

광학개론(16)

—오토콜리메이터—

삼양광학공업(주)
부설연구소
정해빈 박사

19. 오토 콜리메이터를 이용한 광학 측정

광학기기를 생산하는 현장에서 오토 콜리메이터처럼 다양하게 사용되는 장비도 드물 것이다. 오토 콜리메이터의 기본 구조는 평행광을 만들어내는 콜리메이터와 이의 반사광을 관찰하기 위한 망원경의 결합이라 볼 수 있다. 이번 장에서는 이러한 오토 콜리메이터의 원리와 이를 사용하여 핀트 조정, 프리즘의 각도 측정, 광학계의 정렬, 거리 측정등을 행하는 방법에 대해서 논하도록 하겠다.

19.1 오토 콜리메이터의 구조및 원리

오토 콜리메이터는 무한대에 있는 물체(실제로는 대물렌즈의 위치를 조정함으로써 허물체나 유한 거리에 있는 물체도 만들 수 있다)를 대신하기 위해서 대물렌즈의 초점에 물체 구실을 하는 표판(target)을 놓은 형태인 콜리메이터와 오토 콜리메이션 원리에 의해 물체로부터 반사되어 돌아온 빛을 관찰하기 위한 망원경을 빔 스플리터(beam splitter)를 써서 결합한 형태로 되어 있다.

오토 콜리메이터의 기본적 구조는 <그림 19-1>과 같다. A는 광원으로 주로 백열등이 사용되며 슬라이다스를 써서 밝기를 조정하게 되어 있는 경우가 많다. 때에 따라서는 오토 콜리메이터에 부착되어 있는 광원을 쓰지 않고 외부에 특별한 광원을 설치하여 쓰기도 한다. B는 필터로 원하는 색을 골라내기 위해서 사용된다. 이 필터로는 주로 녹색이 사용되는데, 이는 사람 눈이 녹색에 대해서 가장 감도가 높기 때문이다. C는 확산관점 콘덴서렌즈로 광원에서 나온 빛의 상정보(예를 들면 필라멘트에 대한 상정보)를 없애 주면서 동시에 빛을 표판

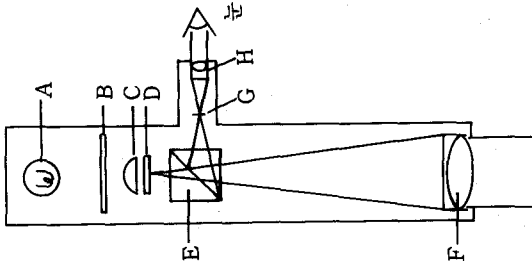


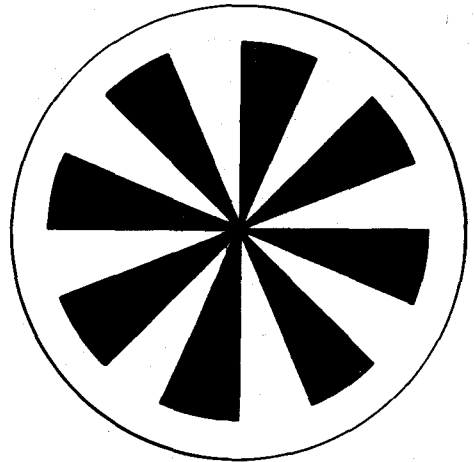
그림 19-1. 오토 콜리메이터의 구조

위에 모아 주는 역할을 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 평볼록렌즈(plano-convex lens)로 만들어지며, 평면이 간유리로 만들어진다. D는 물체 역할을 하게 되는 표판으로 흔히 부챗살이나 십자선 모양의 것이 사용된다. 핀트를 맞추는 데에는 부챗살 모양의 것이 주로 사용되는 데, 이는 부챗살 무늬의 가장자리에서 안쪽으로 가면서 점차 공간주파수(spatial frequency)가 높아지므로 가장 선명한 상이 맺히는 곳이 어디인가를 판별하기 쉽기 때문이다.

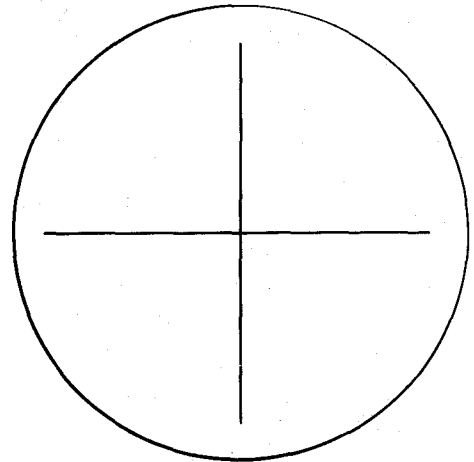
한편, 프리즘의 각도 측정이나 광학계를 정렬하는 데는 중심의 위치를 뚜렷이 알 수 있는 십자선 모양의 표판이 주로 사용된다. 이러한 표판은 필요에 따라 갈아낄 수 있도록 되어 있다.

