

바늘구멍 사진기를 이용한 빛의 성질 고찰

임관욱* · 박규은*

An Investigation of the Properties of Light Using the Pinhole Camera

Lim, Kwan-Uk · Park, Kyu-Eun

Abstract

The properties of light can be studied by using the pinhole camera made simply.

In the pinhole imaging experiment, the size of image is determined in the ratio of the distance between an illuminant and pinhole to the one between pinhole and image. The number of formed upside down image is the same as that of pinholes.

In the slit imaging experiment, an interval of slits determines the sharpness of image. The farther the distance between an illuminant and slit is, the smaller the size of image is, if an interval of slits is fixed.

Two images are compared, one of which is formed through the only pinholes and the other of which through the pinholes placed between an illuminant and a convergent lens.

There are different distortions of image as two slits are placed at different angles.

*세주대학교 사범대학 과학교육과

I. 서 론

바늘구멍 사진기는 사진기 가운데에서도 가장 기본적인 상을 맺는 초기 장치이다.¹⁾ 바늘구멍 사진기(Pinhole Camera)의 어원은 오랜 세월에 걸쳐 그림을 그리는 사생(寫生) 도구로 사용되었던 사진기 옵스큐라(Camera Obscura)에서 유래되었으며, 이는 라틴어로 '어두운 방'이라는 뜻을 지니고 있다.^{2,3)}

상의 선명함이 렌즈를 사용한 사진기보다도 떨어지는 것이 바늘구멍 사진기의 단점인데 장시간 노출이 가능한 움직이지 않는 피사체 상에는 세부가 부드럽게 찍히는 것과 피사체 심도가 매우 깊다는 장점이 있다.¹⁾ 이 사진기는 분해나 회절효과와 같은 상의 성질을 연구하는데 이용할 수 있고 선형 일그러짐으로부터 완전히 자유롭다는 특징을 가지고 있는 광학 기기이다.⁴⁾

여러 실험을 통해 빛의 직진에 근거하고 있는 기하광학의 입문과정에서 유용하게 설명⁵⁾되고 있는 바늘구멍 사진기를 직접 제작하여 중등학교에서 쉽게 빛의 성질에 대한 이해를 돕는데 그 목적이 있다.

본 실험에서는, 100V/500W인 풍로와 전자계산기를 발광체(광원인 동시에 피사체)로 사용하여 발광체와 상면(여기서는 ISO 400인 필름을 사용) 사이에 바늘구멍을 놓고 나타나는 상을 고찰하려 한다. 바늘구멍은 알루미늄박에 표면을 매끄럽게 하기 위하여 바늘을 불에 달구어서 사용하였다. 기존 실험들은 바늘구멍을 1개만 가지고 실험하였는데 여기서는 바늘구멍을 2개, 3개, 4개 뚫었을 때, 또는 바늘구멍이 연속적으로 이어진 슬릿을 가지고 나타나는 상을 알아보려고 한다. 그리고 발광체(풍로)와 상면인 필름사이에 여러 모양의 슬릿을 놓고 나타나는 상도 고찰하려 한다. 여러 개의 바늘구멍과 상 사이에 수렴렌즈를 놓아 나타나는 상과 바늘구멍만 사용한 실험을 비교 설명하려 한다. 여러 형태의 슬릿의 경우도 마찬가지이다. 그리고 바늘구멍의 크기에 따른 상의 선명도, 슬릿의 간격에 따른 선명도, 바늘구멍과 슬릿의 거리에 따른 상의 선명도에 대해서도 고찰하려 한다. 또한 두 개의 슬릿('-'자 모양)을 각도에 따라 비스듬히 놓았을 때 나타나는 상의 일그러짐에 대해서도 중점적으로 관찰하려 한다.

II. 바늘구멍 사진기

1. 상의 형성

바늘구멍이 어떻게 상을 형성하는가를 그림 1은 설명한다.

a) 피사체의 각 점으로부터 빛은 각 방향으로 직진하여 상면에 도달한다. 그러나 이 경우에는 피사체의 한 점으로부터의 빛은 상면의 각 점으로 분산되며, 피사체의 각 점으로부터의 빛에 방해되어 상은 형성되지 않는다.

