

[첨단광학기술 활용을 위한 광학부품의 사용방법과 유의점 ①]

광학세계에서는 일본 캐논의 연구개발부장을 지낸 末田哲夫씨가 집필한 <광학부품의 사용방법과 유의점>이란 책 내용을 연재하고 있다. 본 내용은 일본의 월간 OPTRONICS에서 1982년부터 30회에 걸쳐 연재된 바 있고, 연재한 내용만 묶어 한 권의 책으로 나온 이후 지금까지 많은 광학인들이 애독하고 있는 핸드북이다. 월간 OPTRONICS는 1990년에 책 내용을 세부에 걸쳐 수정함과 동시에 렌즈에 대한 기초를 보다 충실히 하고 비구면 렌즈, Rod 렌즈, 홀로그람, 고체 촬상디바이스, 회절공간섭방식 엔코더 등을 새롭게 첨가하여 보다 알찬 내용으로 보강하여 증보개정판을 내놓았다.

국내에서는 (주)그린광학에서 본 자료를 입수하여 새내자료로 활용하고 있을만큼 시대와 장소를 초월하여 아직도 광학산업현장에서 유용한 자료로 읽혀지고 있다. 비록 일부 내용들은 우리나라 산업현실과 다소 차이가 있는 부분도 있을 것이나 광학기술의 역사와 기반이 앞서있다고 생각되는 일본의 실질적인 기술관련 자료이기 때문에 국내 업체 관련분야에 종사하시는 분들에게 일독을 권해드리고 싶은 마음에 광학세계에서도 2009년 7월호부터 연재를 하게 되었다.

전체 내용을 살펴보면, 제1부에는 대표적인 광학부품에 대한 설명, 제2부에는 그것들을 사용한 광학시스템과 그것들에 관한 기본적인 사항의 해설, 제3부에는 광학부품을 수입하는 경우의 측정방법과 그것들을 시스템으로 조립하는 경우의 조정방법 등에 등을 소개했다. 기술내용은 응용범위가 넓다고 생각되는 구체적인 예를 기본으로 소개했다.

(편집자 주)

연재 순서

제1부 광학부품의 종류와 사용방법

- 제1장 평면을 베이스로 한 광학부품
- 제2장 구면을 베이스로 한 광학부품
- 제3장 다양한 광학부품

제2부 광학시스템과 광학부품

- ▶ 제1장 광학시스템의 빛의 포착방법과 기능

제2장 광학시스템과 광학부품

제3부 광학부품의 검사와 시스템으로의 조립·조정

- 제1장 광학부품의 검사·측정
- 제2장 광학부품의 조립조정

저자약력: 末田哲夫

1947년 5월 25일생
 1971년 學齋院대학 이학부 물리학과 졸업
 1973년 同수사과정 수료
 1973년 캐논(주) 입사

각종 광학계에 관한 계속·물리광학을 주제로 한 계측방법과 화상처리에 관한 연구개발 등에 종사, 현재 연구개발본부 G-CDS추진부 부장

<지난호에 이어서>

1.2 파장선택

빛의 파면을 올바르게 전송하거나, 파면으로의 정보의 기록·재생을 행하는 광학시스템에서는 광원에서 사출한 구면파와 빔광을 가공해서 사용하기 쉬운 광속으로 할 필요가 있다. 이를 위해서는 렌즈계도 이용되는데, 예를 들면 간섭계시스템에 있어서도 간섭의 기준이 되는 파면을 형성하기 위해 참조경과 빔 스프리터 등도 사용된다. 그림2.11은 이러한 빛의 파 작성에 관한 광학부품을 정리한 것이다.

빛의 파면을 취급하는 광학시스템은 그 광원으로서 레이저를 사용하는 것이 많다. 이것은 레이저가 다른 광원과 비교해서 그림2.12와 같이 훨씬 파면에 따른 파를 연결하고, 게다가 고휘도를 만들어낸다. 여기에서는 레이저광원을 가진 시스템의 각 기구중 Beam expander를 중심으로 설명하겠다.

