



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

허상의 물리적 특성 연구

濟州大學校 教育大學院

物理教育專攻

金 旻 成

2009年 8月

허상의 물리적 특성 연구

指導教授 康 東 植

金 旻 成

이 論文을 教育學 碩士學位 論文으로 提出함

2009年 8月

金旻成의 教育學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ㉠

委 員 _____ ㉠

委 員 _____ ㉠

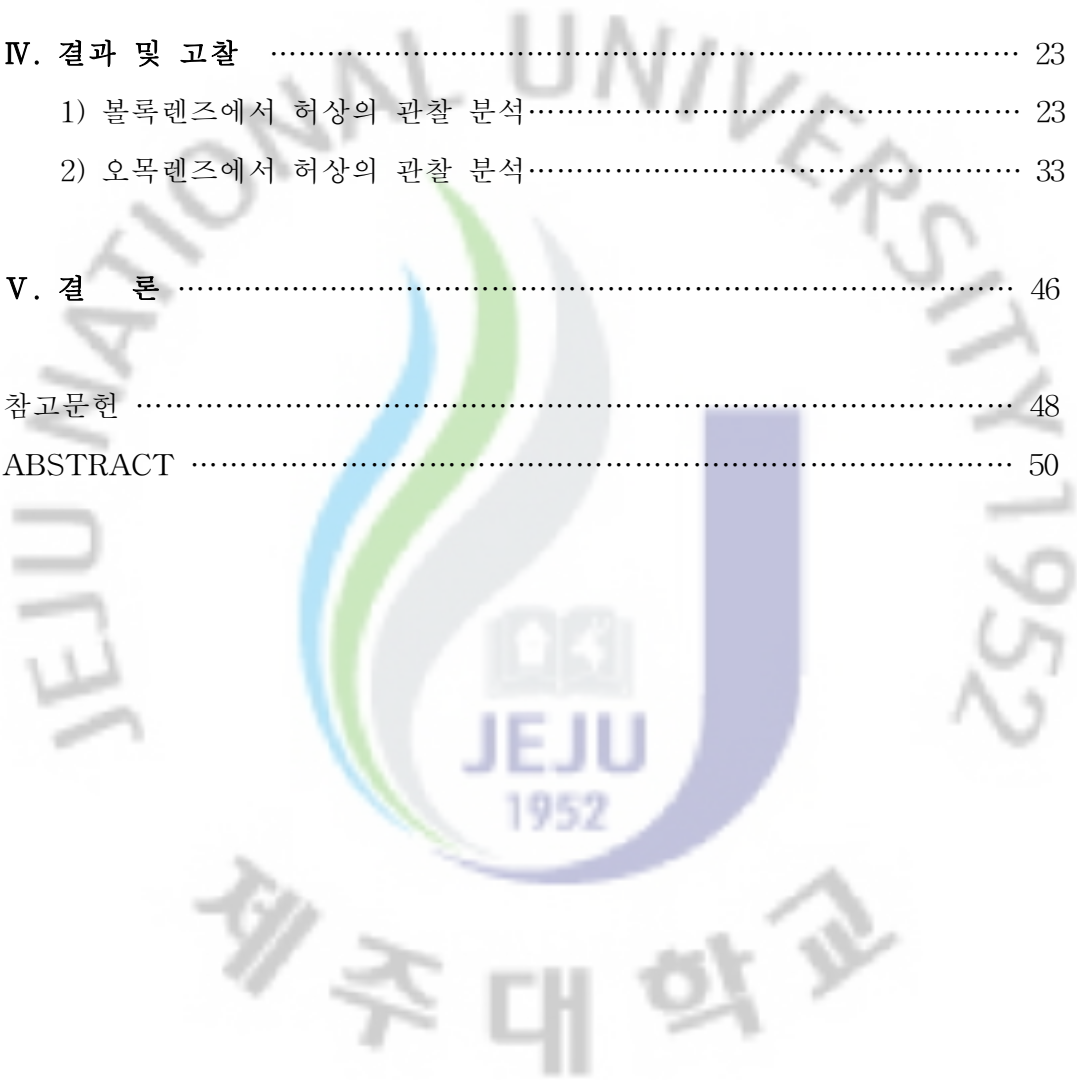
濟州大學校 教育大學院

2009年 8月

차 례

국문초록	iii
I. 서 론	1
II. 이 론	3
1. 상·실상·허상의 개념.....	3
1) 상	3
2) 실상	3
3) 허상	3
4) 상 인식 과정	4
5) 중·고등학교 과학(물리)교과서에 나온 허상의 정의	5
6) 대학 일반물리학에서 나온 허상의 정의	5
2. 거울과 렌즈를 이용한 허상의 관찰	6
1) 상 작도법에 의한 평면거울의 허상	6
2) 상 작도법에 의한 오목거울의 허상	7
3) 상 작도법에 의한 볼록거울의 허상	8
4) 상 작도법에 의한 볼록렌즈의 허상	9
5) 상 작도법에 의한 오목렌즈의 허상	10
3. 눈·거울·렌즈에서의 상 인식 과정	11
1) 눈에 의한 상 인식 과정	11
2) 평면거울에서의 상 인식 과정	12
3) 사람의 눈의 해부학적 구조	13
4) 사람의 눈과 사진기의 비교	15
5) 핀홀카메라의 원리 및 카메라 렌즈의 역할.....	16

Ⅲ. 실험방법	18
1. 실험장비와 재료	18
2. 실험방법	18
1) 볼록렌즈에 의한 허상의 관찰	18
2) 오목렌즈에 의한 허상의 관찰	21
Ⅳ. 결과 및 고찰	23
1) 볼록렌즈에서 허상의 관찰 분석	23
2) 오목렌즈에서 허상의 관찰 분석	33
Ⅴ. 결 론	46
참고문헌	48
ABSTRACT	50



국문초록

허상의 물리적 특성 연구

물체를 볼록렌즈와 오목렌즈의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 놓았을 때 렌즈에 의한 허상이 허상 위치의 스크린, 상공간 영역에 있는 스크린, 상공간 영역에 있는 볼록렌즈의 초점 안, 초점 위, 초점 밖의 스크린에 어떻게 맺히는지 알아 보았다. 또한 상공간에서 카메라로 촬영한 허상을 분석한 결과로부터 볼록렌즈와 오목렌즈가 만드는 허상을 눈으로 보면 왜 허상이 정립상으로 보이는지를 설명 하였다. 눈이 구조적으로 볼록렌즈 역할을 하는 수정체 렌즈, 수정체 렌즈의 초점거리를 변하게 하는 홍채, 스크린 역할을 하는 망막으로 구성되었기 때문에 허상이 직접 눈으로 보인다는 것을 확인하였다.

주요어 : 허상, 실상, 볼록렌즈, 오목렌즈.

※ 본 논문은 2009년 8월 제주대학교 교육대학원 위원회에 제출된 교육학 석사학위 논문임.

I. 서 론

현재 7차 교육과정은 7학년의 빛 단원은 빛의 반사·굴절·분산·합성으로 구성되어 있고, 고등학교 2학년의 물리 I 교과에서 평면거울·구면거울·오목거울·볼록거울·볼록렌즈·오목렌즈에 대한 상의 작도와 눈·사진기·안경·돋보기·망원경·현미경의 원리와 같은 기하광학과 빛의 회절·간섭·편광과 같은 파동광학을 다루고 있다. 또 대학의 일반물리학과 광학에서 광학기기에 의한 상의 작도를 배우고 있다. 학생들은 볼록렌즈에 대한 상의 작도를 통하여 실상에 대한 개념을 고등학교에서 배우지만 실상이 어디에 어떻게 형성되는지를 모르는 경우가 많다. 또한 학생들은 오목거울에 의한 실상과 허상, 평면거울·볼록거울에 의한 허상이 어디에 어떤 모양으로 형성되는지에 대한 개념이 부족한 실정이다.

최근에 Ramadas와 Driver [1]는 물체가 우리 눈에 보이는 이유에 대한 연구에서 학생들은 ‘물체에서 나온 빛이 눈에 도달함으로써 보이는 것이 아니라, 눈에서 나간 빛이 물체에 도달함으로써 보이게 된다.’라고 보고하였다. Palacious [2]는 학생들이 ‘눈에서 나온 빛이 물체에 도달해야 보인다.’라는 오개념을 갖고 있음을 밝혔다. Jung [3]은 평면거울에 보이는 물체의 상이 어디에 생기는가에 대한 연구에서 ‘학생들은 물체의 상이 캔버스의 그림처럼 거울 면에 있는 것으로 생각한다.’고 보고하였다. 이들 연구에서 학생들은 평면거울에 의한 물체의 상이 왜 우리 눈에 보이는지에 대한 이해가 부족한 것으로 파악되었다. 이와 같이 상의 작도에 대한 교수학습과 기존의 연구는 이론에 치중하여 학생들이 실상과 허상에 대한 올바른 개념을 가지고 있지 못하다. 그래서 실험에 바탕을 둔 상의 작도에 대한 교수학습과 연구가 필요한 실정이다.

현재 중·고등학교 과학교과서에서 빛의 반사, 굴절, 빛의 합성에 대한 실험이 있다. 물리 I 교과서의 상에 대한 관찰실험에서 볼록렌즈와 오목렌즈가 만드는 상을 관찰하는 실험하지만 실상과 허상이 어디에 맺히는지에 대한 실험은 거의 없다. 또한 대학과정에서 배우는 일반물리학과 광학 실험에서도 실상과 허상이 어디에 맺히는지에 대한 실험은 거의 없고 렌즈공식과 상의 작도를 이용하여 상이 위치하는 지점을 찾아낼 뿐이다. 더구나 학생들이 기하광학에서 가장 어려

위하는 부분은 오목렌즈에 의해 형성되는 허상이 왜 보이는가이다.

본 연구의 목적은 오목렌즈가 만드는 허상의 위치를 렌즈공식을 이용하여 구한 후 눈으로 관찰한 허상, 스크린에 맺힌 허상, 사진기로 찍은 허상을 비교·분석하여 허상이 왜 보이는 지에 대해서 알아보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 상에 대한 정확한 의미를 알아본 후 허상에 대한 이론적 고찰을 한다. III장은 오목렌즈와 볼록렌즈에 의한 허상을 측정하는 실험장치와 실험방법을 설명한다. IV장은 이론적으로 실제 허상이 맺히는 위치를 파악한 것과 스크린에 맺힌 허상, 사진기로 찍은 허상을 비교·분석하여 허상이 왜 보이는 지에 대해서 고찰한다. V장에서 결론을 맺는다.



Ⅱ. 이 론

1. 상·실상·허상의 개념

1) 상(image: 象)

그림 1에서 물체 S의 각 점에서 나온 빛이 광학기구를 통하여 P에 다시 모인 점들의 집합체를 완전한 상(perfect image)이라 한다 [4]. 여기서 물체 S에서 나온 빛이 P에서 번진 점이 된다면 물체 S의 불완전한 상이라 한다 [5-18]. 광학기구의 왼쪽을 물체공간(object space)이라 하고, 오른쪽을 상공간(image space)이라 한다.

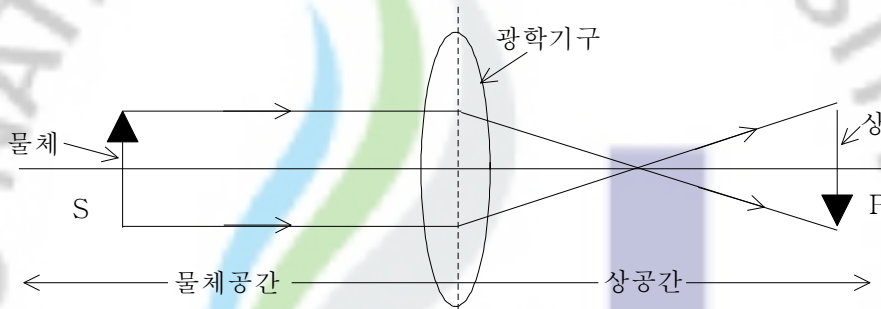


그림 1. 광학기구에 의해 만들어지는 상

2) 실상(real image: 實像)

그림 1에서 광학기구가 볼록렌즈이면 상 P는 도립실상이 된다. P에 스크린을 놓으면 스크린에 실상이 우리 눈에 보인다. 또 P에 눈이 있으면 물체가 뒤집어진 도립실상을 보게 된다. 또한 P에 사진기를 놓고 촬영하면 도립실상을 찍을 수 있다. 실상은 물체에서 나온 빛이 상공간 영역에 다시 모여 상을 만들기 때문에 상이 위치한 곳에 스크린이나 눈을 이용하면 상을 인식하게 된다.

3) 허상 (virtual image: 虛像)

그림 2에서 보는 바와 같이 물체로부터 나온 빛이 오목렌즈와 같은 렌즈 광학계(光學系)를 통과했을 때 발산광선이 되기 때문에 상공간 영역에서 완전한 상을 만들지 못하고 불완전한 상을 만든다.

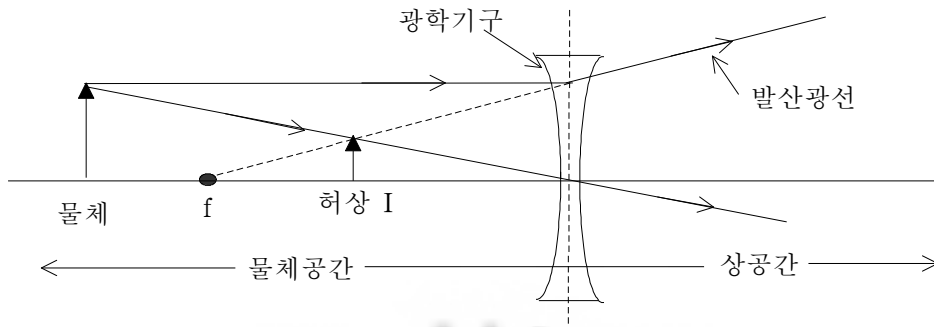


그림 2. 광학기구에 의해 만들어진 허상

하지만 상공간 영역의 발산광선은 마치 물체공간 영역의 I에서 나온 것처럼 보이게 된다. 따라서 상공간 영역에서 광학기구(오목렌즈)를 통하여 물체공간 쪽으로 눈으로 보면 마치 I에 물체가 있는 것처럼 보인다. 이것을 허상(virtual image)이라 한다. 하지만 물체공간에서 허상이 있는 곳을 눈으로 보면 허상은 보이지 않는다. 이것은 I에는 물체가 없기 때문에 실제로 빛이 나오지 않기 때문이다. 또한 같은 이유로 허상이 위치한 곳에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 맺히지 않는다.

4) 상 인식 과정

그림 3에서 상이 위치한 곳에 우리 눈이 있으면 볼록렌즈인 눈의 수정체가 물체에서 나온 빛을 스크린 역할을 하는 망막에 도립실상을 만든다. 시신경은 이 도립실상을 전류로 바꾸어 뇌의 시각피질로 전달하므로써 뇌가 도립실상을 정립실상으로 인식하게 된다. 이 인식 과정을 물체의 상을 본다고 한다 [12].

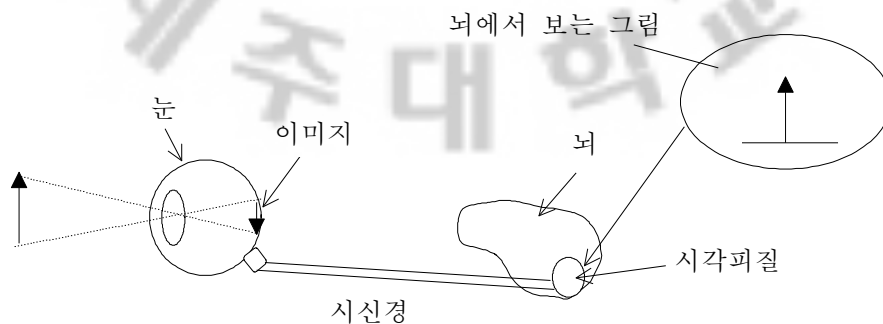


그림 3. 눈으로 보는 상 인식 과정

5) 중·고등학교 과학(물리)교과서에 나온 허상의 정의

중(고등)학교 과학(물리)교과서에는 구면거울에 의한 상 실험과 렌즈에 의한 상의 관찰 실험 등이 있다 [19-22]. 그리고 볼록거울에 의한 상은 이론적인 상작도에 의해 항상 허상이라고 나와 있지만 허상을 관찰하는 실험은 없다. 볼록 렌즈의 경우 물체가 초점 안쪽에 있는 경우에 물체공간 영역에 정립허상이 만들어 진다고 나와 있고, 오목렌즈에 의한 상은 물체가 어디에 있든지 항상 정립 허상이라고 나와 있다 [6]. 또한 고등학교 물리 I 교과서 해설서에 실초점, 허초점, 실상, 허상에 대한 정의를 다음과 같이 하고 있다 [7].

- 실초점: 볼록렌즈와 오목거울에서 빛이 모이는 점
- 허초점: 오목렌즈와 볼록거울에서 반사한 빛의 연장선이 만나는 점
- 실 상: 빛이 실제로 모여서 생기는 상으로 스크린에 상이 맺힌다.
- 허 상: 빛이 모이지는 않으나 그 연장선상에 생기는 상으로, 스크린에 상을 맺히게 할 수 없다.

6) 대학 일반물리학에 나온 허상의 정의

대학 기초물리학 교재에 나온 허상의 정의는 상의 위치에 빛이 집속되지 않고 형성된 상으로 스크린에 나타낼 수 없다. 이에 반해 실상은 상의 위치에 빛이 집속되어 형성된 상이라 하고, 실상은 스크린에 투영된다 [8, 9, 10, 13].

