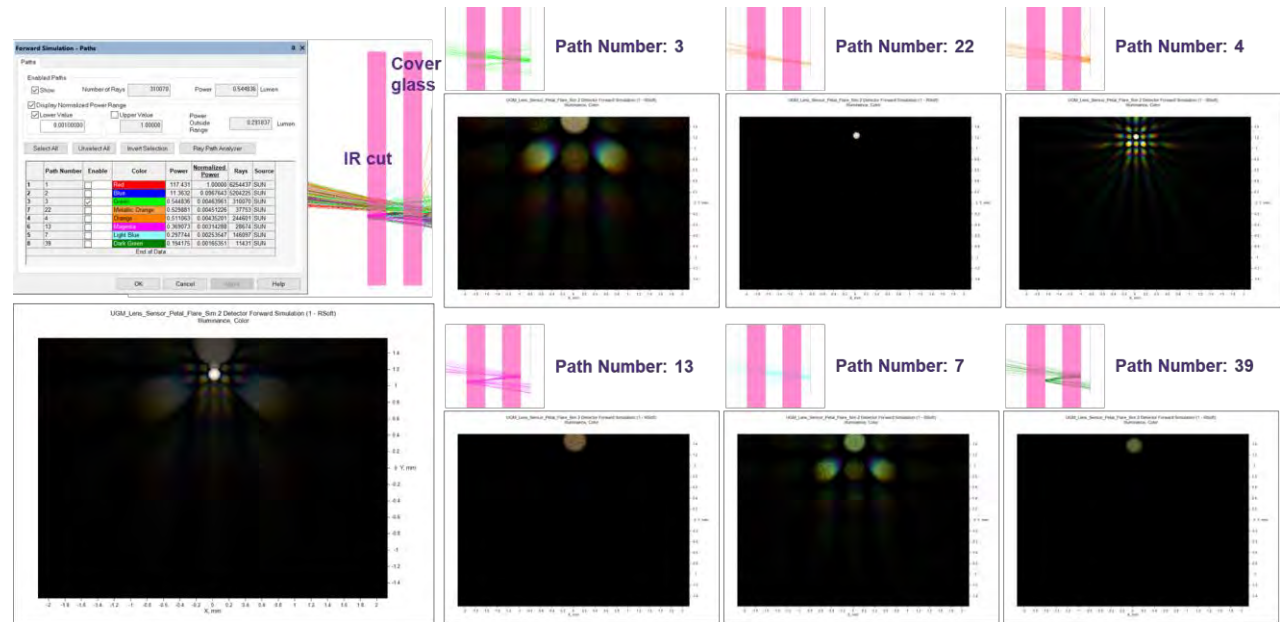
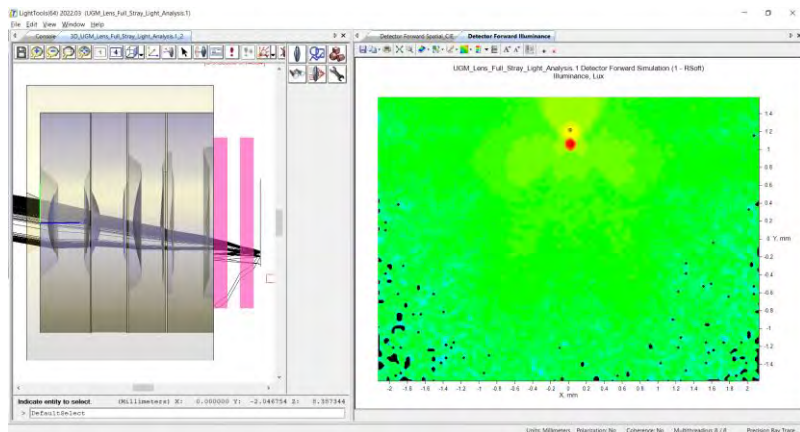


# LightTools를 활용한 미광 분석

## Stray Light Analysis Using LightTools

### - 광 경로 찾아내기

- LightTools의 Ray Path 기능은 카메라 미광을 분석할 때 유용한 기능입니다. 이 기능은 광선이 시스템을 통과할 때 광선의 각 개별 경로를 기록해줍니다. 광원에서 종료 지점까지의 광선을 추적할 때 광선이 지나는 표면 순서 및 영역을 나타냅니다.
- 원하는 분석 영역에 대한 광 경로를 찾기 위해 Region Analysis를 활용할 수도 있습니다.