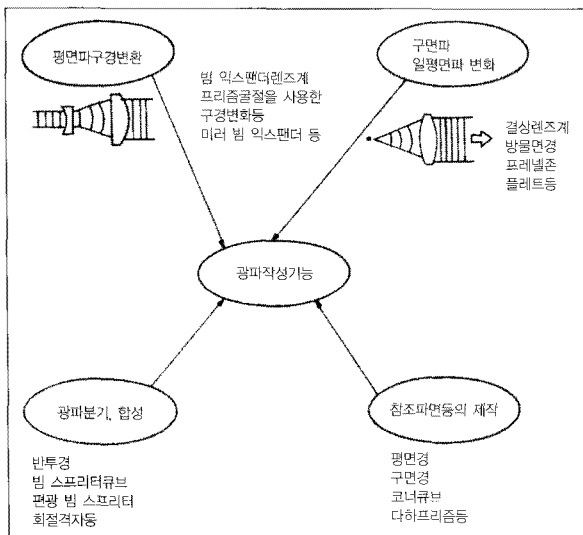


그림2.11 광파 작성관련 부품

(1) 가스레이저를 광원으로 하는 경우

헬륨네온레이저로 대표되는 가스레이저로부터의 빛은 광학시스템 중에서 렌즈계(Beam expander)를 사용해서 광속경이 확대되는 것이 많다. 렌즈계의 기본적인 구성은 Afocal광학계가 사용된다. 여기서 두 개의 렌즈타입을 나타냈는데, 칼리레오타입의 Beam expander는 제1군을 오목렌즈, 제2군을 볼록렌즈로서 구성하기 위해 전장을 짧게하기 쉽

만 Special필터를 넣을 수 없다. 즉 일반 간섭계측 등에는 불필요한 회절광등을 제거할 수 없기 때문에 사용하기 힘든 경우가 많다. 또 케플러타입의 것은 Special필터를 넣어 회절광등의 노이즈는 제거 가능하지만 렌즈계의 전장이 길게 된다(그림2.13)