예를 들어 오목렌즈의 경우 무한대에 점광원이 있으면, 오목렌즈를 통과한 광선은 상공간 영역에서 발산한다. 즉, 이 광선들은 렌즈 뒤편 초점에서 나오는 것처럼 보인다. 그러나 물체공간의 초점위치에는 실제 물체가 없기 때문에 스크린 상에는 어떤 빛나는 상도 나타나지 않는다. 이러한 상을 평면거울에 의해 형성된 유사한 상과 같이 허상이다 [5].

지금까지 중·고등학교 및 대학교 물리 교재에 나오는 허상의 정의에 대해서 알아보았다. 하지만 허상을 찾는 방법에 대해서 이론적 설명만 있고 실험을 통해 허상을 관찰하는 방법은 없는 실정이다.

2. 거울과 렌즈를 이용한 허상의 관찰

1) 상 작도법에 의한 평면거울의 허상

그림 4에서 평면거울과 거리 p 만큼 떨어져 있는 물체 O 에서 나온 빛이 거울면에서 반사된다.

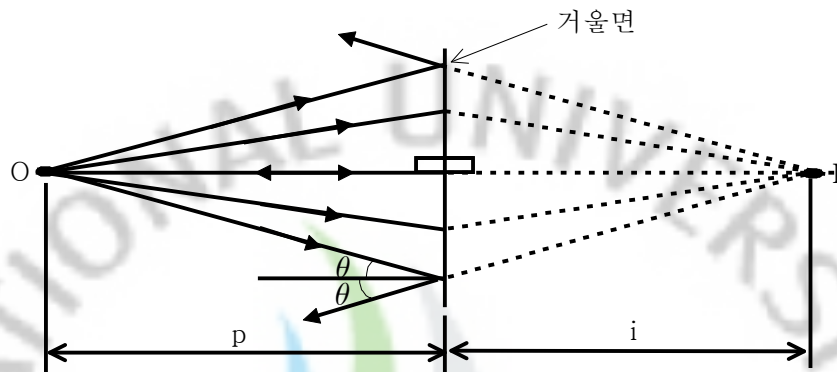


그림 4. 평면거울에서의 상

거울에 입사한 빛은 O 로부터 퍼져 나오는 빛으로, 반사한 빛은 거울면에서 퍼져 나오는 빛으로 표시되어 있다. 반사된 빛을 거울 반대편으로 연장하면 거울 뒤 i 만큼 떨어진 곳에서 만난다.

이 때 그림 5의 거울을 들여다보는 사람의 시각기관은 눈으로 들어온 빛들이 공통으로 지나가는 점을 찾아서, 그곳에 물체 O 의 상 I 를 만들어 낸다. 이 때 상은 하나의 점이 된다. 그러나 빛은 실제로 이 점을 지나지는 않고 나오는 것처럼 보이기 때문에 이 상은 허상이다.

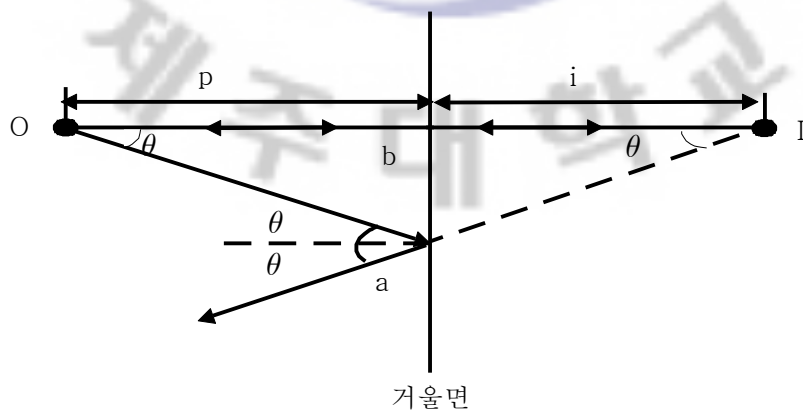


그림 5. 평면거울의 상 작도

그림 5는 그림 4의 많은 빛살 중 두 개만 있다. 그 중 하나는 거울면 위의 점 b에 수직으로 입사하고, 다른 하나는 다른 점 a에 각도 θ 로 입사한다.

이들 빛살의 연장을 점선으로 표시했다. 직삼각형 aOb와 aIb는 한 변을 공유하고 대응하는 세 각이 모두 같으므로, 서로 합동이므로 다음 관계식

$$Ib = Ob \dots\dots\dots (1)$$

이 성립한다.

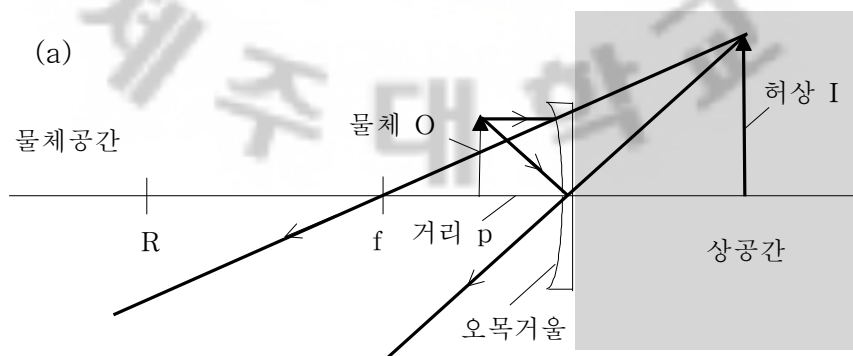
여기서 Ib와 Ob는 각각 상과 물체에서 거울면까지의 거리로 같다. 부호에 관한 규칙에 따라 물체와 거울면 사이의 거리 p는 양수로, 상과 거울면 사이의 거리인 허상의 거리 i는 음수로 한다. 따라서 식 (1)은 $|i| = p$ 이므로 다음과 같이

$$i = -p \dots\dots\dots (2)$$

쓸 수 있다 [9].

2) 상 작도법에 의한 오목거울의 허상

그림 6에서 구면거울에서 p만큼 떨어진 곳에 있는 물체에 대한 상의 형태를 보자. 먼저 그림 6(a)처럼 오목거울과 초점 f 사이에 물체 O를 놓으면 똑바로 선 허상이 거울 뒤편에 생긴다. 물체를 거울로부터 더 멀리 가져가 초점 위에 놓으면 그림 6(b)처럼 거울 뒤의 허상은 점점 멀어져 결국 무한히 멀어진다.



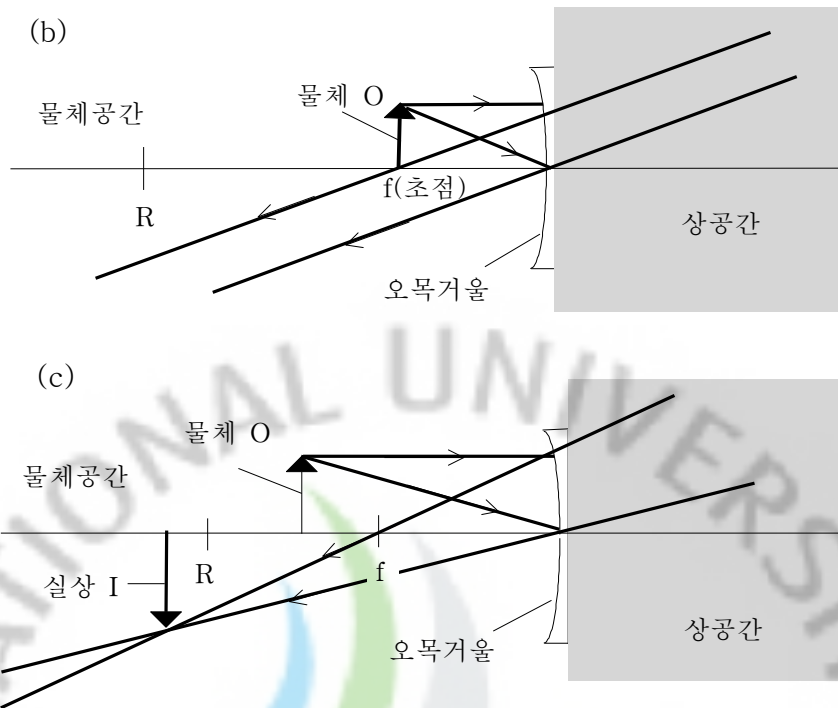


그림 6. (a) 초점 안에 물체가 있을 때 구면거울이 만드는 허상. (b) 초점 위에 물체가 있을 때 구면거울이 만드는 상. (c) 초점밖에 물체가 있을 때 구면거울이 만드는 실상

이때 초점에 있는 물체의 각 점에서 나온 빛은 거울에 반사되거나 투과된 후 서로 평행하게 진행하기 때문에 거울 앞이나 뒤에서 실상과 허상을 만들지 못한다. 그림 6(c)처럼 물체를 초점보다 멀리 놓으면 반사된 빛살이 거울 앞에 모여 도립실상을 만든다. 여기서 실상은 거울면을 중심으로 물체공간 상에 있다 [13].

3) 상 작도법에 의한 볼록거울의 허상

볼록거울에서 상의 위치와 크기를 결정하는 과정은 오목거울의 경우와 유사하다. 그림 7은 물체에서 나온 광선들의 경로를 추적한 것이다.

- 광선1: 물체에서 나온 광선 1은 주축과 평행하게 진행한 후 거울에서 반사한다. 이 광선은 상공간에 있는 초점 f 에서 나오는 것처럼 진행한다.

- 광선2: 물체에서 나온 광선 2는 처음에 초점 f 를 향하여 진행한 후 볼록거울에서 반사 후에 주축과에 평행하게 진행한다. 광선 2는 입사광선이 아닌 반사된 광선이 주축에 평행하다는 것을 제외하고는 광선 1과 유사하다.
- 광선3: 물체에서 나온 광선 3은 곡률중심 C 를 향하여 거울면에 수직하게 진행한다. 그 결과 광선 3은 거울면에 수직으로 입사한 후 원래 경로를 따라 되돌아간다.

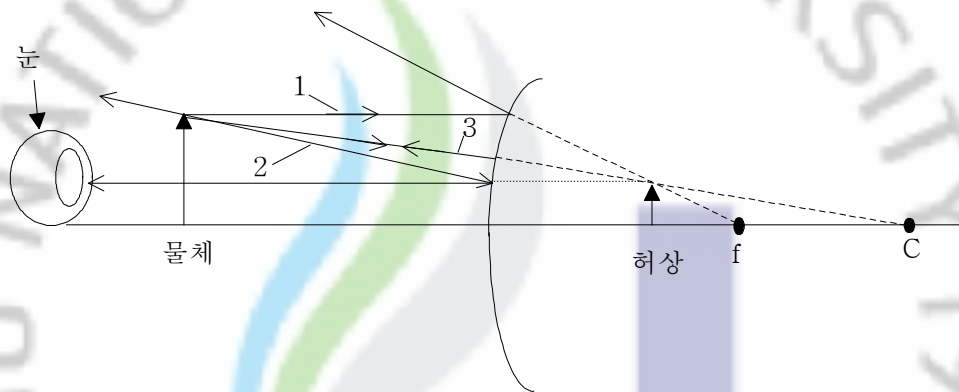


그림 7. 구면거울에서 허상이 만들어지는 위치

그림 7의 세 광선은 마치 거울면과 초점 f 사이에 있는 허상에서 나오는 것처럼 보인다. 따라서 물체가 물체공간 어디에 있든지 볼록거울은 상공간의 거울면과 초점사이에 물체의 허상을 형성한다 [10].

4) 상 작도법에 의한 볼록렌즈의 허상

그림 8에서 렌즈로부터 f 이내에 위치한 물체(물체거리 s 가 초점거리 f 보다 작을 때)의 점 B 에서 나온 빛은 볼록렌즈를 통과하면 발산하기 때문에 볼록렌즈는 상공간 영역에서 물체의 실상을 만들지 못한다. 그러나 가역성 원리에 따라 렌즈로부터 상공간 영역으로 발산된 빛이 뒤로 진행하면 볼록렌즈의 물체공간 영역의 점 B' 에서 두 빛이 교차하게 된다.

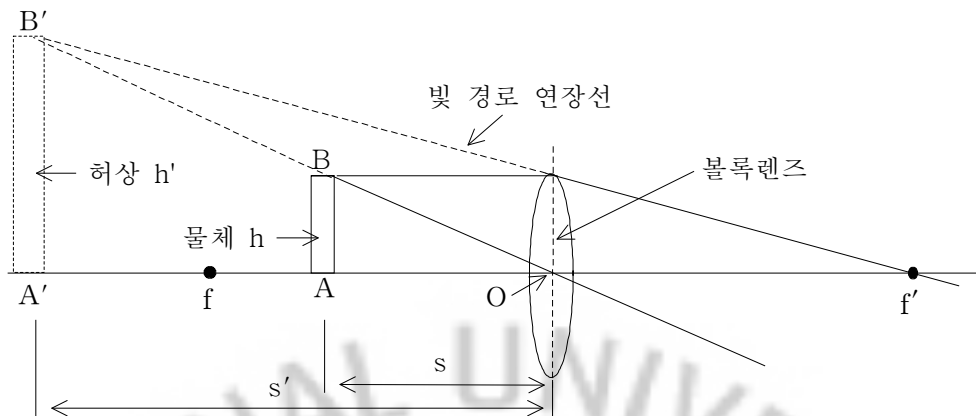


그림 8. 볼록렌즈의 초점 안에 있는 물체가 만드는 허상

상공간 영역에서 물체를 볼 때, 물체는 마치 볼록렌즈에서 물체공간 영역으로 s' 거리에 위치한 점 B' 에서 빛이 나온 것처럼 보인다. 이와 마찬가지로, 물체의 다른 점에서 나온 빛은 렌즈를 지난 후 선 $A'B'$ 위의 대응되는 점에서 나온 것처럼 보인다. 따라서 사람이 볼록렌즈로부터 나온 빛을 본다면, 사람의 망막에 형성된 실상은 마치 A' 과 B' 사이에 위치한 높이 h' 의 실물에 의해 형성된 도립 실상과 같다. 이런 의미에서 볼록렌즈로부터 나온 빛은 볼록렌즈의 물체공간 쪽에 물체의 허상을 형성했다고 말한다. 그러나 허상의 위치에 실제로 빛이 나오거나 모이지 않기 때문에 허상은 실상이 아니다. 따라서 허상의 위치에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 형성되지 않는다 [11]. 또한 같은 이유로 물체 공간영역에서 허상을 눈으로 볼 수도 없다. 허상은 상공간 영역에서 물체를 보았을 때만 눈으로 보거나 사진기로 찍을 수 있다.

5) 상 작도법에 의한 오목렌즈의 허상

그림 9은 물체공간 영역에 있는 물체의 점 A 에서 나온 빛이 광축과 평행하게 오목렌즈에 입사한 빛은 렌즈를 통과한 후 상공간 영역에서 발산하는 것을 보여 준다. 상공간 영역으로 발산한 빛을 물체공간 영역으로 직선으로 연장하였을 때 연장선과 광축은 점 f 에서 교차하며 이점은 오목렌즈의 초점이다. f 로부터 렌즈 중심까지의 거리를 초점거리 f 라 하여 (-)값이 취해진다. 물체공간 영역에 있는 물체의 점 A 에서 나온 빛이 오목렌즈의 중심을 지난 빛과 발산한 빛의 연장선의

교차점에서 허상이 형성된다. 허상은 물체공간 영역의 초점과 오목렌즈 사이에 정립상으로 존재하며 물체에 비해 항상 작다 [10].

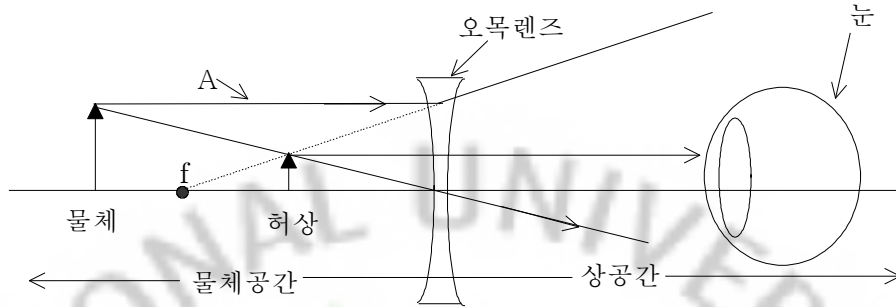


그림 9. 오목렌즈에 의해 생기는 허상

3. 눈 · 거울 · 렌즈에서 상 인식 과정

1) 눈에 의한 상 인식

빛에 민감한 부분인 망막은 도립실상을 뇌로 보내기 위해 전기신호로 바꾼다. 망막의 역할이 카메라 필름의 역할과 비슷하지만 빛에 민감한 텔레비전 카메라와 더 많은 유사점이 있다. 특히, 망막은 빛에 민감한 화합물을 재생시키는 기전을 가지고 있기 때문에 필름과는 달리 계속해서 교체할 필요가 없다. 망막에 있는 광수용체가 광자를 흡수하면 뇌로 보내는 활동전위를 만든다. 광자는 활동전위를 유발시키는 최소한의 에너지를 가지고 있어야 한다. 적외선 광자는 불충분한 에너지를 가지므로 눈으로 볼 수 없다. 자외선 광자는 충분한 에너지를 가지지만 망막에 도달하기 전에 다 흡수되어 보이지 않는다. 망막은 안구 뒷부분의 절반을 덮고 있다. 이렇게 넓은 범위는 넓은 각도의 유용한 시력을 제공하지만, 대부분의 시력은 황반이라 불리는 작은 영역에 국한되어 있다. 모든 정밀한 시력은 중심와라고 불리는 노란점의 매우 좁은 영역에서 일어난다. 망막에 생긴 도립실상은 매우 작다. 닭은꼬리 삼각형의 두 변의 길이의 비를 사용하여 망막의 도립실상의 크기를 간단한 방정식으로 나타낼 수 있다. 그림 10에서 O는 물체 크기이고, I는 상크기이며, P는 물체거리이고, Q는 상거리로 보통 0.02 m이다. 따라서 $O/P=I/Q$ 또는 $O/I=P/Q$ 이므로 $I=(Q/P)O$ 이다 [12].

