

# 첨단광학기술 활용을 위한 광학부품의 사용방법과 유의점 ⑫

광학세계에서는 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 세부에 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 사내자료로 활용하고 있을만큼 시대와 장소를 초월하여 아직도 광학산업현장에서 유용한 자료로 읽혀지고 있다. 비록 일부 내용들은 우리 나라 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 예 등을 소개했다. 기술 내용은 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 學習院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

〈지난호에 이어서〉

## 2. 빛을 화상(공간정보)으로서 취급하는 시스템

우리들 주위에 있는 광학시스템 중 가장 많은 것이 빛을 화상, 혹은 공간정보로서 취급하는 것이다. 화상에 관련한 광학시스템에서는 결상현상을 기본으로 해서, 중단, 필터링, 공간적인 배치변환 등의 기능이 이루어져 있다. 그림2.31은 이것을 모식적으로 나타낸 것이지만, 특징적인 포인트로서 결상현상을 들 수 있다. 즉 빛의 파동과 광(光) 강도에 대해 주로 기능하는 시스템과 다른 것은 “면적이 있는 화상”에 대해서 광학계를 생각할 필요가 있는 점이라고 할 수 있다. 결상광학계에 의해 물체의 상을 형성하지만, 적어도 필요로 하는 범위(면적) 내에서, 물체에서의 빛이 상면에 도달해 있는 것이 기본적인 조건이고, 그 범위 내에서 충분한 해상도를 유지하기 위한 수차보정과 물체와의 사이의 상사(相似)관계를 유지하기 위한 수차보정, 게다가 색채의 재현성 등이 보장되고 있으면 결상광학계로서 만족할 수 있는 것이다. 화상을 취급하는 광학시스템에서는 이와 같은 결상광학계에 의한 화상을 중단·전송하거나, 공간주파수와 색채와 시야에 대해서 필터를 거치거나, 그리고 화상을 공간적으로 회전하거나 분해한다고 한 배치변환 등의 기능을 시스템 내에서 행하는 것이 많다. 그림2.32에 그러한 각종 기능을 행하기 위한 광학부품을 나타냈다. 다음에 결상광학계에 관계하는 대표적인 광학부품 및 그 사용하는 방법과 생각방법의 개요를 소개하겠다.

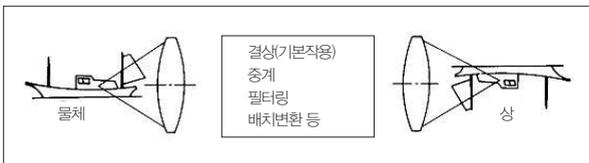


그림2.31 광을 화상(공간정보)으로서 취급하는 시스템

### 2.1 결상광학계

빛을 화상으로서 취급하는 시스템의 주역은 결상광학계라고 생각되고, 여기서는 렌즈계, 즉 굴절결상광학계를 중심으로 설명을 하겠다.

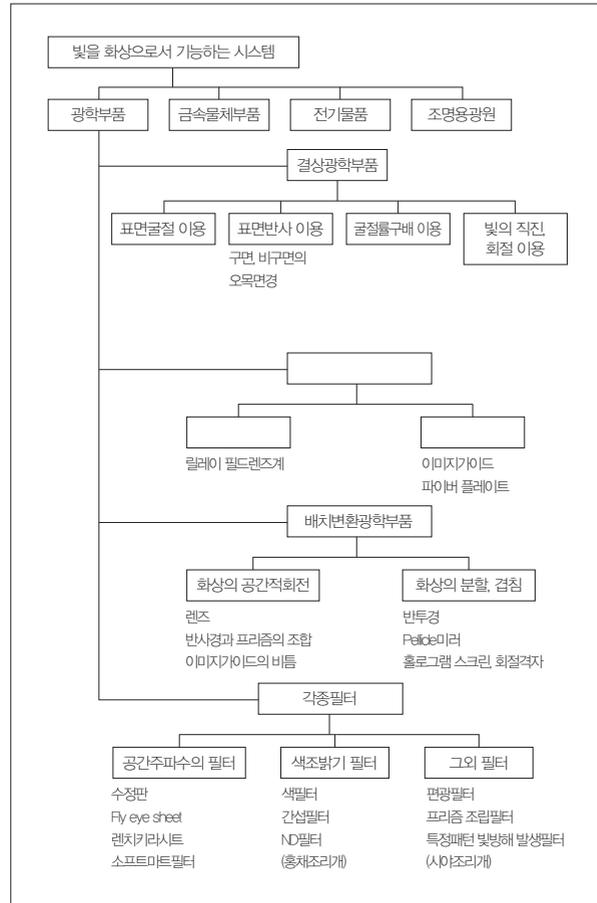


그림2.32 화상으로서 기능하는 시스템과 대표적 광학부품

제1부에 렌즈계에 관한 수차 등의 설명을 했기 때문에, 여기서는 렌즈를 실제로 사용하는 경우의 제 문제를 취급하는 것으로 한다.

