

균일하고 사각형 모양의 세기 분포로 가우시안 빔의 효율적인 변환

앤비전의 협력사인 Coherent의 빔 형상 제품들은 원형의 가우시안 레이저 빔을 매우 균일한 1차원(선)과 2차원(직사각형) 세기 분포로 변환하기 위한 효율적인 수단을 제공합니다. 이들은 또한 다른 기술보다 더 나은 성능과 비용 특성을 제공하여 고객에게 매력적일 수 있습니다.

소개 및 개요	1 페이지
균일한 조명 달성	1 페이지
Coherent의 고평면(flat-top) 기술	4 페이지
설계 고려사항	5 페이지
결론	6 페이지

소개 및 개요

현재 사용되는 주요 레이저 유형은 대부분 가우시안 세기의 프로필을 지닌 원형 또는 타원형의 출력 빔을 생성합니다. 이러한 가우시안 세기 분포는 레이저 빔을 작은 지점에 초점을 맞추는 많은 애플리케이션에서 종종 유리할 수 있습니다. 하지만 다양한 애플리케이션에서 균일한 세기의 분포("고평면(flat-top)")를 사용하는 것이 최적일 수 있습니다. 예를 들어, 재료 처리 작업에서 균일한 세기 분포는 레이저 조명 영역이 균일하게 처리되는 것을 보장합니다. 또한, 레이저 빛이 필수 조명으로 사용되는 경우 매우 유용합니다. 검사할 개체가 조명 영역 어디에 있든지 상관없이 균일한 조명은 조명 영역 전체에서 나타나는 모든 식별해야 할 특성이 같은 밝기를 가질 수 있도록 하므로 이미지 프로세싱 작업을 단순화하고 콘트라스트와 해상도를 증가시킬 수 있습니다. 이러한 혜택은 머신 비전부터 유동세포계수, 검사, 일부 의료용 기기에 이르기까지 "조명"으로 분류할 수 있는 다양한 범위의 애플리케이션에 동일하게 적용됩니다.

1차원 또는 2차원의 균일한 세기 분포로 가우시안 빔을 변환하는 방법은 여러 가지가 있습니다. 가장 강력하고 유연하게 변환하는 방법은 Powell 렌즈를 기반으로 합니다. 이 문서에서는 빔을 균일하게 만드는 다른 기술들을 간략하게 소개하고, 앤비전의 협력사인 Coherent에서 제공하는 Powell 렌즈 기반 고평면(flat-top) 기술을 자세하게 설명합니다.

균일한 조명 달성

균일한 세기의 분포로 가우시안 빔을 변환하는 가장 간단하고 직접적인 방법은 중앙 부분을 제외한 모든 빔을 차단하고 가장 균일한 부분만 조리개를 통해 빔을 전달하는 것입니다. (그림 1 참조) 이 방법은 2개의 단점이 있습니다. 첫째, 레이저 출력 중 약 75% 정도의 아주 큰 부분이 폐기됩니다. 둘째, 얻어진 빔은 중심에서 가장자리까지 여전히 상당한 출력이 감소합니다. 또한, 조리개 가장자리에서 회절로 인해 생성된 스트레이 로브(stray lobe)를 제거하여 빔을 정리하는 데 다른 렌즈들이 필요할 수 있습니다.