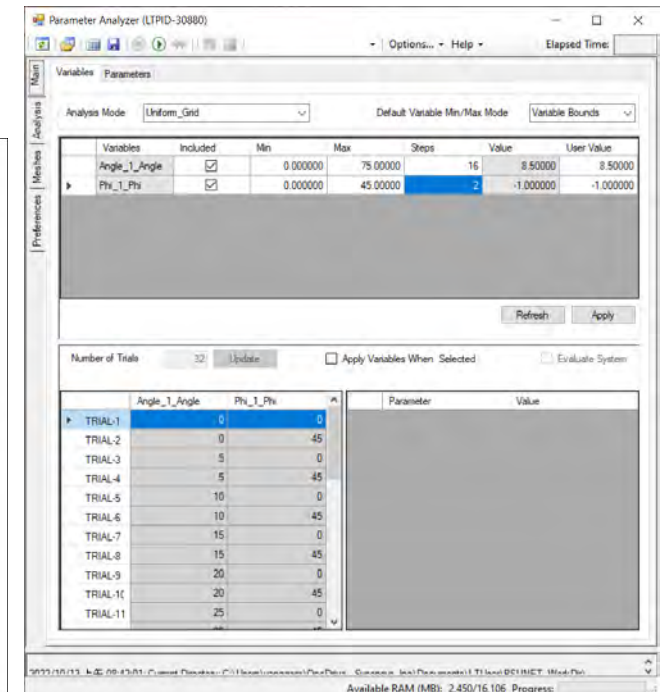
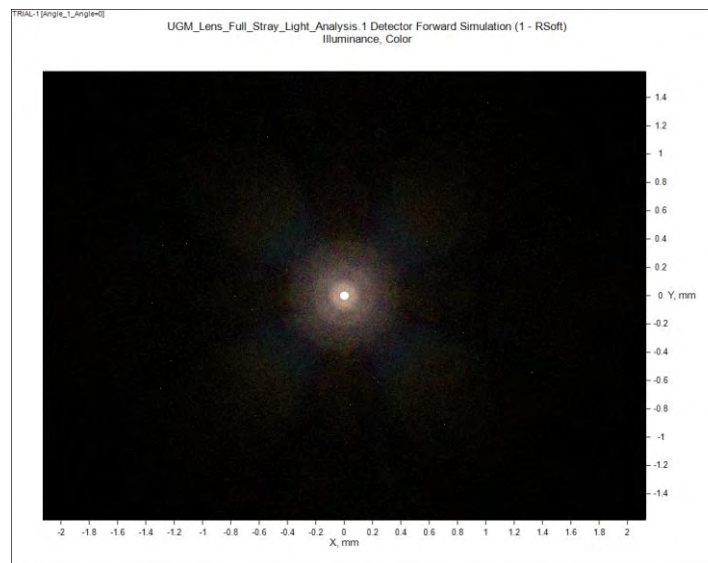
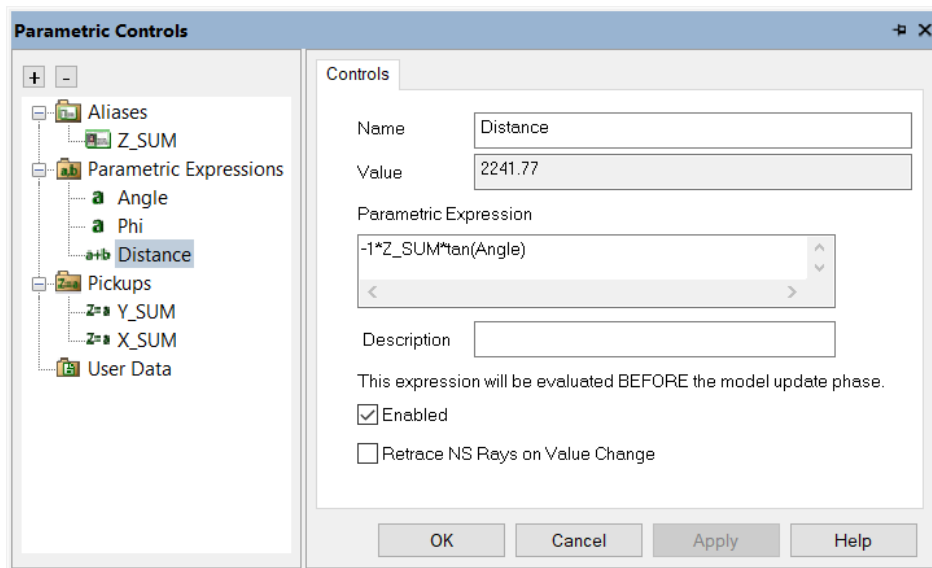


