

첨단광학기술 활용을 위한 광학부품의 사용방법과 유의점④

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)그리광학에서 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 에 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 시스템으로 의 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(중)

〈지난호에 이어서〉

지난호에 이어 본 장에서는 구면을 베이스로 한 광학부품 즉, 렌즈에 대해서 해설을 한다. 여기서는 렌즈에 대한 대표적인 물리량의 설명과 판매되고 있는 대표적인 렌즈에 대해서 설명한다.

1.2 수차

일반적인 렌즈계에서는 이상적으로 제작된 경우, 이하의 조건을 만족한다(그림1.55참조).

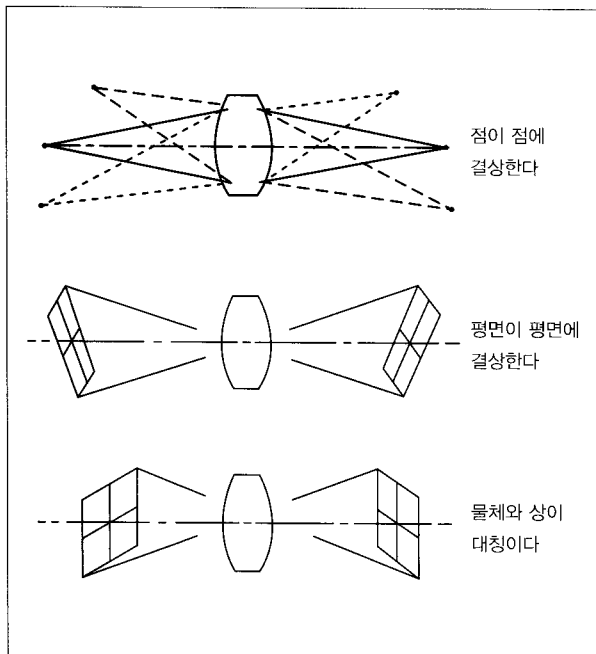


그림1.55 이상렌즈의 결상조건

이상렌즈의 조건으로는 ▶점의 물체가 점에 결상함 ▶평면의 물체가 평면에 결상함 ▶물체와 상이 서로 닮은 관계로 되는 등의 조건이 있다.

그러나 현실 렌즈계에서는 이상적인 렌즈와 비교해서 뭔가의 오차를 가지고, 이상의 조건을 모두 완전히 만족하는 것은 없다. 이 이상적인 렌즈에서의 오차량을 수차라고 한다.

(1) 사이델(Seidel)의 5수차

기하광학적인 수차는 그림1.56에 나타난 것과 같은 5종류의 수차로 나뉘 일반적으로 정의하고 있다.

구면수차란 광축상에 결상하는 빛에 관한 수차로, 렌즈의 입사동 높이에 따라 투과, 결상하는 광선이 광축을 횡절단 위치의 이상적인 위치에서의 오차로 정의한다. 일반적으로 동경(瞳徑)을 좁게 하면 감소한다.

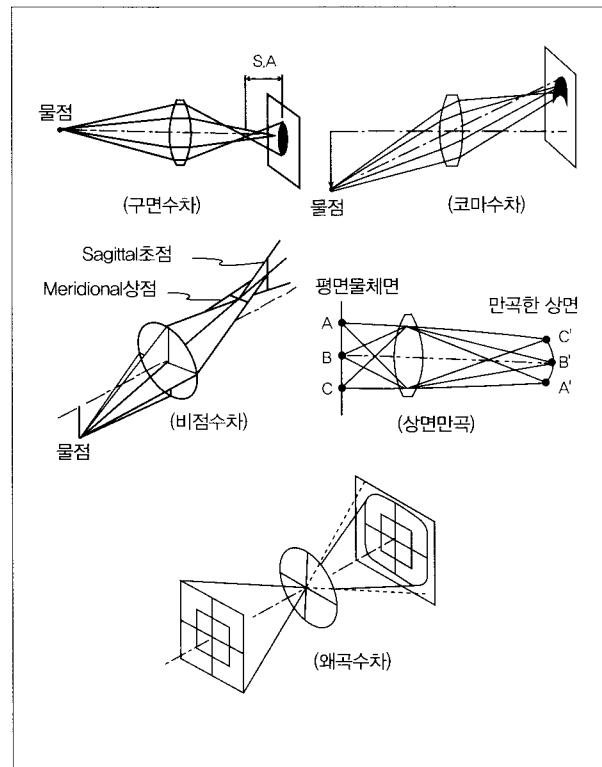


그림1.56 사이델 5수차(기하학적수차)

