

# [ 첨단광학기술 활용을 위한 광학부품의 사용방법과 유의점 ⑥

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 기반이 앞서있다고 생각되는 일본의 실질적인 기술관련 자료가기 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

## 저자역력: 末田哲夫

1947년 5월 25일생  
1971년 學藝院대학 이학부 물리학과 졸업  
1973년 同수사과정 수료  
1973년 캐논(주) 입사  
각종 광학계에 관한 거측·물리광학을 주제로 한 계측방법과 화상처리에 관한 연구개발 등에 종사, 현재 연구개발본부 G-CDS추진부 부장

## 제2장 구면을 베이스로 한 광학부품(下)

〈지난호에 이어서〉

### (3) 비구면렌즈

렌즈란 프리즘의 집합이라는 것을 이 장의 최초로 설명했다. 거기에서는 주로 제조상의 경우에서 렌즈라는 것은 투명한 모체를 두 개의 구면으로 감싼 것이었다. 그러나 그림1.78과 같이 극히 파워가 큰 렌즈를 프리즘으로 생각해 보자. 그러면, 주변부분의 프리즘은 정각이 매우 크게 되어, 좌측에서 광축으로 평행하게 입사해서 오는 빛이 하나로 연결되지 않는 것이 된다. 즉, 주변부분에 입사한 빛의 쪽이 중심부분에 입사한 빛보다 렌즈에 가까운 위치에서 광축을 횡절하게 된다. 다시 렌즈로 돌아가서 생각하면, 이 렌즈는 구면수차가 큰(-)측으로 뒤집힌 성능을 얻는 것으로 된다. 즉, 두 개의 구면만으로 구성된 단렌즈는 많거나 적거나 반드시 구면수차를 가지는 것으로 된다. 또한 코마수차도 당연히 생긴다. (그림1.79)

이와 같은 렌즈를 구면으로 구성하는 것에 의해 기인하는 성능악화를 직접적으로 방지하기 위해서 비구면렌즈가 사용되고 있다. 즉, 상기와 같이 렌즈를 프리즘으로까지 되돌아가 생각하면 좋고, 예를 들면 평행광축을 한 점에 모이기 위해서는 중심부분에서 주변부분이 됨에 따라 구면에 대한 변화보다도 적은 변화를 가지는 연속 면이 필요하게 되는 것을 쉽게 상상할 수 있다. (그림1.80)

그러나 구면, 혹은 평면이외의 연속한 면을 현재의 글라스의 구면렌즈와 동 정도의 정도로 제조, 가공하는 것은 쉬운 일이 아니다. 그림1.81은 전형적인 구면렌즈의 가공공정이다. 이 중에서 그라인딩공정과 연마공정에서는 횡강연마기라고 불리는 가공기가 잘 사용된다. 이 가공기의 가공방법은, 예를 들면 글라스 등의 피가공물이 곡면의 곡률중심이 기계의 회전축중심으로 되도록 해서 회전시켜, 연마사라(목표로 하는 곡률반경에 광학원기를 사용해서 정도 좋게 가공되고 있다)를 피가공물 위에서 왕복운동을 행하는 것뿐이다. (그림1.82) 이와 같은 단순한 방법이라도 피가공물과 연마사라가 서로 연마되는 것에 의해 빛의 파장보다도 고정도로 구면의 형태, 즉 렌즈로