사진기의 전면에 작은 구멍을 만들면 피사체의 각 점으로부터의 빛은 그 구멍을 통하는 것만이 상면에 도달한다. 그리고 이 입사광의 각각은 상면에서의 입사각이 다르기 때문에 서로 방해하는 일은 없다. 이렇게 원리적으로는 피사체와 상면의 각 한 점이 직선으로 연결되어 도립상을 형성한다.

b) 바늘구멍을 만드는 판이 얇을수록, 또 바늘구멍이 작을수록 피사체의 각 점으로부터의 빛을 완전히 하나로 조일 수가 있어 상도 선명하다. 단 이 경우 회절의 영향은 고려하지 않는다. 피사체의 각 점으로부터의 빛을 바늘구멍에서 하나로 만드는 것은 실제로 불가능하다. 각 점으로부터의 빛은 광다발이 되어 상면에 도달하므로 피사체의 각 점은 작은 원으로서 상을 맺고 따라서 선명도가 저하된다. 회절현상이 생기기 직전까지 바늘구멍을 작게 하면 상을 선명하게 할 수 있으니, 통과하는 광량이 적기 때문에 노출시간이 길어진다.

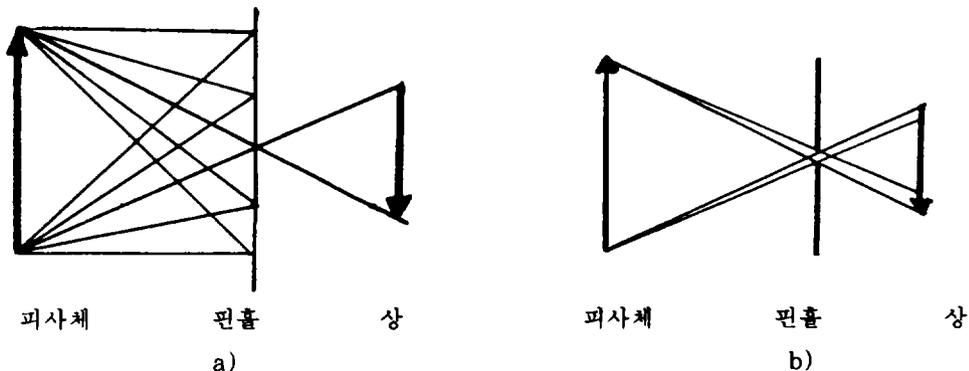


그림 1. 바늘구멍 상의 형성

2. 바늘구멍 사진기의 화각

바늘구멍 사진기의 화각은 그림 2에서 처럼 필름 사이즈 혹은 필름과 바늘구멍 사이의 거리로 정해진다.

a) 바늘구멍 사진기의 화각은 필름 크기와 바늘구멍으로 부터 필름까지의 거리를 재어 그림과 같이 T자를 만들어 그 상단과 하단에서 바늘구멍에서 교차하도록 2개의 직선을 그었을 때 생기는 각도이다. 필름과 바늘구멍 사이의 거리가 길어지면 화각은 좁아진다.

b) 필름과 바늘구멍 사이의 거리가 고정되어 있는 사진기는 피사체로부터 바늘구멍까지의 거리(u)가 상의 크기를 결정한다. 피사체로부터 바늘구멍까지의 거리가 2배(2u)가 되면 상은 1/2이 되고, 거리가 3배되면 1/3이 된다.

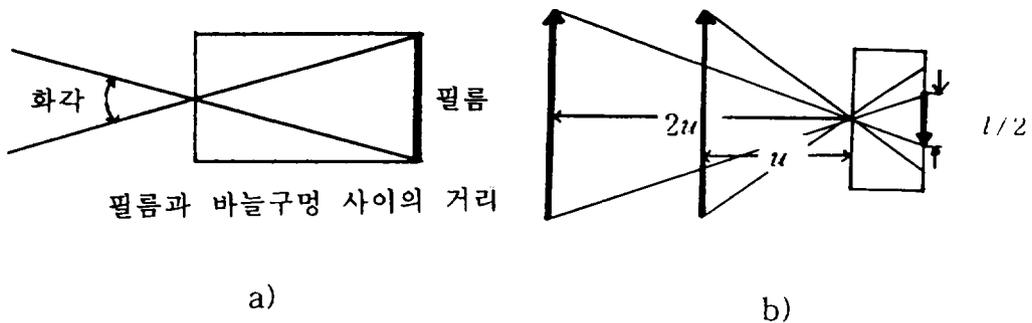


그림 2. 바늘구멍 사진기의 화각

3. 상의 크기를 구하는 법

상의 크기는 피사체의 크기, 바늘구멍과 피사체와의 거리, 바늘구멍과 필름과의 거리에 관계가 있다. 이것을 식으로 하면,

$$\frac{\text{피사체의 크기}}{\text{상의 크기}} = \frac{\text{핀홀과 피사체와의 거리}}{\text{핀홀과 필름과의 거리}}$$

한다. 즉

$$\text{상의 크기} = \frac{\text{핀홀과 피사체와의 거리} \times \text{피사체의 크기}}{\text{핀홀과 필름과의 거리}}$$

가 된다. 바늘구멍으로부터 필름까지의 거리가 고정되어 있는 사진기는 그 거리의 값은 정수가 된다. 이렇게 하여 계산된 상의 크기가 필름의 크기보다 크면 피사체의 일부가 상면으로부터 빠져 나와 버린다.