E는 빔 스플리터(bean splitter)로서 직각 프리즘 2개의 접합면에 하프 미러(half mirror)가 코팅되어 있다. 평행평판(parallel plate)의 한 면에 하프 미러를 코팅한 것은 광로정(optical path)을 같게 하는 데에 문제가 있고 설치가 어려워 잘 쓰이지 않는다. 이 프리즘에 의해 빛이 나뉘짐으로써 오토 콜리메이터가 콜리메이터와 망원경의 구실을 동시에 할 수 있게 된다.

F는 콜리메이터 렌즈로 이 렌즈의 초점에 표판을 놓아 무한 거리에 있는 물체와 같은 구실



(a) 부챗살



(b) 십자선

그림 19-2 표판

을 하는 평행 광속(parallel beam)을 만들어내게 된다. 이러한 렌즈는 통상 2장 또는 3장의 렌즈로 구성된 아크로마트(achromat: 2개의 파장에 대해서 색수차가 보정된 렌즈를 의미하며, 통상 C선과 F선에 대해서 색수차가 보정되어 있다)가 사용되지만 대구경의 것은 형석을

사용한 아포크로마트(apochromat : 3개의 파장에 대해서 색수차가 보정된 렌즈를 의미하며 통상 C,d,F선 또는 C', e, F'선에 대해서 색수차가 보정되어 있다)가 사용된다.

콜리메이터 렌즈는 경통의 주위가 다줄나사로 되어 있어서 렌즈를 돌려 표판까지의 거리를 조정함으로써 발산 또는 수렴하는 광속을 만들어 낼 수 있다. G는 초점판으로 피측정물로부터 되돌아오는 상이 이 면위에 맺게 되어 있다. 이러한 초점판은 십자선 위에 눈금이 새겨져 있거나 동심원이 그려져 있어서 측정시에 편의를 제공한다. H는 접안렌즈로 초점판에 맺힌 상을 확대해서 보여주는 역할을 한다.

접안렌즈는 경통에 마련되어 있는 나사를 돌려서 측정자 각자의 눈에 맞게 디오퍼를 조정해 줄 수 있게 되어 있다.

19.2 오토 콜리메이터의 사용법

오토 콜리메이터를 사용하기에 앞서 관측자 각자의 눈에 접안경의 시도를 맞춰주는 이른바 디오퍼 조절을 해준다. 우선 백지를 오토 콜리메이터에 수직하게 놓아 측정용의 지그(통상적으로 알루미늄이 코팅된 미러 또는 평행 평판임)나 프리즘에서 반사되어 돌아오는 빛을 차단한 후 접안경을 통하여 초점판 위에 있는 십자선 또는 원이 선명하게 보일 때까지 접안경을 돌려 준다.

이렇게 함으로써 (+) 또는 (-) 방향으로 4 디오퍼까지 시도를 보정하여 마치 자신의 눈에 꼭 맞는 안경을 낀 것과 같은 효과를 얻을 수 있다. 이러한 시도 조절은 단순히 선명한 상을 얻기 위한 것이 아니고, 일종의 영점 조정 역할을 하므로 사용전에 반드시 시도 조절을 해주어야 한다.

그 다음 오토 콜리메이터 표판이 제 위치에

놓여 있는가를 확인하기 위하여 평면을 오토 콜리메이터 앞에 수직하게 놓고 반사되어 돌아오는 상을 관찰한다. 이때 사용되는 평면은 수분의 λ 정도의 양호한 평면도를 가져야 하며, 알루미늄이 코팅되어 있을 필요는 없다. 만일 기준물로 사용하는 평면이 평면도가 나빠 큰 곡률반경값(예를 들어 1~2m)을 가지고 있는 경우에는 그 곡률반경값에 따라서 마치 유한 거리에 있는 물체에서 나오는 빛과 동일한 작용을 하므로 렌즈의 위치가 잘못 놓이기 쉽다.

