

Optical Measurement Systems

BSDF Measurement Equipment

측정한 재료의 산란 데이터를 소프트웨어 시뮬레이션에
적용하고 최적의 재료 선택을 하기 위한 BSDF 측정장비

Introduction 광학 측정 솔루션 소개

Synopsys & Scattering Measurement

프랑스 남부 이예르(Coted'Azur)에 위치한 Synopsys 프랑스 지사에서는 BSDF(산란 분포) 측정장비를 직접 개발하며, 제작한 장비를 통해 BSDF 측정 서비스를 제공합니다. 광학 분야의 전문성을 보유한 Synopsys는 빛의 산란 측정 데이터를 제공함으로써 수년동안 많은 프로젝트를 수행해왔으며, 직관적이고 정확한 데이터를 제공하여 광학 설계자를 돕기 위해 광학 설계 소프트웨어의 BSDF Library를 구축하였습니다.

Synopsys는 광학 분야의 전문성과 측정 연구실에서 제공하는 정확한 측정 서비스, 그리고 직접 개발한 장비를 통해 광학 시장의 여러 고객에게 최상의 측정 데이터를 제공합니다.

What is BSDF? BSDF 정의

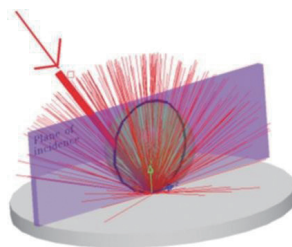
Bidirectional Scattering Distribution Function

1991년도에 Paul Heckbert에 의해 정의된 것으로, 빛이 특정 표면에 의해서 산란되고 흩어지는 방법을 설명하는 함수입니다. 일반적으로 BRDF(양방향 반사율 분포 함수)와 BTDF(양방향 투과율 분포 함수)로 각각 나누어져 반사와 투과 요소를 포함합니다.

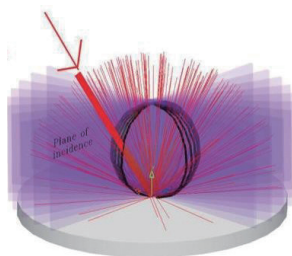
$$BSDF(\theta_d, \varphi_d, \theta_i, \varphi_i, \lambda) = \frac{dL(\theta_d, \varphi_d, \lambda)}{dE(\theta_i, \varphi_i, \lambda)} \quad \text{unit : sr}^{-1}$$

빛이 어떻게 반사되고 투과되어지는지 파악하는것은 광학 설계에 필요한 재료 선택에 매우 중요합니다. BSDF는 반사와 투과 요소를 모두 포함하며, 단면 또는 다수의 면을 스캔하여 2D 혹은 3D로 측정합니다. BSDF 측정장비는 특정 표면에서 산란되는 빛을 2D/3D 공간상에서 분석하는 산란 측정 장비입니다.

BRDF

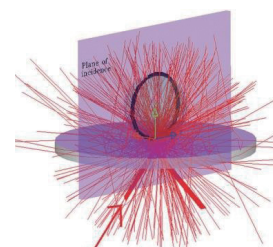


한개의 면을 스캔하여 2D BRDF 측정

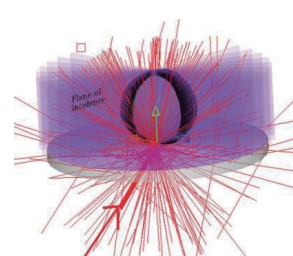


다수의 면을 스캔하여 3D BRDF 측정

BTDF



한개의 면을 스캔하여 2D BTDF 측정



다수의 면을 스캔하여 3D BTDF 측정

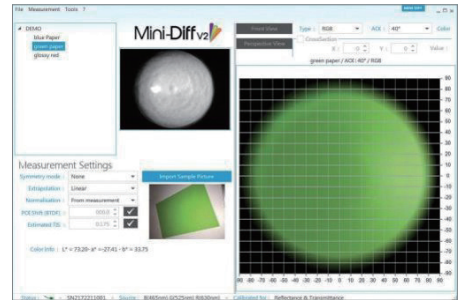
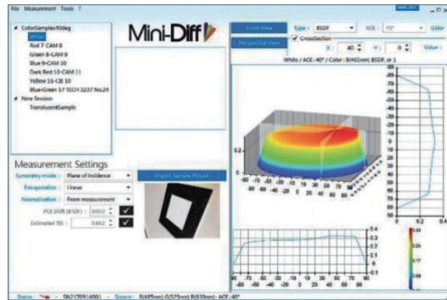
Mini-Diff V2 제품 소개