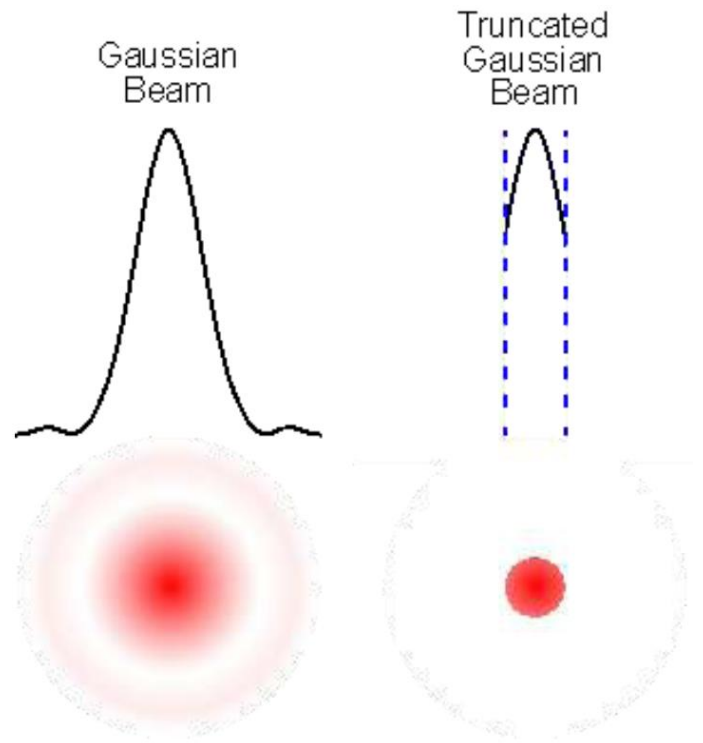


그림 1. 균일한 세기의 프로필로 가우시안 빔을 변환하는 가장 간단한 방법은 잘라내는 것이지만, 이 방법은 가장 형편없는 결과를 일으킵니다.

많은 빛의 손실 없이 고평면(flat-top)으로 가우시안 빔을 변경하려면 빛을 단순히 차단하지 않고 분포의 중심에서 가장 자리로 에너지를 재지정할 수 있는 다른 몇몇 기술들이 필요합니다. 굴절 또는 회절 기법의 하나를 선택하여 사용할 수 있습니다.

회절 렌즈는 가우시안 세기의 분포를 재형성하는 가장 강력한 수단을 제공합니다. 특히, 고평면(flat-top)뿐만 아니라 다양한 패턴을 포함하는 임의의 세기 프로필을 생성하는 데 사용할 수 있습니다. 다양한 패턴으로는 점, 라인, 십자선, 원, 동심 원, 사각형 등이 있습니다.

회절 렌즈는 입사 세기 분포를 재분배하기 위해 다양한 회절 차수 사이의 간섭을 생성하여 동작합니다. 물론, 회절 효과들은 자연적으로 높은 파장에 의존하므로 지정된 요소만 좁은 파장 범위에 걸쳐 동작합니다. 다른 레이저에 비해 상대적으로 큰 파장 대역을 갖기 때문에 다이오드 레이저의 회절과 짝을 지을 때 이 파장 감도는 특히 문제가 됩니다. 또한, 레이저 다이오드의 공칭 출력 파장은 장치마다 큰 차이가 있습니다.

회절 렌즈는 또한 원하지 않는 회절 차수에 아주 적은 빛만 넣습니다. 이진(binary)과 에칭 격자(eched grating)는 가장 간단하고 아주 적은 비용으로 빔을 형성할 수 있습니다. 그리고 불행하게도, 이 현상으로 인해 렌즈 형태의 제조 공차는 보통 상당한 효율 감소를 초래합니다. 전체 70%의 효율이 우수하다고 간주합니다. 마찬가지로, 회절 렌즈로 생성된 패턴의 크고 작은 크기의 균일성은 제조 허용 오차 등급에 따라 제한됩니다. 마지막으로, 2차원 분포를 균일하게 만

균일하고 사각형 모양의 세기 분포로 가우시안 빔의 효율적인 변환

들기 위한 회절 렌즈는 전형적으로 원하는 세기 패턴이 생성되지 않고 비교적 제한된 동작 거리를 갖습니다.

또 다른 방법은 매우 순수한 굴절 빔 형성 시스템을 구축하기 위해 원통형 렌즈 배열을 사용하는 것입니다. (그림 2 참조) 입사 빔은 일부 렌즈렛(lenslet)을 커버하고 각각의 패턴은 파 필드(far field)와 겹치므로 원하는 균일한 세기의 분포를 생성합니다.