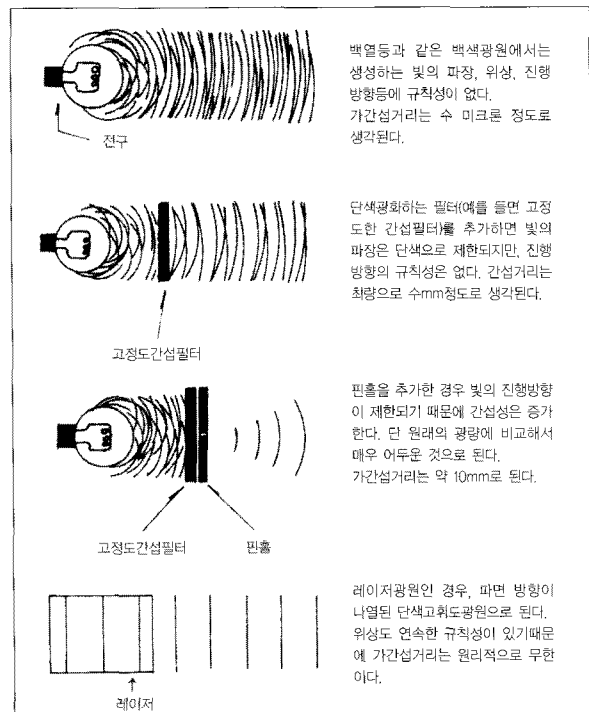


그림2.12 백색광원과 레이저광원

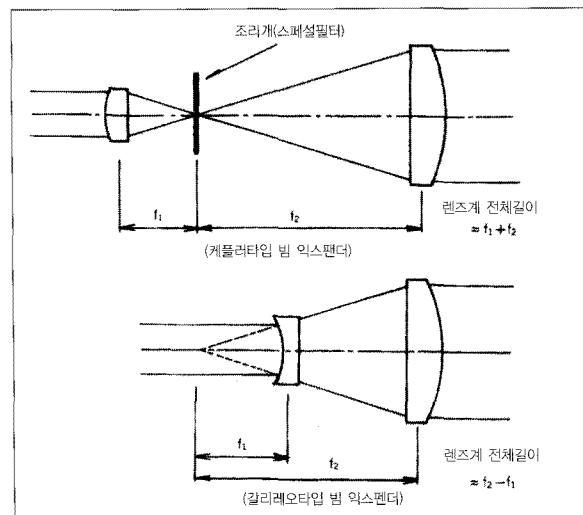


그림2.13 빔 익스텐더 광학계

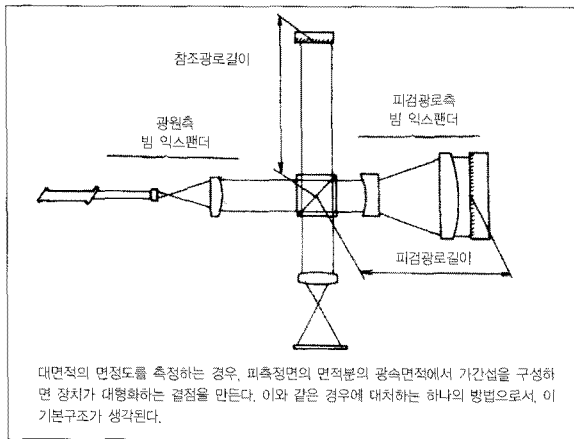


그림2.14 Twyman-Green의 간섭계 예

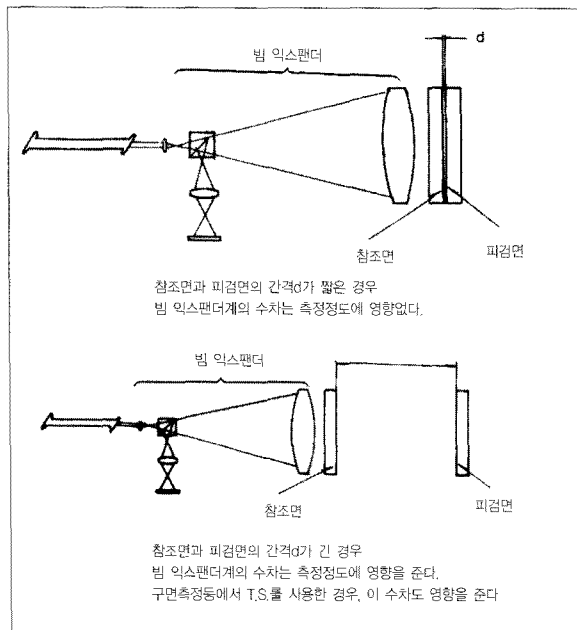


그림2.15 피조간섭계의 Beam expander

Beam expander를 사용하는 경우, 그 파면수차가 광학시스템 중에서 어떠한 영향을 미치는가를 생각할 필요가 있다. 예를 들면 간섭계측시스템을 생각한 경우, 간섭계의 종류 및 그 사용방법에 따라 파면수차의 영향도가 다르다. 예를 들면 그림2.14에 나타난 Twyman-Green의 간섭계를 가정한다. 이 간섭계인 경우, 피검광로와 참조광로의 광학적인 길이가 같다고 하면, 광원측에 배치한 Beam expander의 파면수차의 측정영향이 적다.

그러나 피검광로중의 Beam expander의 파면수차는 그대로 측정정도에 영향을 미친다. 피검광로 길이와 참조광로 길이가 모두 같은 경우에는 광원부분

의 파면수차는 같이 작용하기 때문에 두 개의 광로로부터의 빛을 간섭시켜, 그것들의 파면형상차를 간섭호로 관찰할 때에 공제하기 위해 무시할 수 있다. 레이저 이외의 광원을 사용한 경우에는 광로 길이차가 있으면 간섭현상을 만들지 않기 위해 문제로 되는 것은 적다. 같은 것은 피조(Fezeau)타입의 간섭계에 대해서도 말하고, 그림2.15에 나타나듯이 참조면과 피검면의 광로 길이차가 짧은 경우에는 Beam expander계의 파면수차는 문제없지만, 떨어져 있을 때에는 측정정도에 영향이 있다. 이 영향의 양은 시스템구성 및 파면수차형상에 따라 다른데, 방법을 그림2.16에 나타냈다. 즉 파면수차가 있는 광속은 빛의 진행으로 하고 싶지 않은 파면형상이 변화한다. 간섭계에 대해 피검광로와 참조광로의 광로 길이에 차가 존재하면 광속이 다른 2개소 장소에서의 파면을 서로 간섭시키는 것으로 되기 때문에, 발생한 간섭호에 Beam expander의 영향으로 오차를 만드는 것으로 된다.

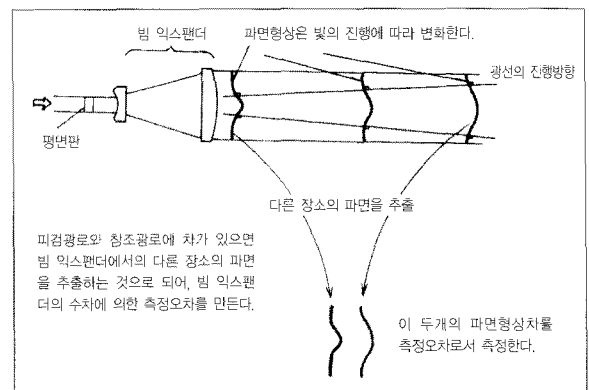


그림2.16 Beam expander 오차의 생각방법

Beam expander는 그것 전용으로 제작된 것도 판매되고 있지만, 렌즈를 조합해서 구성하는 경우도 많다고 생각된다. 이 경우는 케플러타입 구성이 대부분이다. 제1군의 렌즈계는 현미경용의 대물렌즈가 일반적으로 사용되고, 제2군의 렌즈계는 저배율의 현미경대물렌즈, 사진기용렌즈, Collimator용렌즈계, 더욱이 평볼록 단렌즈와 접합렌즈 등이 사용된다. 사진기용렌즈 등에 관해서는 이전에 설명했기 때문에 여기서는 생략한다. 평볼록렌즈 등은 F값이 큰 것이라면 파면수차를 가지는 정도는 적은 Beam expander를 구성할 수 있다. 단 구성시에 렌