Mini-Diff 제품 라인에는 산란 표면을 특성화하는 데 사용되는 카메라 기반 3D 반구형 산란 측정 장비가 포함됩니다. BRDF 및 BTDF 측정은 물론 RGB 색상과 근적외선 파장에 대한 Total Integrated Scattering (TIS) 정보를 제공합니다. Mini-Diff는 반구형 산란 강도를 이미지화하고 색상 데이터를 전달합니다.

Mini-Diff V2는 광에너지 분포를 빠르고 정확하게 측정할 수 있는 휴대용 제품이며, BSDF는 표면을 특성화하는 데 사용될 수 있습니다.

기능 및 특징

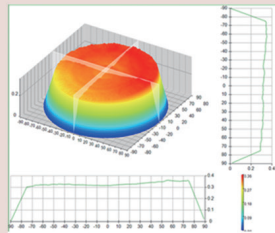
- 장비 내부에 카메라 센서를 기반으로 한 소형 장비
- RGB 색상의 고정된 LED 광원으로 BSDF와 TIS 측정
- 휴대하기에 용이
- BRDF는 4개의 입사각(0°, 20°, 40°, 60°)에서 측정
- BTDF는 4개의 입사각(120°, 140°, 160°, 180°)에서 측정
- 교정 후 측정 가능 시간이 더 장시간 유지되며 측정 데이터 정확도 향상
- LightTools, Zemax, TracePro, SPEOS 등의 소프트웨어에서 데이터 호환
- 적은 미광과 각도 보정을 통한 결과 직관성
- 다양한 차트 디스플레이 제공 : Angular Resolved Scatter, Color & RGB Plot, 3D Cross Section



데이터 적용사례

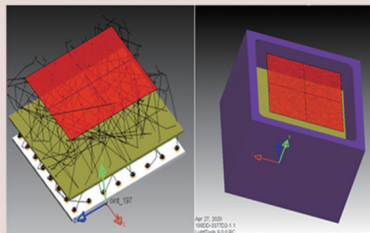
측정결과 적용사례 : QLED 디스플레이

① BSDF 측정 장비로 측정된 산란 데이터



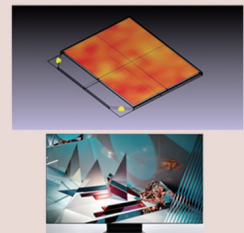
입사 각도별 반사/투과 Intensity 분석을 통한 3D 산란 데이터 분포 도출 (Acktar 3% 반사 샘플 측정 데이터)

② 측정된 BSDF 데이터를 광학 소프트웨어에 적용한 결과



측정된 BSDF 데이터를 광학 소프트웨어의 시뮬레이션에 적용하여 재료 적절성 판단

③ QLED 디스플레이 최종 설계에 적용한 결과



최적의 재료를 적용하여 개발 전 렌더링한 모습과 양산용 Prototype에 적용한 모습

Mini-Diff VPro 제품 소개

Mini-Diff VPro는 Mini-Diff의 실험실 버전입니다. 반사 및 투과 측정을 위해 입사각을 0°에서 60°까지 선택할 수 있습니다. 장비에는 AR 코팅 렌즈와 미광을 제거하기 위한 어두운 박스가 있습니다. 시스템에는 고품질 CMOS 센서가 포함되어 있으며 측정 안정성을 향상시키기 위해 온도가 제어됩니다. 측정 결과는 텍스트 형식으로 저장하거나 광학 소프트웨어 형식으로 내보낼 수 있습니다.