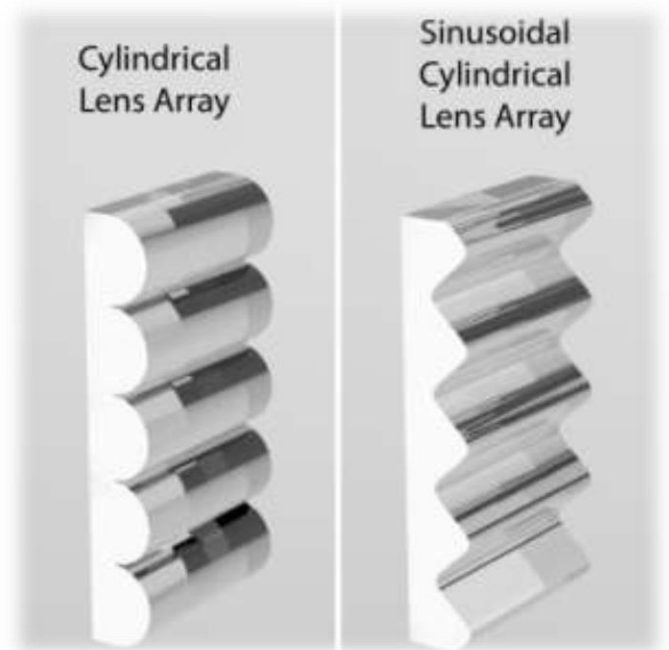


그림 2. 원통형 렌즈의 구성 2개

원통형 렌즈 구성은 이 방법과 가장 잘 맞는 직사각형 출력 빔을 가지는 균일한 엑시머 레이저를 가장 많이 채용합니다. 이러한 유형의 배열은 원형, 가우시안 빔으로 사용할 수 있지만, 이 경우 이들은 매우 균일하지 않은 패턴을 생성하고 보통 높은 주파수의 리플을 많이 생성하는 경향이 있습니다. 렌즈렛 배열과 함께 사용되는 이 광학 시스템은 제한된 동작 거리를 갖습니다.

기술	장점	단점
빔 클리핑	쉽게 사용할 수 있고 저렴함	효율성과 균일성 간의 절충 필요, 전력 손실
회절 (Diffractive)	입력 빔 크기에 의존 되지 않음, 형식에 따라 유연함	높은 설치 비용, 효 율적이지 않음, 파장 의존, 높은 리플 노 이즈
Powell	효율성, 균일성, 파 장 무의존, 적은 리 플 노이즈	입력 빔 크기 의존



그림 3. Powell 렌즈는 원통형 렌즈입니다.

Coherent의 고평면(flat-top) 기술

앤비전의 협력사인 Coherent는 이러한 제한을 방지하기 위해 Powell 렌즈를 기반으로 하는 균일하고 직사각형 형태의 분포로 가우시안 빔을 변환합니다. Powell 렌즈는 의도적으로 평행 가우시안 입력 빔의 방향을 바꾸는 비구면 원통형 렌즈이기 때문에 빔 중심 부분에서 파 필드(far field)의 가장자리 부분으로 재분배됩니다. (보통 마지막 렌즈 표면으로부터 100mm 떨어진 곳에서부터 시작합니다.) 광선 추적 다이어그램에서 명확하게 확인할 수 있습니다. (그림 4 참조) Powell 렌즈는 원통형 렌즈의 일종이기 때문에 1차원으로만 빔을 균일화할 수 있습니다. 따라서 균일하고 방사상 대칭 세기의 분포가 있어야 하는 애플리케이션을 위해 균일하고 2차원 분포를 달성할 수 있도록 서로 직각인 원통형 축과 Powell 렌즈의 특허 조합을 사용합니다.

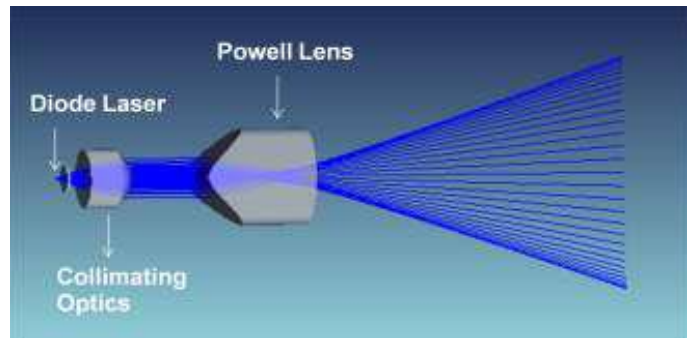


그림 4. Powell 렌즈는 효율적으로 1차원 고평면(flat-top)으로 가우시안 입력을 변환합니다.