즈방향에 주의할 필요가 있고, 평행광속축에 볼록면을 배치하는 쪽이 좋다. 평행광속축에 평면을 배치하면 렌즈작용은 볼록면 1면만으로 행하는 것으로 되고, 평행광속축에 볼록면을 배치한 경우, (구면확산광속축에 평면을 배치하는 것으로 된다)두 개의 면에서 렌즈작용을 행할 때와 비교해서 파면수차는 일반적으로 크게 된다. 이상의 것은 3장에서 4장의 구성대수를 가진 Collimator렌즈계에도 같은 식으로 말할 수 있다. 평행광속축이 일반적으로는 볼록면의 곡률반경이 적고, 반대측은 평면과 느슨한 곡률의 볼록면이 되고 있는 경우가 많다(그림2.18). 빛은 그 파면에 대해 직진하는 것에서 평면파를 가진 구경으로 제작했다면 어떤 거리가 떨어진 경우라도 그 광속구경을 유지할 수 있을 거라고 생각할 수 있다. 그러나 실제로는 회절 영향 등을 받기 때문에 광속경은 광원에서 거리가 떨어지면 확대된다. 예를 들면 그림2.19에 나타난 것 같은 실험을 행하면, 빛이 직진이론만을 생각하면 스크린의 소개구에서의 거리를 바꾸어도 일정 광속경이 되기 마련이지만, 실제에는 거리를 떨어뜨림에 따라 확대한다. 레이저 공진기에서도 완전히 같은 식으로 말할 수 있고, 출사(出射)빔은 실은 곡률반경이 큰 구면파의 성분을 가지고 있다. 레이저가 가지고 있는 광속경의 가장 작은 상태를 Beam west라고 한다. 그림2.20에 나

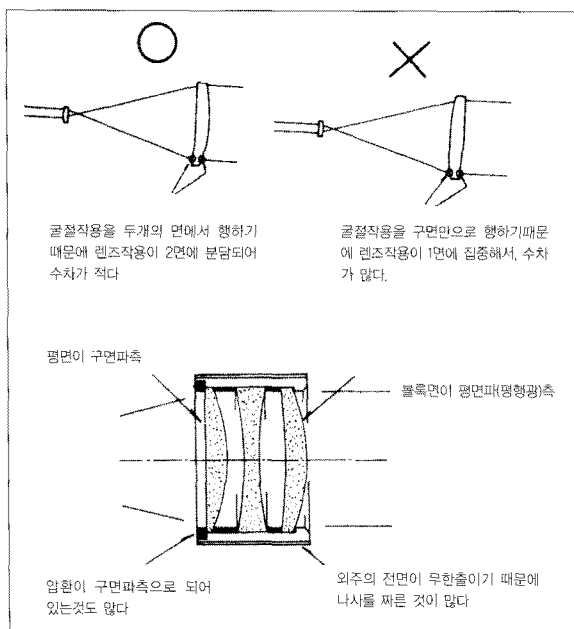


그림2.18 Collimator렌즈의 일반방향

타냈다. Beam west의 경우는 레이저빔의 진폭분포가 가우스분포로 되어 있기 때문에, 중앙부 강도의 1/e²로 되는 경으로 나타냈다. 레이저의 Beam west의 직경을 2w로 한 경우, Beam west에서 거리 Z만큼 떨어진 장소에서의 빔경 2w의 반경은 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w = w_0 \left(1 + \left(\frac{\lambda Z}{\pi w_0^2} \right)^2 \right)^{1/2} \quad (2.1)$$

또 충분히 떨어진 거리 Z에서의 빔이 넓어지는 각도 θ 는 (2.2)에 나타냈다. (그림2.21 참조)