렌즈계는 금속기구에 놓여져 있으면 그 구성 등을 외측에서 판단하기 어렵다. 단, 렌즈의 카탈로그 등에는 렌즈타입과 구성매수 혹은 구성단면이 기재되어 있는 것도 많기 때문에, 렌즈 타입에 따라 어느 정도 특징이 있는가를 간단히 살피는 것으로 한다.

#### (1) 단렌즈

1장 구성의 렌즈를 단렌즈라고 하고, 그림2.33에 나타나듯이 이름이 있다. 결상작용을 행해 얻는 볼록렌즈계는 확대경과 F/8이상의 F값으로 저가 사진기 등에 사용되고 있다. 단, 색수차 보정은 행하고 있지 않기 때문에, “상을

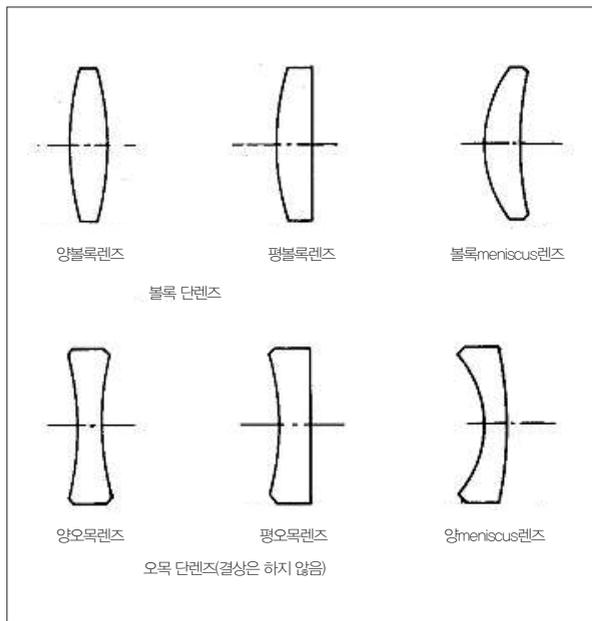


그림2.33 단렌즈 부르는 방법

만든다” 정도의 기능이라고 생각해도 좋다. 또한 그림 2.34에 나타난 것과 같이 굴절을 분산이 다른 볼록오목 렌즈를 접합해서 색수차 제거를 한 렌즈를 Doublet이라고 한다.

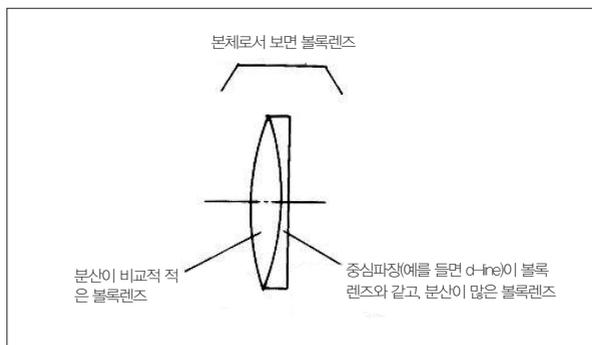


그림2.34 색수차 제거 렌즈

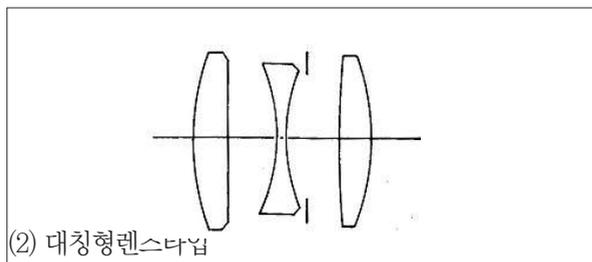


그림2.35 Triplet타입 그림

단렌즈와 Doublet은 다르고, 조리개를 넣어 전후 형상이 비슷한 렌즈를 거의 대칭형으로 배치해서 높은 결상성능을 노린 것이다. 일반의 고정초점 렌즈계에서는 훨씬 많이 사용되고 있다고 생각되고, 계산기를 사용한 자동설계 기법과 광선추적에 의해 질 높은 것이 다양한 용도로 사용되고 있다.

(a) Triplet타입

F값이 F/3.5 이상의 사진기용 렌즈와 Collimator렌즈계로 해서 많이 사용되고 있는 타입이다. 볼록, 오목, 볼록의 단순한 구성에도 불구하고 구면수차와 상면만곡이 좋게 보정가능하다는 특징을 가진다(그림2.35).