# LightTools를 활용한 미광 분석

## Stray Light Analysis Using LightTools

- 매개변수 제어 및 분석을 통한 효율적인 시뮬레이션

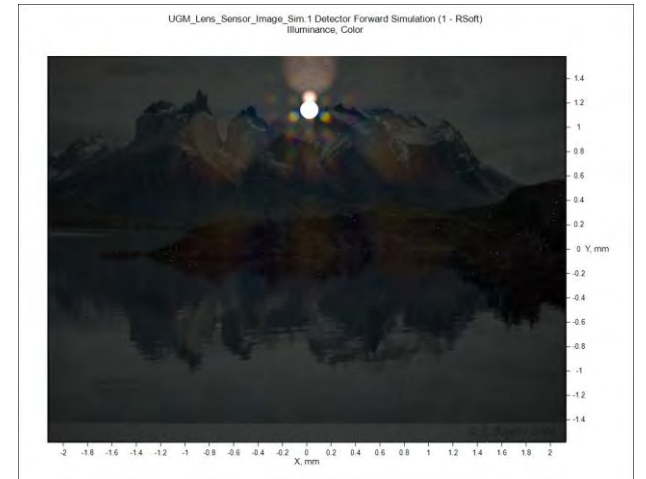
- 사용자는 함수를 정의하여 관련 매개변수들을 연결할 수 있습니다.
- Parametric Controls은 Parameter Analyzer를 통해 최적화 또는 자동 시뮬레이션을 진행할 때 매개변수를 최소화하고 시간을 절약할 수 있는 매우 강력한 기능입니다.



# 이미지 시뮬레이션 & 이미지 프로세스

## Image Simulation & Image Process

- 이미지 시뮬레이션은 광학 성능을 이해하는 데 도움이 됩니다. 물체에 2D/3D 데이터를 입력하고 광학 시스템을 통해 이미지를 시뮬레이션합니다.
  - CODE V는 입력 객체의 픽셀과 컨볼루션 된 광학 시스템에서 PSF 배열을 계산합니다. 그리고 왜곡은 주광선 추적으로부터 결정됩니다.
  - LightTools는 몬테카를로 광선을 계산하여 렌즈, 매커니즘, 필터 및 센서의 최종 지점을 통과합니다. 시뮬레이션 결과에는 기하학적 광학 수차, 상대 조도 및 미광이 포함됩니다.
- 디지털 카메라에는 이미지를 처리하는 알고리즘이 있기 때문에 이미지 프로세싱이 필요합니다.
  - CODE V는 이미지 프로세스에 필요한 매크로 함수 및 감마 앱을 제공합니다.
  - LightTools는 True Color Chart에서 감마 보정 및 노출을 제공합니다.