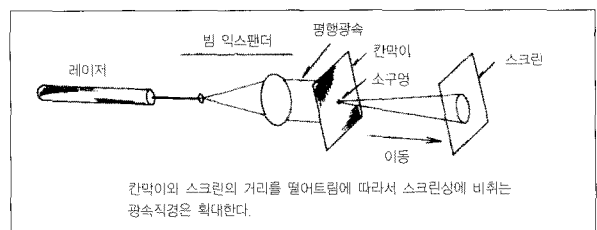


그림2.19 광속의 확대

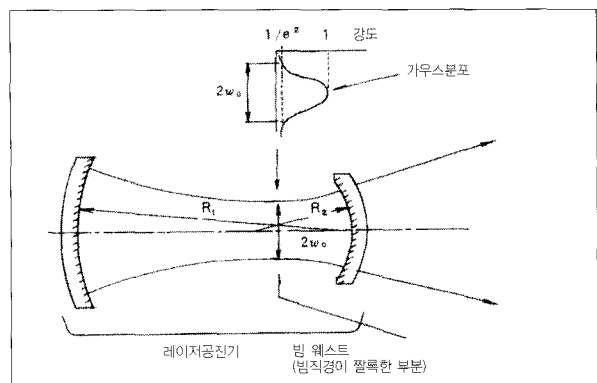


그림2.20 레이저공진기의 Beam west

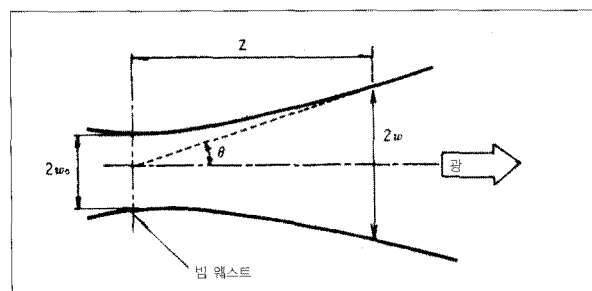


그림2.21 빔웨스트에서의 광속 확장

▶▶▶ 지상 공개 강좌

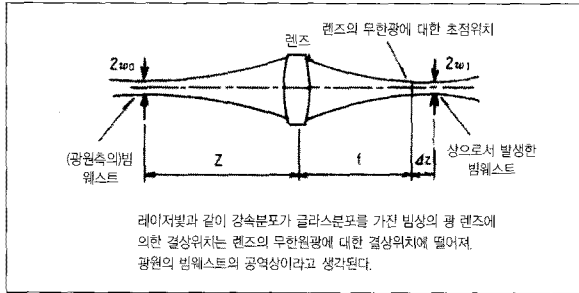


그림 2.22 레이저빔의 렌즈에 의한 결상

$$\theta \approx \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (2.2)$$

또, 레이저에서의 빛을 렌즈를 사용해서 스폿으로 결상시킨 경우, 그 스폿은 레이저의 Beam west에 대한 공역상(共役像)이라고 생각된다. 스폿사이즈를 $2w_1$ 렌즈의 초점위치와 양소(量少)스폿위치의 차를 ΔZ 로서 각각 (2.3), (2.4)에 나타냈다.(그림 2.22 참조)

$$\frac{1}{w_1^2} = \left(\frac{\pi}{\lambda}\right)^2 \left(1 - \frac{Z}{f}\right)^2 \theta^2 + \frac{1}{(f \cdot \theta)^2} \quad (2.3)$$

$$\Delta Z = \frac{(Z-f)f^2}{(Z-f)^2 + \left(\frac{\pi w_0^2}{\lambda}\right)^2} \quad (2.4)$$

이와 같은 성질을 가진 레이저광을 Beam expander에서 광속경을 변환하는 것은 레이저의 Beam west경을 변환하는 것 밖에 없다. 변환후의

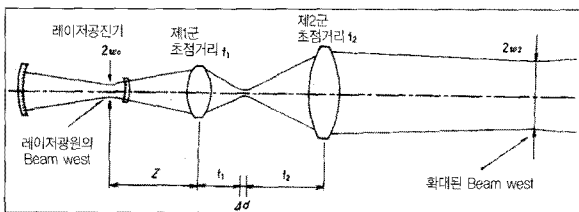


그림 2.23 Beam expander에 의한 레이저광의 확대

Beam west의 경을 $2w_2$ 로 하면, Beam expander의 배율M은 (2.5)와 같이 나타내어진다.(그림 2.23) 이상과 같은 Beam west라고 한 생각방식에 기초한 의논은 종래의 파면상에 대한 진폭분포가 일정한 광파를 기초로 해서 생각하는 방법에서 레이저광과 같

$$M = \frac{w_2}{w_0} = \left| \frac{f_2}{f_1} \right| \left\{ 1 + \frac{\Delta\alpha}{f_1} \left(1 - \frac{Z}{f_1} \right) \right\} \quad (2.5)$$

f_1, f_2 ; Beam expander 제1군 및 제2군의 초점거리
 $\Delta\alpha$; 두 개 군의 주점간 거리d의 설치오차

이 파면상의 진폭분포가 가우스분포로 되는 빛에 대해서 유효로 빛을 이용하기 위한 필요성에서 생겼다. Beam west의 생각방법은 광학시스템 중의 광로길이에 대해서 광속경이 세밀하게 될수록 고려할 필요가 있고, 광로장이 1m 정도의 시스템에서, $\phi 10\text{mm}$ 이하의 경우에는 부품배치상의 배려가 필요하다.