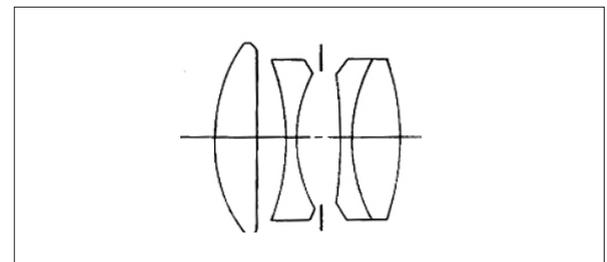
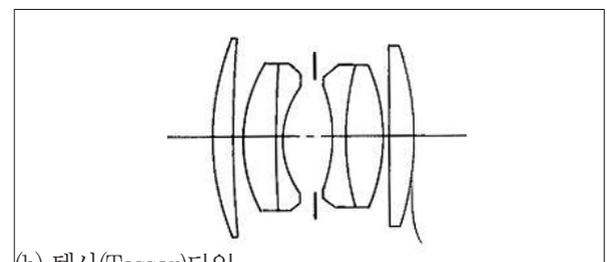


그림2.36 텃사타입



(b) 텃사(Tessar)타입

그림2.37 가우스타입

Triplet타입의 후군 1장을 접합 렌즈로 한 것으로 넓은 용도에 사용되고 있다. 상면만곡 수차가 적기 때문에 F/2.8 정도의 사진기용 렌즈와 제판용과 확대용에 사용되고 있다(그림2.36).

(C) 가우스(Gauss)타입

그림2.38에 나타난 것과 같이 Orthometar타입 대칭형의 특징인 계수차가 적고, 모든 성능에 밸런스가 잡힌

다. 대구경, 대화각의 렌즈계가 가능한 것에서, 일안 리플렉스의 고급 사진기용 렌즈로서 많이 사용되고 있다(그림2.37).

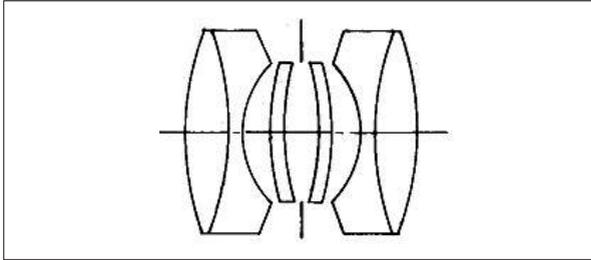


그림2.38 Orthometar타입

(d) Orthometar타입  
구경은 크게 잡히지 않는 타입이지만, 상면만곡의 수차가 잘 보정할 수 있는 것이기 때문에, 대면적 물체면을 1:1로 결상하는 복사용렌즈로서 사용되는 것이 많다(그림2.38).

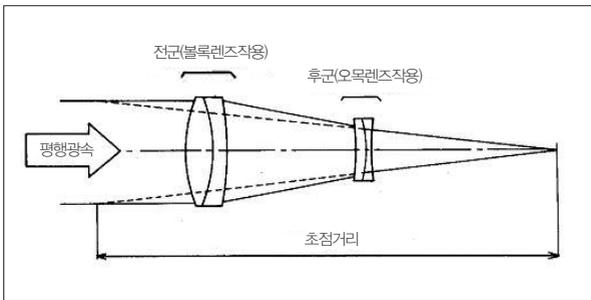
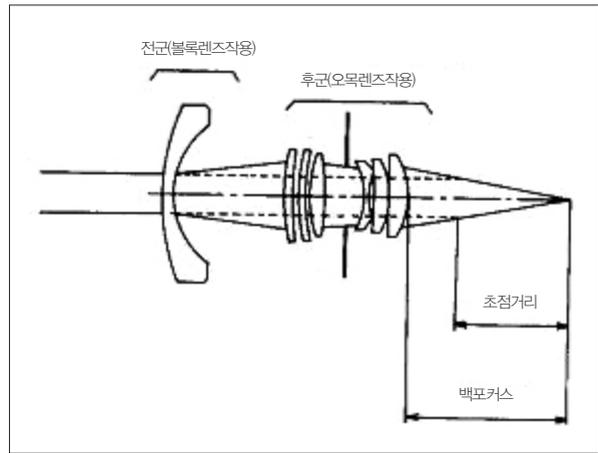


그림2.39 Tele타입

(3) 망원형 렌즈(Tele타입)  
전군에 강한 블록렌즈 작용의 군을 놓고, 후군에 오목렌즈 작용을 하는 군을 배치한 경우, 렌즈의 전면에서 초점까지의 거리가 초점거리보다도 짧은 광학계가 가능해서, 사진기용의 망원렌즈계에 많이 사용되고 있다. 단, 비대칭형이 되기 때문에 제수차가 발생하기 쉬운 타입이고, 큰 화각에 대해서는 부적합하다. 또 전군의 색수차가 후군에서 확대되기 때문에, 전군에 형석과 FK-01 등 저분산 글라스를 사용한 것도 많다(그림2.39).