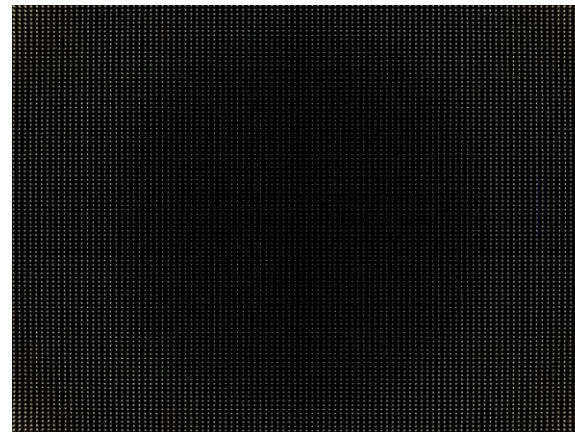
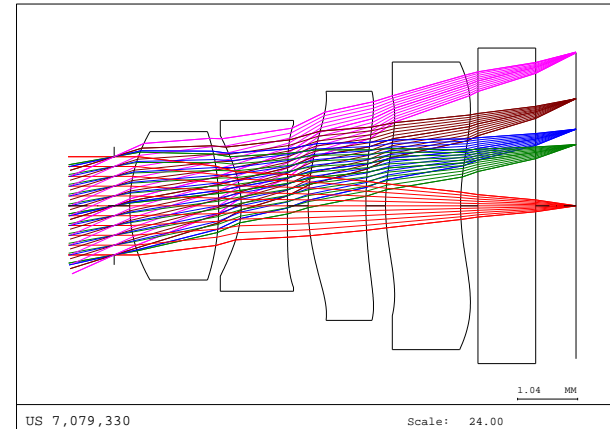




# 이미지 시뮬레이션 - CODE V

## CODE V Image Simulation (IMS)

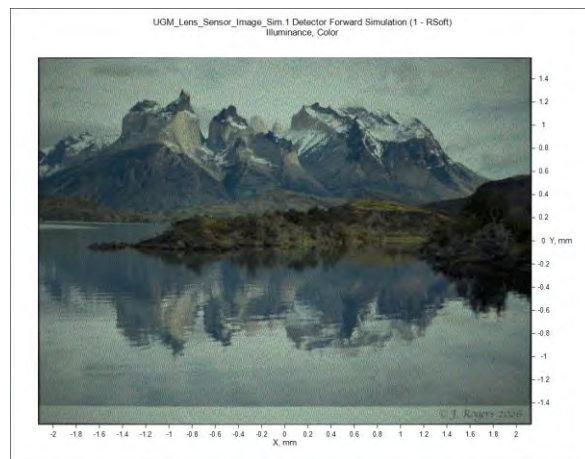
- IMS는 아래 내용을 포함합니다
  - 회절 및 수차로 인한 흐림
  - 이미지 왜곡/방향, 키스톤 왜곡
  - 세로 및 가로 색상
  - 상대 조도
  - 검출기 사이즈로 인한 흐림