4. 바늘구멍의 최적 크기

바늘구멍의 구경이 크면 점으로 맺어야 하는 상이 흐려져 착란원이 되어 버리고 또

너무 작으면 회절현상으로 상이 휘어져 점상이 원형인 상이 되어 버리므로 적절한 크기를 찾아야 한다.

바늘구멍의 최적직경 D_0 는 다음 식으로 구해진다.¹⁾

$$D_0 = \sqrt{K\lambda L} \quad (1)$$

K 는 정수, λ 는 빛의 파장, L 은 바늘구멍과 필름과의 거리이다. 이 식에 있어서 K 와 파장은 일정하므로 더욱 편리한 식으로서, $D_0 = \sqrt{0.0013L}$ 을 사용하여 최적직경을 구할 수 있다. 이 때 D_0 와 L 의 단위가 밀리미터인 경우에는 $D_0 = 0.036\sqrt{L}$, D_0 와 L 의 단위가 인치인 경우에는 $D_0 = 0.007\sqrt{L}$ 로 표현 된다.

5. 바늘구멍 사진기의 구조

1) 몸체

바늘구멍 사진기의 몸체는 차광성만 있으면 작은 상자나 캔으로 만들 수 있다. 단 이 경우에는 노출한 필름을 교환하기 위한 암실이나 어둠상자가 필요하다. 카트리리지 필름을 사용하면 연속하여 몇 차례의 촬영이 가능하다. 또 보통 사진기에 렌즈 대신에 바늘구멍을 붙여 바늘구멍 사진기로서 이용할 수도 있다. 주름 상자식이 아닌 사진기는 압축식 경동을 사용하면 화각을 바꿀 수 있다. 몸체의 전면과 후면은 평행해야 하며, 후면 즉 바늘구멍의 반대측은 필름의 평면성을 유지하기 위하여 평판이어야 한다. 또 바늘구멍에는 커버(셔터)를 붙여서 촬영시 외에는 빛이 들어가지 않도록 한다.

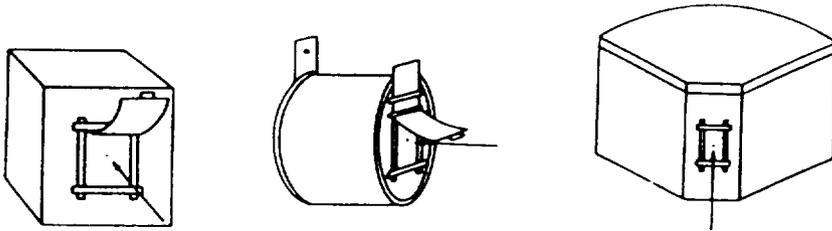
2) 몸체의 내부

상자나 캔으로 만든 몸체의 내부에는 반사를 막기 위해 광택이 없는 검은 페인트를 칠하거나 광택이 없는 흑색 종이를 바른다. 캔 모양의 몸체로 캔의 뚜껑이 플라스틱으로 되어 있는 경우에는 종이가 떨어지기 쉬우므로 검은 불지를 끼워 넣으면 된다. 이것은 캔을 보강하는 역할도 한다. 또 캔 모양 몸체에는 후부에도 뚜껑을 달아 차광성이 있는 검은 테이프를 붙이고 빛이 입사하거나 촬영 중에 떨어지지 않도록 한다.

필름은 몸체의 내측에 테이프로 붙인다. 또 몸체에 받침대나 짧은 다리를 달아 캔이 넘어지거나 구르지 않도록 한다. 그림 3은 바늘구멍 사진기의 구조를 설명한 것이다.

a) 상자나 캔을 이용할 경우에는 뚜껑이나 커버를 바늘구멍의 반대측에 단단히 붙이면 된다. 붙지라면 내측과 외측을 테이프로 고정하여 보강하고 안쪽을 검게 한다. 화질은 바늘구멍을 만드는 방법에 따라 크게 좌우된다.

b) 파노라마형에서는 $10 \times 24 \text{ cm}$ 의 필름을 사용한다. 붙지로 형을 만들고 검은 마스크 테이프로 서로 붙여서 바늘구멍을 만든 알루미늄박을 붙이기 전에 내측과 외측을 검은 광택이 없는 페인트로 바른다. 큰 사이즈의 네거티브를 얻을 수 있기 때문에 밀착 프린트하면 화상의 선명함은 충분하다.