(4) 역망원형 렌즈(Retro-Focus타입)  
망원형 렌즈와는 반대로, 전군에 오목 렌즈로 배치하는 것에 의해, 백 포커스(렌즈후단에서 초점까지의 거리)가 렌즈의 초점거리보다도 짧은 것을 특징으로 하고 있다. 백 포커스를 기계적인 제약에 의해 짧게 할 수 없는 광학계에 사용되고, 일안 리플렉스용의 광각렌즈 등에 많이 사용되고 있다(그림2.40).

(5) 반사굴절혼합계(Catadioptric System)  
천체관찰용 망원경에서 만들어진 기술로, 미러렌즈라고 불리고, 망원렌즈에 생기기 쉬운 색수차가 적은 것을 특징으로 하고 있다(그림2.41).  
이상, 각종 대표적인 렌즈타입을 주로 사진기에 사용되는 렌즈를 중심으로 설명했지만, 실제 렌즈계는 상기의 타입을 기본으로 렌즈의 구성매수와 군수(그림2.42)를 증가하거나 곡률 붙이는 방식에 연구를 해서 제작되고 있다.

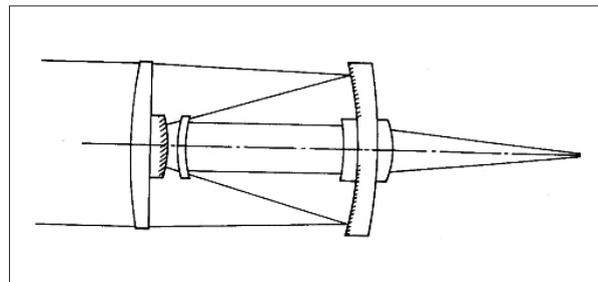


그림2.41 반사굴절혼합계 (광축상 혹은 주광선상의 빛은 결상에 기여하지 않음)

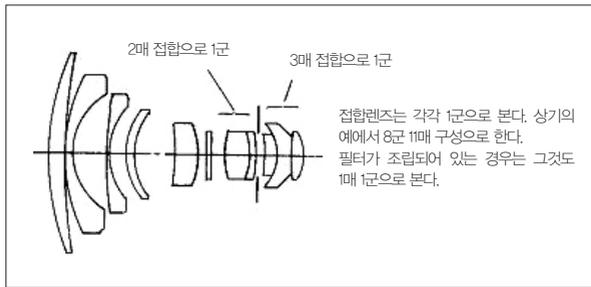


그림2.42 렌즈의 군과 매수 카운트 방법

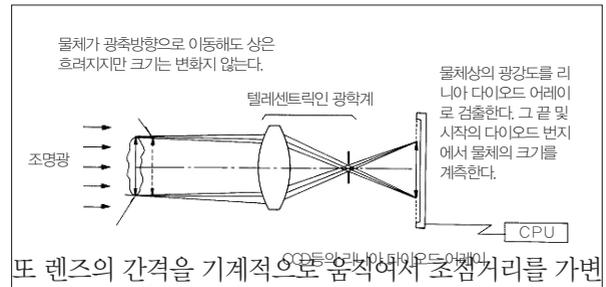


그림2.45 Telecentric광학계를 사용한 물체길이 측정시스템 예

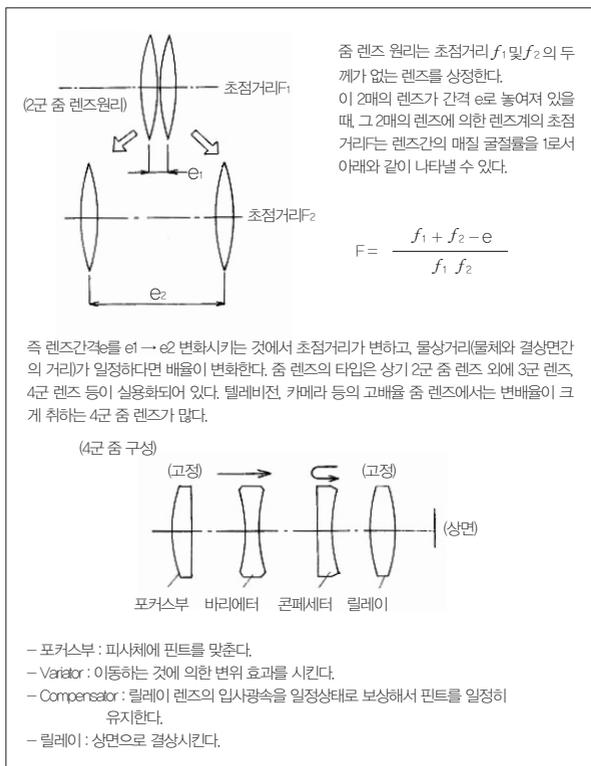


그림2.43 줌 렌즈(변배 렌즈)