(2)반도체레이저를 광원으로 하는 경우

가스레이저의 일반화에 동반해서 우리들을 둘러싸는 광기술은 급속히 발달했다고 말할 수 있다. 그래서 현재 반도체레이저가 가스레이저로 증가해 온 기술을 주변 제품과 시스템에 응용할 수 있게 되고 있다.

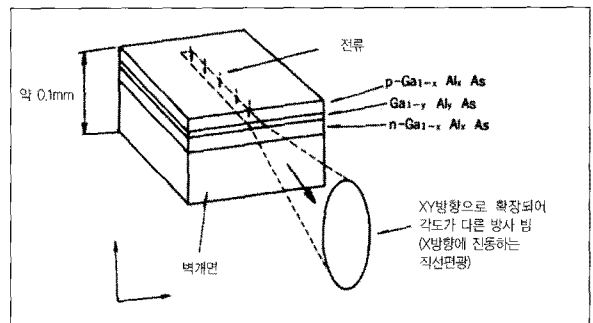


그림 2.24 대표적인 반도체레이저의 구성 예

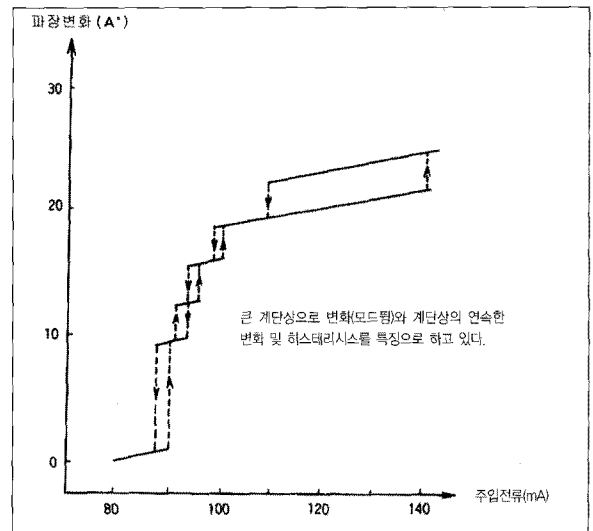


그림 2.25 주입전류에 의한 발전파장변화의 예

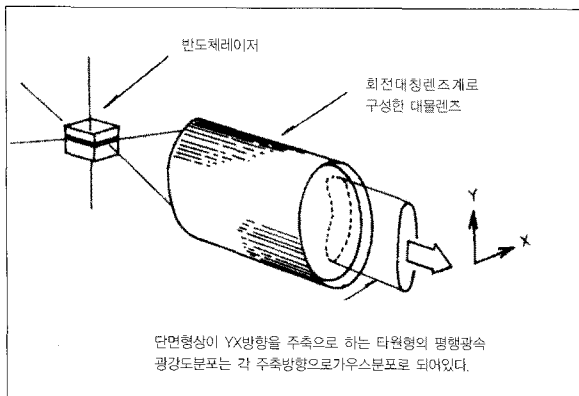


그림2.26 회전대칭렌즈에 의한 무한출력

반도체레이저의 특징으로서, 소형·고출력·저소비전력을 들 수 있고, 고가간섭성을 나타내는 것도 많이 있다. 레이저 구조는 그림2.24에 나타나듯이 발광부가 박층구조를 하고 있기 때문에, 발광광속이 원형평행광속으로 되지 않고, 2방향으로 퍼짐각도가 다른 구면파로 되며, 그 구면의 곡률중심위치가 다른 것이 많다. 또, 발진특성은 헬륨네온레이저 등과 비교해서 온도·주입전류, 복귀 빛(광학계의 반사등에 의해 레이저광원에 돌아오는 빛) 등 외부의 환경변화에 민감히 변화하기 때문에 이후에 이 분야의 연구개발이 많이 될 것이다. 예를 들면 주입전류에 의해 발진출력은 원래보다 파장, 편광의 순도 등 시스템의 목적에 따라 무시할 수 없는 것도 있다. 그림2.25는 유입전류와 파장의 관계를 나타낸 예로, 큰 계단상의 변화는 모드(mode)뎀 이라고 말해지는 현상이고 레이저의 발진조건 변화를 나타내고 있다. 모드뎀은 주입전류의 증감에 의해 완전히 같은 궤적을 취하지는 않고 히스테리시스를 만드는 것도 있다. 또, 계단상 위의 약간의 구배는 주입전류에 의한 레이저 칩(chip)자신의 발열에 의한 공진기의 팽창에 의한 발진주파수의 변화라고 생각할 수 있다. 또 반도체레이저는 상기와 같은 외부환경에 의한 파장 변화 등의 특성변화를 나타내는 것뿐만 아니고, 같은 형번의 것이라도 특성에 개체차가 있는 것이 많다. 예를 들면 카탈로그파장이 830nm이라도 실측치는 $\pm 10\text{nm}$ 정도의 어긋남은 고려해둘 필요가 있다. 이 경향(傾向)은 파장의 문제만은 아니고 출력 등에 대해서도 같은 식으로 다르다.