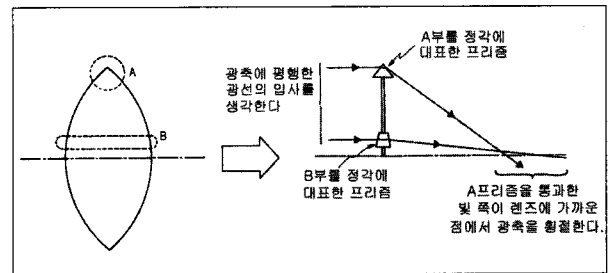


그림1.78 두꺼운 렌즈의 광선

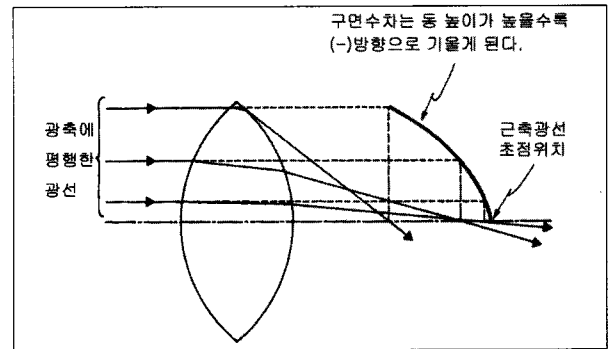


그림1.79 두꺼운 단렌즈의 구면수차

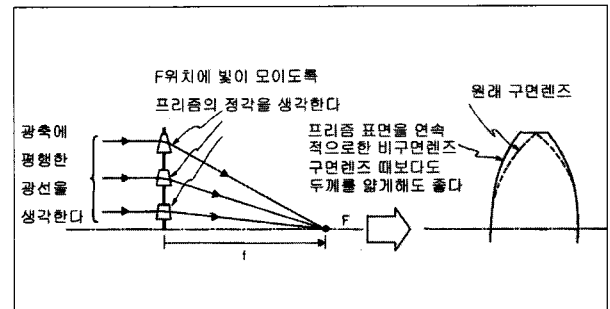


그림1.80 비구면렌즈의 생각방법

1. 절단	2. 등골게	3. 그라인딩	4. 연마	5. 심취	6. 코팅
재료를 적당한 크기로 다이아몬드 커터 등으로 절단한다.	절단된 4각 재료를 그라인딩 등으로 등골게 해서 가공하기 쉽게 한다.	외경이 동근 재료를 거친 모래를 사용하여 연마기로 렌즈의 형태로 만든다.	렌즈의 형태로 된 재료를 연마기와 연마액을 사용하여 빛이 통하는 렌즈로 만든다.	만들어진 렌즈의 광축을 기계적으로 낸 광축과 외형치수의 중심을 일치 시키도록 등골게 한다.	렌즈 표면에 반사방지로 링을 실시해 투과율을 올린다.

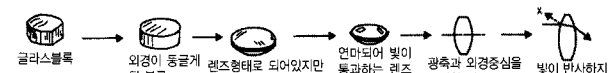


그림1.81 구면렌즈 가공공정

할 수 있다. 게다가 다수의 렌즈를 한 번에 가공하는 것이 특징중 하나라고 말할 수 있다. 그러나 비구면 렌즈의 가공에는 이와 같은 단순한 연마에 의한 가공방법은 사용되지 않는다. 비구면렌즈의 종류는 제조방법 등에서 보아서 다음 세 가지를 들 수 있다.

**(i) 글라스를 연마 가공한 것**

〈그라인딩〉 및 〈연마〉의 공정에 비구면렌즈용의 특수공작기를 사용해서 제조한다. 구면렌즈와 비교하면 한 개마다 시간이 많이 걸리기 때문에, 가격이 높게 된다. 그러나 다른 방법으로 제조하는 경우, 예를 들면 후술의 프레스를 행할 때에도 프레스금형 등이 필요로 하기 때문에 같은 공작기계가 필요하게 되는 그림1.82은 이와 같은 비구면공작기계의 예이다. 이와 같이해서 가공된 타입의 비구면렌즈는 비교적 큰 구경의 것도 만들 수 있기 때문에, 사진기 렌즈 등에 사용되고 있다. (그림1.83)

**(ii) 금형을 사용해서 플라스틱과 유리를 프레스한 것**  
비구면렌즈를 제조하기 위해 하나하나를 연마가공으로 행하는 것은 매우 노력을 필요로 한다. 프레스법은 하나의 금형을 사용해서 다수의 비구면렌즈를 제조하는 방법이다. (i)에서 말한 방법으로 금형을 제작해서, 광학재료로서 플라스틱과 글라스재료를 사용한다. 그러나 광학디바이스로서 성립하기 위해서는 많은 요소기술이 재료면과 가공프로세스면에서 필요하다. 예를 들면, 구면렌즈와 같은 정도인 표면정도를 실현하기 위한 경우, 재료와 금형의 열팽창계수가 일반적으로 다르기 때문에 외장부품의 프레스와 같은 식으로 해도 절대로 요구정도를 만족하지 못한다. 또한 물건을 금형에서 빼낼 때 양자를 스크래치 없이 행할 필요도 있다. 게다가, 광학디바이스로서 생각했을 때에 내부에 기포와 먼지, 혹은 내부응력과 재료의 밀도 불균질에 의한 맥리와 복굴절 등의 양이 디바이스로서의 사양을 만족하고 있는 것도 필요하다. 여기에 저가로 제조하기 위해서는 하나의 금형으로 가능한 많은 렌즈를 제조하는 것도 요소기술의 중요한 포인트로 된다. 이와 같은 타입의 비구면렌즈는 비교적 적은 구경의 것이 많이 실용화되었고, 예를 들면 오디오용의 콤팩트 디스크장치의 광헤드와 일부 중급 카메라의 촬영렌즈계 등에 사용되고 있다. (그림1.84)