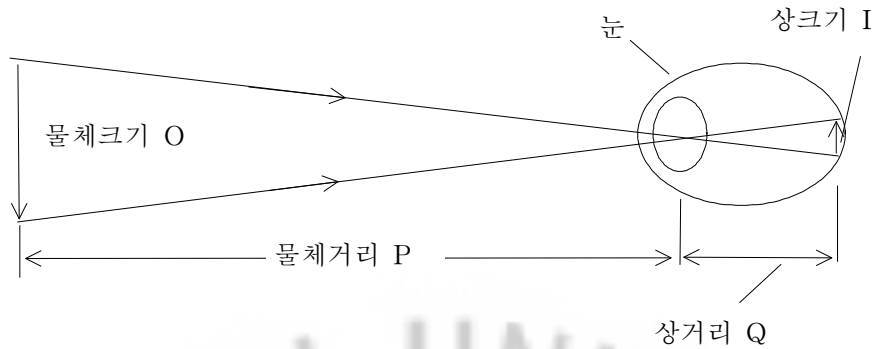


그림 10. 물체와 이미지의 크기

2) 평면거울에서의 상 인식 과정

허상이 평면거울의 뒤에서부터 시작되어 오는 것으로 보이는데 대해서 알아 보자. 그림 11(a)은 물체의 윗부분에서부터 출발한 광선의 경로를 보여준다.

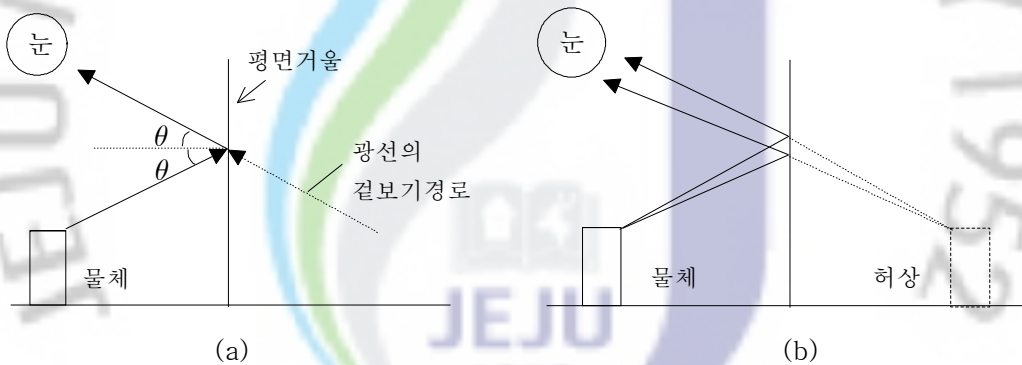


그림 11. 평면거울상에서 허상을 보는 경우

이 광선은 거울에서 입사각과 동일한 반사각으로 반사되어 눈으로 들어온다. 눈은 광선이 거울 뒤 어느 곳에서 출발하여 점선을 따라서 온 것처럼 보인다. 실제로 광선은 물체의 각 지점에서 모든 방향으로 퍼지며, 이 광선 중의 일부만이 우리 눈으로 들어온다.

그림 11(b)는 물체의 꼭대기 부분을 떠난 두 광선의 경로를 보여준다. 거울에 입사되는 각 θ 가 얼마이든지 간에 물체 표면의 한 점에서 출발한 모든 광선들은 거울 뒤에 있는 허상의 한 점에서 나와 그림 11(b)의 점선경로를 따라오는 것처럼 보인다. 물체의 각 지점마다 허상에 하나의 대응점이 있다. 이런 방법으로

평면거울은 선명하고 찌그러지지 않는 상을 만든다. 눈에 들어오는 빛은 허상에서 나온 것처럼 보이지만, 그림 11(b)에서 보는 바와 같이 평면거울 뒤쪽에 있는 허상에서 시작된 것이 아님을 분명히 알 수 있다. 어떠한 광선도 실제로 상에서 나오지 않기 때문에, 이 상을 허상이라고 한다. 평면거울에 형성되는 상을 허상이라 부르는데 이는 빛이 상이 놓여있는 곳에 실제로 통과하지 못하기 때문이다. 실제로, 빛은 거울 뒤로는 갈 수가 없고 단지 거울에서 반사되는 것이다. 따라서 거울 뒤에 스크린을 놓으면 스크린에 상이 형성되지 않는다. 상은 똑바로 서 있으며 물체와 동일한 크기를 가진다(확대되지 않음). 반면에 상의 좌우는 반전된다. 거울 속의 허상에서 오른손은 실제로는 왼손의 상이다 [10]. 이에 반하여 오목거울은 상 위치에 스크린을 놓으면 실제로 광선이 나오는 실상을 형성할 수 있다.

3) 사람의 눈의 해부학적 구조

그림 12는 눈의 해부학적 구조를 나타낸 것이다. 안구는 지름이 약 25mm 정도이고 거의 구형이다.

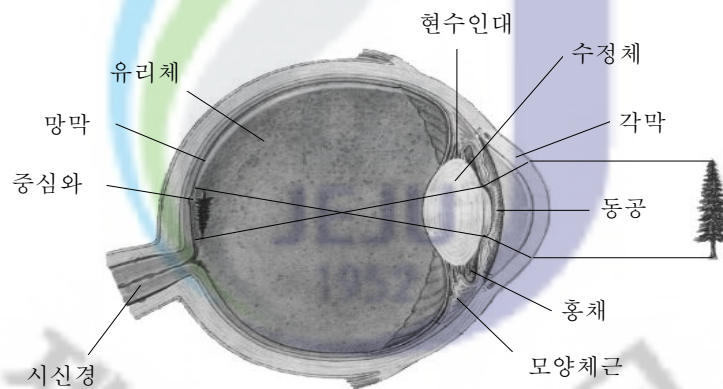


그림 12. 사람 눈의 단면도

빛은 투명한 막(각막: cornea)을 통해 눈으로 들어온다. 각막은 깨끗한 액체 영역(수양액: aqueous humor)을 감싸고 있고, 이 뒤에 조리개(홍채: iris), 수정체 (lens), 젤리 모양의 물질로 채워진 영역(유리체: vitreous humor), 그리고 망막 (retina)이 있다. 망막은 눈의 감광부분으로 간상체(rods)와 원추체(cones)라 부르는 수백만 개의 조직들로 구성되어 있다. 빛이 망막에 비추지면 간상체와 원추체

들은 전기신호를 만든다. 이 전기신호는 시신경을 통하여 대뇌로 보내어 망막에 맺힌 상을 해석하게 한다. 홍채는 근육질의 조리개로 눈의 색을 띠고 있는 부분이다. 홍채는 빛이 통과하는 가운데 열린 곳인 동공(pupil)의 넓이를 변화시켜 망막에 도달하는 빛의 양을 조절한다. 동공의 지름은 약 2mm에서부터 7mm까지 변한다. 동공은 밝은 빛이 들어올 때는 좁아지고 약한 빛이 들어올 때는 넓어진다.

눈과 카메라는 조리개를 갖고 있어 광학적으로 유사하다. 또한, 눈의 망막과 카메라의 필름은 상을 기록하기 때문에 유사한 기능을 한다. 카메라와 눈의 망막에 형성된 상은 도립실상으로 물체보다 작다. 망막의 상은 도립이지만, 대뇌에 의해 정립실상으로 인식된다.

선명한 상을 얻기 위해, 눈은 입사된 광선을 적절하게 굴절시켜서 망막에 상을 형성한다. 빛이 망막에 도달하는 동안, 서로 다른 굴절률 n 을 가진 다섯 가지 매질을 통과한다. 그것들은 순서대로 공기($n=1.00$), 각막($n=1.38$), 수양액($n=1.33$), 수정체($n=1.40$, 평균), 그리고 유리체($n=1.34$)이다. 한 매질에서 다른 매질로 빛이 지나갈 때마다 경계면에서 굴절된다. 스넬의 법칙에 따라 굴절률 차이가 큰 경계면인 공기($n=1.00$)와 각막($n=1.38$)에서 굴절이 가장 크게 일어나 전체 굴절에서 약 70% 정도 꺾인다. 다른 경계면에서 양쪽 굴절률들이 거의 같으므로 굴절 정도가 상대적으로 작다. 수정체를 둘러싸고 있는 수양액과 유리액이 수정체와 거의 같은 굴절률들을 가지므로 수정체에서의 굴절은 전체 굴절의 약 20~25% 정도 기여한다. 수정체가 전체 굴절의 4분의1 정도만을 기여하지만, 그 기능은 중요하다. 눈은 수정체와 망막 사이의 거리가 일정하므로 고정된 상 거리를 갖는다. 그러므로 서로 다른 거리에 있는 물체가 망막에 상을 맺기 위한 유일한 방법은 수정체의 초점 거리를 조절하는 것이다. 이 초점 거리를 조절하는 것이 모양체근이다. 눈이 아주 멀리 있는 물체를 바라볼 때 모양체근은 이완된다. 이때 수정체는 최소의 곡률을 가지므로 초점거리가 가장 길다. 이러한 조건에서 눈은 망막에 선명한 상을 형성한다.

그림 13과 그림 14에서 보는 바와 같이 물체가 눈에 가까이 다가서면, 모양체근이 자동으로 긴장되어 수정체의 곡률을 증가시켜서 초점 거리가 짧아지게 하므로 다시 망막에 선명한 상이 맺히도록 한다. 다른 거리에 있는 물체에 초점

을 맞추기 위해 눈의 초점거리를 변화시키는 과정을 원근조절이라 한다.

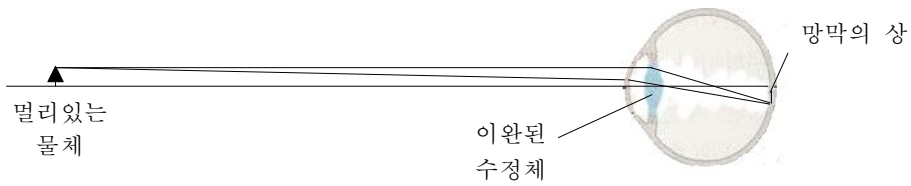


그림 13. 멀리 있는 물체를 보는 경우: 망막에 맺히는 상

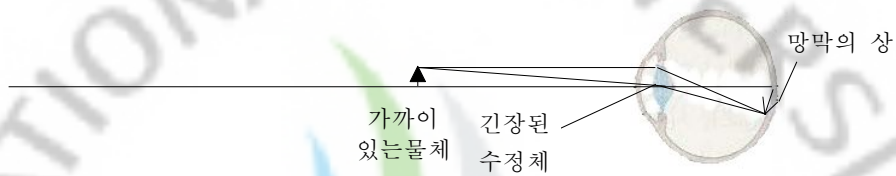


그림 14. 가까이 있는 물체를 보는 경우: 망막에 맺히는 상

정상안의 경우 빛이 눈의 각막과 수정체 렌즈를 굴절 투과하면서 2.0 cm 뒤에 있는 망막에 상을 맺는다. 일반적으로 수정체와 망막 사이 거리가 2.0 cm인 정상안은 25 cm 거리 밖에 있는 물체를 선명하게 보기 위해 수정체 렌즈 초점거리를 1.85 cm에서 2.00 cm 사이로 조정한다 [10, 17]. 여기서, 사람의 눈의 초점거리 17 mm, 동공크기 3~4 mm 이고, 카메라 초점은 F4~F5.6 정도이며 동공이 작아졌을 때는 동공의 크기는 1.8 mm 이고 카메라 초점으로는 F8 정도가 된다.

4) 사람의 눈과 사진기의 비교

사람의 눈은 디지털 사진기와 유사하다. 디지털 사진기가 도립실상을 CCD 장치에 기록하듯이 우리 눈은 물체 상을 망막에 투영한다. 망막에 있는 약 1억 2천 5백만 개의 감광세포들이 상을 받아들인다. 그러나 디지털 사진기와 눈의 초점 조절 원리는 다르다. 사진기는 필름 앞 렌즈가 전후로 움직이면서 물체 거리에 따라 상의 초점을 조절한다. 반면 눈은 수정체 렌즈와 망막 사이 거리가 일정한 대신 수정체 렌즈 두께를 조절하여 초점을 맞춘다. 즉 물체 거리에 따라 초점거리를 변화시킴으로써 일정한 상거리를 유지한다 [14].

5) 핀홀카메라의 원리 및 카메라 렌즈의 역할

그림 15는 핀홀카메라 구조로 카메라 구조 중에 가장 간단한 것이다. 암상자 (외부로부터 빛이 들어오지 않도록 한 상자)의 한쪽 면에 핀홀 H를 만들고, 반대 측면에 필름을 붙인다. 빛의 직진성으로부터 피사체의 A점과 B점에서 나온 빛은 핀홀 H를 통하여 필름 상의 A'점과 B'점에 도달한다. 따라서 필름 위에 피사체의 도립실상이 형성된다.

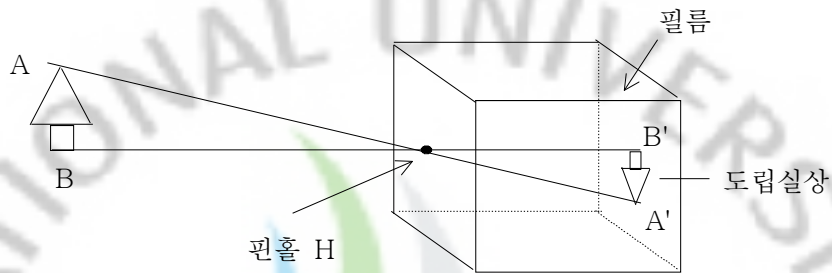


그림 15. 핀홀 카메라의 원리

핀홀카메라의 상은 매우 어둡기 때문에 필름의 감광시간을 길게 하는 것이 필요하다. 그래서 밝게 하기 위하여 그림 16처럼 핀홀을 크게 하여 보자.

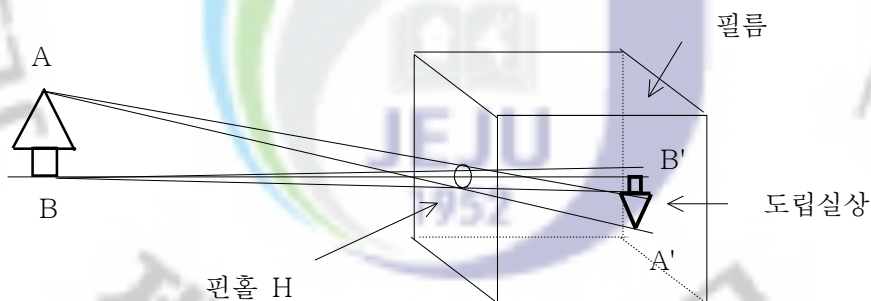


그림 16. 핀홀을 크게 한 경우

그러나 핀홀을 크게 하면 A점의 상인 A'점은 퍼짐을 갖는 흐려진 상이 되어 버린다. 결국 핀홀을 크게 하면 분명히 밝게 되지만 구멍이 클수록 매우 흐려진 상을 얻는다. 상이 흐려지지 않는 상을 만들려면 그림 17처럼 렌즈를 이용해야 한다. 그러면 상이 흐려지지 않고 많은 빛을 모는 것이 가능하다. 이로서 우리는 핀홀카메라를 사용하면 사진을 찍을 수 있다.

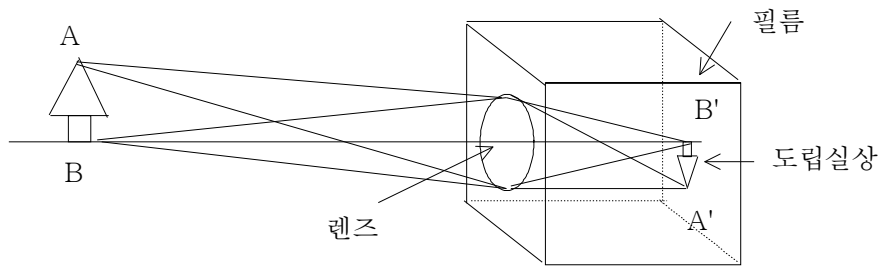


그림 17. 렌즈를 사용한 카메라

또한 렌즈의 밝기는 F-수로 나타내며 이 수치가 작을수록 밝은 렌즈이다. 밝다는 것은 많은 빛을 모으는 것이므로 따라서 렌즈의 직경도 크게 된다 [14].



Ⅲ. 실험 방법

1. 실험장비와 재료

본 연구에서 사용한 실험 장비는 초점거리가 $f = 40\text{ cm}$ 와 19 cm 인 볼록렌즈, $f = -18\text{ cm}$ 인 오목렌즈, 길이가 3 cm 인 영어 알파벳 F형 물체이다. 또한, 길이가 100 cm 인 광학대, 광원(500 W), 렌즈 받침대, 사진기, 스크린, 자를 이용하여 볼록렌즈와 오목렌즈의 허상을 관찰하는 실험을 수행하였다. 특히, 자바를 이용한 컴퓨터 모의실험을 할 수 있는 인터넷 홈페이지인 이동준의 가상 인터넷 과학 실험실에서 렌즈에 의한 빛의 굴절이란 실험프로그램을 이용하여 렌즈에 대한 허상의 위치를 미리 파악하여 실험하였다 [15-18].