렌즈의 위치가 0점에 놓여 있지 않으면 기준 평면의 평면도를 재확인한 후 다시 0점을 맞춰준다. 이 0점에 오토 콜리메이터 눈금의 0점이 오게 눈금판의 위치를 조정해준다. 이 방법의 원리는 만일 오토 콜리메이터의 초점에 표판이 정확하게 놓여 있으면 콜리메이터 렌즈를 지나온 광속이 평행광속이 되므로 기준 평면에서 반사되어 지나온 경로를 그대로 되집어가게 되는 이른바 오토 콜리메이션이다.

반면 콜리메이터 렌즈에 의해 만들어진 광속이 평행광속이 아닌 경우에는, 광속이 발산 또는 수렴하게 되어 표판과 동일한 광로점 위에 있는 조정판에 선명한 상이 맺지 않는다. 이러한 상의 선명함에 의한 조절을 여러 사람에게 시켜보면 개인간의 편차가 $\pm \frac{1}{100}$ mm 정도로 매우 정확도가 높음을 알 수 있다.

19.3 핀트 조정

대부분의 렌즈계는 렌즈계와 이 렌즈계에 의해서 상을 기록하는(또는 감지하는) 부분(스틸 카메라의 경우는 필름, 비디오 카메라의 경우는 CCD나 촬상관)이 서로 분리되어 만들어진 후 나사부에 의해서 결합되거나 특별한 결합기구(스틸 카메라에서는 이 부분을 마운트라 함)를 써서 결합시키게 된다.

따라서 광학 설계에서 흔히 사용되고 명시되는 후초점거리(BFL: back focal length)보다는 렌즈계가 어떤 장치에 결합되는 기준면(플렌지 면)에서 초점까지의 거리를 나타내는 플렌지 백이 더 중요한 값이 된다.

스틸 카메라의 경우, 각 회사별로 이러한 플렌지 백값이 다른데, 그 값은 <표 19-1>과 같다. 대부분의 카메라 회사는 플렌지 면에서 필름면까지의 공차가 $\pm \frac{2}{100}$ mm에서 $\frac{5}{100}$ mm 사이로 어떠한 렌즈더라도 마운트만 같으면 교환하여 사용할 수 있도록 되어 있다. 일만레프 카메라(single lens reflex camera)의 장점은 이와 같이 여러 렌즈들을 바꿔가며 사용할 수 있다는 것이다.

<표 19-1> 각 카메라 메이커별 플렌지 백

제	조	회	사	기	호	플렌지 백
펜	탁	스	P			45.5
미	늘	타	M			45.2
캐		논	F			42.0
니		콘	N			46.5
울	림	퍼	S			46.0
후	지	카	C			43.5
코	니	카	KO			40.5

이와 같이 어떤 렌즈를 소정의 플렌지 백값을 갖도록 조정해주는 것을 핀트 조정이라 한다. 이와 같이 핀트를 조정해주기 위해서는 우선 조정하고자 하는 렌즈가 원하는 플렌지 백에서 어느 정도 벗어나 있는가를 측정해야 한다.

이러한 오차값은 <그림 19-3>과 같은 장치를 써서 오토 콜리메이션의 원리를 이용하여 측정할 수 있다. 이때 사용되는 핀트 지그는 <그림 19-4>와 같은 구조로 되어 있다.

