

# [ 첨단광학기술 활용을 위한 광학부품의 사용방법과 유의점 ⑤ ]

광학세계에서는 지난해부터 일본 캐논의 연구개발부장을 지낸 末田哲夫씨가 집필한 <광학부품의 사용법과 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 세 부에 걸쳐 수정함과 동시에 렌즈에 대한 기초를 보다 충실히 하고 비구면 렌즈, Rod 렌즈, 홀로그래프, 고체 촬상디바이스, 회절광간섭방식 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 기원이 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 예 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 계측·물리광학을 주제로 한 계측방법과 화상처리에 관한 연구개발 등에 종사. 현재 연구개발본부 G-CDS추진부 부장

## 제2장 구면을 베이스로 한 광학부품(中-中)

<지난호에 이어서>

### 2. 다양한 렌즈계

이번호부터는 광학부품으로써 일반적으로 취급되는 다양한 렌즈계에 대해서 그 특성을 간단히 설명하겠다.

#### 2.1 현미경대물렌즈

현미경대물렌즈는 본래 현미경에 설치되어 물체형상을 확대해서 관찰하는 것을 목적으로 한 렌즈이지만, 그것과는 다른 목적으로 광학시스템에 넣는 것이 많다.

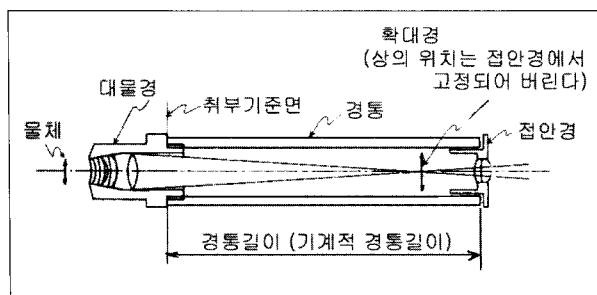


그림1.67 현미경의 경통길이

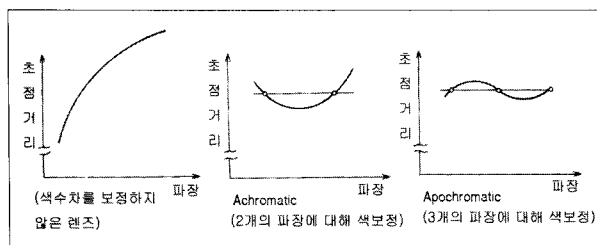


그림1.68 색수차의 보정

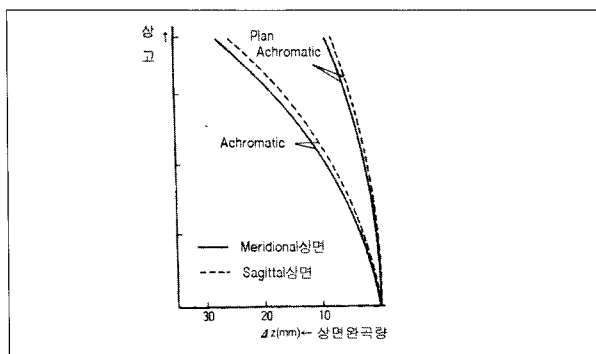


그림1.69 현미경대물렌즈 상면만곡수차의 예

현미경대물렌즈에는 일반적으로 배율과 개구수가 새겨져 있다. 배율은 물체의 상을 현미경경통내의 일정한 장소에 맺혔을 때의 숫자이다. 즉, 그림1.67과 같이 현미경대물렌즈의 플랜지(flange)면에서 접안경의 플랜지면까지의 거리를 기본으로 하고 있다. 이 거리를 경통길이라고 하고, 현미경메이커에 따라 다르다. 금속현미경의 경통길이는 약180mm~210mm이고, 메이커의 다른 대물렌즈를 사용하면 정확한 배율을 얻을 수 없는 것도 있다. 또 설계상의 수차도 상 위치가 경통길이 위치에서 생성하는 경우가 가장 좋도록 보정되어 있다. 예를 들면, 레이저빔을 넓히는 경우 등 무한원광에 대해서 사용하는 경우에는 반드시 경통방향에 무한원광을 사용하도록 할 필요가 있다.