**(iii) 박층 비구면렌즈**

전술과 같이 비구면렌즈를 제조하기 위해서는 다수의 요소기술을 달성해야 한다. 박층 비구면렌즈는 그림1.85와 같이 유리로 만들어진 렌즈 위에, 예를 들면 플라스틱의 박막의 형태로 금형에 의한 프레스

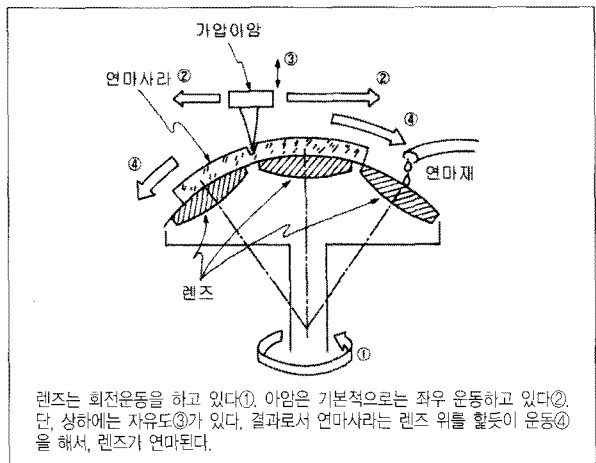


그림1.82 휠 요동 연마기의 동작

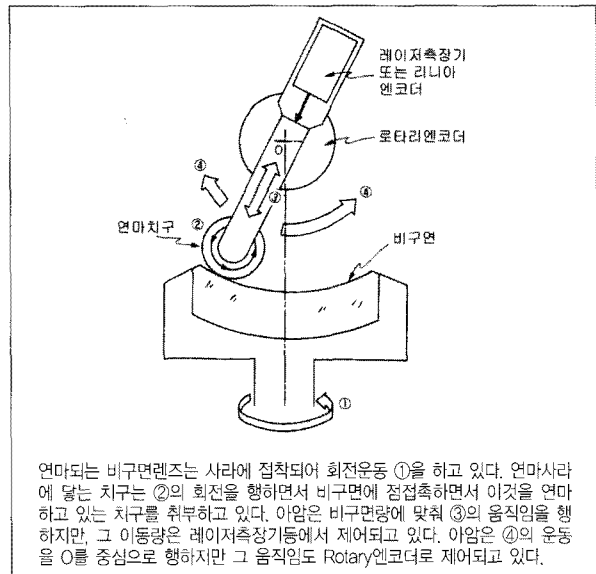


그림1.83 비구면 공작기의 예

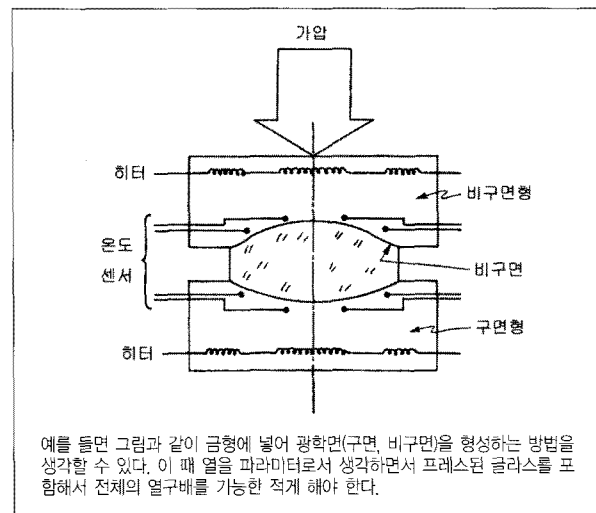


그림1.84 프레스 비구면 제작 예

비구면을 구성하는 렌즈이다. 렌즈전체를 프레스로 제조하는 경우와 달리 박층이기 때문에, 예를 들면 물진과 금형의 열팽창계수 차 등이 원인인 성능악화가 경감된다. 단 박층이기 때문이라고 생각할 수 있는 포인트도 있고 예를 들면 만들어진 비구면렌즈의 유리 부분과 플라스틱 부분의 열팽창의 차 등은 사용용도에 따라서는 내구성 등의 문제를 일으키는 경우도 있기 때문에, 미리 충분한 검토가 필요하다. 이와 같은 비구면렌즈는 사진기용의 렌즈로서 실용화된 예가 있다. 이외 박층 비구면의 방식으로서 플라스틱 외에 증착재료를 사용하는 경우도 제안되고 있다. 이 경우는 프레스는 아니고 진공증착으로 행한다. 예를 들면 수 마이크론의 막을 증착마스크로 박막분포를 컨트롤해서 비구면을 형성한다. 비구면의 크기는 다른 방법보다도 적게 되어야 하지만, 일반적으로 사용되고 있는 설비만으로 정도 높은 비구면을 얻기 위해 주목할 가치 있는 기술이라고 말할 수 있다.