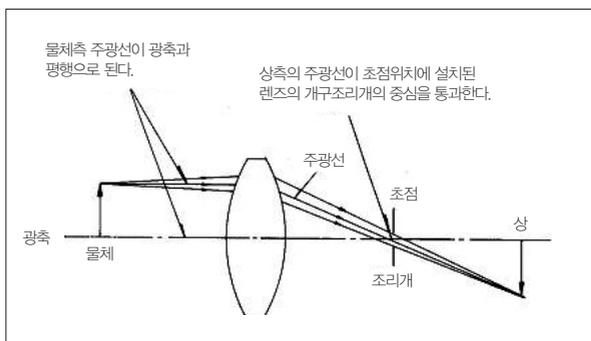


그림2.44 텔레센트릭 광학계

으로 한 렌즈(줌 렌즈, 그림2.43)도 고성능을 가진 것이 많게 되고, 동영상을 취급하는 8mm카메라와 비디오카메라에는 거의 장착되고 있다.

계측과 IC 소부장치 등, 화상 크기를 주목적으로 하는 시스템의 경우에는 Telecentric계가 자주 이용된다. 이 광학계는 그림2.44와 같이 주광선(광축외의 물점에서 나와 렌즈계의 개구조리개 중심을 통과하는 광선)이 초점을 통과하도록 배치된 광학계 즉, 동위치(瞳位置)와 초점위치가 일치하고 있는 광학계이다. Telecentric광학계를 사용해서 예를 들면 그림2.45에 나타난 물체의 길이를 측정하는 시스템을 가정한다. 일반의 결상계에서는 물점이 광축 방향으로 이동하면 상고(광축에서 상점까지의 거리)가 변화하지만, Telecentric광학계를 사용한 경우에는 물점의 광축방향의 이동에 대해서 관찰면상에서의 상은 흐려지지만, 상고에는 변화가 없고 즉, 물점축의 공간에서 주광선이 평행으로 되기 때문에 가정한 측정시스템에서는 피검물체의 광축방향으로의 설치오차가 있어도 측정정도로의 영향은 적게 되게 된다.

결상광학계를 사용한 광학시스템 중에는 화면 중심이 반드시 일치하지 않는 것과 상면이 광축과 수직 방향으로 되지 않는 것을 생각할 수 있다. 이와 같은 결상시스템에는 예를 들면 넓은 화각범위에서 수차가 잘 보정되어, 화면 중심이 광축과 일치하지 않아도 충분한 해상력을 얻을 수 있는 결상광학계가 필요하게 된다. 이상의 사항은 건물 사진을 촬영하는 경우를 생각하기 쉽다. 그림2.46과 같이 지상에서 높은 건물을 일반 사진기를 사용해서 면화(面畵)의 전면에 촬영하는 경우, 사진기 전체를 기울여 촬영하는 것으로 된다. 그 결과, 건물 벽과 광축이 수직이 되지 않고, 건물의 상부와 하부에서 물체거리에 차를 만든다. 즉 건물 상부와 하부의 촬영배율에 차를 만들어 상의 크기가 변화기 때문에 “원근감”이 있는 화상이 되고,

물체거리차가 필름면(상면)에 있기 때문에 양방 한 번에 초점을 정확히 맞출 수 없다.