이러한 접근 방식은 거의 모든 성능 측면에서 회절 렌즈를 통해 우수한 결과를 제공하고, 특히 다이오드 레이저와 함께 사용하는 경우 우수한 결과를 제공합니다. 특히, 앤비전의 협력사인 Coherent의 고평면(flat-top) 기술은 매우 높은 효율(90% 이상)을 가지며 매우 예리한 엣지 패턴을 생성하고 원하는 영역 외부에는 아주 적은 빛만 발생시킵니다. 이러한 구성은 또한 입력 파장에 매우 둔감합니다. 이것은 다이오드 레이저 장치 간 변동뿐만 아니라 이러한 소스의 고유 대역폭 및 파장 온도 의존성에 영향을 받지 않는다는 것을 의미합니다. 결과적으로 전체 패턴에 걸쳐 $\pm 5\%$ 의 세기 균일성은 빈 다이오드 레이저 또는 파장을 선택하지 않고도 일반적으로 빔 균질기(homogenizer)에서 달성될 수 있습니다. (그림 5

참조)

다이오드 레이저의 균일화와 재형성은 또한 Powell 렌즈가 1차원에서만 동작한다는 사실로 도움을 받습니다. 다이오드 레이저는 일반적으로 수직축에서의 발산이 매우 큰 차이가 있습니다. 결과적으로, 최적의 균일한 성능과 원하는 빔의 크기 모두를 동시에 얻기 위해 높은 발산(빠른 축)과 낮은 발산(느린 축)에서 특성이 다른 2개의 Powell 렌즈를 사용할 수 있습니다.

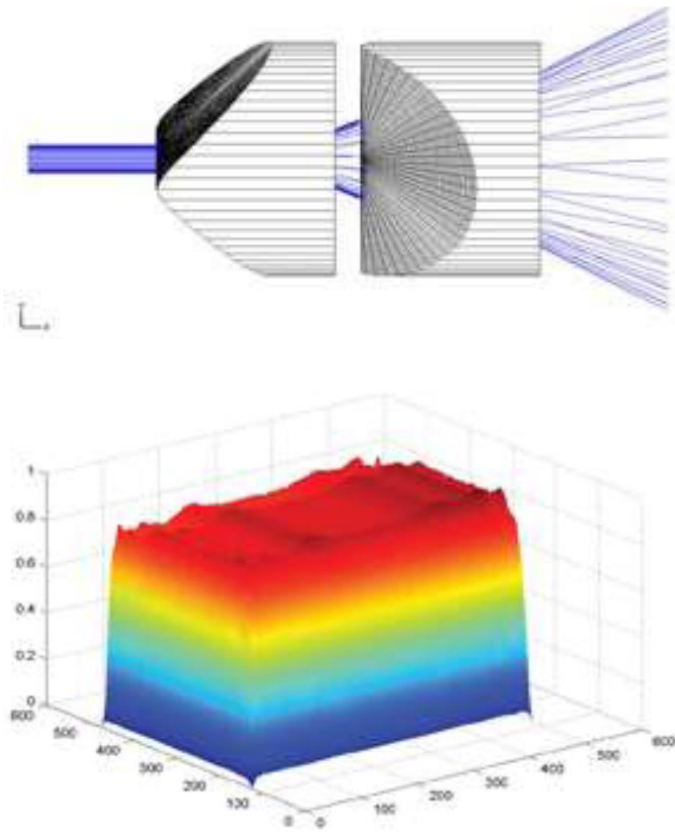


그림 5. 2개의 다른 Powell 렌즈는 다이오드 레이저의 비대칭 출력을 정사각형 또는 어떠한 임의의 화면 비율을 가진 직사각형으로 변환하기 위해 사용될 수 있습니다.