렌즈계는 빛의 파장에 따라 초점거리가 다르다. 예를 들면, 단렌즈의 볼록렌즈에서는 장파장으로 되면 될수록 초점거리가 길게 된다. 그래서 광학설계상 이와 같은 현상을 살리도록 <색수차제거>라는 작업을 행하는 것은 이전에 설명했다. 즉, 볼록렌즈와 오목렌즈를 조합해서, 이것들의 유리종류 굴절률과 분산을 이용해서 초점거리차가 눈에 띄지 않도록 설계한다. 그림1.68과 같이 두 개의 파장에 대해서 색수차를 보정한 것을 Achromatic, 세 개의 파장에 대해서 색수차를 보정한 것을 Apochromatic이라고 한다. 또 상면만곡의 수차가 적게 하도록 보정해서, 화면의 주위까지 확실히 보이도록 한 렌즈는 Plan을 붙여 부른다. 예를 들면, Plan Achromatic 등을 말한다. 그림1.69는 Achromatic와 Plan Achromatic의 상면만곡을 나타냈다.

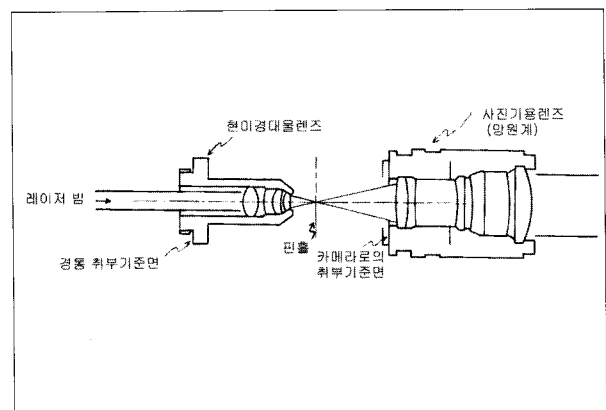


그림1.70 사진기용렌즈를 사용한 Beam expander

## 2.2 사진기용 렌즈

현미경대물렌즈와 같은 식으로 본래 사진촬영이외의 목적으로 광학시스템에 사용되는 것이 많다. 현미경대물렌즈와 같은 식으로 설치되어 기준면에서 상면까지의 거리가 메이커에 따라 다르다. 또, 현미경대물렌즈와 다른 사진기용의 취부 금속기구도 메이커에 따라 다르기 때문에 호환성은 거의 없다. 사진기용렌즈는 대량생산을 하고 있기 때문에 비교적 저가이고, 초점거리의 종류도 많으며, F넘버도 밝은 것이 많다. 그러나 제작목적은 어디까지나 사진이기 때문에 유용해서 사용하는 것은 수차 등에 약간 주의할 필요가 있다. 예를 들면 간섭장치에 사용하는 경우, 파면수차의 보정이라는 관점에서 제작되어 있지 않기 때문에, 렌즈의 투과파면이 문제가 되는 시스템에서는 미리 측정하는 등의 준비를 행하는 쪽이 좋다.

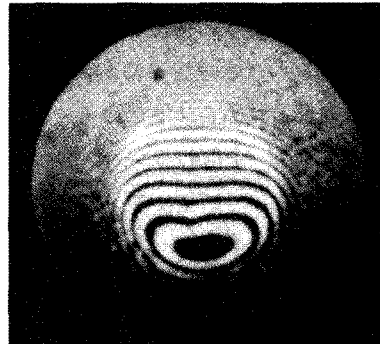
그림1.70과 같이 현미경대물렌즈와 합초점상태로 해서 레이저빔경을 확대하는 경우가 있지만, 투과파면이 문제가 되는 시스템에서는 렌즈의 조리개를 1:4 이상으로 하는 쪽이 일반적으로 안전하다. 이 상태에서 사진기용 렌즈의 파면수차는 대부분의 것이  $\lambda/2$  이내에 있다고 생각된다. 또 일반적으로는 줌 렌즈 쪽이 파면수차가 많다고 생각해도 좋다. 사진기용 렌즈는 수차보정이 무한원광과 1/40~1/50으로 결상하는 경우를 주로 상정해서 제작되기 때문에 사용상태(렌즈를 사용하는 방향)도 이렇게 말한 조건에 가깝게 되도록 해서 사용하는 것이다.

## 2.3 Afocal광학계

Afocal광학계에는 망원경(천체망원경, 쌍안경), Beam expander시스템 등이 있다. 광학시스템에 넣을 경우의 대다수 것은, 이 안에는 빔 경을 확대하는 Beam expander가 가장 잘 사용된다.