상자형 바늘구멍 사진기 통형 바늘구멍 사진기 파노라마형 바늘구멍 사진기

a)

b)

그림 3. 바늘구멍 사진기의 구조

Ⅲ. 슬릿 사진기

슬릿은 빛을 좁혀서 통과시키는 장치로 분광기 등 광학 측정기에 사용된다. 보통 2개의 칼날 모양인 것을 마주 보게 하여 빛이 통하는 가는 틈을 낸 구조의 것이 많으며, 한쪽 또는 양쪽 날을 나사로 돌려 통하는 빛의 너비를 조절할 수 있게 되어 있다. 회절격자의 선(빛을 통하지 않음)과 선 사이로 같은 구실을 하며, 일종의 슬릿이라고 할 수 있다.

슬릿 사진기는 경마나 자동차 경주 등의 사진 판정에 쓰이는 사진기이다. 사진기 전면을 횡단 주행하는 자동차 등의 동체(動體) 촬영에 있어서는, 동체의 주행속도에 맞추어 사진기를 회전시키면서 촬영하면 동체의 상은 필름과의 상대속도가 0이 되므로 필름에 상이 고정되어 동체를 선명하게 찍을 수 있다. 이 방법을 응용하여 사진기의 바로 앞에 $0.3 \sim 1.0 \text{ mm}$ 슬릿을 골라인에 맞추어 동체가 필름에 찍히는 것과 같은 속도로 필름을 이용하여 촬영함으로써 레이스의 도착 순서를 기록할 수 있다.⁶⁾

그러나 여기서는 연속적으로 이어진 바늘구멍들을 슬릿으로 사용하였다.

IV. 실험 및 결과 분석

1. 바늘구멍에 의한 상 실험

실험을 위해서 카트리지 식 바늘구멍 사진기를 제작하여 사용하였는데 필름 교환의 어려움, 거리조절 및 노출시간에 대한 여러 가지 문제가 있어 사용하지 않았다. 그 대신 SMC PENTAX 50mm 사진기의 몸체를 사용하여 바늘구멍 사진기를 제작하였다. 광원으로는 광원인 동시에 피사체인 발광체로 풍로 (100V/500W)와 전자계산기를 사용하였고, 바늘구멍 사진기를 고정시키기 위해 삼각대를 사용하였다. 0.56mm, 0.85mm, 0.95mm, 1.00mm, 1.50mm인 바늘의 직경을 사용하여 1회용 알루미늄박에 바늘구멍을 뚫었다.

피사체와 바늘구멍사이의 거리는 180cm정도이고 바늘구멍과 필름사이의 거리는 4.5cm로 하였다. 사진 필름은 Kodak ASA 400을 사용하였고, 노출시간은 암실 작업용 야광 시계를 사용하여 60초로 하였다. 이 과정에 대한 실험장치의 구성을 그림 4에 나타내었다.



그림 4. 바늘구멍에 의한 상 실험 장치도

1) a/b 의 비율에 따른 상

발광체와 바늘구멍 사이의 거리 a 와 바늘구멍과 상 사이의 거리 b 에 따른 a/b 의 비율로 상의 성질을 고찰하였다. 여기서는 $a/b = 1$ ($a = 5cm, b = 5cm$)인 경우와 $a/b = 1/2$ ($a = 2.5cm, b = 5cm$)인 경우에 나타나는 상을 고찰하였

다. 결과는 $a/b = 1$ 인 경우, 상의 크기는 발광체의 크기이고, $a/b = 1/2$ 인 경우는 발광체의 2배를 얻는다.

2) 바늘구멍의 개수에 대한 상

위 실험은 바늘구멍 1개(직경 0.56 mm), 바늘구멍 2개(직경 0.56 mm 와 0.85 mm), 바늘구멍 3개(직경 0.56 mm 2개와 0.85 mm 1개), 바늘구멍 4개(직경 0.85 mm)를 발광체와 상면 사이에 놓았을 때 나타나는 상을 고찰하였다. 결과는 각각의 경우에 대해 바늘구멍의 수에 따라 상의 수도 같은 도립상을 형성하였다. 다만 바늘구멍이 큰 경우가 바늘구멍의 작은 경우에 비하여 밝은 것을 보면 상은 바늘구멍을 통하여 들어오는 빛의 양과 관계가 있음을 알 수 있다.

바늘구멍이 2개인 경우를 광선 도식으로 그림 5에 나타내었다.