비구면렌즈의 사용상 주의점으로서 편심을 들 수 있다. 구면렌즈라면 표면과 안쪽면의 곡률 중심점을 연결하는 것에 의해 광축이 결정되기 때문에, 렌즈의 외형 중심위치와 광축이 일치해 있지 않아도 렌즈 위치를 조정하는 것에 의해 소정의 성능을 얻는 광학계를 조립하는 것이 가능하다. 그러나 비구면렌즈에서는 비구면만으로 광축이 하나 결정해 버린다. 왜냐하면 비구면은 복수의 구면 합이라고도 생각되기 때문이다. 즉, 렌즈의 제1면이 비구면이라고 하면 그것만으로 광축이 결정되어 버린다. 제2면이 구면인 경우, 그 구면의 곡률중심의 위치를 바르게 그 광축 상에 생기도록 가공할 필요가 있다. 이것은 비구면렌즈에서는 편심의 정도를 렌즈 단체(單體)로서 충분히 널 필요성이 있는 것과, 중심에 오차를 가지는 렌즈는 조립시에 조정하려고 해도 꽤 생각대로 성능을 가진 렌즈계로 되지 않는 것을 의미한다. (그림1.86)

이상 비구면렌즈에 대해서 설명을 했는데, 비구면렌즈는 그 제조방법과 측정방법에 대해서 아직 연구개발의 과제가 있고, 구면렌즈와 같이 광학디바이스로서 거야(裾野)가 확장되지 않은 것이 현상이라고 말할 수 있다. 특히 구면렌즈와 달리, 수작업으로 제조하는 것이 매우 곤란하다. 장래적으로는 기계계측에 의해 정확한 제어를 하면서 가공하는 방법이 일반적으로 될 것이라고 생각된다.