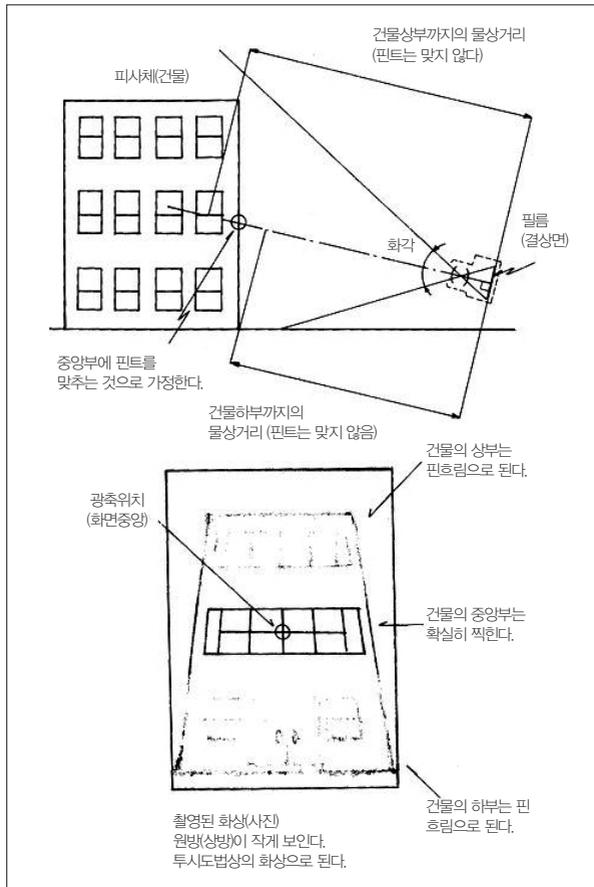


그림2.46 건물의 사진을 촬영하는 예

건물의 상부와 하부를 같은 크기의 화상을 얻기 위해서는 촬영배율을 동일하게 할 필요가 있고, 이것을 위해서는 물체거리를 같게 해야 한다. 즉 그림2.47에 나타난 건물 벽과 광축이 수직으로 할 필요가 있는 한편, 건물전면을 화상화하기 위해서는 그림에 나타나듯이 광축 위치를 화면 중앙부에서 평행 이동시켜 촬영하는 것으로 된다. 그와 같은 결상광학계의 사용방법은 화면 크기에 대해서 충분히 큰 화각을 가진 광학계에 의해 이루어진다는 것은 말할 필요도 없다.

이와 같은 결상광학계를 화면에 대해서 평행이동을 해서 사용하는 방법은 계측기 등에도 응용하는 것이 가능하고, 예를 들면 그림2.48에 나타난 격자투영형의 Moire topography에 의한 형상계측장치 등을 생각할 수 있다.

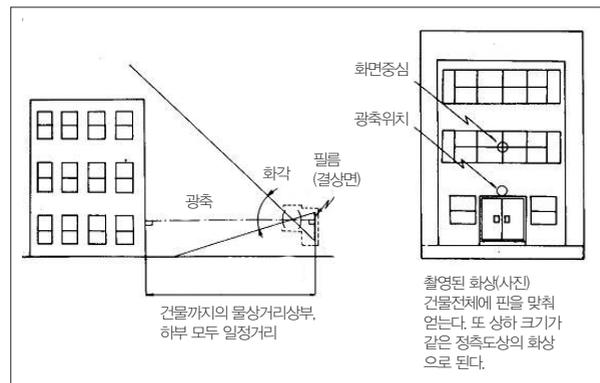
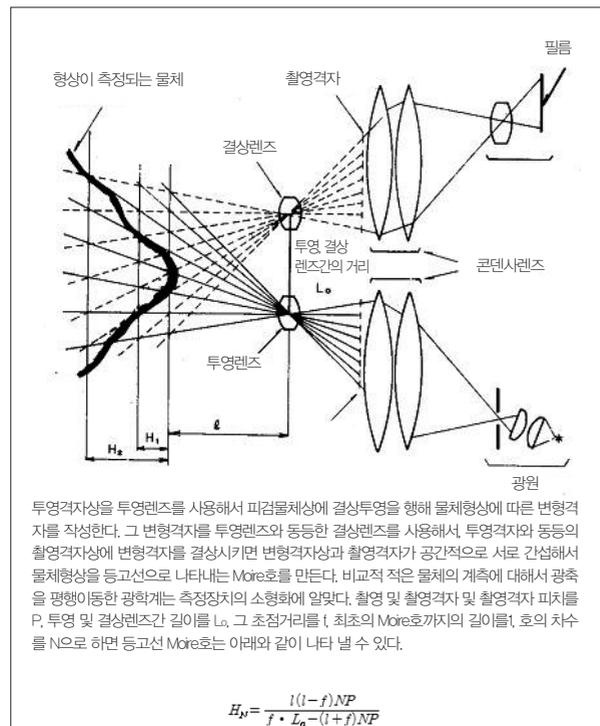


그림2.47 결상광학계를 화면중심에서 평행이동(시프트)해서 건물을 촬영하는 예



이 장치의 이점은 조면물체의 형상과 비접촉으로 등고선  
그림2.48 광축평행이동렌즈를 사용한 격자투영형 Moire topography

표시할 수 있는 점에 있다. 격자투영광학계와 촬영광학계가 동일물체에 대해서 평행한 광축을 가지고 거의 결상상태로 하고 있다. 이것은 투영되는 격자상이 일정면 거리 상에서 등피치로 될 필요가 있는 한편, 그 조건을 상기의 투영 및 촬영광학계에서 동시에 그리고 동일조건으로 만족할 필요가 있는 것에 의한다. 이상의 조건에 더해 측정 가능범위의 광면적 확보 등을 생각하면 투영, 촬상(撮像)의 양광학계 모두 화면(격자)의 중심과 광축이 일치하지