코마수차는 광축상 이외에서의 결상점에 대한 수차로, 즉 축외상의 구면수차라고 말할 수 있다. 입사동의 높이에 따라서 상면을 횡절하는 장소가 다르기 때문에 혜성과 같이 꼬리를 늘어트린 것과 같은 상을 생성하는 경우가 많다. 구면수차와 같은 식으로 동경을 좁게하면 감소한다.

비점수차는 화면상의 한 점에 대해서, 광축에 대해서 동심원방향(Meridional방향)에 결상하는 위치와 방사방향(Sagittal방향)에 결상하는 위치

가 다르기 때문에 점상을 얻을 수 없는 수차이다. 그 결과, 선상의 상과 큰 스폿상이 되고 동경을 좁게 해도 기본적으로 개선되지 않지만, 초점심도가 깊게 되기 때문에 외관상 좋게 된다.

상면만곡 수차는 물체 면이 평면인데, 상면이 평면이 되지 않는 수차를 말한다.¹⁾ 그 결과 화면 중심부에 초점을 맞추면 주변부가 흐리거나, 주변부에 초점을 맞추면 중앙부가 흐리거나 되어 동경을 좁게 해도 기본적으로 개선되지 않지만, 비점수차와 같은 식으로 외관상 좋게 된다.

왜곡수차는 물체와 상의 형상이 닮는 형이 되지 않는 수차로 일반적인 렌즈에서는 상고 h 의 $f \cdot \tan \theta$ 에서의 오차 비율을 나타낸다. $f \theta$ 렌즈와 같은 특수렌즈계는 그 상고의 이상값에서의 오차 비율을 말한다.

(2) 파면수차

사이텔의 5수차는 기하학적인 수차였다. 이것들의 수차는 파동광학적인 수차, 즉 파면수차로서도 취급할 수 있다. 파면수차란 렌즈 동상(瞳上)의 이상파면에서의 차이이다. 여기서 파면에 대해서 개략을 설명한다. 그림1.57에 나타난 광학계를 우선 생각해보자. 점광원 s 는 발광파장이 하나이고, 모든 면적이 없는 광원으로 한다. 즉 기하광학적으로는 s 부터 여러 방향으로 광선이 나오고 있는 것이 된다. 한편, 파동광학적으로 보면 그곳에서 생기는 빛의 파를 시간을 정지해보면 구면상으로 되는 것은 쉽게 상상할 수 있다. 즉 기하광학적으로 본 <광선>과 직교하는 동위(同位)상면의 것을 파면이라고 한다. 예를 들면 평행광속(무한원에 점광원이 있는 경우의 광 상태)이라면, 파면은

평면이라고 말할 수 있다.

그림1.58은 대표적인 렌즈의 파면수차를 표현하는 그림이지만, 수차가 없는 이상적인 렌즈의 경우에는 직선상의 간섭호라든지, 또는 한색으로 되어 간섭호는 생기지 않는 것으로 된다.