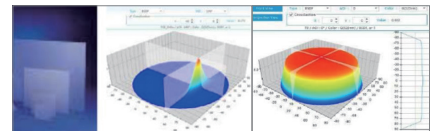
- RGB 색상의 광원으로 BSDF와 TIS 측정
- 반사와 투과의 색 데이터 측정
- 입사각이 0°에서 60°까지 1° 간격으로 자동 이동하여 더욱 정교한 산란 특성 파악
- 코팅된 AR 렌즈와 자체 암실을 통한 미광 제거
- 적정 온도를 유지 시켜주는 고사양의 CMOS 센서 포함
- 장비 교정 1번에 최대 12시간 동안 측정
- 각 해상도 0.5°의 정확한 결과 도출
- 생산 라인 제어



측정 분야

Reflective Measurements

- Mini-Diff는 여러 입사각과 세 가지 색상에 대한 BRDF를 빠르게 측정합니다.
- 측정된 상대 산란 강도 데이터는 텍스트 파일, 슬라이스 파일, 메시 형식, bsdf 형식, ABg 및 Gaussian / Lambertian 형태로 저장할 수 있습니다.
- Mini-Diff를 사용하면 입사각, 평행 및 수직 줄무늬 (이등방성 재료)에 대한 산란을 캡처할 수 있습니다.

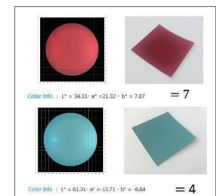


Transmissive Measurements

- TIS 값은 Mini-Diff 소프트웨어에 의해 추정됩니다. 이 기능을 사용하면 샘플을 디퓨저의 효율성과 직접 비교할 수 있습니다.
- Mini-Diff 제품을 사용하면 여러 입사각에 대한 BTDF를 빠르게 측정할 수 있습니다.
- “투과 모듈”은 Mini-Diff V2와 함께 옵션으로 제공되며, Mini-Diff VPro에는 용이한 샘플 배치를 위해 넓은 영역에 collimated LED가 포함됩니다.
- Mini-Diff 제품은 Diffuser의 BRDF 및 BTDF를 측정하며 (전면 및 후면) 조명 설계 소프트웨어에서 즉시 사용할 수 있는 BSDF 파일을 생성합니다.

Color Measurements

- Mini-Diff 제품에는 BRDF 및 BTDF에 사용되는 RGB 광원이 있으며 각 색상에 대한 BSDF 측정이 가능합니다.
- TIS 추정값을 통해 CIE L*a*b에서의 전체 색상을 추정할 수 있습니다.
- Mini-Diff 제품의 소프트웨어 내에서 RGB 3D BSDF를 볼 수 있습니다.



REFLET 180S 제품 소개

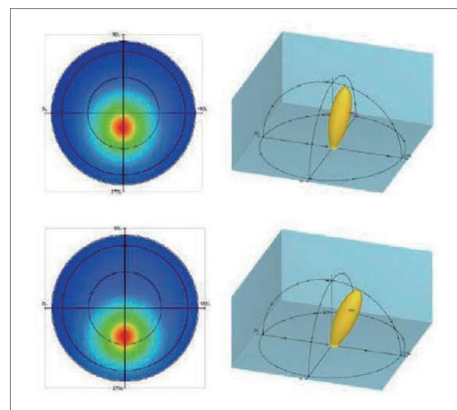
REFLET 180S는 모든 유형의 재료를 산란 특성화하기 위한 광학 시스템입니다. 산란 로브에 포함된 광 에너지 분포 또는 스펙트럼 구성을 빠르고 정확하고 쉽게 측정할 수 있습니다. REFLET 180S는 거칠기, 결함, 코팅 또는 페인트와 같은 검사 영역의 표면을 특성화합니다. 또한 이 시스템은 BRDF/BTDF를 측정하는데, 이는 표면이 3D 공간에서 들어오는 빛 산란 방식을 완벽하게 나타냅니다.



REFLET 180S

기능 및 특징

- 3D 공간으로 들어오는 빛의 산란 형태 파악
- 모든 종류의 재료와 물체 표면 특성 분석
- 광 에너지 분포와 스펙트럼 구성 측정
- 미광이 없어 이상적이고 정확한 결과 도출
- 표면의 거칠기, 결함, 코팅, 페인팅의 종류 파악
- 표면의 패턴이 일정하지 않은 재료의 산란 측정
- 포토 리얼 렌더링을 위한 정확한 스펙트럼 특성 파악
- 자동차 헤드램프 설계용 반사체 재료 특성 파악
- 투과 유리의 산란 특성 파악