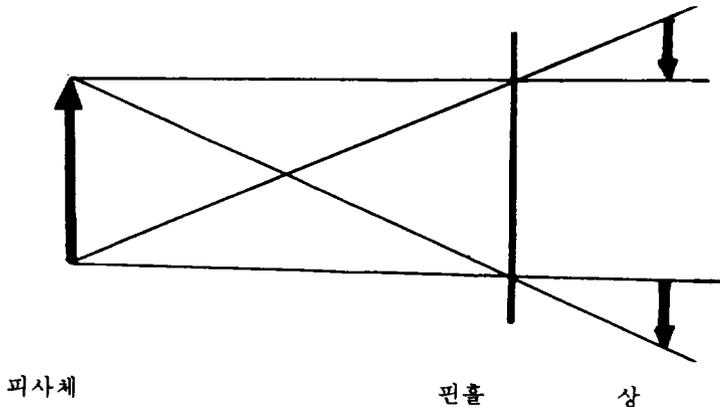


그림 5. 바늘구멍 2개가 2개의 도립상을 형성하는 광선 도식

(3) 바늘구멍 크기에 따른 상

바늘구멍의 크기를 0.56 mm , 0.85 mm , 0.95 mm , 1.00 mm , 1.50 mm 하여 나타나는 상을 고찰하였다. 그림 22에서 바늘구멍의 크기가 0.56 mm 일 때 가장 선명한 상을 형성함을 알 수 있었다. 다만 바늘구멍의 크기를 0.56 mm 이하로 줄일 수가 없어 광선 광학 영역에서 파동 광학영역으로 옮겨가는 회절 현상(상이 어둡고 흐릿한 현상)을 관찰할 수 없었다. 바늘구멍이 클수록 빛의 양이 많이 통과되어 밝아질 뿐 선명한 상을 형성하지는 않았다.

2. 슬릿에 의한 상 실험

여기서는 모든 조건을 바늘구멍 대신 슬릿을 사용한다는 것만 제외하고는 바늘구멍에 의한 상 실험과 같게 하였다. 슬릿은 시중에 나온 도르코 면도칼을 사용하여 제작하였다.

1) 슬릿의 간격에 따른 상

슬릿의 간격에 따라 상의 선명도가 어떻게 나타나는지를 알아보기 위하여 피사체와 슬릿사이의 거리를 130cm, 삼각대의 높이를 74cm에서 슬릿의 간격을 1.5mm, 0.8mm, 1.0mm, 1.5mm로 하여 60초 동안 노출시켜 촬영하였다.

결과는 바늘구멍과 마찬가지로 슬릿의 간격이 작았을 때 (0.5mm 일때) 가장 선명한 상을 형성하였다.

2) 슬릿과 피사체의 거리에 따른 상

이 실험은 슬릿의 간격을 0.5mm로 일정하게 하여 거리 50cm, 100cm, 150cm, 200cm, 250cm를 30초 동안 노출시켜 촬영하였다.

결과는 슬릿과 피사체의 거리가 멀 수록 스크린에 맺히는 상의 크기는 작음을 확인할 수 있었다. 즉, 피사체로부터 슬릿까지의 거리가 2배가되면 상은 1/2이 되었고 거리가 3배이면 1/3이 되었다.

3. 수렴렌즈, 바늘구멍, 슬릿에 의한 상 비교 실험

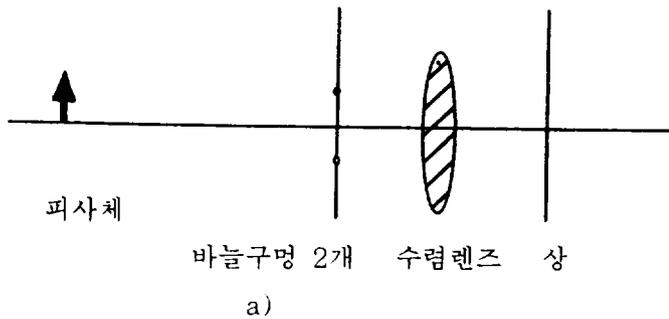
수렴렌즈에 의한 상 실험(이하 A 실험이라 함) 장치로는 발광체인 풍로 (100V/500W), 50mm수렴렌즈, 그리고 상인 Kodak ASA 400인 필름으로 구성된다. 바늘구멍에 의한 상 실험(이하 B 실험이라 함) 장치로는 수렴렌즈 대신 알루미늄 박에 여러 개의 바늘구멍과 여러 모양('一'자, '二'자, '三'자, '十'자, 'L'자 모양)의 슬릿을 사용한다. 발광체와 수렴렌즈 사이에 B 실험에서 사용한 바늘구멍이나 슬릿에 의한 상 실험(이하 C 실험이라 함) 대한 장치를 그림 6. a)에 나타내었다.