핀트 지그의 회전축을 회전시키면 기준면은 움직이지 않는 상태에서 평면거울만이 움직여

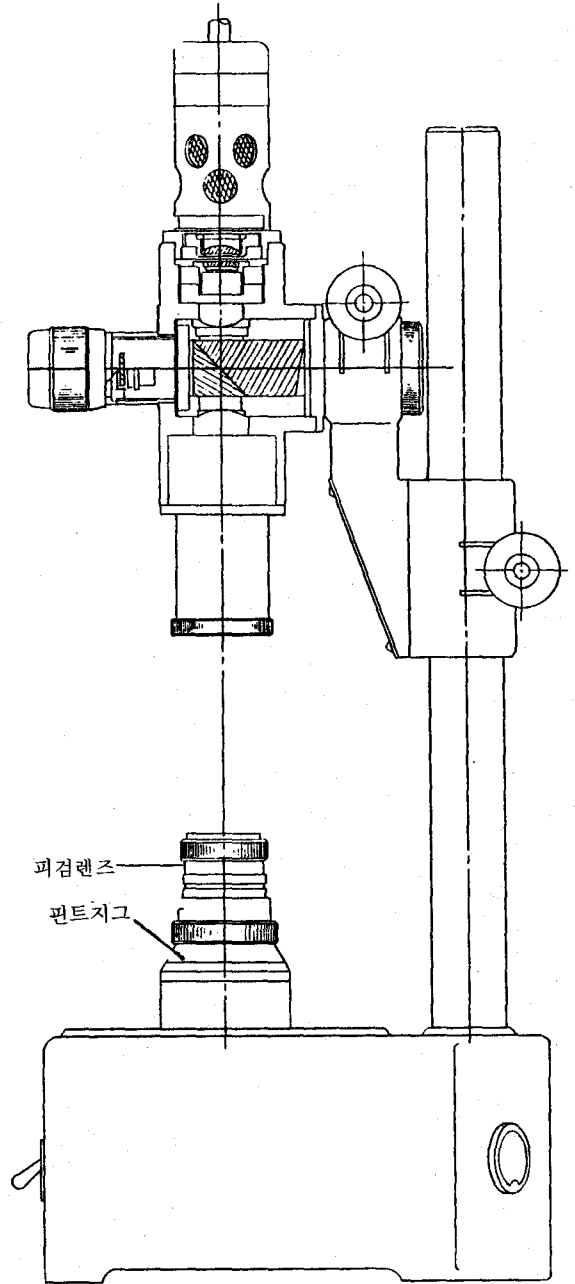


그림 19-3 핀트검사기

결국 오토 콜리메이션의 원리에 의해 거울면이 정확히 초점면에 올 때 오토 콜리메이터의 접

안경에 의해 선명한 상을 볼 수 있도록 되어 있다. 이러한 거울의 위치는 회전축 주위에 새겨져 있는 눈금에 의해서 $\frac{1}{100}$ mm까지 기준에서 벗어난 양을 알 수 있도록 되어 있다.

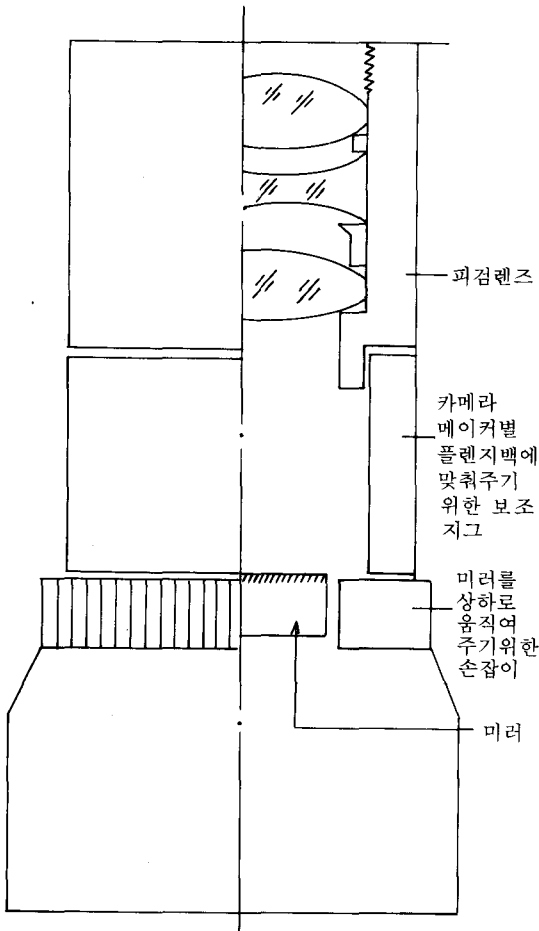


그림 19-4. 핀트지그

고정 초점(固定 焦點) 렌즈계의 경우에는 비교적 간단하게 핀트를 조정할 수 있다. 이러한 렌즈의 핀트 조정 방법에도 몇 가지가 있을 수 있다. 폐회로 TV용 카메라 렌즈와 같이 일정한 물체거리에 렌즈를 세트하는 경우는 바깥쪽

에 있는 경통과 안쪽에 있는 경통 사이에 나사를 만들고 안쪽에 있는 경통을 돌려서 핀트를 맞춘 후 세트나사를 써서 고정시킨다.

복잡한 렌즈계의 경우는 렌즈계의 일부 렌즈만을 포함하는 렌즈군(통상적으로는 맨앞에 있는 렌즈들이 사용된다)을 별도의 경통으로 감싸고 이 렌즈군만을 이동시켜서 핀트를 조정한다. 또한, 간단한 콤팩트 카메라용 렌즈와 같이 전군(全群)이 이동하여 물체거리에 대한 핀트차를 맞추는 방식에서는 단순하게 헬리코이드 나사(초점 조정에 사용되는 다줄나사를 이렇게 부른다)의 해당 부분에 스톱퍼(stopper)를 설치하여 핀트를 조정한다.