반도체레이저 빛은 일반적으로 구면파를 발광하고

있기 때문에 일반의 광학시스템에서는 이것을 평행광속으로 일단 변환시켜 사용하는 경우가 많다. 현미경대물렌즈 등의 초점거리레이저의 발광부를 일치시키면 그림2.26과 같이 평행광속(정확히는 전기의 Beam waist를 고려할 필요가 있다)을 얻을 수 있지만, 광속의 단면형상이 타원형으로 된다. 원형빔으로 하고 싶은 경우에는 원형aperture를 사용하는 것에 의해 제작 가능하지만, 빛의 유효이용 및 광속 단면상의 광 강도분포에 약간 문제가 있다. 원형빔을 정확히 하는 한편 유효하게 만들기 위해서는 실린더리컬렌즈 등으로 구성된 Anamorphic한 Beam expander를 사용한다. Anamorphic한 Beam expander는 그림2.27에 나타난 것 같이 한 방향만으로 파워를 가지도록 구성해서 광속의 퍼짐중 빔폭이 적은 방향을 확대해서 큰 쪽으로 일치시키는 것에 의해 원형빔을 얻는 방법이다. 프리즘을 사용한 Beam conversion은 그림2.28에 나타내듯이 광

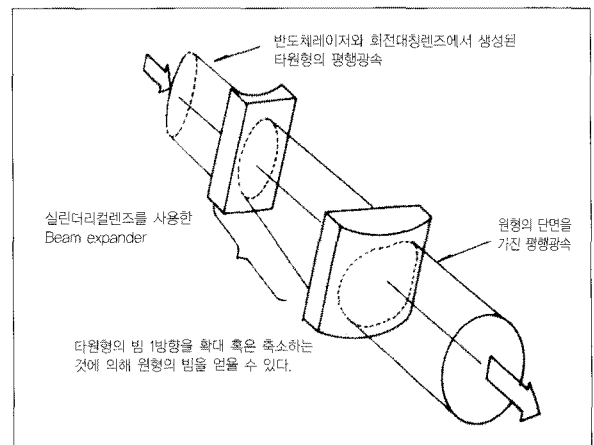


그림2.27 Anamorphic한 Beam expander

속의 한쪽 폭을 굴절에 의해 확대하거나 축소하거나 하는 방법이다. 시스템구성으로서는 프리즘을 사용한 것 쪽이 특수한 렌즈계를 사용하지 않고, 렌즈에 의한 파면수차의 영향이 없기 때문에 간편하지만, 광축이 휘거나, 횡방향으로 시프트하거나, 약간 크게 되거나 하는 결점도 있다.

상기의 반도체레이저의 외부조건에 의한 발진모드의 뎀 현상은 광학계에 의해 어느 정도 누르는 것이 가능하다고 생각되고 있다. 즉 레이저발진을 레이저 칩만으로 제어하려고 한 경우, 외부온도 혹은 주입

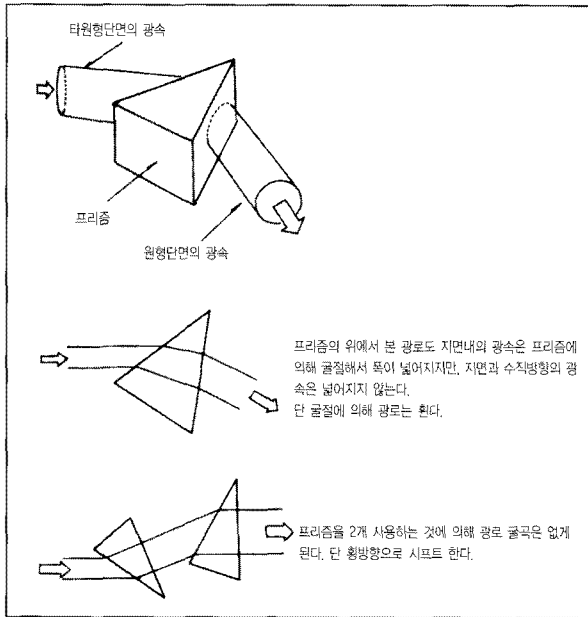


그림2.28 프리즘을 사용한 빔 컨버터

전류에 의한 발열에 의해 칩 자신이 열적팽창을 나타내기 때문에 현재는 제어할 수 없다. 또 반도체레이저는 가스레이저와 비교해서 레이저자신의 주파수선택성은 약한 것으로 생각된다. 즉 외부광학계에 의해 파장선택을 행한다. 파장선택된 빛을 레이저에