2. 실험방법

상공간 쪽에서 볼록렌즈 1을 통해서 물체를 보았을 때, 허상이 보이기 위해서는 볼록렌즈 1의 초점 안으로 물체를 이동시켜야 한다. 이 때 볼록렌즈 1과 스크린 사이에 또 다른 렌즈인 볼록렌즈 2를 놓으면 물체공간에 보이는 볼록렌즈 1에 의한 허상을 상공간에 놓여있는 스크린에서 도립실상으로 관찰할 수 있다. 오목렌즈에 의한 허상 역시 물체공간에서 보이기 때문에 상공간 영역에서 스크린과 오목렌즈 사이에 볼록렌즈 2를 상공간에 놓았을 때, 도립실상이 스크린에 나타난다. 스크린에 맺힌 도립실상을 카메라로 촬영한다. 또한 도립실상이 나타난 위치에 카메라를 놓고 촬영하여 허상을 눈으로 직접 본 상, 스크린에 맺힌 상, 카메라로 촬영한 상을 비교·분석한다. 그리고 상 크기가 어떻게 변하는지도 알아본다.

1) 볼록렌즈에 의한 허상의 관찰

그림 18과 같이 볼록렌즈의 초점거리 안에 물체를 놓고 상공간에서 렌즈를 통해 물체를 관찰하면 물체공간에 허상이 보인다. 허상 관찰에 사용한 볼록렌즈

는 초점거리가 40 cm와 19cm이다. 물체의 크기는 3cm로 볼록렌즈의 초점거리 안에 물체를 위치시키고 실험을 하였다. 볼록렌즈의 허상을 관찰하기 위한 실험 절차는 다음과 같다.

- (1) 그림 18와 같이 허상을 관찰하기 위해 광학대 위에 크기가 3cm인 물체를 볼록렌즈의 초점 안에 놓는다. 또 스크린에 허상이 맺히는 지를 알아보기 위해 스크린을 물체 앞에 놓고 관찰하였다.



그림 18. 볼록렌즈에 의한 허상 관찰 장치도

- (2) 컴퓨터 모의실험 프로그램에 의해 허상이 만들어지는 위치에 스크린을 위치시키고 눈으로 상이 만들어지는지 확인하고 사진을 찍는다.
- (3) 그림 19와 같이 물체는 볼록렌즈 1의 초점거리 안에 있고 볼록렌즈 2는 볼록렌즈 1과 스크린 사이에 있다. 이 때 광원을 켜고 볼록렌즈 1이 만드는 물체의 상이 볼록렌즈 2를 통과한 후 스크린에 맺히는 상을 눈으로 관찰한다.

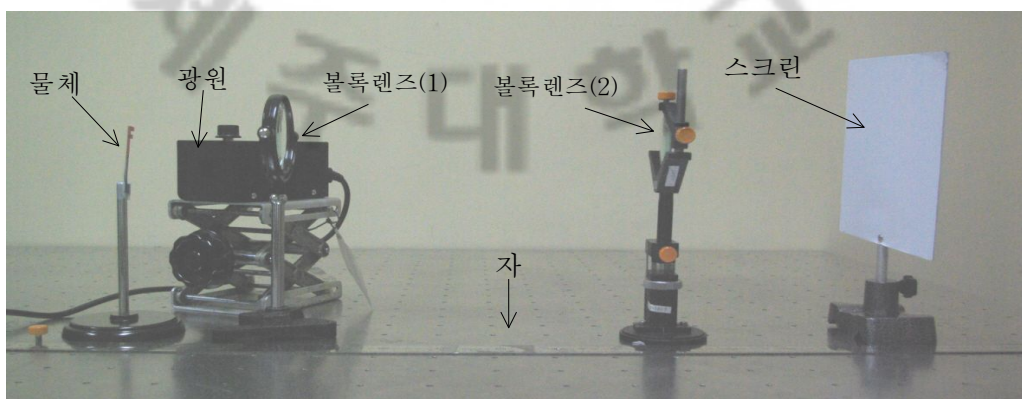


그림 19. 볼록렌즈 1에 의한 허상을 스크린에서 관찰하기 위한 장치도

- (4) 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍는다.
- (5) 스크린을 치우고 그 위치에서 카메라로 허상을 찍는다.
- (6) 위에서 눈으로 관찰한 허상, 스크린에 맺힌 허상, 카메라로 찍은 허상을 비교한다.
- (7) 그림 20과 같이 물체는 볼록렌즈 1의 초점거리 안에 있고 볼록렌즈 2를 치우고 스크린에 맺히는 상을 관찰한다.

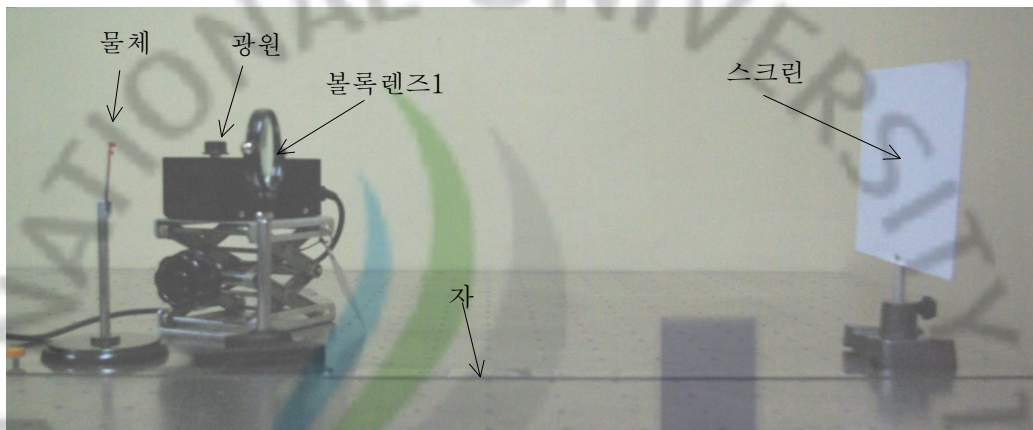


그림 20. 볼록렌즈 2를 치운 뒤 스크린에서 허상을 관찰하기 위한 장치도

- (8) 그림 21과 같이 물체는 볼록렌즈 1의 초점거리 안에 있고 스크린의 위치에 카메라를 놓는다. 볼록렌즈 1이 만드는 물체의 허상을 카메라로 찍어 스크린에 맺힌 상을 비교한다.

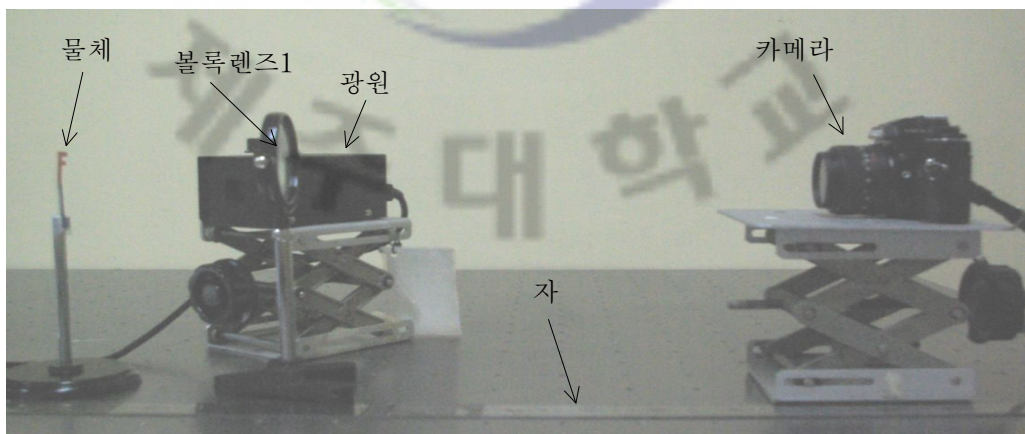


그림 21. 볼록렌즈 1에 의한 허상을 카메라를 이용하여 관찰하기 위한 장치도

2) 오목렌즈에 의한 허상의 관찰

그림 22와 같이 물체를 오목렌즈의 초점 밖, 초점 위, 초점 안에 놓고 상공간에서 렌즈를 통해 관찰하면 물체공간에 허상이 나타난다. 이때, 허상 관찰에 사용한 오목렌즈의 초점거리는 $f = -18\text{cm}$ 이고 물체의 길이는 3cm 이다.

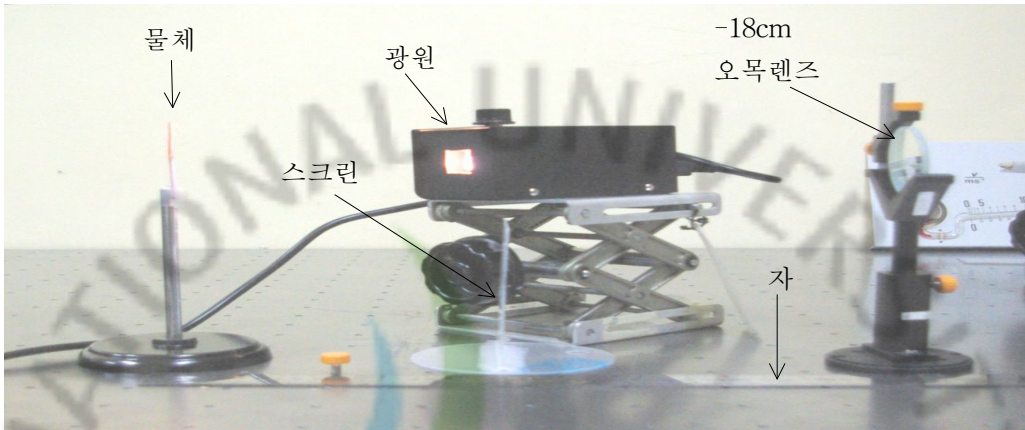


그림 22. 오목렌즈에 의한 허상을 관찰하기 위한 실험 장치

오목렌즈의 허상을 관찰하기 위한 실험절차는 다음과 같다.

- (1) 그림 22와 같이 허상을 관찰하기 위해 물체 크기가 3cm 인 물체를 오목렌즈의 구간별로 놓았다. 또한 스크린에 허상이 맺히는지 알기 위해서 렌즈와 물체 사이에 스크린을 놓고 허상을 관찰하였다.
- (2) 그림 23처럼 오목렌즈에 의한 상을 스크린에 맺히게 하기 위해서 볼록렌즈를 스크린과 오목렌즈 사이에 놓고, 스크린에 맺히는 상을 관찰한다.

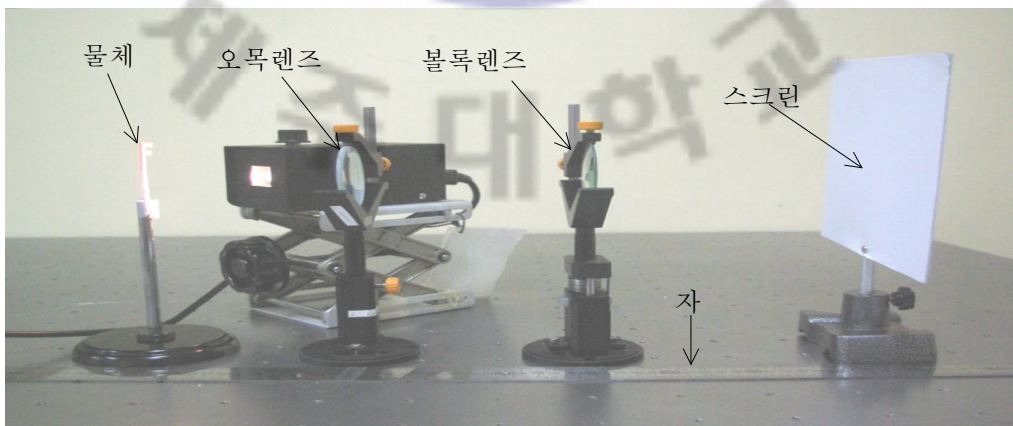


그림 23. 오목렌즈와 스크린 사이에 볼록렌즈를 놓고 상을 관찰

- (3) 오목렌즈가 만드는 허상을 볼록렌즈 뒤에 있는 스크린의 위치에서 카메라로 찍어 (2)에서 수행한 스크린에 맺힌 상과 비교한다.
- (4) 그림 24와 같이 물체를 오목렌즈의 구간별로 놓고 볼록렌즈를 치운 후, 이때 광원을 켜고 스크린에 맺히는 상을 관찰한다.

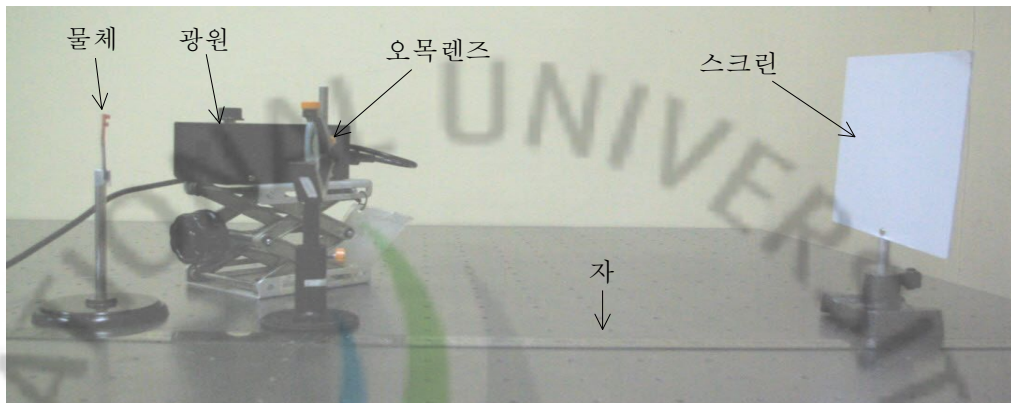


그림 24. 오목렌즈와 스크린 사이에 볼록렌즈를 치우고 상을 관찰

- (5) 그림 24에서 스크린을 치우고, 그 위치에 그림 25와 같이 카메라를 두고서 상을 관찰해본다. 상이 정확히 맺히는지 확인하고, 만약 정확히 맺히지 않으면 카메라의 초점을 맞추어서 허상을 찍는다.

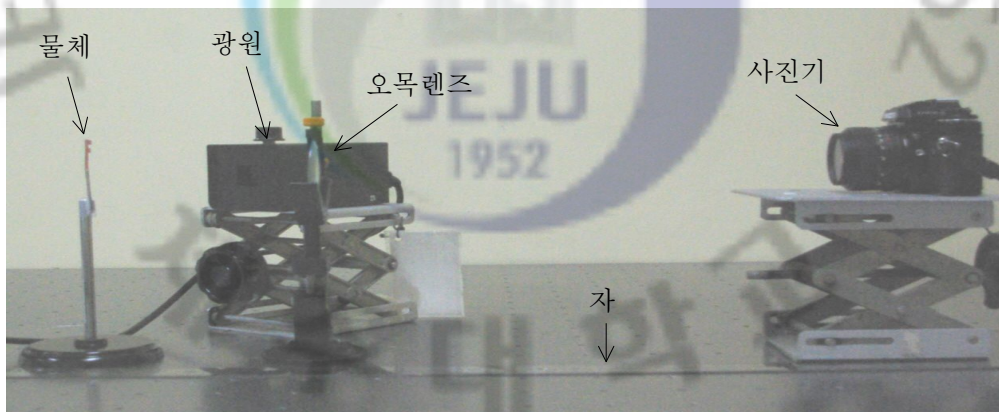


그림 25. 오목렌즈가 만드는 상을 사진기를 이용하여 관찰

IV. 결과 및 고찰

1. 볼록렌즈에서 허상의 관찰 분석

그림 26와 표 1은 물체의 위치에 따라 볼록렌즈의 상이 나타나는 위치와 모양이다. 그림 26에서 a 는 물체의 위치, b 는 상의 위치, f 는 초점거리이다.

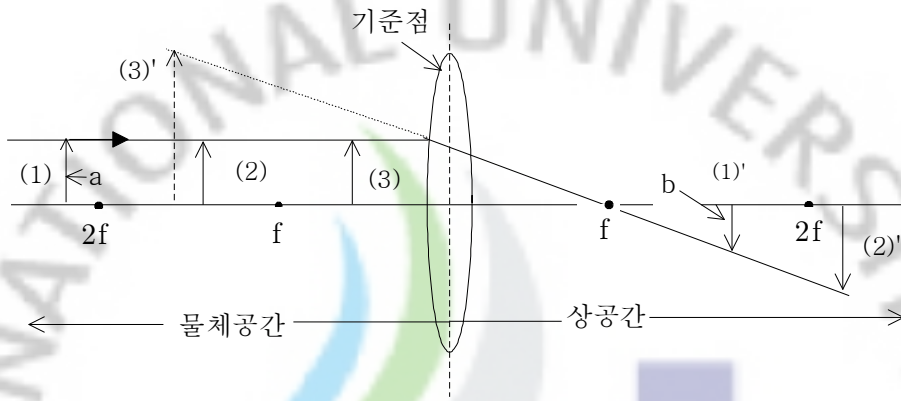


그림 26. 물체의 위치에 따른 볼록렌즈에 의한 상 형성

표 1. 물체의 위치에 따른 볼록렌즈에 의한 상의 위치와 모양

물체의 위치	$a = \infty$	$2f < a < \infty$	$a = 2f$	$f < a < 2f$	$a < f$
상의 위치 및 모양	$b = f$	$f < b < 2f$	$b = 2f$	$2f < b < \infty$	$b < 0$
	점	축소도립실상	같은 크기의 도립실상	확대된 도립실상	확대된 정립허상

그림 26에서 볼록렌즈에 의한 허상을 관찰하려면 물체를 볼록렌즈의 초점 안에 위치해야 한다. 즉, 물체가 렌즈와 초점 사이인 (3)번 위치에 있을 때 물체의 허상은 물체공간 영역인 (3)'에 위치한다.

1) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 물체공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

그림 27(그림28)은 볼록렌즈의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$ ($f = 19\text{ cm}$), 물체위치 $a = 15\text{ cm}$ ($a = 10\text{ cm}$)일 때, 물체공간 영역인 $i = 22.5\text{ cm}$ ($i = 21.0\text{ cm}$)에 확대정립 허상이 나타나는 상작도이다. 그림 27(그림 28)와 같이 물체가 초점 안 $a < f$ 인 경우 볼록렌즈의 허상은 항상 빛이 모이지 않은 물체공간 영역에 위치하기 때문에 스크린을 놓아도 상은 맺히지 않는다.

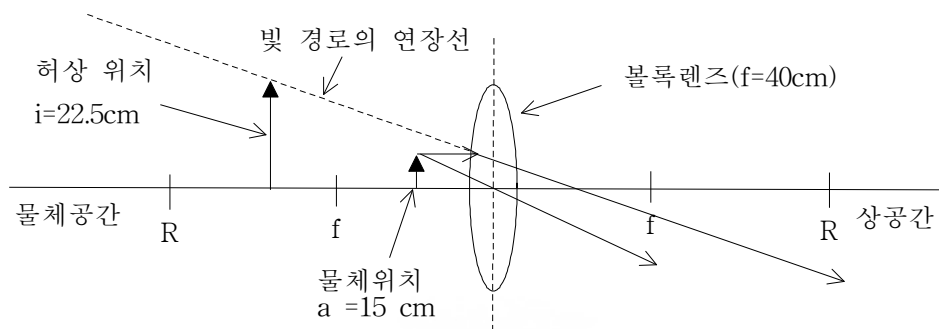


그림 27. 초점거리 $f = 40\text{ cm}$ 인 볼록렌즈에서 허상이 나타나는 경우

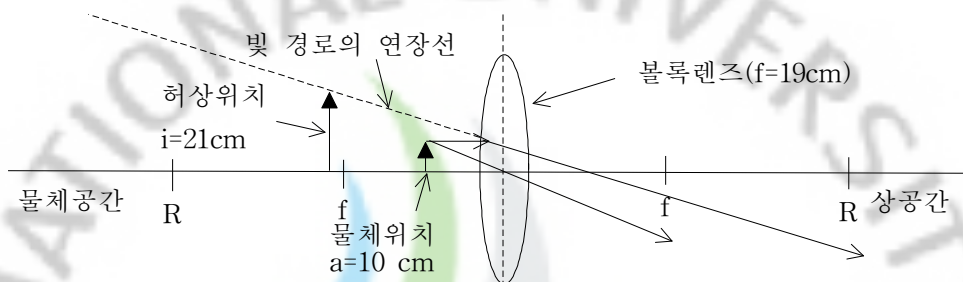


그림 28. 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ 인 볼록렌즈에서 허상이 나타나는 경우

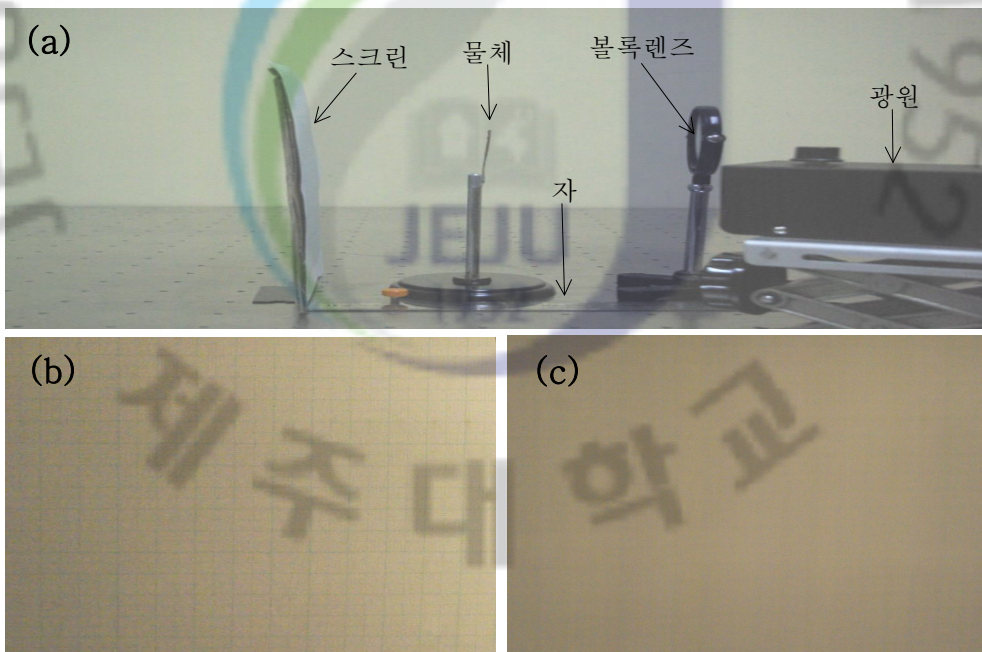


그림 29. (a) 물체위치가 $a < f$ 이고 허상 위치에 스크린이 있을 때의 실험 배치도
 (b) 볼록렌즈 초점 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 허상위치 $i = 22.5\text{ cm}$,
 (c) 볼록렌즈 초점 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$, 허상위치 $i = 21.0\text{ cm}$

그림 29는 그림 27(그림 28)의 물체위치가 $a < f$ 이고 허상 위치에 스크린이 있을 때의 실험 배치도와 실제 허상 관찰 실험을 나타낸 것이다. 그림 29(b)는 볼록렌즈의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 허상의 위치 $i = 22.5\text{ cm}$ 에 스크린을 배치하였고 그림 29(c)는 볼록렌즈의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$, 허상의 위치 $i = 21.0\text{ cm}$ 에 스크린을 배치하여 허상이 스크린에 맺히는지 카메라로 촬영한 것이다. 예상과 같이 허상위치에 스크린을 놓고 허상을 관찰하면 그림 29(b)와 (c)에서 보는 바와 같이 아무런 상도 맺히지 않았다.

2) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 볼록렌즈(2)를 치운 후 스크린에 맺힌 상 관찰

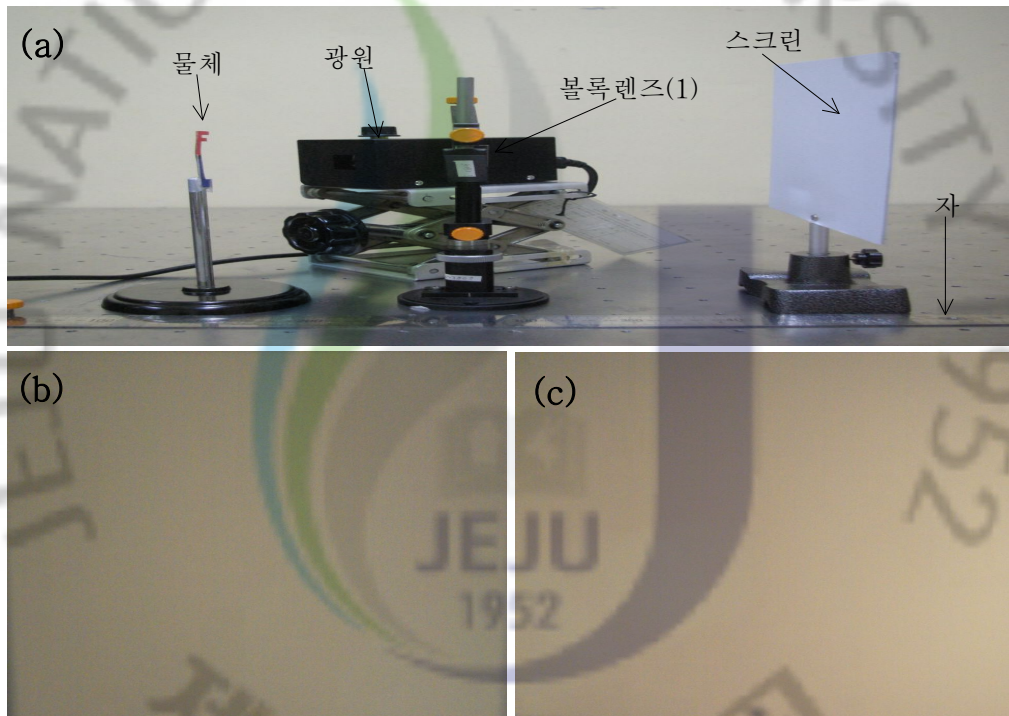


그림 30. (a) 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역으로 $35\text{cm}(25\text{cm})$ 에 위치한 볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도 (b) 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$ (c) 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$ 인 경우에 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진.

그림 30(a)는 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역

에 위치한 볼록렌즈(2) 없이 볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도이다. 그림 30(b)는 볼록렌즈(1)의 초점거리가 $f = 40\text{ cm}$ 이고 물체위치가 $a = 15\text{ cm}$ 인 경우에 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진이다. 그림 30(c) 볼록렌즈(1)의 초점거리가 $f = 19\text{ cm}$ 이고 물체위치가 $a = 10\text{ cm}$ 인 경우에 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진이다. 그림 30(b)와 30(c)에서 보는 바와 같이 볼록렌즈(2)를 치우고 스크린에 맺힌 상을 관찰하면 스크린에 상은 맺히지 않는다.

3) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 상공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

그림 31은 초점거리가 $f = 40\text{ cm}$ ($f = 19\text{ cm}$)인 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역으로 35cm (25cm) 떨어진 위치에 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ ($f = 40\text{ cm}$)인 볼록렌즈(2)를 놓고 볼록렌즈(2)의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 스크린을 배치하여 스크린에 맺히는 상을 카메라로 촬영하기 위한 실험장치도이다. 초점거리 $f = 40\text{ cm}$ ($f = 19\text{ cm}$)인 볼록렌즈(1)는 위치가 $a = 15\text{ cm}$ ($a = 10\text{ cm}$) 지점에 크기가 3cm 인 물체를 놓으면($a < f$ 인) 물체공간영역 $i = 22.5\text{ cm}$ ($i = 21.0\text{ cm}$) 지점에 확대 정립허상이 나타난다.

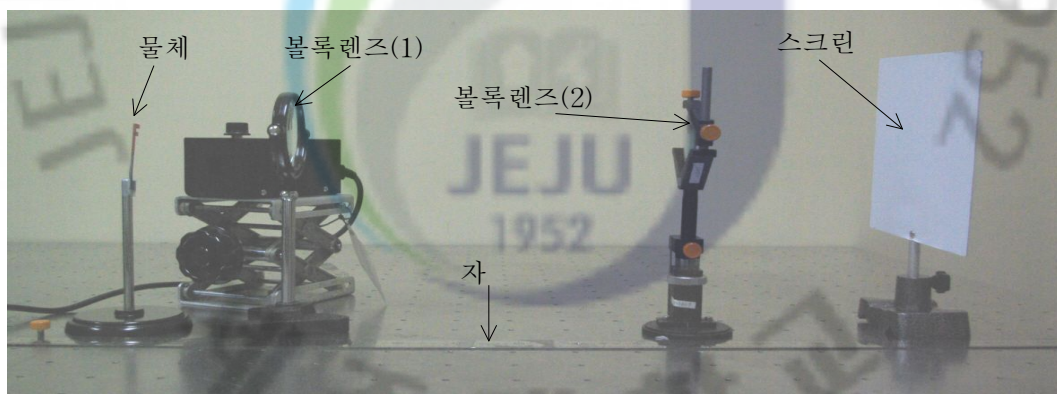


그림 31. 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역으로 35cm (25cm)에 위치한 볼록렌즈(2)의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 스크린을 배치한 실험장치도

볼록렌즈(1)이 만드는 확대 정립허상은 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)의 초점에 위치한 스크린에 축소 혹은 확대된 도립실상으로 맺히게 된다. 상공간에 있는

볼록렌즈(2)의 위치에 관계없이 초점 위에 있는 스크린에 도립실상이 맺힌다.

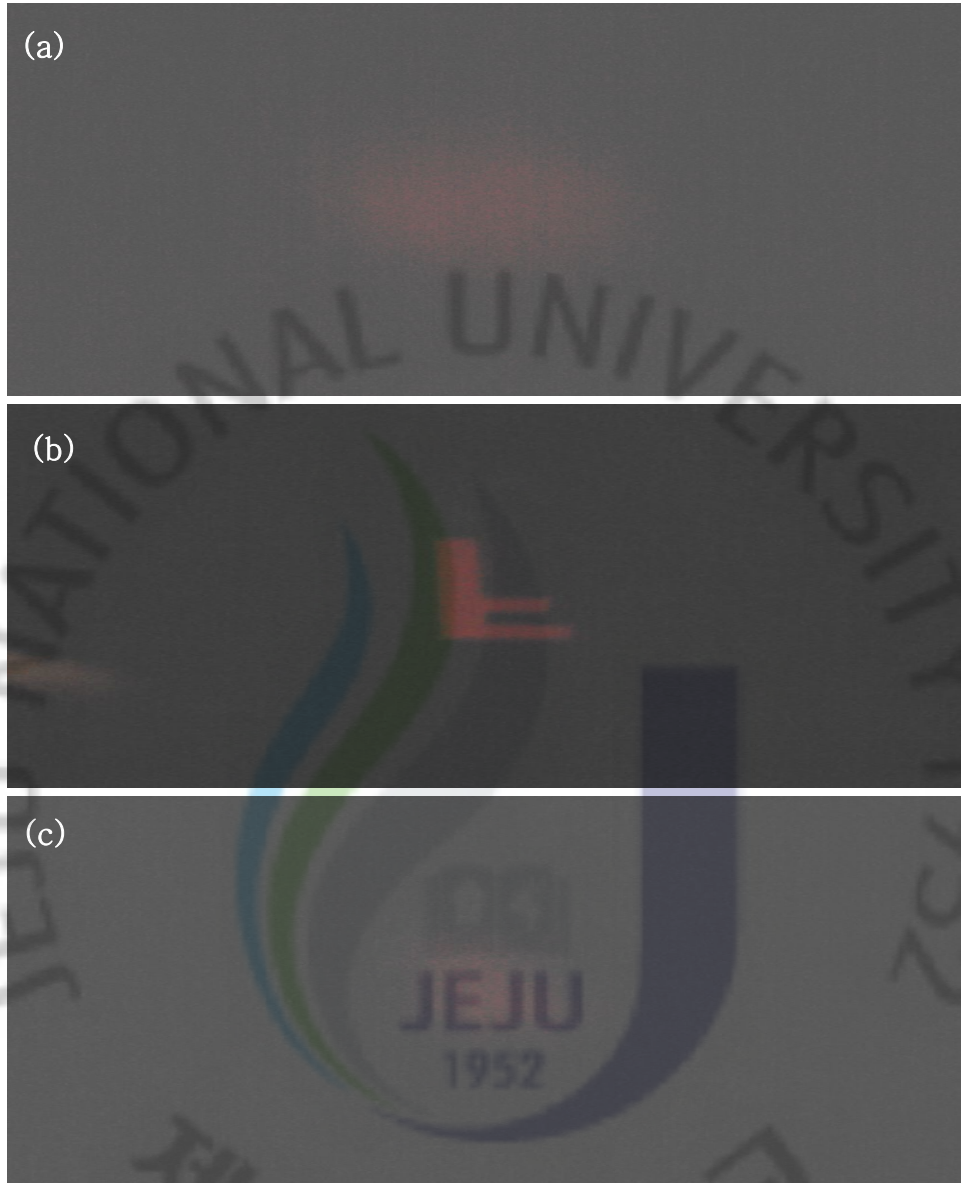


그림 32. 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 볼록렌즈(2)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ 일 때, 스크린의 위치가 볼록렌즈(2)의 (a) 초점 안 (b) 초점 위 (c) 초점 밖에 있을 때 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진.

그림 32(a)-32(c)는 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 볼록렌즈(2)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ 일 때, 스크린의 위치가 볼록렌즈(2)의 초점 안,

초점 위, 초점 밖에 있을 때 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진이다.

스크린 위치는 볼록렌즈(2)를 기준으로 그림 32(a)는 12.5 cm, 그림 32(b)는 19 cm, 그림 32(c)은 25 cm에 놓았다. 그림 31(b)에서 보는 바와 같이 볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린이 배치되는 경우에 스크린에 도립실상이 선명하게 맺힌다.

그림 32(a)와 32(c)에서 보는 바와 같이 스크린이 볼록렌즈(2)의 초점 안과 밖에 놓인 경우는 스크린에 도립실상이 퍼져서 맺힌다.