3D 스캔 측정 후
LightTools에서 시뮬레이션 한 결과

측정 목적 및 효과

- 제품 개발 양산 시 재료의 표면에서 반사 및 산란되어지는 빛의 분포를 사전에 예측
- 엔지니어가 최적의 재료를 선택을 할 수 있도록 도움
- 시뮬레이션 진행 시 사실적인 렌더링을 통한 프로토타입 검증
- 공정 시 나타날 수 있는 재료 선택에 대한 오류 최소화

Technical Specifications	
Illumination	
Light Box	<ul style="list-style-type: none"> • Halogen 100W light box • Option: 6-position filter wheel (including R/G/B filters)
Spot Size on the Sample Surface	<ul style="list-style-type: none"> • Scattering configuration: Manually adjustable from Ø1 mm to Ø13 mm
Beam Aperture Angle	<ul style="list-style-type: none"> • Scattering configuration: Manually adjustable from ±0.15° to ±2.26°
Goniometer	<ul style="list-style-type: none"> Standard version: <ul style="list-style-type: none"> • 0°-180° motorized (REFLECTION & TRANSMISSION) • Angular resolution: selectable (0.01°/0.1°/1°/10°) • Positioning precision: 0.01°
Detection	
Integrated-flux	<ul style="list-style-type: none"> • Visible channel: 400 - 1000 nm, dynamic 109
Detector	<ul style="list-style-type: none"> • Infra red channel: 900 -1700 nm, dynamic 106 (option)
Spectrograph (option)	<ul style="list-style-type: none"> • Useful range: 420 - 900 nm • Spectral resolution: selectable (0.6 nm/1 nm/5 nm/10 nm)
Optical system	<ul style="list-style-type: none"> • Scattering configuration: 3 manually interchangeable optical blocs (2 to be chosen) Optical bloc 1 2 3 • Angular acceptance ± 2° ± 1.1° ± 0.04° Observed area size Ø14mm Ø8mm Ø6mm
Goniometer	<ul style="list-style-type: none"> • θ: - 90° to 90° motorized • φ: - 90° to 90° motorized • Angular resolution: selectable (0.01°/0.1°/1°/10°) • Positioning precision: 0.01°
Polarizer/ Analyzer Set (option)	<ul style="list-style-type: none"> • Rapid insertion • 0°- 90° manual rotation
Measuring Time	
180°—profile (option)	<ul style="list-style-type: none"> • "Integrated flux" mode: 45 s • "Spectrograph" mode: 45 s
Software	
Data Exchange	<ul style="list-style-type: none"> • Text file (ASTM) • BSDF format (imported in commercial software)

REFLET 180S 제품 소개

측정 가능 샘플

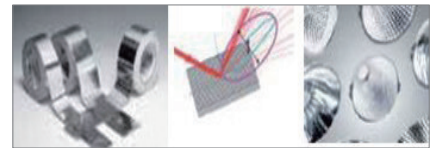
Diffuser

Diffuser의 반사와 투과 측정이 가능하며, Diffuser의 반사 및 투과 양상을 이해하는 것은 광학 시스템 설계에 사용되는 재료를 선택할 때 매우 중요합니다.



Aluminum

Reflector 재료는 입사면에 따라 매우 복잡한 양상을 보일 수 있습니다. REFLET 180S는 다방면의 입사면에서의 정확한 산란 측정 데이터를 제공합니다. 측정 가능한 범위는 이등방성 재료와 편광에 의존하는 재료도 포함됩니다.



Polished Optics

반사면(거울)과 투명한 표면(유리, 크리스탈)은 산란의 정도가 낮습니다. 이러한 표면은 높은 동적 감지 시스템이 필수적이며, REFLET 180S는 10^5 sr^{-1} 의 BRDF 측정을 지원하므로 매끄러운 면에 대한 산란 측정이 가능합니다.



Black Materials

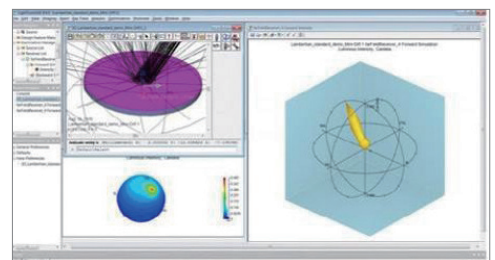
주로 항공 우주 산업에서 사용되는 흑백 재료 및 코팅은 측정이 어렵습니다. 많은 양의 빛을 흡수하기 때문에 반사율 1% 미만으로 BRDF가 낮아 REFLET 180S는 높은 동적 감지 기능으로 낮은 BRDF의 측정도 지원합니다.