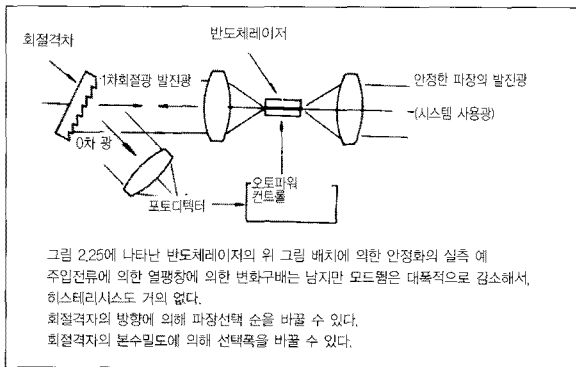


그림 2.25에 나타난 반도체레이저의 위 그림 배치에 의한 안정화의 실속 예 주입전류에 의한 열팽창에 의한 변화구배는 남지만 모드뿔은 대폭적으로 감소해서, 히스테리시스도 거의 없다. 회절격자의 방향에 의해 파장선택 순을 바꿀 수 있다. 회절격자의 분수밀도에 의해 선택폭을 바꿀 수 있다.

그림2.29 회절격자에 의한 모드제어 예

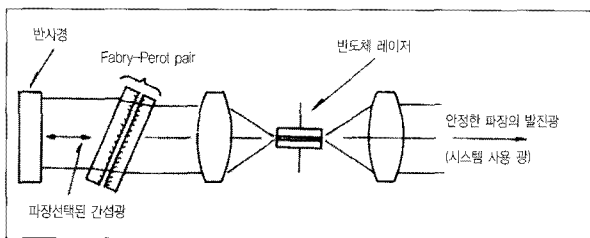


그림2.30 Fabry-Perot pair에 의한 발진파장 제어 예

주입하는 것에 의해, 레이저발진파장이 선택파장에 끌어들이는 현상이 있다. 레이저칩은 그 양단면에서 발광하기 때문에 이하에 나타난 파장안정을 위해 광학계를 부가하는 것이 가능하다. 그림2.29는 파장선택을 회절격자를 사용해서 행한 예이다. 즉 회절격자에 의해 파장선택된 1차 회절광을 반도체레이저에 역주입해서, 환경에 대해서 안정한 파장을 발진시키는 것이다.

이 경우, 반도체레이저와 회절격자의 관계가 기계적으로 안정한 것이라면 환경이 변화해도 발진파장은 어느 정도는 안정한다. 회절격자의 0차의 반사광은 발진출력을 모니터하기 위해 사용하는 것도 가능하다. 그림2.30은 상기의 작용을 Fabry-Perot pair로 행한 예이다. Fabry-Perot가 광축에 대해서 각도를 가지고 있는 이유는 입사각도의 설정에 의해 선택파장을 제어하기 위해 필요한 것과 Fabry-Perot 그것의 반사를 레이저칩에 복귀하지 않도록 하기 위한 것이다.

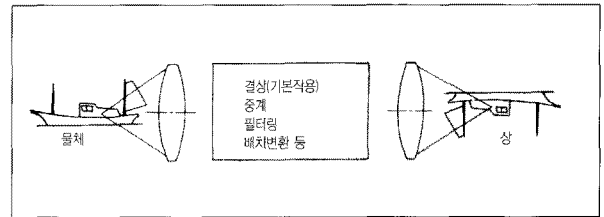


그림2.31 광을 화상(공간정보)으로서 기능하는 시스템

이상과 같이 광학적인 부품배치에 의해 레이저의 안정도는 증가하지만, 레이저칩 자신을 펠티에 (peltier)소자 등에 의해 온도관리를 행하는 것에 의해, 보다 고안정한 광원으로 된다. 단, 다양한 광학부품을 부가하는 것에 의해 레이저가 소형이라는 이점은 감소한다.

반도체레이저기술은 현재도 발전중이고, 이후 가시역파장을 발진하는 레이저와 모드뿔을 만들지 않는 레이저 등이 등장해서, 레이저라고 하면 반도체레이저를 가리키는 것으로 될 것이다.