않는 그림과 같이 평행 이동한 구성으로 된다.  
 또 건물 사진을 촬영하는 경우에, 건물 상부와 하부는 둘  
 다 한 번에 초점을 맞출 수 없는 문제의 해결법을 생각한  
 다. 원인은 광축에 대해서 물체면이 기울어 건물 상부와  
 하부에서 물체거리가 변화한 것에도 불구하고, 상면(필름  
 면)은 광축과 수직인 관계이기 때문에 설정해 있는 결상  
 거리는 필름 전면에 일정값을 취하는 것에 의한다. 결  
 국 건물 중앙부에 핀트를 맞춘 상태를 설정하면, 건물상  
 부는 거리가 설정한 물체거리가 길게 되기 때문에 그 결  
 상위치는 필름보다 렌즈측에 결상한다. 역으로 하부는 필  
 림보다 먼 위치에 결상하기 때문에, 건물의투영격자상을  
 투영렌즈를 사용해서 피검물체상에 결상투영을 행해 물  
 체형상에 따른 변형격자를 작성한다. 그 변형격자를 투영  
 렌즈와 동등한 결상렌즈를 사용해서, 투영격자와 동등의  
 촬영격자상에 변형격자를 결상시키면 변형격자상과 촬영  
 격자가 공간적으로 서로 간섭해서 물체형상을 등고선으  
 로 나타내는 Moire호를 만든다. 비교적 적은 물체의 계측  
 에 대해서 광축을 평행이동한 광학계는 측정장치의 소형  
 화에 알맞다. 촬영 및 촬영격자피치를  $P$ , 투영 및 결상렌  
 즈간 길이를  $L_0$ , 그 초점거리를  $f$ , 최초의 Moire호까지의  
 길이를  $l$ , 호의 차수를  $N$ 으로 하면 등고선 Moire호는 다  
 음과 같이 나타낼 수 있다. 상부와 하부를 동시에 필름면  
 상에 초점을 맞출 수 없다.

건물 상부와 하부를 동시에 초점을 맞춰 촬영하기위해  
 서는 상기의 위치에 필름면을 설치할 필요가 있고, 그림  
 2.49에 나타난 필름면(상면)과 광축이 수직이 되지 않는  
 관계로 된다. 이와 같이 상면과 광축을 수직으로 설치하  
 지 않는 광학시스템 계측기기 등 각종의 것을 생각할 수  
 있다.

이상의 두 가지 방법은 역사적으로 가장 오래된 광학기  
 기의 하나인 조립카메라도 갖추고 있는 기능이고, 일안 리  
 플렉스의 교환렌즈 등의 “아오리(movement)shift렌즈”  
 도 동등의 기능을 가진 광학계라고 말할 수 있다.

## 2.2 조명광학계

빛을 화상으로서 기능하는 시스템에서는 조명광을 인공  
 적으로 작성하는 경우도 많다. 특히 고해상력을 필요로  
 하는 시스템에서는 결상렌즈의 사양뿐만 아니라 조명광  
 의 문제도 시스템으로서 큰 문제가 된다.

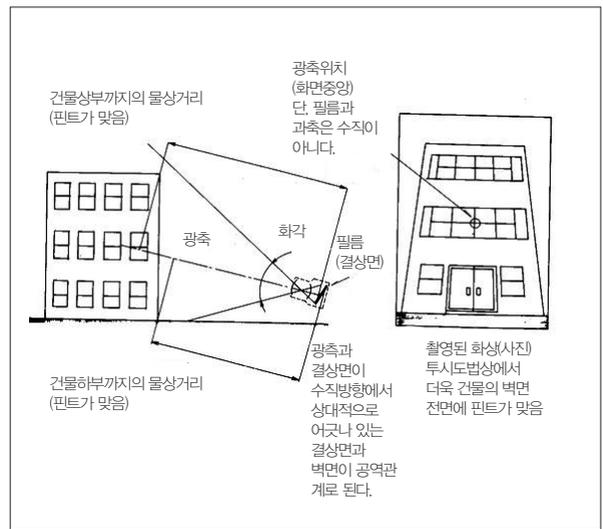


그림2.49 광축과 결상면을 기울어 건물을 촬영하는 예

결상렌즈의 해상력은 그 렌즈의 수차보정을 완전하다고  
 말할 수 있기까지 행해도, 제1부에서 설명한 것 같이 F넘  
 버에 의한 차단주파수가 결정하는 것에서 같은 문제가 물  
 체를 조명하는 빛에 대해서도 말할 수 있다. 고해상력을  
 요구하는 광학시스템에서는 투과조명광학계를 사용하는  
 것이 많다. 예를 들면 현미경과 IC패턴소부장치 등이 대  
 표적인 것이라고 말할 수 있고, 광에너지의 유효이용이라  
 고 하는 견지와 장치구성의 제약조건 등에서 이 방법을  
 취할 수 있다. 고해상력을 얻기 위해서 결상렌즈는 당연  
 히 F넘버가 작고 밝은 렌즈가 사용되지만, 그림2.50과 같  
 이 조명광학계가 그 렌즈의 F넘버를 커버하지 않으면 소  
 정해 해상력을 얻을 수 없다. 이것은 조명광학계에 의해  
 F넘버를 크게 하고 있는 것에 상당하기 때문이다. F넘버  
 가 적은(NA가 큼) 결상렌즈를 사용하는 경우에는 수차를  
 보정시켜 균일휘도가 되도록 복수 매의 렌즈로 구성된 조  
 명광학계로 된다.