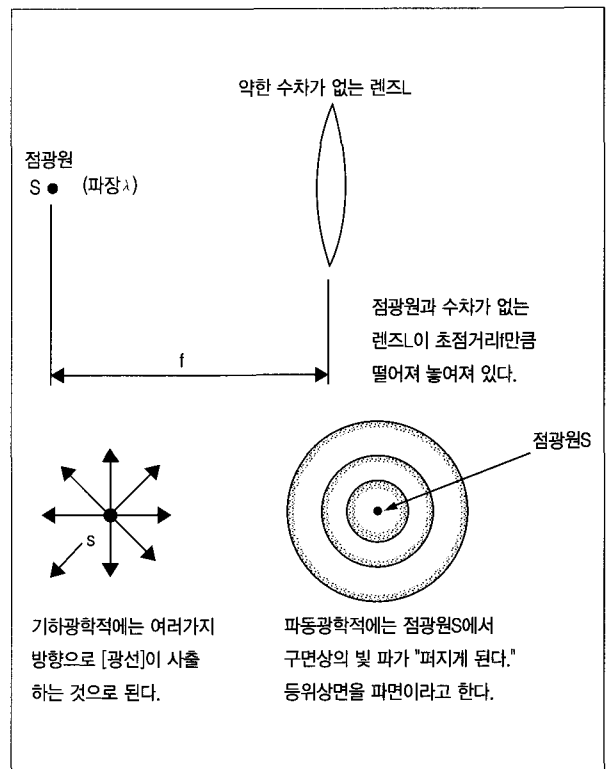


그림1.57(a) 파면수차의 생각방법

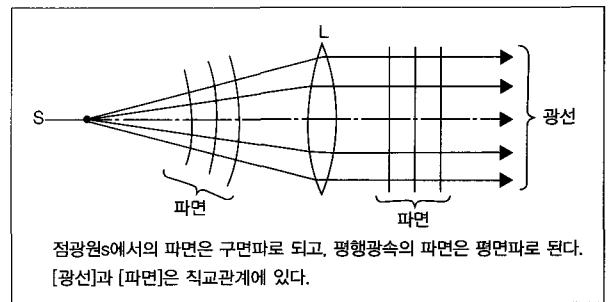
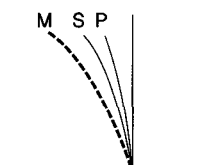
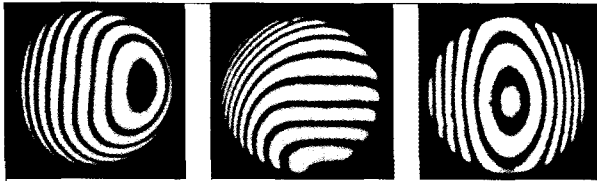


그림1.57(b) 파면수차의 생각방법

1) 수차론상의 상면만곡수차와 비점수차의 관계는 렌즈를 벤딩(초점거리를 바꾸지 않고 렌즈의 곡률을 변화시킨다)시키면 Sagittal · Meridional상면은 1:3 비율로 변화한다. 그와 같이 해서 Sagittal · Meridional의 상면을 일치시킨 상면을 Petzval면이라고 하고, 이 상면의 이상상면에서의 차를 상면만곡 수차라고 한다.





구면수차 코마수차 비점수차
 간섭패턴은 각 수차를 가지는 광선의 1/2파장마다의 등고선을 나타낸다.
 (구면수차와 코마수차는 간섭호를 통해서 나타내고 있다)