# 이미지 시뮬레이션 - LightTools

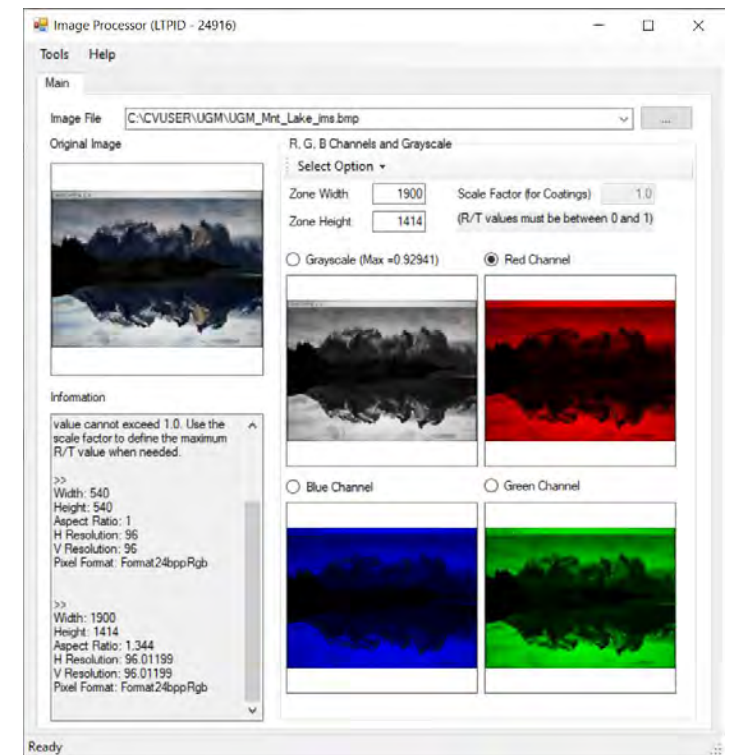
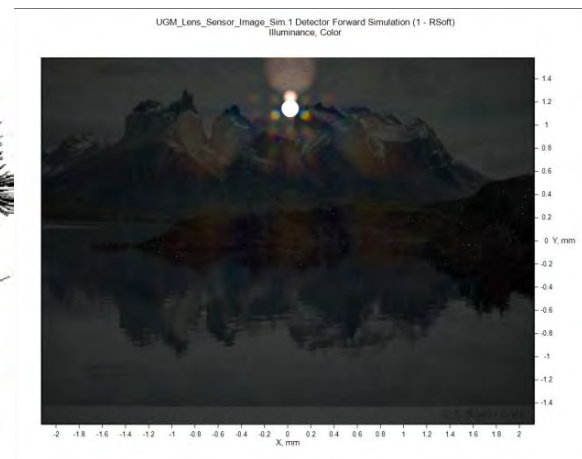
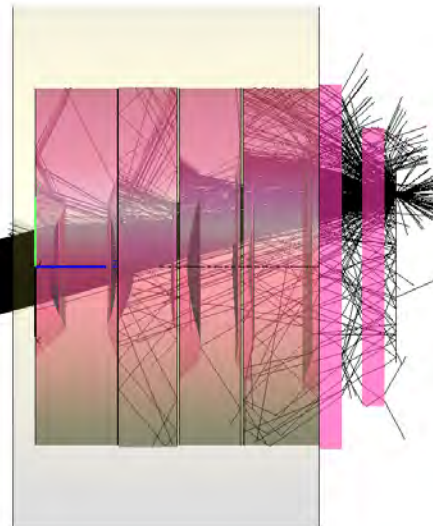
## LightTools Image Simulation

- LightTools는 미광을 분석할 수 있을뿐만 아니라 이미지 품질을 시뮬레이션 하기 위해 이미지를 광원으로 넣을 수도 있습니다.
- **Image Processor** 유틸리티 및 광원의 **Aim Area**는 설계자가 빠른 설계 및 광선 추적을 할 수 있도록 지원합니다.



**RGB sources @ Object**

**Sun sources @ infinite**





# 시뮬레이션 결과 속도 향상을 위한 하이브리드 작업

## Hybrid Work to Speed Up Simulation Result

- Intel i7-118G7 with 16G Memory Laptop 사용

미광 시뮬레이션 + 이미지 처리	LightTools 이미지 시뮬레이션
	
5천만 개의 광선을 사용한 LightTools 미광 시뮬레이션 (3.83G, 28분 소요) + CODE V 이미지 프로세싱 (4초 소요)	1억 개의 광선을 사용한 LightTools 시뮬레이션 (5.6G, 28분 소요) (이미지 시뮬레이션과 미광 시뮬레이션에 각각 5천만 개의 광선 사용)