줌렌즈의 경우에는 줌잉(zooming)되는 모든 구간에서 핀트가 맞아야 하므로 조정이 좀더 복잡하다. 통상적으로는 가장 초점거리가 긴 위치(이를 흔히 텔레단이라 한다)와 가장 초점거리가 짧은 위치(이를 흔히 와이드단이라 한다)에서 각각 맞춰주고 이 양단 사이에서는 다소의 핀트차(대략 $\pm \frac{10}{100}$ mm 이내이다)를 허용하게 된다.

조정 작업은 먼저 텔레단부터 시작한다. 텔레단에서 핀트 오차를 측정한 후, 1군(가장 물체쪽에 가까운 렌즈군)을 헬리코이드 나사를 따라 이동시켜 핀트가 맞는 위치에서 세트나사로 고정시킨다. 그 다음 와이드단에서 다시 핀트 오차를 측정한 후, 1군 이외의 렌즈군(텔레단의 핀트 조정에는 반드시 마지막 렌즈군이 사용되는 것은 아니다)을 써서 핀트를 조정하게 된다. 그런 다음 텔레단과 와이드단 사이의 2~3군데 초점거리에서 핀트 오차량을 측정하여 그 양이 허용된 공차 범위에 들어오는지를 확인한다.

핀트를 조정할 때에 1군과 같이 다줄나사를 가지고 조정할 때에는 흔들림(광축의 기울어짐)이 적어서 단순히 세트나사로 고정시키는

것만으로 충분하다. 하지만 그 밖의 렌즈군들을 고정시키는 나사산이 외줄이기 때문에 어떤 면을 기준면으로 하여 이 면에 밀착시키지 않으면 렌즈군에 편심이 발생하므로 편심발생을 막기 위하여 일단 렌즈군을 돌려서 빼낸 후, 렌즈군을 다시 넣어 기준면, 링, 렌즈군이 밀착될 때까지 돌려준다.

한편, 줌렌즈의 뒷 렌즈군들이 모두 큰 경우에는 링을 받치는 방법 대신에 원주상에 3~4 곳에 세트나사를 박아서 고정시키는 방법도 사용된다.

핀트 검사에 사용되는 콜리메이터의 초점거리는 피검렌즈의 초점거리보다 길어야 한다. 콜리메이터의 초점거리가 짧을 경우 콜리메이터 렌즈 자체의 수차가 피검렌즈의 수차보다 커서 측정이 불확실해지기 때문이다. 이러한 원리는 콜리메이터 제작에도 적용된다. 지구상에서 관측가능한 물체중에서 가장 먼 곳에 있는 물체는 별이라 할 수 있으므로 별을 이용하여 가장 초점거리가 긴 콜리메이터의 표판 위치를 조정한다. 다음에는 이 초점거리가 긴 콜리메이터에서 나오는 빛을 평행광으로 보아 (즉, 무한대 위치에 있는 물체라고 본다) 짧은 초점거리의 콜리메이터 표판 위치를 조정한다.

피검렌즈와 이 렌즈의 측정에 사용 가능한 콜리메이터간의 관계는 <표 19-2>를 가지고 판단할 수 있다.

한편 요즘 널리 쓰이기 시작한 콤팩트 카메라 중 저가품의 경우에는 2~3점에서만 초점이 맞도록 설계되어 있기 때문에 무한대 위치에 있는 물체에 원점(遠點)을 맞추도록 되어 있지 않고, 일정한 유한거리, 예를 들어 3.5m에 원점을 맞추도록 되어 있다. 이 경우에는 콜리메이터 렌즈를 표판쪽에 가까와지도록 해줌으로써, 마치 유한거리에 있는 물체에서 나오는 빛과 동일한 입사각을 가지고 피검렌즈에 입사하

<표 19-2> 콜리메이터의 초점 정밀도

대물렌즈 초점거리 f(mm)	구경 (mm)	초점 맞추기 정밀도 (디오퍼)	무한원에 상당하는 거리(m)
300	30	$\pm 3 \times 10^{-3}$	≥ 300
550	55	$\pm 8 \times 10^{-4}$	≥ 1200
1350	90	$\pm 2 \times 10^{-4}$	≥ 5000
1875	125	$\pm 1 \times 10^{-4}$	≥ 10000
2250	150	$\pm 7 \times 10^{-5}$	≥ 14000

도록 해줄 수 있다.