그림1.58 대표적인 파면수차도형 예

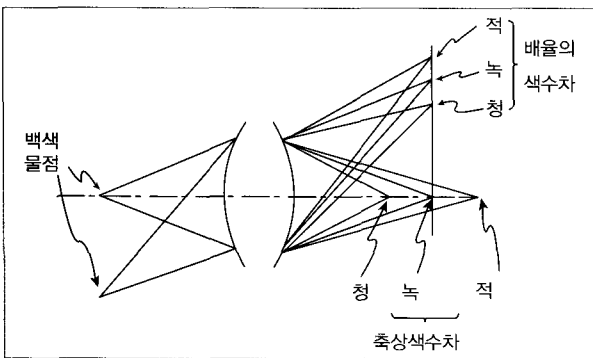


그림1.59 축상 색수차배율의 색수차

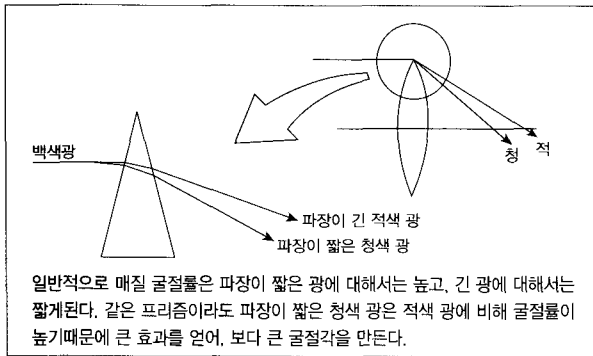


그림1.60 색분산

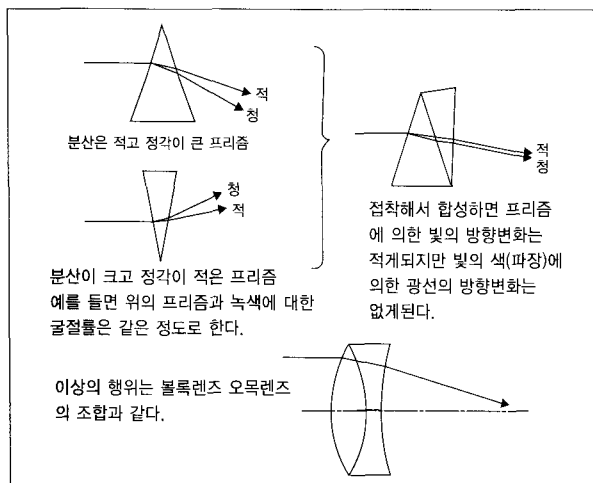


그림1.61 렌즈의 색수차 제거

(3) 색에 관한 수차

렌즈계는 일반적으로 빛을 굴절시켜 렌즈작용을 생성시키고 있다. 글라스의 굴절률은 빛의 파장에 따라 다르다. 즉 초점거리와 수차는 빛의 파장에 따라 다르다. 초점거리의 차이는 광축상의 색수차, 축상 밖에서는 배율의 색수차로 되어 그림1.59와 같이 정의된다. 또 사이델의 5수차는 빛의 파장이 변하면 자신부터 달라진다.

그럼, 왜 빛의 파장에 따라서 렌즈 작용이 다른지를 생각해 보자. 이 장의 최초에 렌즈라는 것은 프리즘의 집합체라는 것을 말했다. 프리즘의 형태를 이루고 있는 매질의 굴절률은 빛의 파장에 따라 다른 것을 제1장의 3에 적었다. 즉, 일반적으로 청색광(400nm 정도의 단파장 빛)에 대한 물질의 굴절률보다도 크다. 이 때문에 다양한 파장이 혼재해 있는 광(백색광이라고 한다)을 프리즘에 조사하면, 청색광은 크게 휘고, 적색광은 그것보다도 조금밖에 휘지 않는 것으로 된다. 렌즈는 그와 같은 프리즘의 집합체이기 때문에, 청색광에 대한 초점거리의 쪽이 적색광에 대한 초점거리보다도 짧게 된다(그림1.60).

이와 같은 현상을 경감하기 위해서 <색수차 제거>라고 불리는 수단을 들 수 있다. 즉 분산 가능한 다른 2종류의 매질을 사용해서, 그것에 正프리즘의 효과 및 負프리즘의 효과를 얻는다. 이것과 같은 것을 렌즈로 만들면, 빛의 파장에 의한 굴절률 변화가 적은 매질을 사용한 볼록렌즈와 변화가 큰 매질을 사용한 오목렌즈를 조합해서 렌즈를 구성하는 것으로 된다. 이와 같은 조합을 행함에 의해, 빛의 파장 차이에 의한 초점거리의 변화를 억제할 수 있다(그림1.61).