### Recommend

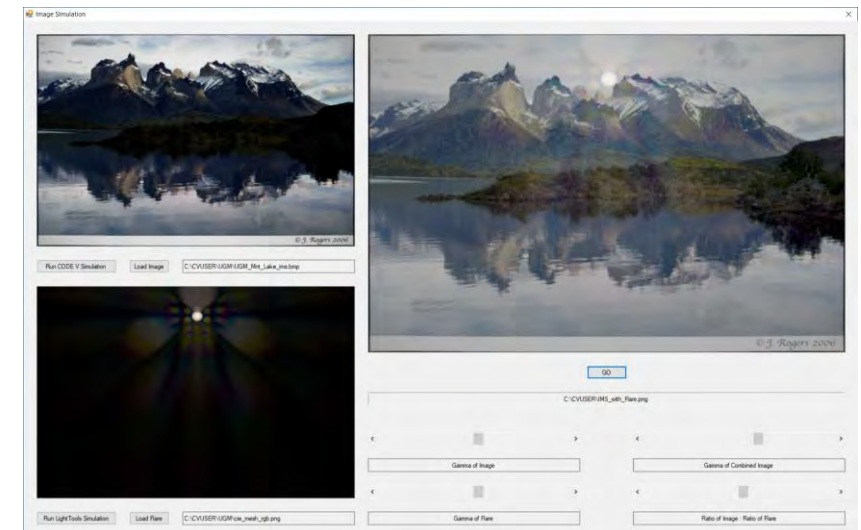
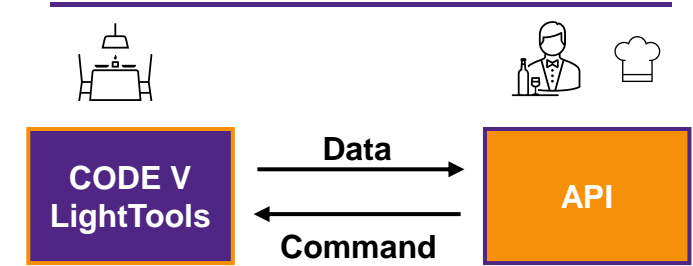
- COM API를 사용하여 LightTools의 다양한 FOV에서 플레어/고스트를 자동으로 반복 시뮬레이션하고 메시 결과를 이미지로 저장합니다.
- 그 이후, CODE V 이미지 처리 기능을 사용하여 미광이 많은 IMS 이미지를 시뮬레이션합니다.
- 특히 필터에 의한 색차 분석이 필요할 경우 LightTools에서 시뮬레이션을 진행합니다.

# COM API를 통한 시뮬레이션 효율 향상

## COM API - Accelerating Simulation Efficiency

- COM API의 활용을 통해 Synopsys OSG 제품을 다른 앱과 함께 사용할 수 있는 효율적인 유틸리티를 만들 수 있습니다.
- 예: VB API에 의한 유틸리티 프로그램
  - CODE V IMS에서 이미지 불러오기 또는 특정 렌즈에서 IMS 실행
  - LightTools 시뮬레이션 시 이미지를 불러오거나 LightTools 모델을 직접 시뮬레이션 진행
  - CODE V Macro PLUS를 사용한 이미지 처리 수행
- MATLAB, Python 등과 같은 전문 이미지 처리 도구를 통해 이미지 처리를 할 수 있습니다.

### COM: Component Object Model



# 다양한 시나리오 및 시뮬레이션

## Simulate Different Scenarios

- COM API를 통해 감마와 에너지 비율을 카메라 매개변수로 (셔터, E.V., ISO, F/# 등) 가중치를 부여하여 다양한 상황에서 실제 사진을 시뮬레이션 할 수 있습니다.



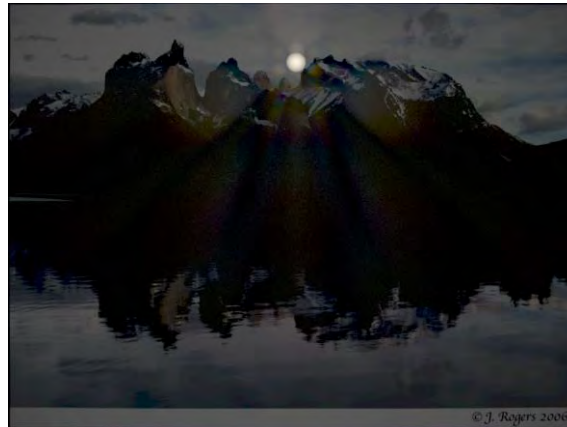
IMS gamma	1
LT flare gamma	1
Energy factor	1
Display gamma	2.5