앤비전의 협력사인 Coherent의 고평면(flat-top) 기술은 또한 디자인 측면에서 유연하고 특정 요구 사항을 충족하도록 쉽게 적용할 수 있습니다. 예를 들어, 1°부터 120°까지 발산 균일하고 사각형 모양의 세기 분포로 가우시안 빔의 효율적인 변환

할 수 있도록 제조할 수 있고, 렌즈를 추가하여 다양한 범위의 화면 비율에 걸쳐 패턴으로 초점을 맞추거나 평행한 빔을 출력할 수 있습니다. 시스템은 또한 다양한 입력 빔 형태와 크기로 동작할 수 있도록 설계될 수 있어 고객의 기존 광학 시스템과 결합할 수 있습니다.

설계 고려사항

고객의 정확한 요구 사항을 충족할 수 있도록 앤비전의 협력사인 Coherent의 고평면(flat-top) 광학 시스템은 맞춤형으로 제작됩니다. 애플리케이션에서 완벽하게 동작하는 고평면(flat-top) 시스템을 만들기 위해 시스템에 대한 기본 설계 매개변수 중 일부를 이해하는 것은 매우 유용합니다. 따라서 이들에 대한 모든 필요 정보를 앤비전의 엔지니어에게 제시할 수 있습니다.

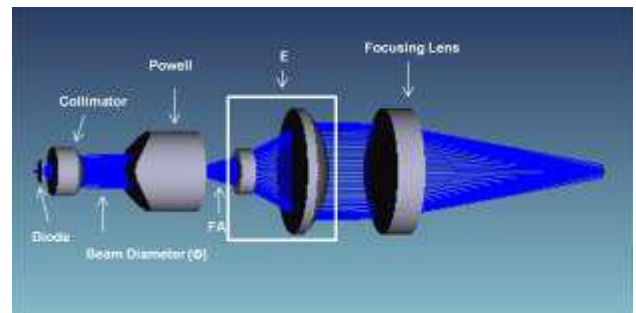


그림 6 다양한 고평면(flat-top) 시스템 매개변수의 정의

그림 6은 대략적인 1차원 고평면(flat-top) 광학 시스템의 기본 구성을 나타냅니다. 이 도면을 참조하면 여러 변수를 정의할 수 있습니다.

Φ_i	은 입력 빔의 지름입니다.(@ 1/e2 지점)
FA	는 Powell 렌즈의 팬 각도 출력입니다.
E	는 빔 확장 출력입니다. 예를 들어, 익스팬더(expander)의 출력 빔 지름은 입력 빔 지름으로 나눕니다.
f	는 초점이 최종으로 맞춘 렌즈의 초점 거리입니다.
WD	는 마지막 렌즈부터 이미지 평면까지의 거리입니다.

결론

엔비전의 협력사인 Coherent의 고평면(flat-top) 기술은 원형 또는 타원형 가우시안 입력 빔에서 매우 균일한 직사각형 형태의 초점이 맞춰진 패턴을 생성할 수 있는 강력한 수단을 제공합니다. 이러한 광학 시스템은 장치마다 소스 파장이 많이 다르거나 장치 동작 중에 변경되는 파장이 있더라도 우수한 성능을 제공하므로 이러한 시스템은 다이오드 레이저에 유용합니다.

이러한 변수에 의해 결정되는 가장 중요한 고평면(flat-top) 성능의 매개변수는 다음과 같습니다.

확산적 고평면(Divergent Flat Tops):

$$\phi = 2 * \tan\left(\frac{\phi_i}{2}\right) * \left(\frac{WD}{f}\right)$$

초점 중심 고평면(Focusing Flat Tops):

$$\phi = \frac{2 * \tan\left(\frac{\phi_i}{2}\right) * \left(\frac{WD}{f}\right)}{\left(\frac{WD}{f}\right)}$$

균일계심도(Depth of Uniformity):

$$\phi = \frac{\phi_i * \left(\frac{WD}{f}\right)}{2 * 1}$$

균일계심도(Depth of uniformity)는 구체적으로 초점이 맞춰진 고평면 패턴의 너비에 걸친 최대 세기의 변화를 의미합니다.

자세한 내용은 엔비전(sales@envision.co.kr)로 문의하세요.