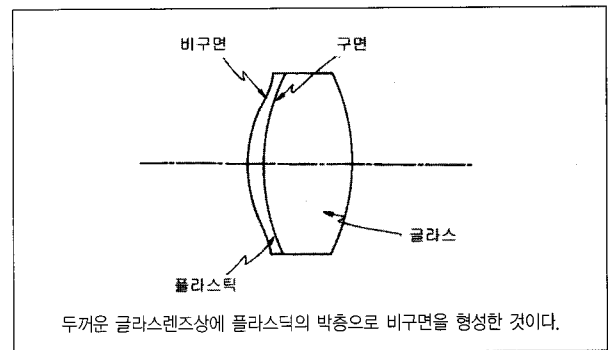


그림1.85 플라스틱 박층비구면의 예

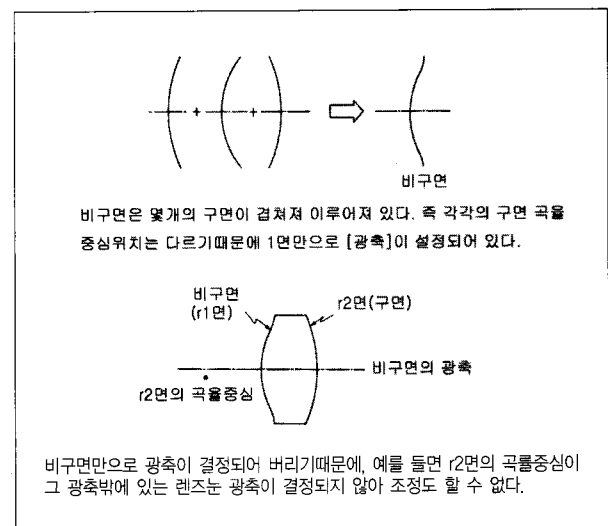


그림1.86 비구면의 광축

#### (4) Rod렌즈(굴절률분포형 렌즈)

지금까지의 렌즈 정의는 투명한 매질을 두 개의 구면으로 감싼 것으로서 취급해 왔다. 즉 빛은 렌즈의 표면 및 이면(裏面)에서 스넬법칙에 따라 굴절해서 렌즈로서의 작용을 하고 있다. 이때 렌즈의 내부 매질은 투명하고 일정한 굴절률을 가진 것을 제시하고 있다. Rod렌즈는 표면 형상은 평면이라도 렌즈의 작용을 가진 광학디바이스이다. 그림1.87은 Rod렌즈의 원리를 나타내는 것인데, 요는 렌즈 중앙부분의 굴절률이 주변부분의 굴절률보다도 큰 것이 특징이다. 이 때문에 Rod렌즈에 입사한 빛은 매질 내부에서 직진하는 것이 아니고, 말하자면 굴절률이 높은 방향으로 끌려서 진행한다. 이것은 중앙부분과 주변부분의 굴절률이 온화하게 구배가 되어 있기 때문이다. 이와 같은 Rod렌즈는 현재 매우 큰 구경의 것은 판매되고 있지 않기 때문에, 바로 입수하는 Rod렌즈의 구경은 겨우 수mm이다. 이와 같은 이

유로 단체에서의 용도는 레이저 다이오드에서의 빛을 평행빔으로 바꾸는 등의 사용방법을 하고 있다. 그러나 Rod렌즈를 어레이(Array)상으로 늘여트린 렌즈 어레이는 사무용 기기(OA기기)로 다용되고 있다. 이 이유는 OA기기가 취급하는 물체가 <종이> 또는 <원고>라고 하는 정형사이즈의 것이 많고, 광학시스템이라는 관점에서 본 경우에는 물체와 상면의 위치가 일정하기 때문에, 핀트맞춤이 불필요한 영상을 취급하는 것이 많기 때문이다. 예를 들면 사진기, 팩스는 원 종이에 기록된 영상을 그대로 크게 즉 결상배율을 1로 해서 감광드럼과 라인센서에 투영하는 것을 행할 수 있기 때문이다. 이때에 광학계의 체적을 가능한 한 적게 하는 쪽이 OA기기를 콤팩트하게 구성하게 되도록 된다. 통상의 렌즈를 사용하면 결상배율의 변배 등의 기능을 부가하는 것이 가능하지만, 이런 기능이 불필요한 경우에는 많이 사용되고 있다. 그림1.88은 이와 같은 상태의 예를 나타낸 것이다.

어레이상의 Rod렌즈를 사용한 다음 주의해야하는 점으로서 우선 초점위치 문제가 있다. 이것은 어레이렌즈 공통의 문제이지만, 올바른 상면의 위치를 설정하지 않으면 단순히 핀흐림의 상태보다도 결상상태가 나빠게 된다. 상을 결상하고 싶은 것, 예를 들면 감광드럼 등이 결상위치로 올바르게 설치되어 있지 않는 경우, Rod렌즈에서의 상은 핀흐림이 되지만 동시에 상의 크기도 소정의 크기로는 되지 않는다. 이것은 옆 같은 Rod렌즈의 핀 흐림의 투영화상이 올바르게 겹쳐지지 않는 것을 의미한다. (그림 1.89)