IMS gamma	1
LT flare gamma	0.4
Energy factor	10
Display gamma	2.5



IMS gamma	1
LT flare gamma	1
Energy factor	10
Display gamma	2.5



IMS gamma	0.4
LT flare gamma	0.4
Energy factor	10
Display gamma	2.5

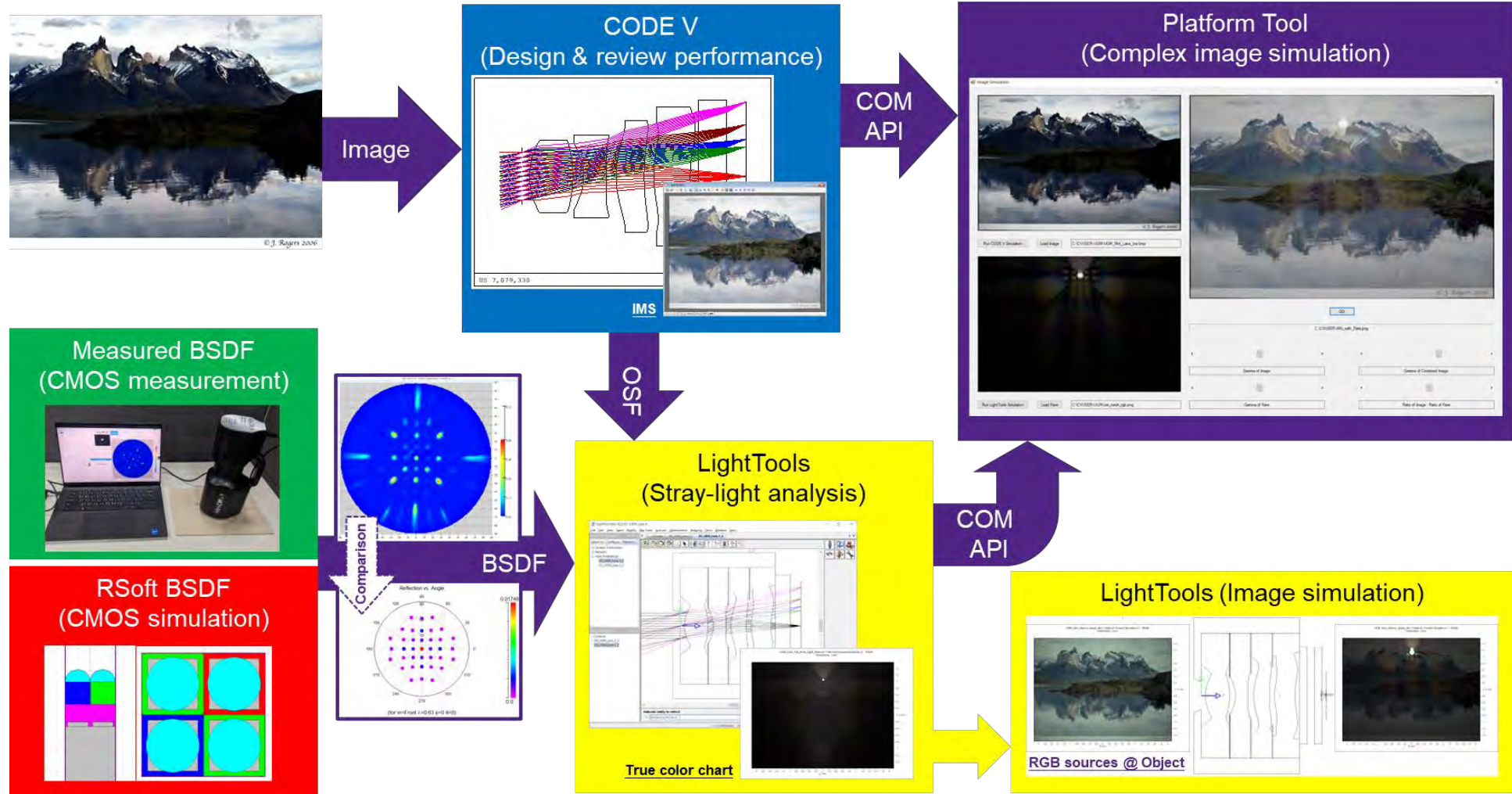


Change picture and sun position



# 귀사의 카메라 광학 설계를 최적화 하시려면 아래로 문의하십시오.

[optics@synopsys.com](mailto:optics@synopsys.com)



**Thank You**