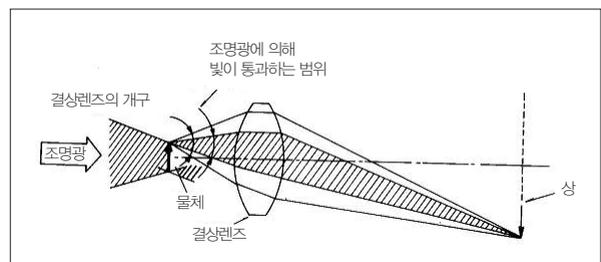


그림2.50 결상렌즈와 조명광

(1) 임계(臨界)조명법

그림2.51에 나타나듯이 광원의 필라멘트 등의 상이 물체 상에 결상하기로 한 조명방법이다. 이점으로서는 효율이 좋고 밝은 조명광을 얻는 것이 가능하지만, 광원에 휘도의 얼룩이 있으면 그대로 상면의 얼룩이 된다. 예를 들면 백열등의 필라멘트 분포 등이 그대로 상면에 결상한다. 이 때문에 보조집광렌즈의 표면을 개구리 피부와 같이 작은 요철(凹凸)을 붙이면 개선된다고 알려져 있다.

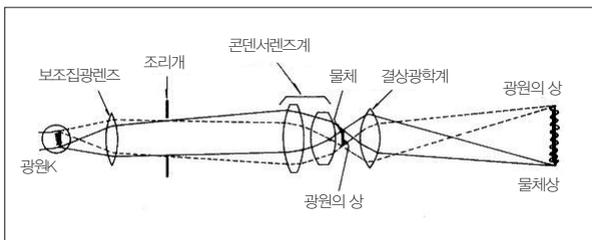


그림2.51 임계조명법

(2) 켈러(Koehler)조명법

그림2.52 켈러조명법임계조명법의 결점을 개선하기 위해, 물체면상에서 광원의 상이 무한원(평행광속)에서 투과하도록 한 조명방법이다. 그림2.52는 이 구성을 나타낸 것으로 물체면을 평행광속이 투과하는 한편 광원의

시아조리개의 상이 물체면에 일치시키고 있다. 이 때문에 조명되는 범위(조야)의 윤곽이 명확하게 되고 임의로 조절하는 것도 가능하다. 즉, 시야조리개 면상에서의 광강도를 균일히 고휘도로 하는 것에 의해 사용하기 쉬운 조명광학계로 되기 때문에, 현미경등에서 많이 사용되고 있다.

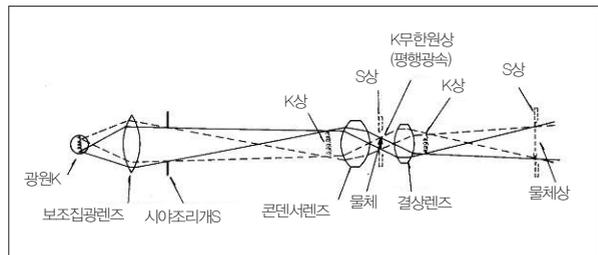


그림2.52 켈러조명법

<바로잡습니다>

2011년 4월호 지상공개강좌에서 49P의 그림2.20과 50~51P 본문의 '레이저공진기의 Beam waist'를 '레이저공진기의 Beam waist'로 바로잡습니다.

## 『광학세계』 원고 모집 안내

한국광학기기협회에서 발간하는 '광학세계'의 원고를 모집하고 있습니다. 관심 있는 업체, 학계, 연구계 및 개인 구독자 여러분의 많은 참여를 부탁드립니다.

1. 원고 내용 : 연구논문, 회사소개, 제품소개, 국내·외 기술동향, 이달의 독자, 칼럼 등
2. 원고 분량 : 제한 없음
3. 원고 마감 : 수시 접수중

※ 기사로 활용할만한 좋은 소재를 알고계신 경우 연락주시면 직접 방문하여 취재하겠습니다.

- 연락처 : 한국광학기기협회 '광학세계' 편집부
- TEL : 02-3481-8931 • FAX : 02-3481-8669 • E-Mail : pjy@koia.or.kr