초점거리 f인 콜리메이터를 써서 물체거리 l에서 나오는 것과 같은 광선을 만들려고 할 때, 렌즈를 얼마나 이동시켜야 하는가를 계산해보자. 이것은 결국 원하는 상거리가 (l-L)인 허상을 만들어주는 것에 해당한다. 이때 L은 콜리메이터 렌즈와 피검렌즈간의 거리이다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (19-1)$$

의 공식에서 $b = -(l-L)$ 일 때 a를 구하는 것이 된다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{-(l-L)} = \frac{1}{f} \quad (19-2)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{f} + \frac{1}{l-L} \quad (19-3)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{l-L+f}{f(l-L)} \quad (19-4)$$

$$a = \frac{f(l-L)}{l-L+f} \quad (19-5)$$

이때, a값의 기준이 되는 것은 $a=f$ 이므로, Δa 의 값은

$$\Delta a = a - f$$

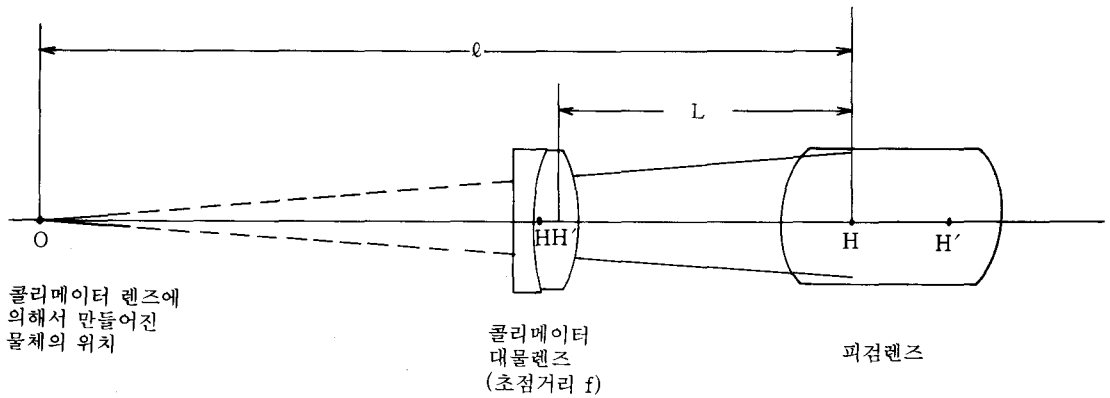


그림 19-5. 콜리메이터를 써서 유한거리에 있는 물체 만들기

$$\begin{aligned}
 &= \frac{f(\ell - L)}{\ell - L + f} - f \\
 &= \frac{f\ell - fL - f\ell + fL - f^2}{\ell - L + f} \\
 &= \frac{-f^2}{\ell - L + f} \quad (19-6)
 \end{aligned}$$

이 된다. 부호가 (-)인 것은 표판쪽으로 가까와져야함을 의미한다.

이 결과식에 $\ell = 3.5\text{m}$, $L = 200\text{m}$, $f = 200\text{m}$ 를 대입해보면,

$$\begin{aligned}
 \Delta a &= \frac{(200)^2}{3500 - 200 + 200} \text{ (mm)} \quad (19-7) \\
 &= 11.43 \text{ (mm)}
 \end{aligned}$$

로 11.43mm로 표판쪽으로 이동시켜야 함을 알 수 있다.

볼만한 책

「그대 조선의 십자가여」- 푸른 숲 발행 -

도서출판 푸른숲에서는 정신대를 소재로 한 장정임씨의 시집, 「그대 조선의 십자가여」를 최근 발행했다.

1948년, 전북 정읍에서 태어나 왕신여고, 국군간호사관학교를 졸업, '88년 전교조 가입으로 김해여고에서 해직된 작가 장정임씨는 같은해 무크지 「여성운동과 문학」(실천문학사 간)에 시를 발표하면서 활발한 작품활동을 해온 것으로 알려졌다.

아울러 김해신문 논설위원직을 역임한 장정임씨는 현재 여성문제, 특히 정신대에 깊은 관심을 갖고 조직적인 운동을 벌이고 있는데, 금번 그녀가 내놓은 「그대 조선의 십자가여」에는 정신대를 소재로한 36여 편의 시와 생생한 사진을 함께 담아 우리민족의 수난, 특히 여성의 수난을 한눈에 알아볼 수 있도록 했다.