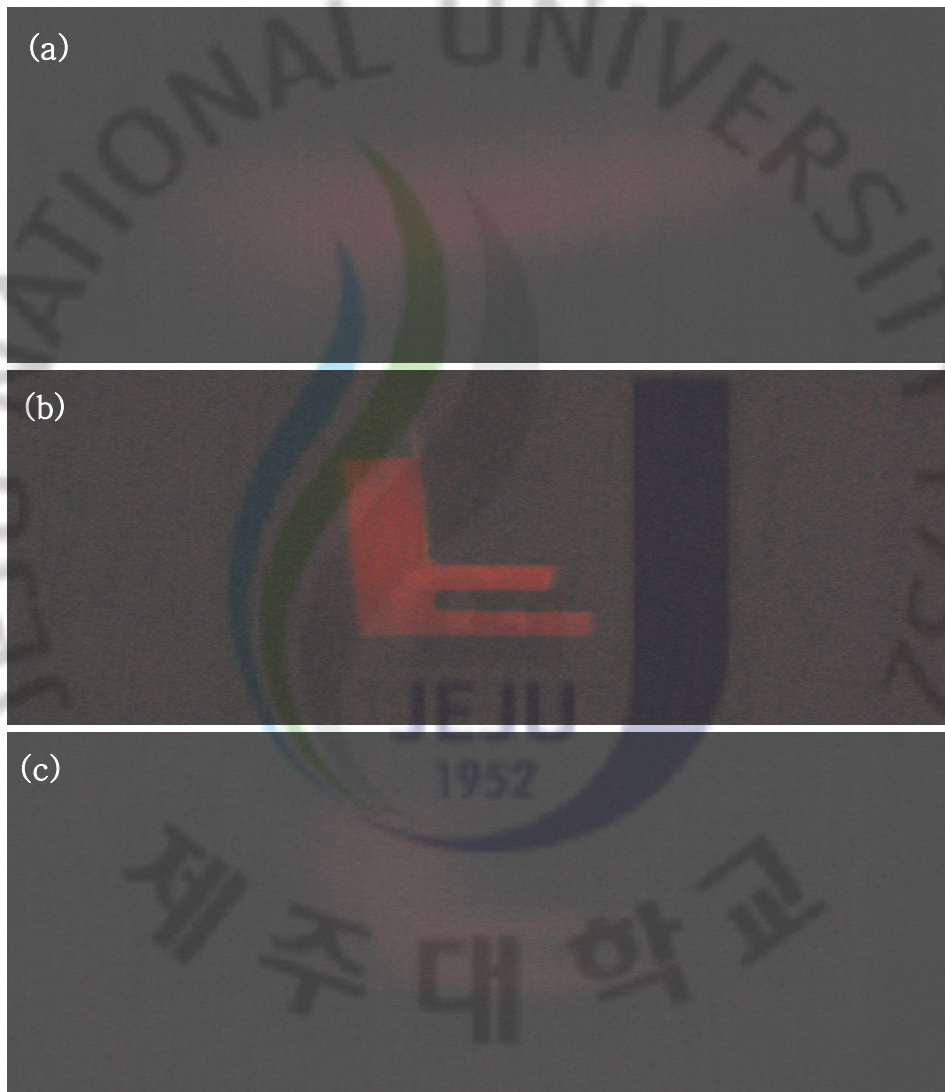


그림 33. 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 19$ cm, 물체위치 $a = 10$ cm, 볼록렌즈(2)의 초점거리 $f = 40$ cm일 때, 스크린의 위치가 볼록렌즈(2)의 (a) 초점 안 (b) 초점 위 (c) 초점 밖에 있을 때 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진.

그림 33(a)-33(c)는 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$, 볼록렌즈(2)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$ 일 때, 스크린의 위치가 볼록렌즈(2)의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 있을 때 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진이다.

스크린 위치는 볼록렌즈(2)를 기준으로 그림 33(a)는 20 cm , 그림 33(b)는 40 cm , 그림 33(c)은 45 cm 에 놓았다. 그림 33의 양상은 그림 32와 같지만 스크린에 맺힌 상의 크기는 볼록렌즈(2)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ 인 경우가 $f = 40\text{ cm}$ 인 경우보다 더 크다.

4) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 카메라로 직접 허상을 찍은 사진

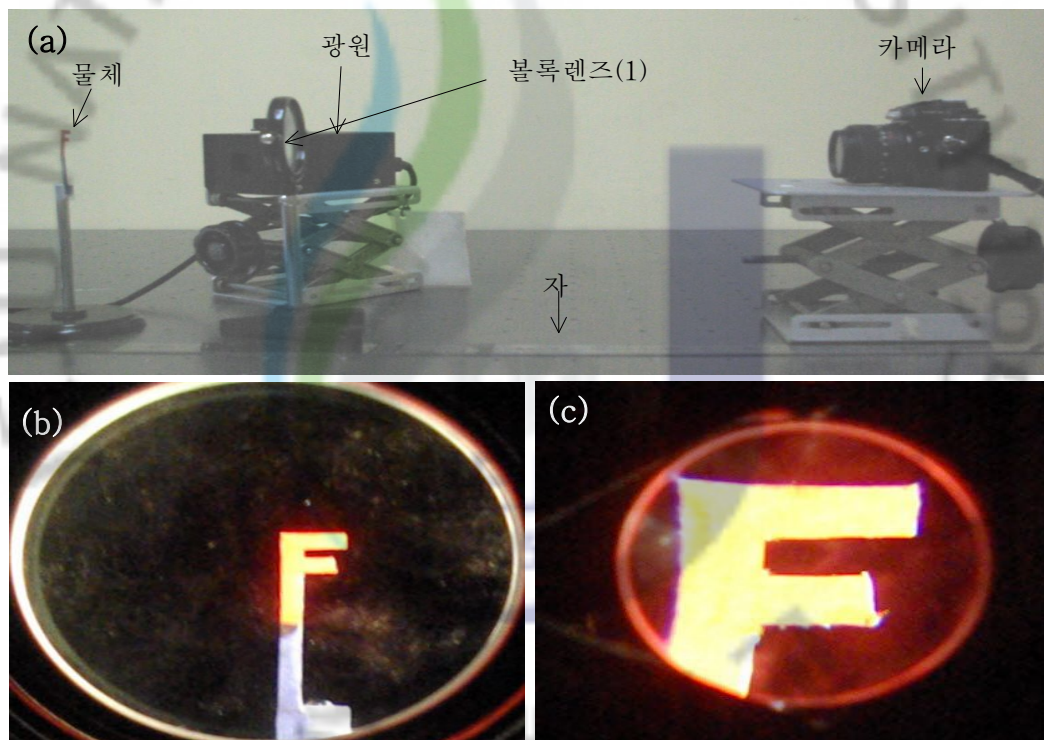


그림 34. (a) 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역의 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 카메라를 배치한 실험장치도 (b) 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 허상위치 $i = 22.5\text{ cm}$ (c) 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$, 허상위치 $i = 21.0\text{ cm}$ 인 경우에 카메라로 찍은 허상.

그림 34(a)는 볼록렌즈(1)와 물체위치가 $a < f$ 인 경우에 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역의 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 스크린이 위치한 곳에 카메라를 배치한 실험장치도이다. 그림 34(b)는 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 40\text{ cm}$, 물체위치 $a = 15\text{ cm}$, 허상위치 $i = 22.5\text{ cm}$ 경우에 카메라로 찍은 허상이다. 그림 34(c) 볼록렌즈(1)의 초점거리 $f = 19\text{ cm}$, 물체위치 $a = 10\text{ cm}$, 허상위치 $i = 21.0\text{ cm}$ 인 경우에 카메라로 찍은 허상이다. 그림 34(b)와 34(c)에서 보는 바와 같이 볼록렌즈(2)와 스크린이 없는 경우에 볼록렌즈(1)을 통해서 카메라로 찍은 허상은 선명하고 정립상으로 보인다.

5) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 볼록렌즈 2개를 이용한 상공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

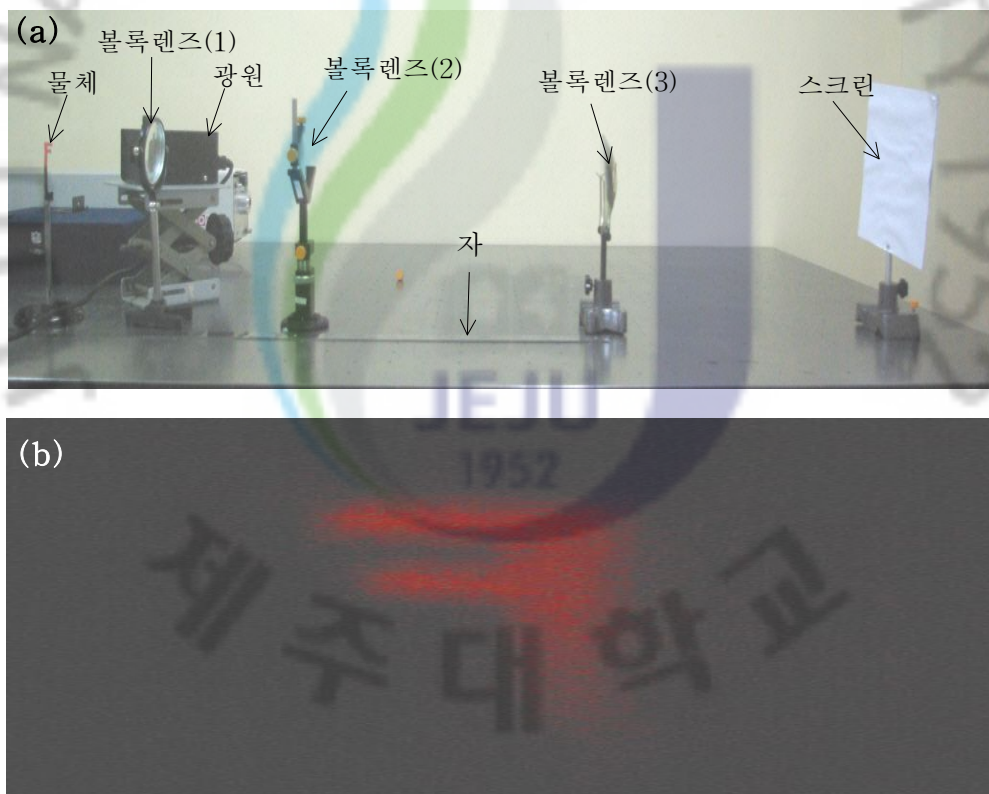


그림 35 (a) 볼록렌즈(1)과 볼록렌즈(2)를 상공간 영역에 놓고 볼록렌즈(3)을 볼록렌즈(2)와 스크린사이에 위치시킨 후 스크린을 위치시킨 실험장치도 (b) 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진.

그림 35(a)는 초점거리가 $f = 40\text{ cm}$ 인 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a = 17\text{ cm}$ ($a < f$)인 경우, 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역으로 20 cm 떨어진 위치에 초점거리 $f = 19\text{ cm}$ 인 볼록렌즈(2)와 70 cm 떨어진 위치에 초점거리 $f = 27\text{ cm}$ 인 평볼록렌즈(3)를 놓고 평볼록렌즈(3)의 초점 위에 스크린을 배치하여 스크린에 맺히는 상을 카메라로 촬영하기 위한 실험장치도이다. 초점거리 $f = 40\text{ cm}$ ($f = 19\text{ cm}$)인 볼록렌즈(1)는 위치가 $a = 15\text{ cm}$ ($a = 10\text{ cm}$) 지점에 크기가 3 cm 인 물체를 놓으면 ($a < f$) 물체공간 영역 $i = 22.5\text{ cm}$ ($i = 21.0\text{ cm}$) 지점에 확대 정립허상이 나타난다. 그림 35(b)에서 보는 바와 같이 볼록렌즈(1)에 의한 허상은 볼록렌즈(2)에 의해서 도립상으로 나타나고, 이 도립상은 평볼록렌즈(3)에 의해서 스크린에 선명한 정립상으로 보인다. 카메라는 두 개의 볼록렌즈로 구성되어 있기 때문에 정립상으로 찍힌다.

6) 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 핀홀카메라로 직접 허상을 찍은 사진

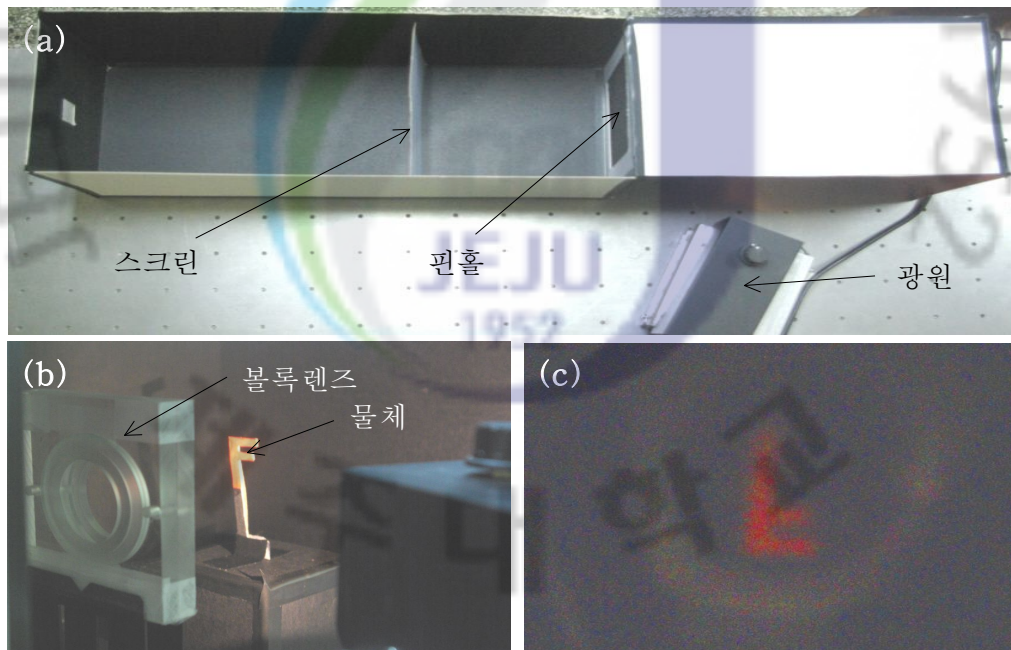


그림 36. (a) 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)에서 상공간 영역의 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 핀홀 크기 2.45 mm 인 핀홀카메라를 배치한 실험장치도 (b) 핀홀과 물체 사이에 볼록렌즈를 놓은 사진 (c) 볼록렌즈 초점 안에 물체가 있을 때 핀홀카메라의 스크린에 맺힌 허상사진

그림 36(a)는 볼록렌즈(1)과 물체위치가 $a < f$ 이고 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 핀홀 크기 2.45 mm인 핀홀카메라를 배치한 실험장치도이다. 물체와 볼록렌즈 사이의 거리는 11 cm이고 볼록렌즈와 핀홀 사이의 거리는 7 cm이다. 그림 36(c)는 볼록렌즈에 의한 허상이 핀홀카메라의 스크린에 맺힌 도립실상이다.

그림 26~그림 36의 실험결과를 보면 볼록렌즈(1)의 초점 안에 있는 물체가 물체공간에 만드는 허상은 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린이 있을 때 가장 선명하게 도립실상으로 스크린에 맺힌다. 이 때 볼록렌즈(2)는 상공간 어디에 있든지 선명한 도립실상을 얻을 수 있다. 이것은 상공간 여러 곳에서 카메라로 볼록렌즈(1)을 통해서 허상을 촬영하면 선명한 정립실상을 얻을 수 있기 때문에 확인된다. 따라서 상공간 쪽에서 볼록렌즈(1)을 통해서 허상을 직접 눈으로 관찰하면 보이는 이유는 눈이 구조적으로 볼록렌즈 역할을 하는 수정체 렌즈, 수정체 렌즈의 초점거리를 변하게 하는 홍채, 스크린 역할을 하는 망막으로 구성되어 있기 때문이다. 또 망막에 맺힌 상은 도립실상인데 정립상으로 보이는 이유는 도립실상에 대한 정보를 인간의 뇌가 정립상으로 인식하기 때문이다.

2. 오목렌즈에서 허상의 관찰 분석

그림 37과 표 2는 물체의 위치에 따라 오목렌즈의 상이 나타나는 위치와 모양이다. 그림 37에서 a 는 물체의 위치, b 는 상의 위치, f 는 초점거리이다.

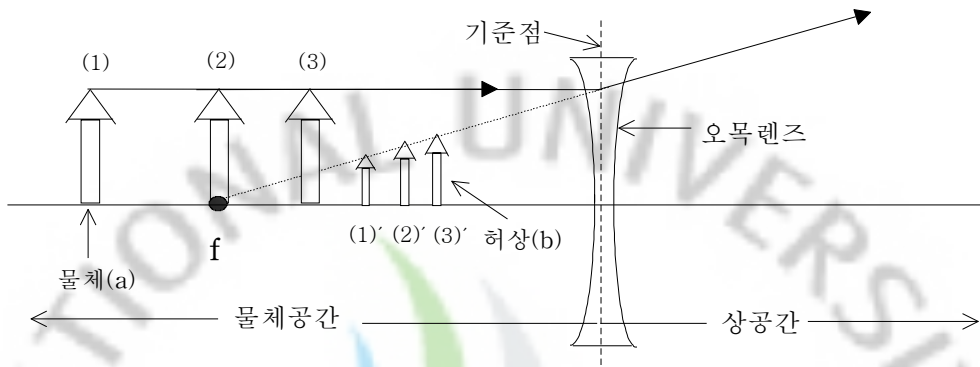


그림 37. 물체의 위치에 따른 오목렌즈에 의한 상 형성

표 2. 물체의 위치에 따른 오목렌즈에 의한 상의 위치와 모양

물체의 위치	$a = \infty$	$2f < a < \infty$	$a = 2f$	$f < a < 2f$	$a < f$	
상의 위치 및 모양		-f < b < 0 일 경우 항상 축소된 정립허상				

그림 37에서 물체의 위치가 오목렌즈의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 있을 때 오목렌즈에 의한 허상은 오목렌즈와 초점 사이에 형성된다. 이 때 허상은 물체 공간에 항상 축소된 정립허상으로 형성된다.

1) 물체위치 $2f < a < \infty$, 물체공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

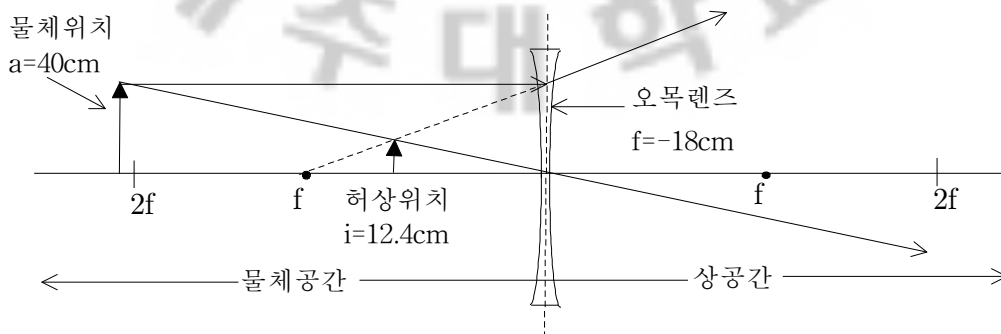


그림 38. 초점거리 $f = -18\text{cm}$ 인 오목렌즈에 의한 허상 작도

오목렌즈의 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 물체위치 $a = 40 \text{ cm}$ 인 그림 38에서 오목렌즈에 의한 허상은 물체공간 영역 $i = 12.4 \text{ cm}$ 에 축소 정립허상으로 나타난다. 물체위치가 $2f < a < \infty$ 인 경우 오목렌즈에 의한 허상은 항상 물체공간 영역인 오목렌즈와 초점 사이에 있다. 이때, 허상 위치에 스크린을 놓아도 상은 스크린에 맺히지 않는다.