A 실험의 결과는 화살의 각 점(점 a , b)에서 발산하는 빛은 수렴렌즈에 의해 다른 점 (점 a' , b')으로 모아진다.

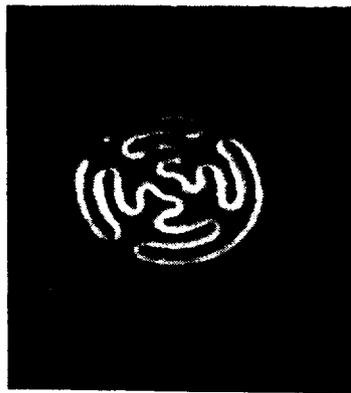
B 실험의 결과는 발광체 위의 점 a 는 점 a' 에 점 b 는 점 b' 으로 되어 도립상을

형성한다. 2개의 바늘구멍은 2개의 도립상을, 3개의 바늘구멍은 3개의 발광체에 대한 도립상을 형성한다. 여러 모양의 슬릿에 대해서도 여러 모양에 대한 도립상을 형성한다. 예를 들어, 'L'자 모양은 '7'자 모양으로 나타난다.

C 실험의 결과는 발광체 위의 점 a 는 점 a' 으로 점 b 는 점 b' 에 도립상을 형성한다. 즉 실험 A의 결과와 같다. 이 실험에서 1개의 바늘구멍보다는 2개의 바늘구멍의 경우가, 바늘구멍보다는 슬릿의 경우가 더 밝은 상을 형성하는 것으로 보아 바늘구멍이나 슬릿에서 빛의 양이 조절되어 바늘구멍이나 슬릿을 통과한 빛만이 수렴렌즈를 통해 상을 형성한다는 사실을 알 수 있다. 다시 말해, 바늘구멍이나 슬릿은 단지 빛의 양을 조절하는 역할에 지나지 않음을 알 수 있었다.



b)



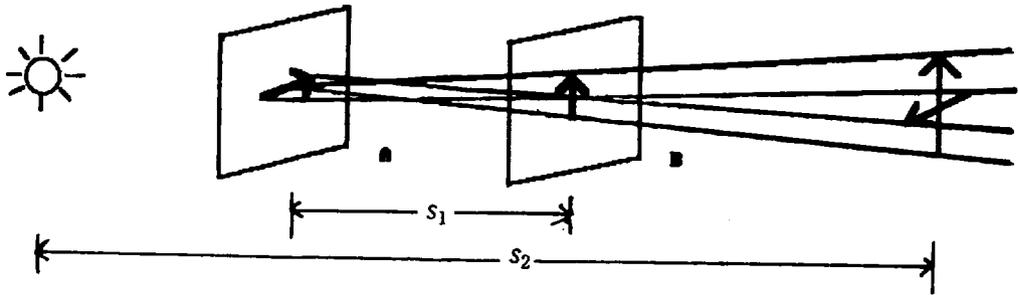
c)

그림 6. 수렴렌즈, 바늘구멍, 슬릿에 의한 상 비교

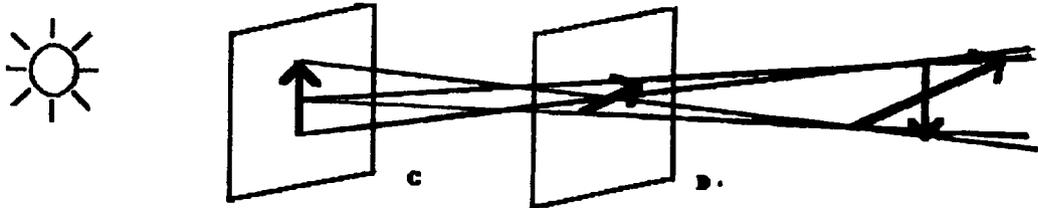
a) C 실험 장치도 b) B 실험에 대한 도립상 c) C 실험에 대한 도립상
 (바늘구멍 4개인 경우) (바늘구멍 4개인 경우)