Beam expander는 사진기용 렌즈의 항에서 설명했듯이, 두 개의 렌즈를 조합해서도 형성할 수 있지만, 이 경우는 글라스 매수가 많게 되어 투과율이 떨어지기 때문에, 면반사에 의한 노이즈가 많게 되거나, 광학계가 많게 되는 결점이 있다. 이 때문에 시스템의 실험단계에서는 좌우지간 완성도 높은 시스템을

구성하는 경우에는 빔 경을 넓히기 위해 설계되는 Beam expander를 사용하는 쪽이 좋다. 사용시에는 사진기용렌즈와 같은 식으로 파면수차를 문제로 하는 경우가 많다고 생각되기 때문에, 사양 확인과 수차 측정을 행하는 쪽이 안전하다. 단순히 레이저빔을 확대하고 싶은 경우에는 일안 리플렉스카메라의 액세서리 중에 Magnifier라고 하는 확대용렌즈 등도 사용할 수 있을지도 모르겠다. 그림1.71은 필자 주변에 있는 2.5배 것의 파면수차이다. 중앙부에 약간의 쿠세가 존재하지만 구경의 1/3정도 이내라면 파면수차  $\lambda/2$  이상의 Beam expander로서 사용할 수 있다<sup>1)</sup>. 입사측의 구경이 약  $\phi 5\text{mm}$ 이기 때문에, 빔경이  $\phi 1\text{mm}$  정도의 레이저빔을 확대하는 것에는 충분하다고 말할 수 있다.



구경의 1/3정도라면  $\lambda/2$ 이하(호1분 이내)이다. 입사구경에 대해서 충분히 가는 레이저 빔이라면 2.5배 Beam expander로서 사용할 수 있다.

그림1.71 Magnifier렌즈의 파면수차실측 예

## 2.4 특수렌즈계

다양한 특수목적에 따라서 제작된 광학계가 있다. Beam expander 등은 그 대표적인 예이기도 하다. 여기서는 그 외 대표적인 특수렌즈계에 대해서 설명을 하겠다.

### (1) Collimator렌즈

주로 광축상의 수차를 보정한 렌즈계로, 다양한 것이 일반적으로 판매되고 있다. 광학계의 무한원광에 대한 시험을 행하기 위한 광속을 만들어 내거나, 현미경의 접안경과 조합해서 계측용 망원경과 미소각도를 계측하기 위한 Auto Collimator를 구성하는 것이 가능하다.

1) 모든 것이 사용에 가능할지 여떨지는 불명확하다. 사용 전에 측정이 필요

### (2) $f\theta$ 렌즈

다면경을 회전해서, 빛을 주사, 결상하는 경우에 사용한다. 예를 들면 그림1.72와 같은 주사광학계를 사용한 경우를 생각하자. 일반적으로 회전다면경은 등속 고속회전을 시켜 사용한다. 다면경으로 반사한 빛은 렌즈에 입사하지만, 이 입사각도는 시간에 비례해서 변화한다. 일반 렌즈에서는 상고 $h$ 와 입사각도  $\theta$ 의 관계는 초점거리를  $f$ 로서  $h=f \times \tan \theta$ 이다. 즉,  $\theta$ 는 시간에 대해 일정변화를 하기 때문에, 화면 중앙에서는 주사속도가 늦고, 주변에서 빠르게 되는 것으로 된다. 그래서  $h=f \times \theta$  렌즈계, 즉  $f\theta$  렌즈가 이와 같은 주사광학계에서는 필요하게 된다. 이 렌즈계를 사용함으로써 화면상의 주사속도가 일정속도로 된다.

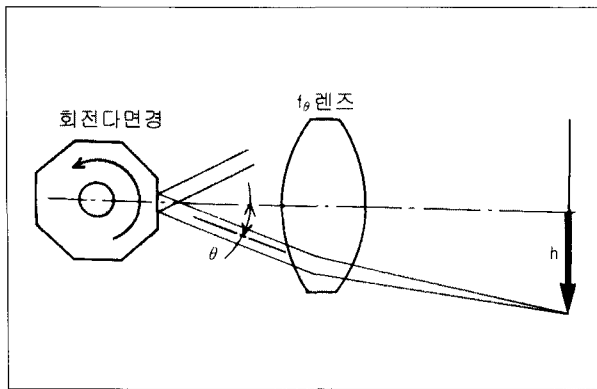


그림1.72  $f\theta$  렌즈에 의한 주사결상

### (3) arc-sin 렌즈

현재는 아직 일반적이지는 않지만, 회전다면경 대신에 Galvanometer를 사용해서 주사광학계를 형성할 때에 사용한다. 즉, Galvanometer는 일반적으로 정현파진동을 일으켜 사용하기 때문에, 렌즈로의 입사각도의 시간변화도 정현파로 된다. 일정속도로