소프트웨어 호환

Illumination Design Software

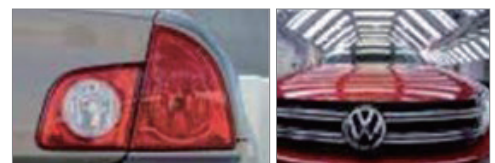
조명 설계 소프트웨어에서 정확한 시뮬레이션 결과를 도출하기 위해서는 정확한 데이터가 필요합니다. REFLET 180S는 LightTools, SPEOS, LucidShape, ASAP, Photopia로 가져갈 수 있는 2D/3D BSDF 파일을 제공합니다.



측정한 BSDF 데이터를 LightTools에서 설계한 시스템에 적용 후 시뮬레이션 한 모습

Realistic Rendering Software

자동차 산업을 포함한 많은 산업에서 광학 설계자는 현실에 가장 가까운 렌더링을 제공하기 위해 가능한 한 물리적으로 정확한 시뮬레이션을 필요로 합니다. REFLET 180S는 광학 설계 소프트웨어로 가져올 수 있는 산란 측정 데이터를 제공하며, 헤드램프, 테일램프 및 대시보드의 조명 특성화를 가능하게 합니다.



측정한 산란 데이터를 적용한 자동차 헤드램프 포토 리얼 렌더링 예시

TIS Pro 제품 소개

TIS Pro는 광학 시스템에 사용되는 재료 표면의 반사율, 투과율 및 흡수율을 효율적으로 측정하기 위한 광학 산란 측정 장비입니다.

다양한 입사각에서 전체 가시 스펙트럼에 대한 측정값을 제공하며, 신속하고 정확한 측정 결과를 보장하기 위해 미광을 제어하는 하우징에 조립된 통합 구형 및 스펙트럼 검출기를 특징으로 합니다.

Synopsys Mini-Diff 제품 및 REFLET 180S과 함께 사용하면 재료의 반사율과 투과율 데이터와 더불어 BSDF(양방향 산란 분포 함수) 및 총 내부 산란(TIS) 데이터를 포함한 완벽한 광학 특성을 얻으실 수 있습니다. 측정 데이터를 광학 설계 소프트웨어로 가져와 실제 제품에 대한 사실적인 시뮬레이션을 제공할 수 있습니다.



제품 사양

Synopsys TIS Pro Technical Specifications	
Source	Halogen 150W - 3200°K
Detector	340 nm-850 nm spectrophotometer
Integrating Sphere	8-inch diameter sphere
Angle of Incidence	Custom 0.1° pitch from 0° to 70° in R and T
Calibration Time (for 1 AOI)	1 second
Measurement Time (for 1 AOI)	1 second
Results:	
• Dynamic	12-bit detector (adjustable exposure time)
• Minimum TIS Detection	0.01% in reflectance
• Accuracy	+/-0.1% on white reference standard
• Gage Repeatability & Reproducibility	<1%
Data Exchange	Text tabular data/LightTools format
Dimensions, Weight	40*70*50 cm (H*L*D), 15 kg

측정 서비스

Measurement Package	
For reflecting diffusers	3D BRDF or BTDF measurement for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements
For mirrors	3D BRDF or BTDF measurement for 10°/30°/50°/70° with near specular and TIS measurements
For light guide diffuser with TIR effect	2D TIR BRDF or BTDF measurements for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements
For diffusers used from single side	2D BRDF and BTDF for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements
For diffusers used from both sides (front and back)	2D BRDF and BTDF for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements
For diffusers used from single side	3D BRDF and BTDF for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements
For diffusers used from both sides (front and back)	3D BRDF and 3D BTDF for 10°/30°/50°/70° and TIS measurements

Reference

ADC, Alanod, Alcan, Almeco, Automotive-Lighting, AUO, Arcelor, Bourget, Bayer, Bosch, Boardcom, Ball Aerospace, BARCO, CREE, Chanel, Dupont, Entire, ESA, Essilor, Helbling, Hewlett Packard, Nikon, Osram, Philips, Thales, VARROC, Sordern, Loepfe, STMicroelectronics, Procter & Gamble, PSA, University of Darmstadt, University of Madrid, Volkswagen and more...