4. 슬릿의 각도에 따른 상의 일그러짐

이 실험을 위한 장치로는 발광체인 풍로, '—'자 모양의 슬릿 2개, 그리고 상면인 필름(Kodak ASA 400을 60초 동안 노출시킴)이 필요하다. 삼각대의 높이는 120 mm로 하였다. 슬릿의 모양과 슬릿의 간격을 다양하게 할 수 있는데, 여기서는 단순한 상을 형성하기 위해서 —모양의 두 슬릿을 사용하였다. A 슬릿과 B 슬릿 사이의 거리 $s_1 = 10\text{ cm}$, 발광체와 상면까지의 거리 s_2 는 194.5 cm로 하였다. 위 실험 장치는 그림 7에 나타내었고, 실험의 순서는 다음과 같다.



a)



b)

그림 7. 슬릿의 각도에 따른 상의 일그러짐에 대한 장치도

(1) 슬릿 A와 슬릿 B를 a)와 같이 놓았을 때 나타나는 상을 고찰하였으며, 슬릿 A는 그대로 슬릿 B를 시계 방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타

나는 상을 고찰하였다.

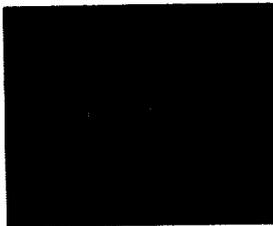
(2) 슬릿 C와 슬릿 D를 b)와 같이 놓았을 때 나타나는 상을 고찰하였으며, 슬릿 D는 그대로 두고, 슬릿 C를 시계방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타나는 상을 고찰하였다.

위 실험 결과는 a)의 경우 상의 세로선의 광선은 슬릿 A를 보통의 구멍을 통과하듯이 빠져 나오고 슬릿 B는 이 광선의 진로를 조금도 바꾸지 않는다. 따라서 수직선의 상은 슬릿 A에서 상까지의 거리에 대응하는 크기로 얻어진다.

수평한 선에 있어서는 슬릿 B에 도달할 때까지 방해받지 않고 그대로 진행하다가 슬릿 B에서는 바늘구멍을 통과하는 것과 같은 식으로 이 슬릿을 빠져나가서 슬릿 B에서 상까지의 거리에 대응하는 크기의 상을 형성한다.

이것을 정리해서 말하면 수직한 선에 있어서는 정확히 A의 슬릿만이, 또 수평한 선에 있어서는 반대로 B의 슬릿만이 존재한다. 그래서 A의 슬릿은 B의 슬릿보다 상으로부터 멀리 떨어져 있으므로 수직한 선의 전체 길이는 수평한 선보다 큰 길이로 상이 형성된다. 즉 상은 정확히 수직방향으로 늘어나게 된다. 각각의 결과에 대한 상은 그림 8. a)에 나타내었다.

반대로 그림 8. b)의 경우는 수평방향으로 잡아 늘여진 상이 얻어진다. 그림 8. c, d, e)경우는 슬릿 A는 그대로 슬릿 B를 시계 방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타나는 상이다. 그림 8. f, g, h)의 경우는 슬릿 D는 그대로 두고, 슬릿 C를 시계 방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타나는 상이다.



a)



b)



c)



d)



e)

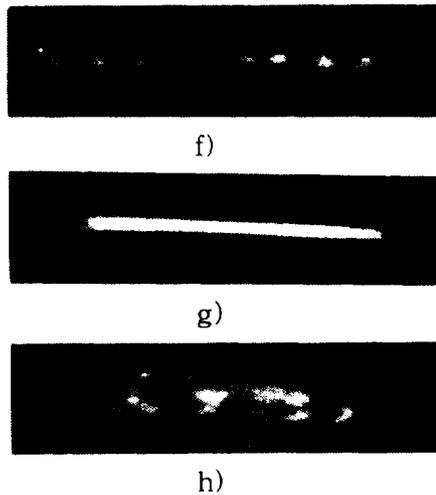


그림 8. 슬릿의 각도에 따른 상의 일그러짐

a) 그림 7. a)에 나타난 상 b) 그림 7. b)에 나타난 상 c, d, e) 그림 7. a)에서 슬릿 B를 시계 방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타난 상
 f, g, h) 그림 7. b)에서 슬릿 C를 시계 방향으로 약 45° , 90° , 135° 기울여 놓았을 때 나타난 상

V. 결 론

바늘구멍 사진기는 렌즈 대신에 빛을 통과시키는 바늘구멍이 있고 피사체의 반사광을 받아들여 상을 형성한다. 상의 크기는 바늘구멍으로부터 상면까지의 거리로 결정되며, 이 거리가 고정된 상의 크기는 바늘구멍으로부터 피사체의 거리로 결정됨을 알 수 있었다. 그리고 렌즈를 사용했을 때만큼 선명한 상을 얻을 수 없었으나, 피사체 심도가 무한히 되므로 화각내의 피사체를 모두 같은 선명함으로 찍을 수 있었다.