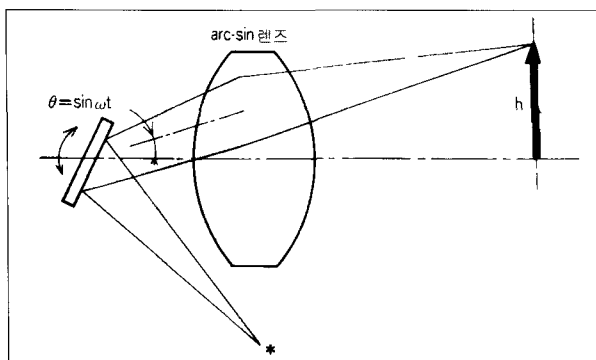


그림1.73  $\sin^{-1}$  렌즈에 의한 주사결상

화면상을 주사하기 위해서는 상 $h$ 가  $h=f \times \sin^{-1} \theta$ 로 되도록 수차를 보정한 렌즈계가 필요하다.

### (4) 푸리에(Fourier)변환렌즈

일정패턴의 결함검사와 광메모리 시스템에서는 그림1.74와 같이 가간섭성의 빛을 피검체에 대어, 그 회절상의 해석을 행하는 경우가 있다. 회절광의 회절차수를  $m$ , 격자정수를  $P$ 로 하면,  $\theta = \sin^{-1} m\lambda / P$ 로 된다. 회절상의 해석차수에 따라서 상이 등간격으로 되는 쪽이 상태가 좋다. 이것을 실현하기 위해서는 상고 $h$ 가  $h = f \sin \theta$ 의 관계로 되는 렌즈가 필요하다. 푸리에변환렌즈의 본래 목적은 홀로그래피(holography)를 사용한 광 정보처리에 있는 경우도 많다.

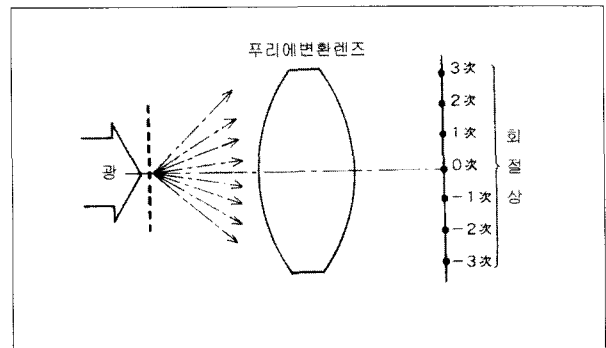


그림1.74(a) 푸리에변환렌즈에 의한 회절상의 결상

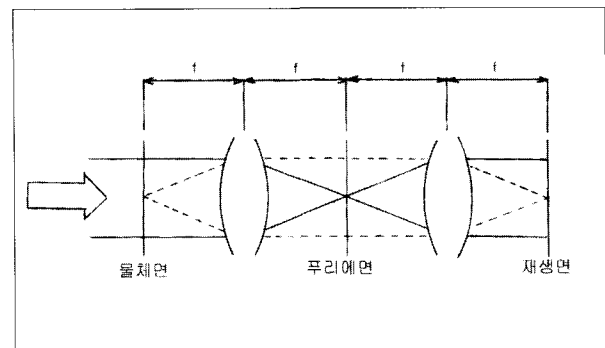


그림1.74(b) 푸리에변환렌즈에 의한 정보처리시의 배치

## 2.5 단렌즈

단렌즈는 결상특성, 즉 수차라고 하는 관점에서 본 경우는 적다. 간단한 실험의 결상계와 빛을 모으기 위한 콘덴서로서 주로 사용되고 있다.

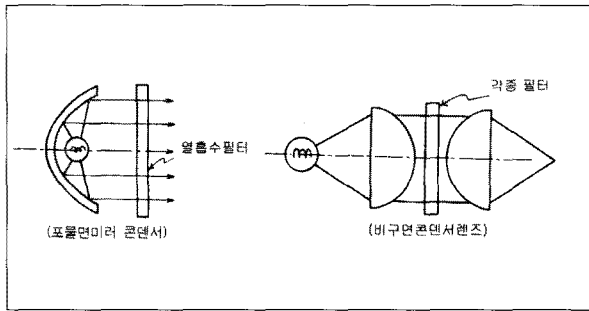


그림1.75 조명용 콘덴서렌즈-미러

(1) 조명용 콘덴서렌즈, 미러

그림1.75와 같이 백열전등 등 면적을 가진 광원의 빛을 효율 좋게 시스템 안에 보내는 작동을 한다. 열에 강한 재료(Pyrex, 석영 등)로 만들고, 열선흡수 필터와 Cold미러와의 병용이 바람직하다. 포물면과 쌍곡면 등 비구면의 것을 사용하는 쪽이 집광효율은 좋다.