이상과 같은 수차는 복수의 렌즈를 조합해서, 밸런스를 얻는 것에 의해 경감하고 있다. 즉 사용되고 있는 모든 곡면이 여러 수차에 관여하고 있

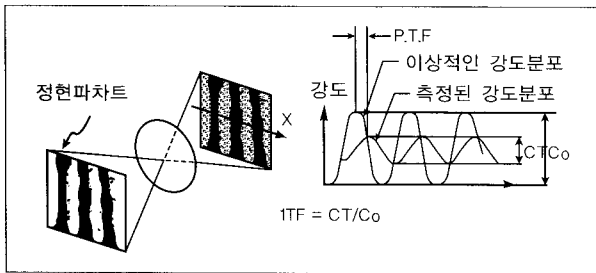


그림1.64-1 OTF(MTF, PTF)의 정의

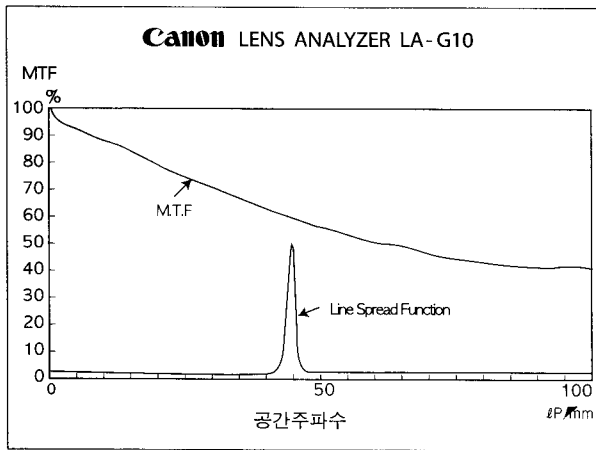


그림1.64-2

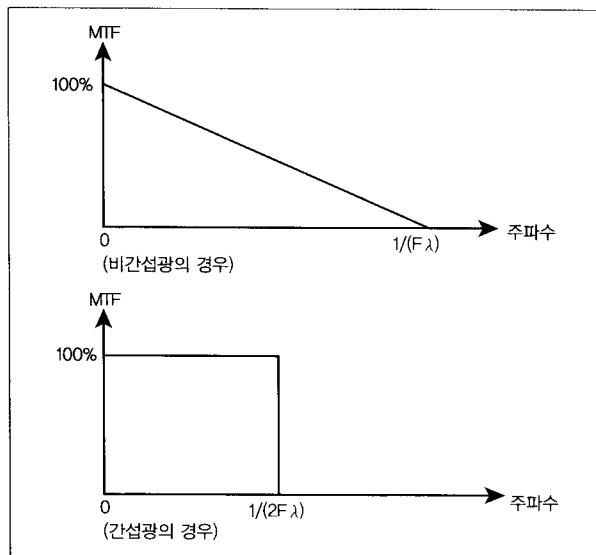


그림1.65 MTF의 차단주파수
(렌즈 수차는 완전히 없는 것으로 한다)

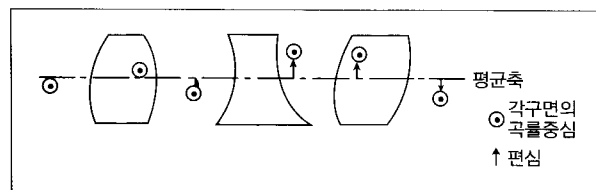


그림1.66 편심

그림1.64에 나타나듯이 정의된 공간주파수의 정현격자를 결상시키는 경우의 콘트라스트(M.T.F. = Modulation Transfer Function)로 분해능을 표현하는 경우가 있다. 결상시킨 경우 정현파의 위상성분을 P.T.F.(Phase Transfer Function)이라고 하고, M.T.F.와 더불어 Response함수(O.T.F.)라고 한다. O.T.F.의 측정은 L.S.F.의 주파수분석을 행하는 것에도 가능하다. 렌즈계는 공간주파수에 대해서 일반적으로 Low pass필터의 행동을 행하지만, 그 차단주파수는 렌즈의 F넘버와 빛의 파장으로 정한다. 그림1.65에 나타나듯이 수차가 전혀 없는 이상적인 렌즈에서 간섭광을 사용한 경우는 차단주파수가 $1/2F\lambda$ 로 되고, 비간섭광을 사용한 경우는 $1/F\lambda$ 로 된다.

1.4 그 외

(1) T넘버

렌즈의 투과율을 고려한 실질적인 밝기를 표현하는 것으로 F넘버에 투과율을 고려해 넣어 이하와 같이 나타낸다.

$$TNo. = FNo. / \sqrt{\text{투과율}} \quad (1.11)$$

(2) 편심

렌즈계는 광축이라고 하는 가공 선상에 완전히 깨끗하게 되어 있지 않는 렌즈계중의 각 구면의 곡률중심위치를 평균적으로 연결하는 축을 평균축이라고 한다. 이 평균축을 광축으로해서, 그림 1.65와 같이 각 면 곡률중심의 광축까지 거리를 편심이라고 한다. 광축에는 평균축 외에 조립되는 금속기구의 중심축을 선택하는 경우도 있다.

〈다음호에 계속〉