바늘구멍을 통과하는 광량이 적기 때문에 노출시간은 통상 수 초에서 수 분이 필요했다. 노출 중에는 사진기를 절대 움직이지 않도록 고정시켰다.

바늘구멍에 의한 상 실험의 경우,

첫째, 발광체와 바늘구멍 사이의 거리 a 와 바늘구멍과 상 사이의 거리 b 에 따른 a/b 의 비율이 1인 경우와 $1/2$ 인 경우의 상을 고찰하였다. 결과는 $a/b = 1$ 인 경우, 상의 크기는 발광체의 크기이고, $a/b = 1/2$ 인 경우는 발광체의 2배가됨을 알

수 있었다.

둘째, 바늘구멍의 개수에 따른 상이 어떻게 나타나는지를 촬영하였다. 결과는 바늘구멍의 수에 따라 같은 개수의 도립상이 형성됨을 알 수 있었다. 또한, 바늘구멍이 큰 경우가 바늘구멍의 작은 경우에 비하여 선명하지 않고 밝은 것은 빛의 회절현상과 바늘구멍을 통하여 들어오는 광량과 관계가 있음을 알았다.

셋째, 바늘 직경이 0.56 mm , 0.85 mm , 0.95 mm , 1.00 mm , 1.50 mm 인 바늘구멍을 만들어 나타나는 상을 고찰하였다. 결과는 바늘구멍의 크기가 0.56 mm 일 때, 가장 선명한 상을 형성하였고, 이는 바늘구멍이 식 (1)에서 같이 $0.036\sqrt{L}$ 일 때 가장 선명한 상이 맺히는 것을 알 수 있었다. 시료 제작상의 문제로 바늘구멍의 직경을 0.56 mm 이하는 만들 수 없었는데 이는 앞으로 연구해야 할 과제이다.

슬릿에 의한 상 실험의 경우.

첫째, 슬릿의 간격에 따라 상의 선명도가 어떻게 되는지를 알아보기 위해 슬릿의 간격을 0.5 mm , 0.8 mm , 1.0 mm , 1.5 mm 로 하여 촬영하였는데 결과는 슬릿의 간격이 작았을 때 가장 선명한 상을 형성하였다.

둘째, 슬릿의 간격을 0.5 mm 로 일정하게 하여 발광체와 슬릿 사이의 거리를 50 cm , 100 cm , 150 cm , 200 cm , 250 cm 로 변화시켜 촬영하였다. 결과는 슬릿과 발광체의 거리가 멀 수록 상의 크기가 작음을 알 수 있었다.

셋째, 여러 개의 바늘구멍(또는 여러 형태의 슬릿)만 놓고 실험한 상과 발광체와 수렴렌즈 사이에 여러 모양의 바늘구멍을 놓고 촬영하였을 때 나타나는 상을 비교 설명하였다. 결과는 3개의 바늘구멍만을 사용한 경우는 3개의 바늘구멍 상을 형성하였고, 발광체와 수렴렌즈 사이에 3개의 바늘구멍을 놓았을 때는 1개의 바늘구멍 상만을 형성하였다. 이는 3개의 바늘구멍을 통해 들어온 광량이 수렴렌즈에 의해 모아져 하나의 상을 형성하였다는 사실로 알 수 있다. 또한 바늘구멍이 큰 경우는 통과하는 광량이 많아 수렴렌즈를 통해 모아진 상이 밝음을 확인할 수 있었다. 여러 형태의 슬릿인 경우도 슬릿만 사용한 경우는 그 모양의 도립상을 형성하였지만, 발광체와 수렴렌즈 사이에 놓았을 경우에는 슬릿의 모양에 상관없이 발광체의 모양(풍로) 그대로 상을 형성하였다.

두개의 슬릿을 여러 각도에 따라 비스듬히 배치해 놓고 나타나는 상의 일그러짐을 관찰하였는데 이들에 대한 광선도식은 앞으로 해야 할 과제이다.

참 고 문 헌

1. 사진백과편찬위원회, 사진대백과사전, Vol.8, 지다리, pp.16~23 (1994).
2. E. Hecht, *Optics* Addison-Wesley, Reading, MA, pp.198 (1987).
3. D. J. Lowell, *Optical Anecdotes* Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers pub., Washington, DC, pp.8 (1981).
4. D. Bissonnette, P. Rochon, & P. Somers, *Phys. Teach.*, **29**, pp.21 (1991).
5. M. Young, *Phys. Teach.*, **27**, pp.648 (1989).
6. 김현식, 동아원색세계대백과사전, 동아출판사, **29**, pp.444 (1992).