다음으로 주의해야하는 점으로서, 결상면상의 조도얼룩을 생각할 수 있다. Rod렌즈의 하나 하나는 넓은 상면범위를 가지지 않는다. 그래서 어레이상에 조립하는 경우에는 옆에 맞는 상면이 겹치도록 설정한다. 겹치는 범위를 정확히 설정하지 않으면, 당연 하지만 결상면상에 복수의 렌즈에서 투영되는 장소와 하나의 렌즈에서만 투영되는 장소 등이 생성되기 때문에 결상면상에 조도얼룩이 생겨버린다. 이것은 어레이렌즈를 결상광학계로서 사용할 때 뿐만 아니라, LED등을 사용한 조명광학계에 사용할 때에도 주의해 두는 것이 필요하다. (그림1.90)

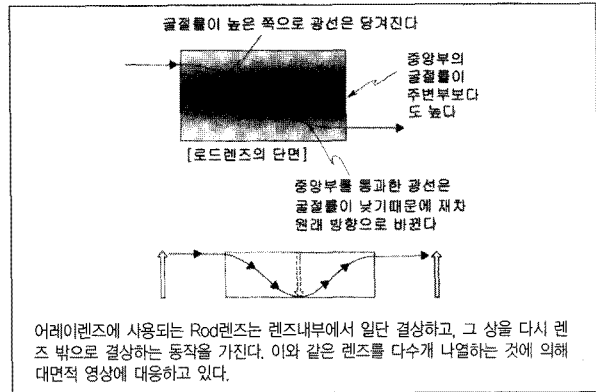


그림1.87 Rod렌즈의 원리

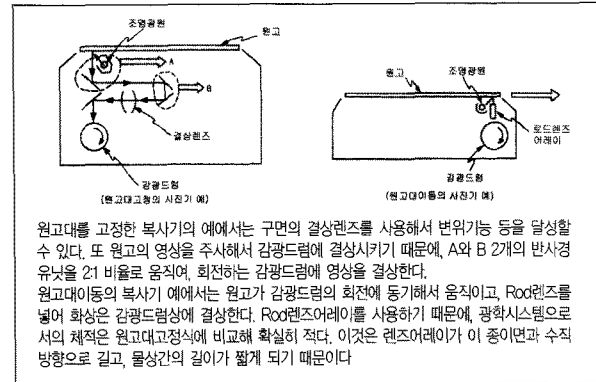


그림1.88 Rod렌즈어레이의 복사기로의 응용 예

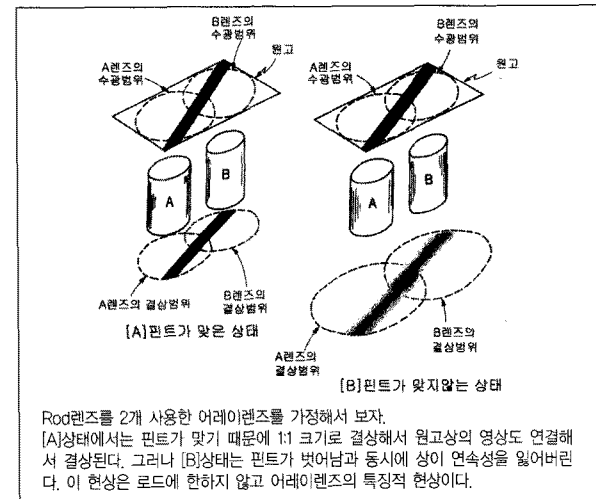


그림1.89 핀흐림 상태의 어레이렌즈

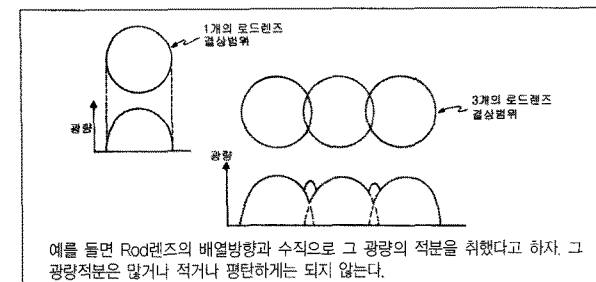


그림1.90 Rod렌즈어레이의 조도얼룩