Equipment Specifications 제품 사양

Instruments	Mini-Diff V2®	Mini-Diff VPro®	REFLET 180S®	High Specular
Measurement of Light Scattering 측정 분야	ARS/BRDF/BTDF	ARS/BRDF/BTDF	ARS/BRDF/BTDF	ARS/BRDF/BTDF
Wavelength Light Source 광원의 파장	465 - 525 - 630 nm - 850 nm and 940 nm	465nm, 525nm and 630nm	Halogen white lamp + passband filter	Discrete values from 280nm to 10.6µm
Wavelength Detector Sensitivity 센서의 파장 수광 영역	NA	NA	VIS IR 900-1700nm optional Spectrometer [400-800]nm	NA
Angles of Incidence 측정 입사 각도	Fixed for BRDF BTDF : 0°, 20°, 40°, 60°	Tunables: For BRDF BTDF : from 0° to +60°	Tunables : For BRDF and BTDF : from 0° to +90°	Tunables: for BRDF : from 5° to +90° For BTDF : From 0° to +90°
Angular Range 측정 각도 범위	3D spherical measurement	3D spherical measurement	2D and 3D spherical measurement	2D spherical measurement
Spot Size (Diameter) 초점 크기	> 1mm	> 1mm	1mm to 13mm continous	2mm to 14mm depending on wavelengths
Observed Area Size 관측 영역 크기	Ø 1mm	Ø 1mm	Ø 6mm / Ø 8mm / Ø 14mm	NA
Beam Divergence 광 확산 각도	NA	NA	± 2.26° to ± 0.15°	± 0.01° for visible ± 0.1° for IR
Incident Beam Positioning Precision 입사 광원 위치 정확도	NA	NA	0.001°	± 0.001°
Detector Acceptance Angle 센서 수광 영역	± 0.5°	± 0.5°	± 0.04° / 1.1° / 2°	± 0.001°
Detector Positioning Precision 센서 위치 정확도	NA	NA	0.001°	NA
Measurement Resolution 측정 해상도	1°	1°	0.01°/0.1°/1°/10°	0.001°
Global Axes Aligment 전역 축 조정	1°	1°	< 0.5°	0.002°
Accuracy 정확도	< 5%	< 2%	< 1%	< 1%
Repeatability 반복성	< 2%	< 2%	< 1%	< 1%
Minimum BRDF 최소 BRDF	10e-2	10e-3	< 10e-4	< 10e-7 (10e-5 for IR)
Dynamic Range 동작 범위	10e5	10e6 for BTDF 10e5 for BRDF	10e9 for visible and 10e6 for IR	10e13 for visible and 10e9 for IR
Minimum Signature 최소 측정 단위	± 1° for BTDF at 0° at 525nm	± 0.5° for BTDF at 0° at 525nm	± 0.15°	± 0.01° for visible and ± 0.1° for IR
Weight 무게	2kg	42kg	80kg	NA
Dimensions 크기	10 x 10 x 30 cm	45 x 60 x 74 cm	86 x 98 x 122 cm	NA
Advantages 특장점	<ul style="list-style-type: none"> • Plug & Play • Easy to use & Fast • Portable & Compact • Attractive cost 	<ul style="list-style-type: none"> • High precision • High stability • Easy to use instrument • Laboratory version of Mini-Diff V2 	<ul style="list-style-type: none"> • High dynamic range • High precision • High repeatability • Customizable wavelength range 	<ul style="list-style-type: none"> • Very high dynamic range • Measurement at 0.02° for the specular samples • High precision • High repeatability • Customizable wavelength range
Data Exchange 데이터 호환	Text file (ASTM format) / BSDF format (imported in commercial software) Fit to Gaussian/Lambertian format / Slice files (IES type) / Mesh file / Fit to Abg Export to format : LightTools, LucidShape, Zemax, TracePro, OptisWorks, Relux and more			

자세히 알아보기

제품에 대한 자세한 내용을 알아보시거나 샘플 측정 의뢰를 희망하실 경우,

<https://www.synopsys.com/ko-kr/optical-solutions.html>를 방문하시거나 optics@synopsys.com으로 문의 바랍니다.