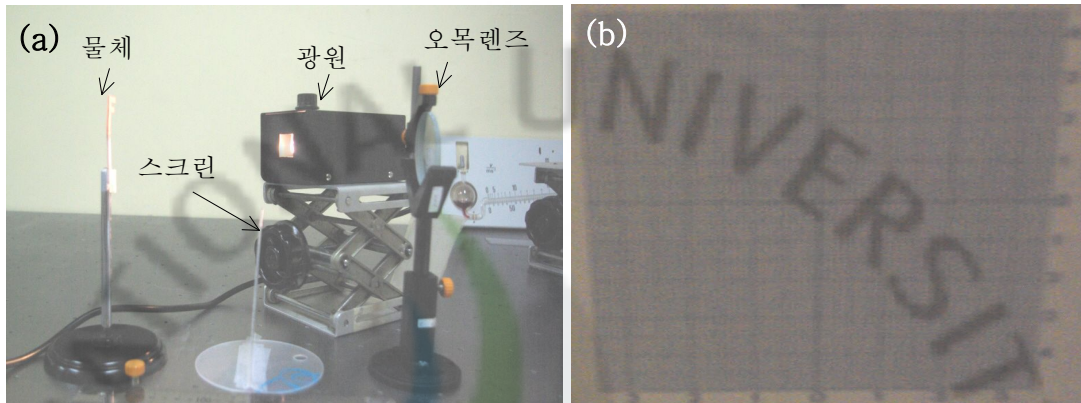


그림 39. 물체위치 $2f < a < \infty$ 인 경우 (a) 물체공간의 허상 위치에 스크린이 있을 때 실험 배치도 (b) $f = -18 \text{ cm}$, $a = 40 \text{ cm}$, $i = 12.4 \text{ cm}$

그림 39(a)는 실험배치도로 오목렌즈의 초점거리가 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 물체의 위치가 $a = 40 \text{ cm}$ 일 때 허상의 위치 $i = 12.4 \text{ cm}$ 에 스크린을 배치하였다. 예상과 같이 그림 37(b)에서 보는 바와 같이 스크린에는 아무런 상도 맺히지 않았다.

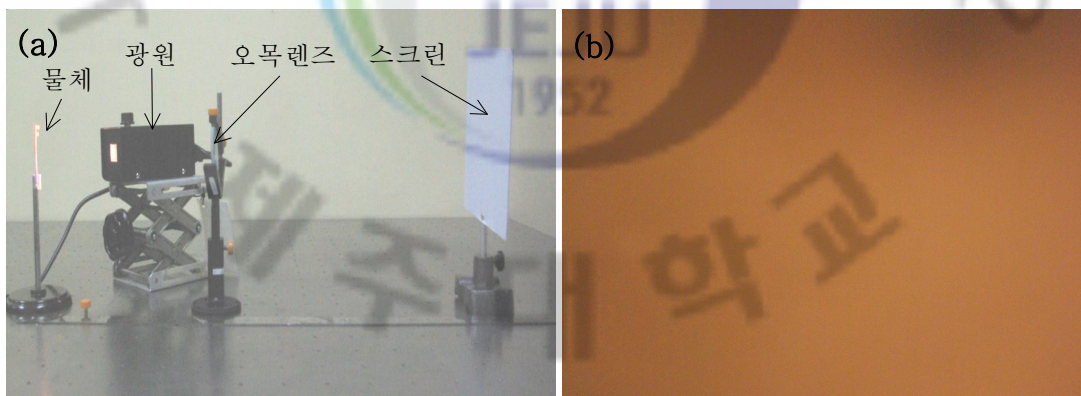


그림 40. (a) 오목렌즈 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 물체위치 $2f < a < \infty$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간쪽으로 37 cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상이 스크린에 맺힌 상을 관찰.

그림 40(a)는 오목렌즈 초점거리 $f = -18\text{ cm}$ 이고 물체위치 $2f < a < \infty$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간쪽으로 37 cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험 장치도이다. 그림 40(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 스크린에 상이 맺히지 않는다.

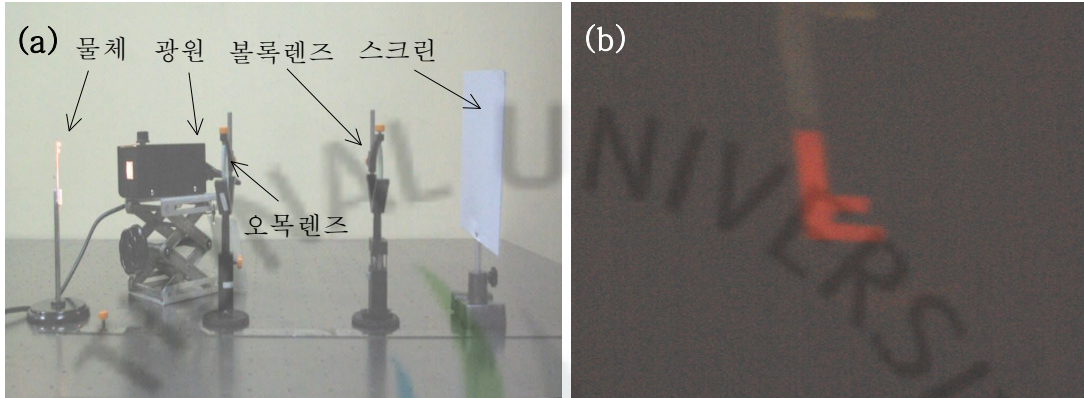


그림 41. (a) 물체위치가 $2f < a < \infty$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 27 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험 장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상을 스크린에서 관찰한 도립실상.

그림 41(a)는 물체위치가 $2f < a < \infty$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 27 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도이다. 스크린에 맺힌 상은 그림 41(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 스크린에서 관찰하면 축소된 도립실상으로 맺힌다.

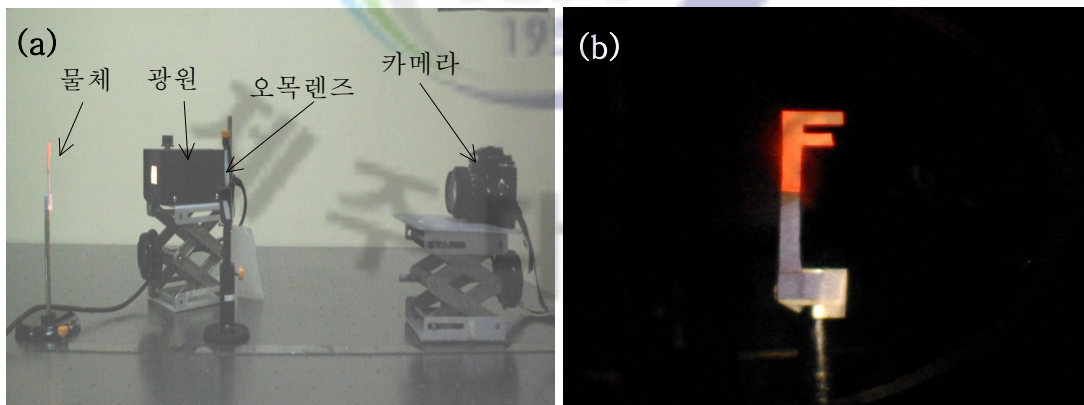


그림 42. (a) 오목렌즈($f = -18\text{ cm}$)와 물체위치가 $2f < a < \infty$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도 (b) 카메라로 찍은 오목렌즈에 의한 허상.

그림 42(a)는 오목렌즈의 초점거리 $f = -18\text{ cm}$ 이고 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도이다. 그림 42(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈로부터 37 cm 되는 지점에서 카메라로 오목렌즈의 허상을 찍으면 선명한 정립상을 얻는다.

2) 물체위치 $a = 2f$, 물체공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

그림 43에서 보는 바와 같이 초점거리가 $f = -18\text{ cm}$ 인 오목렌즈는 $a = 36\text{ cm}$ 에 있는 물체를 물체공간 영역 $i = 12.0\text{ cm}$ 에 축소 정립허상을 만든다. 물체위치가 $a = 2f$ 인 경우 오목렌즈에 의한 허상은 항상 물체공간 영역인 오목렌즈와 초점 사이에 있다. 따라서 그림 44에서 보면 허상 위치에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 맺히지 않는다.

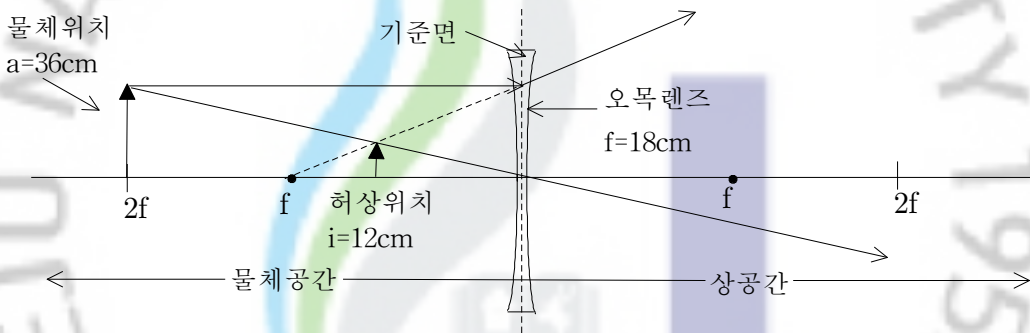


그림 43. 초점거리 $f = -18\text{ cm}$ 인 오목렌즈에 의한 허상 작도

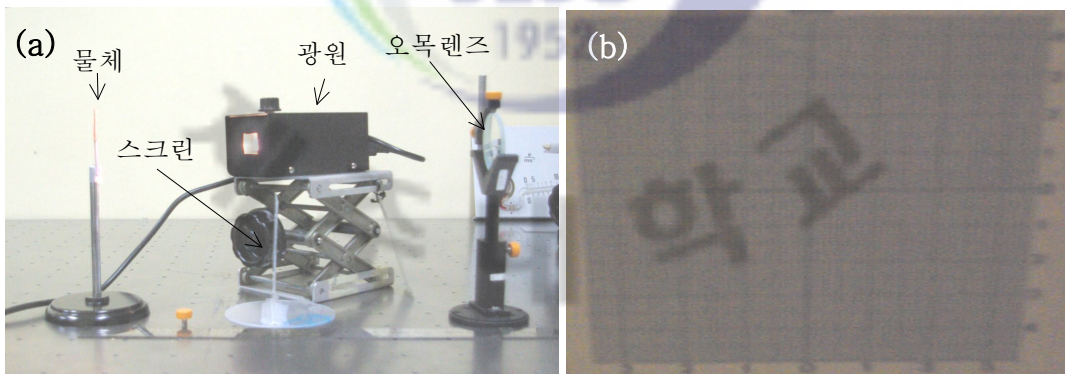


그림 44. 물체위치 $a = 2f$ 인 경우 (a) 오목렌즈($f = -18\text{ cm}$), 물체($a = 36\text{ cm}$), 물체공간의 허상 위치($i = 12.0\text{ cm}$)에 스크린을 배치한 실험장치도 (b) 스크린을 카메라로 찍은 사진.

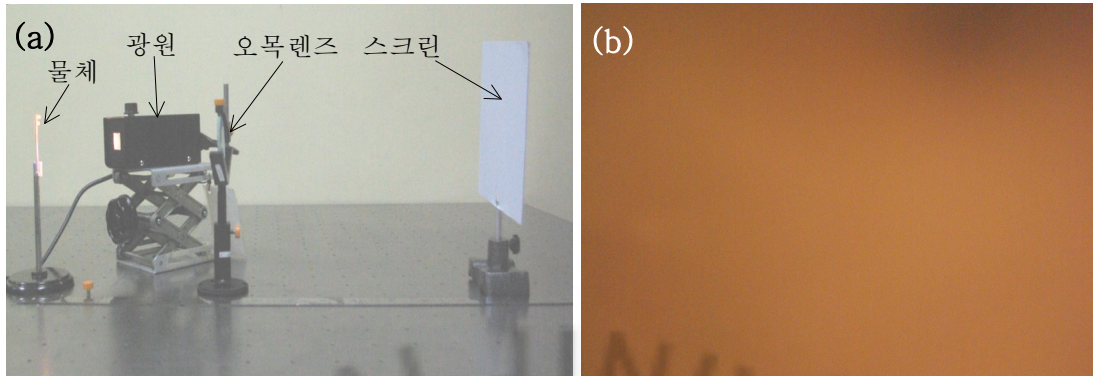


그림 45. (a) 오목렌즈 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 물체위치 $a = 2f$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 42 cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험 장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상이 스크린에 맺힌 상을 관찰.

그림 45(a)는 오목렌즈 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 물체위치 $a = 2f$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 42 cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험 장치도이다. 그림 45(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 스크린에 상이 맺히지 않는다.

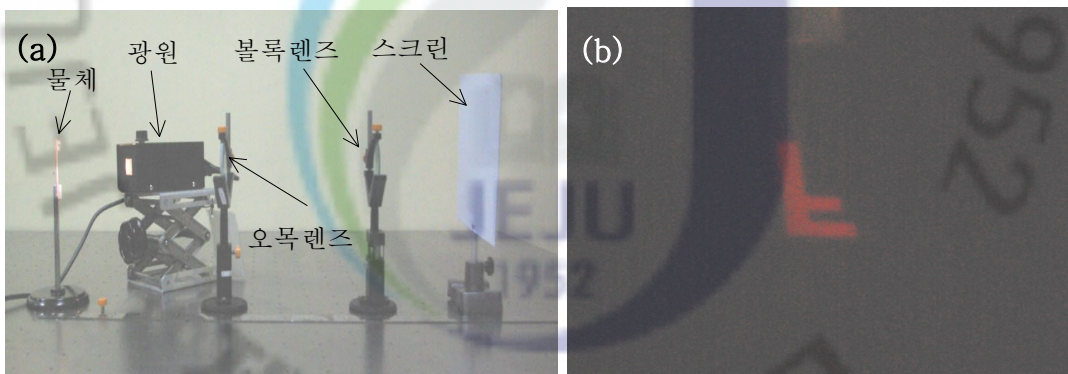


그림 46. (a) 물체위치가 $a = 2f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 32 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상을 상공간에 있는 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)를 이용하여 스크린에서 관찰한 도립실상.

그림 46(a)는 물체위치가 $a = 2f (= 36 \text{ cm})$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 32 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도

이다. 그림 46의 상공간 영역에 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)와 볼록렌즈 초점 위에 스크린을 배치하면 그림 46(b)에서 보는 바와 같이 물체공간 영역 $i = 12 \text{ cm}$ 에 위치한 허상은 스크린에 상의 크기가 1.5 cm 인 축소된 도립실상으로 맺힌다.

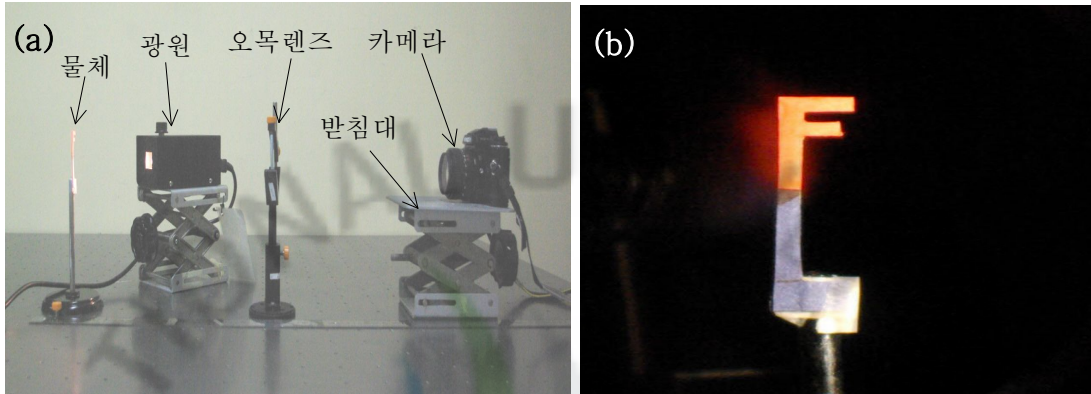


그림 47. (a) 오목렌즈($f = -18 \text{ cm}$)와 물체위치가 $a = 2f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 상공간 영역에 카메라를 배치한 실험장치도 (b) 카메라로 찍은 오목렌즈에 의한 허상.

그림 47(a)는 오목렌즈의 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도이다. 그림 47(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상을 카메라로 찍으면 카메라의 위치에 관계 없이 선명한 정립상을 얻는다.