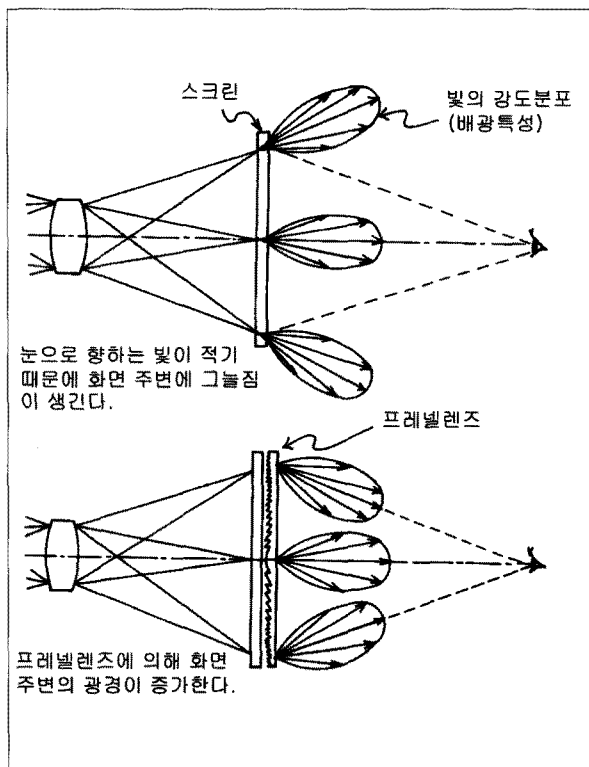


그림1.76 프레넬렌즈의 스크린으로의 효과

(2) 프레넬(Fresnel)렌즈

일반적으로 아크릴수지를 압축성형해서, 굴절면이 연속해서 구면이 아니고, 계단상으로 굴절각이 다른 동심원상의 형태를 하고 있다. 즉, 엄밀하게 렌즈는 아니고 프리즘을 동심원상으로 모은 것이라고 말할 수 있다. 광학시스템에 사용하는 경우에는 결상계로서 사용하는 것은 적고, 빛을 모으는 콘덴서렌즈로서 사용하는 것이 대부분의 경우이다. 그림1.76은 스크린상의 콘덴서렌즈로서 사용한 경우로, 프레넬렌즈가 없는 경우에는 스크린의 주변에 어두운 부분이 발생하게 된다. 또, 그림1.77은 OHP프로젝터의 원고대에 사용한 예로, 상술과 같이, 화면 주변까지의 화상을 기록한 빛을 결상렌즈로 보내는 동작을 한다.

이상 설명했듯이, 구면을 베이스로 한 렌즈에서는 빛을 모으거나, 상을 형성하는 동작이 있다. 그리고 용도에 따라 최적설정이 이루어져, 특수한 용도에 사용되기도 한다. 단, 특성을 충분히 이해해서 사용하면, 예를 들면 사진기의 렌즈에서도 그것을 계측용의 표준으로 사용하는 것도 가능하다. 렌즈를 충분히 사용하기 위해서는 그것에 포함된 특성과 사양을 이해하고, 경우에 따라서는 그 특성을 계측해서 사용하는 것이 필요하다. 그렇게 해야만 광학 시스템 안에서 충분히 위력을 발휘하는 것이 가능하다.

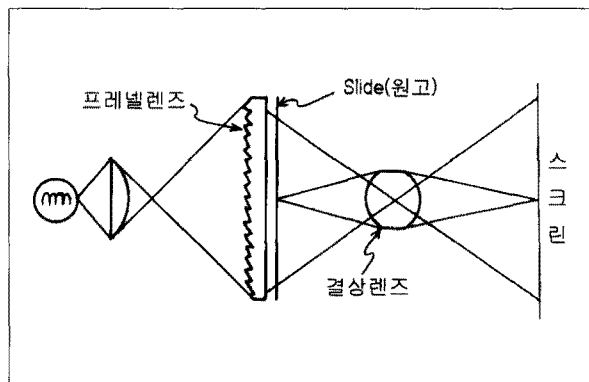


그림1.77 프레넬렌즈를 사용한 투영계

<다음호에는 단렌즈중 비구면렌즈에 대해 소개하겠다.>