3) 물체위치 $2f < a < f$, 물체공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

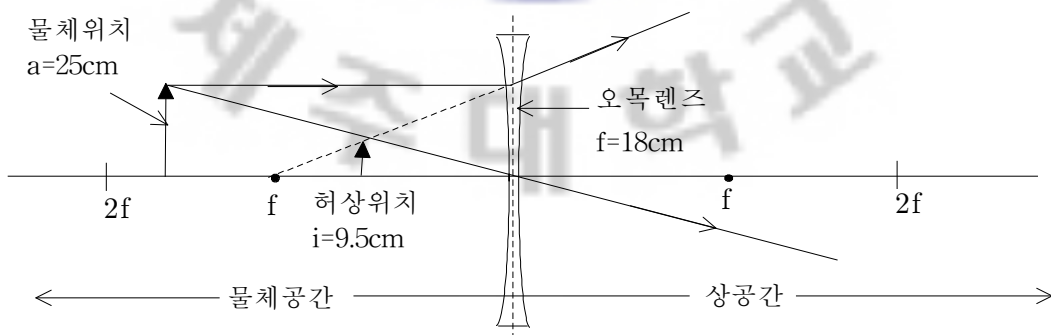


그림 48. 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 인 오목렌즈와 물체위치 $a = 25 \text{ cm}$ ($2f < a < f$)에 대한 허상 작도.

그림 48는 $a = 25\text{cm}$ 에 있는 물체를 초점거리 $f = -18\text{cm}$ 인 오목렌즈가 물체 공간영역 $i = 9.5\text{cm}$ 에 만든 축소 정립허상에 대한 상작도이다. 물체위치가 $2f < a < f$ 인 경우에도 오목렌즈에 의한 허상은 항상 물체공간 영역인 오목렌즈와 초점 사이에 있기 때문에 그림 49(b)에서 보는 바와 같이 허상 위치에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 맺히지 않는다.

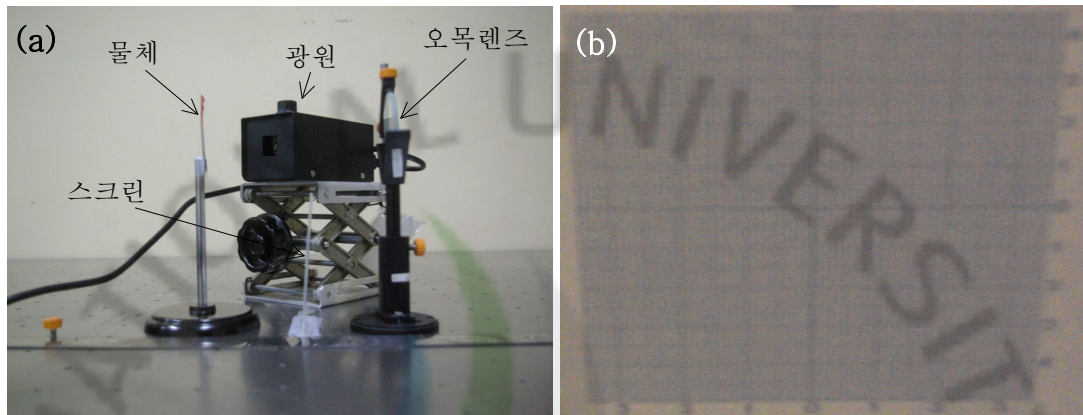


그림 49. 물체위치 $2f < a < f$ 인 경우 (a) 오목렌즈($f = -18\text{cm}$), 물체($a = 25\text{cm}$), 물체공간의 허상 위치($i = 9.5\text{cm}$)에 스크린을 배치한 실험 장치도 (b) 스크린을 카메라로 찍은 사진.

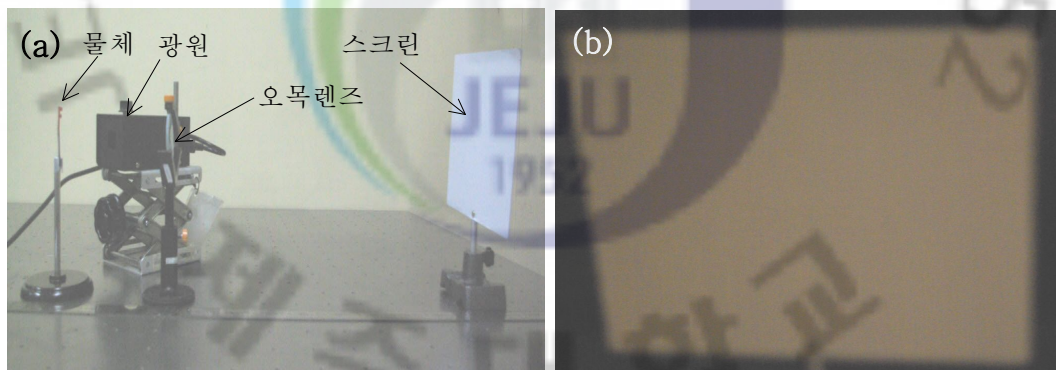


그림 50. 물체위치 $2f < a < f$ 인 경우 (a) 오목렌즈 초점거리 $f = -18\text{cm}$ 이고 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 49cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험 장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상이 스크린에 맺힌 상을 관찰.

그림 50(a)는 오목렌즈 초점거리 $f = -18\text{cm}$ 이고 물체위치 $2f < a < f$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 49cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한

실험 장치도이다. 그림 50(b)와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 스크린에 맺히지 않는다.

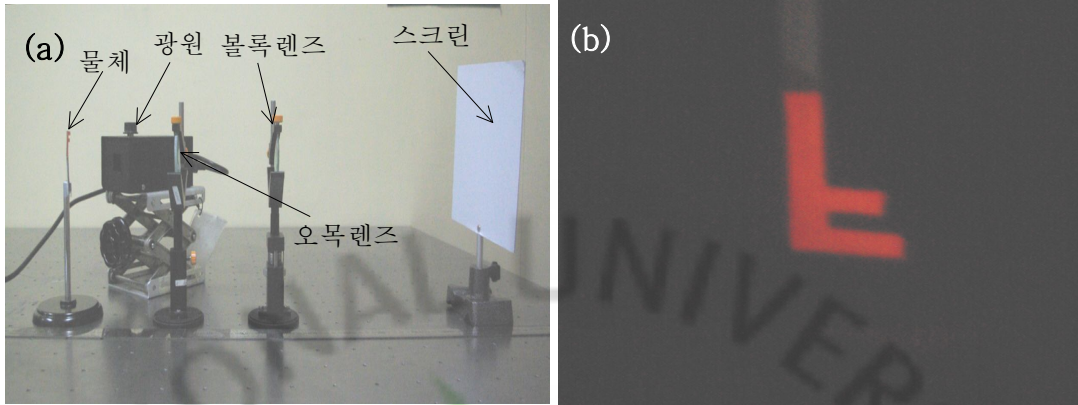


그림 51. (a) 물체위치가 $2f < a < f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 34cm에 위치한 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상을 상공간에 있는 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)를 이용하여 스크린에서 관찰한 도립실상.

그림 51(a)는 물체위치가 $2f < a < f$ ($a = 25\text{ cm}$)이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 34cm에 위치한 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도이다. 그림 51의 상공간 영역에 볼록렌즈($f = 19\text{ cm}$)와 볼록렌즈 초점 위에 스크린을 위치하면 그림 51(b)에서 보는 바와 같이 물체공간 영역 $i = 9.5\text{ cm}$ 에 위치한 허상은 스크린에 상의 크기가 2.4cm인 축소된 도립실상으로 맺힌다.

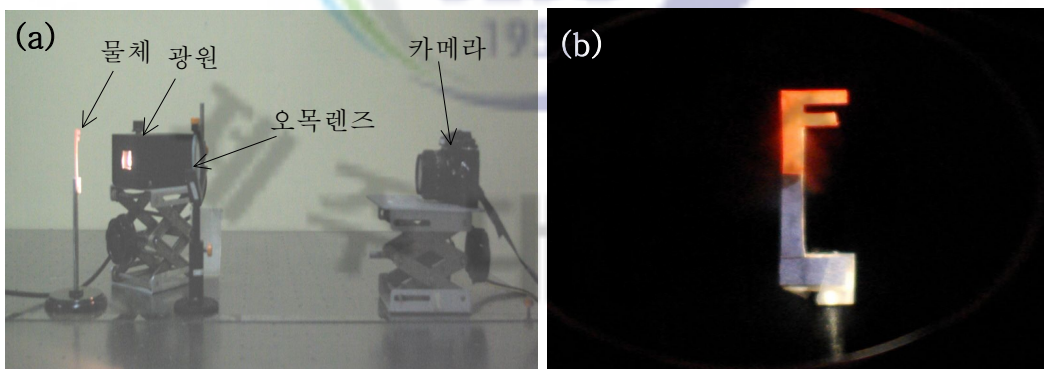


그림 52. (a) 오목렌즈($f = -18\text{ cm}$)와 물체위치가 $2f < a < f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도 (b) 카메라로 찍은 오목렌즈에 의한 허상.

그림 52(a)와 같이 오목렌즈($f = -18\text{ cm}$)와 물체위치가 $2f < a < f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도이다. 이 때 그림 52(a)와 같이 스크린에 상이 맺히는 지점에 카메라를 놓고 상을 찍었을 때 그림 52(b)처럼 상은 항상 축소된 정립상을 얻는다.

4) 물체위치가 $a < f$, 물체공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

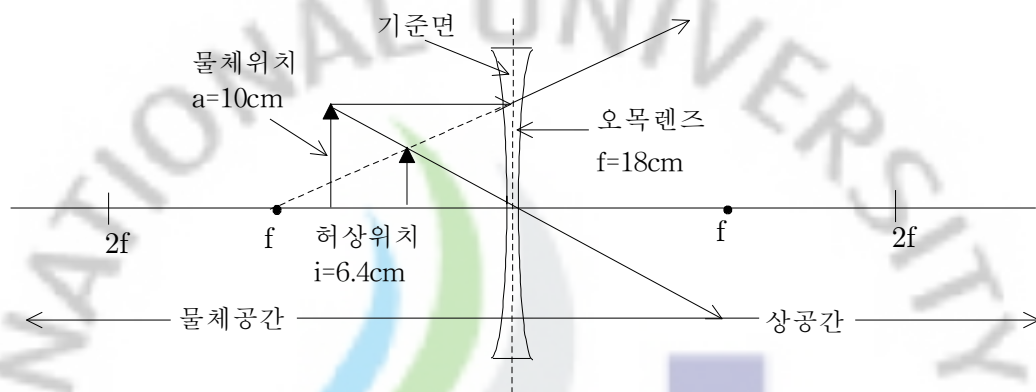


그림 53. 초점거리 $f = -18\text{ cm}$ 인 오목렌즈에 의한 허상 작도

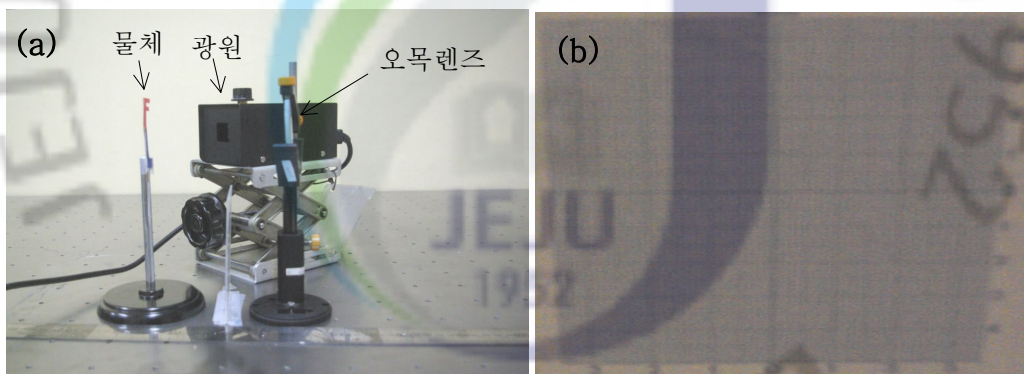


그림 54. (a) 물체위치가 $a < f$ 인 경우 오목렌즈($f = -18\text{ cm}$), 물체($a = 10\text{ cm}$), 물체공간의 허상 위치($i = 6.4\text{ cm}$)에 스크린을 배치한 실험 장치도 (b) 스크린을 카메라로 찍은 사진.

그림 53 물체위치가 $a < f$ 인 경우, 물체위치가 $a = 10\text{ cm}$ 이고 초점거리 $f = -18\text{ cm}$ 인 오목렌즈에 의한 허상은 물체공간 영역 $i = 6.4\text{ cm}$ 에 축소 정립허상으로 나타남을 그린 상작도이다. 그림 54(b)에서 보는 바와 같이 허상 위치에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 맺히지 않는다.

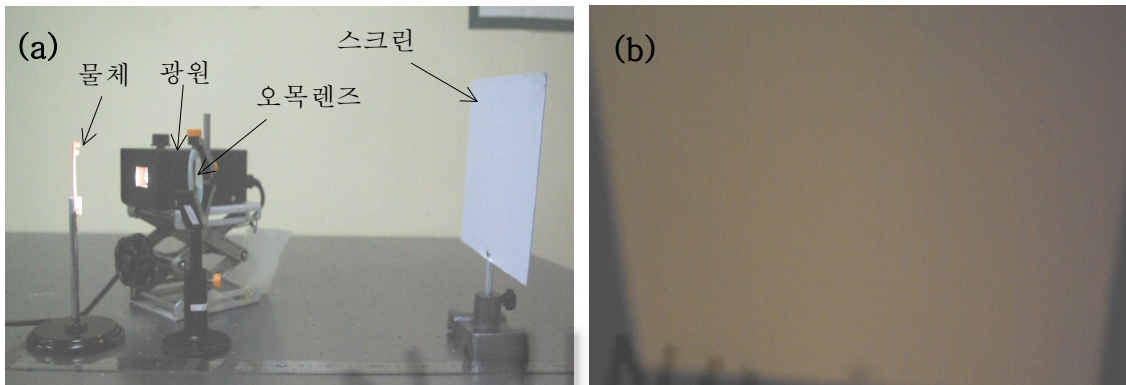


그림 55. 물체위치 $a < f$ 인 경우 (a) 오목렌즈 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 49 cm 떨어진 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험 장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상이 스크린에 맺힌 상을 관찰.

그림 55(a)는 오목렌즈 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 이고, 물체위치 $a < f$ 인 경우 오목렌즈에서 상공간 쪽으로 스크린에 맺힌 상을 관찰하기 위한 실험장치도이다. 그림 55(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 스크린에 상이 맺히지 않는다.

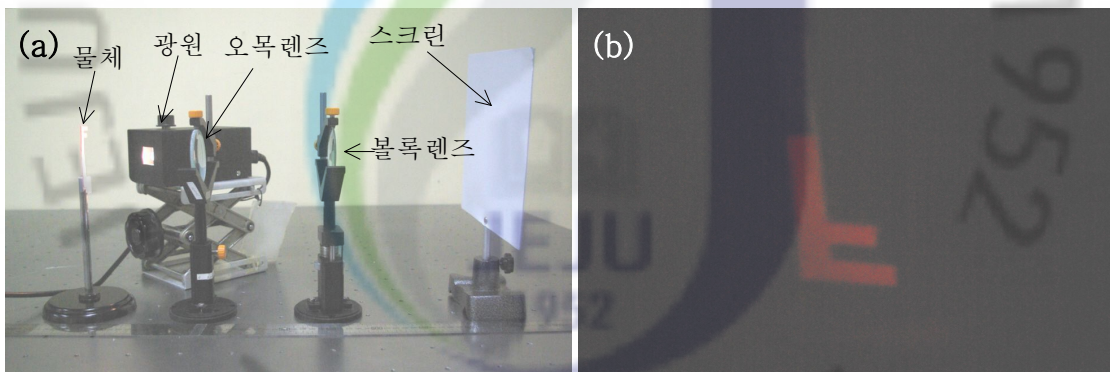


그림 56. (a) 물체위치가 $a < f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 49 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도 (b) 오목렌즈에 의한 허상을 상공간에 있는 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)를 이용하여 스크린에서 관찰한 도립실상.

그림 56(a)는 물체의 위치가 $a < f$ ($a = 10 \text{ cm}$)이고 오목렌즈에서 상공간 영역으로 49 cm 에 위치한 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)의 초점 위에 스크린을 배치한 실험장치도이다. 그림 56(b)에서 보는 바와 같이 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)와 볼록렌즈 초점 위

에 스크린을 놓고 맺힌 상을 찍으면, 스크린에 상의 크기가 3.8cm인 선명한 도립 실상이 맺힌다.

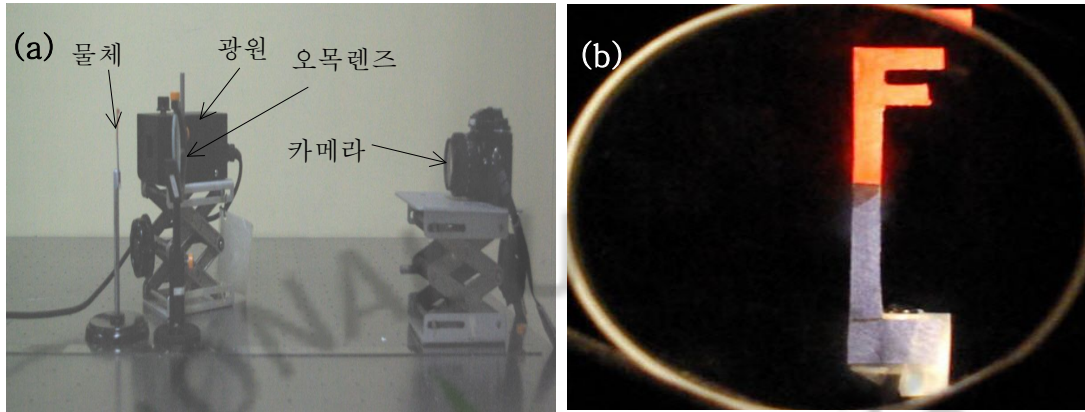


그림 57. (a) 오목렌즈($f = -18 \text{ cm}$)와 물체위치가 $a < f$ 이고 오목렌즈에서 상공간 영역의 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험 장치도 (b) 카메라로 찍은 오목렌즈에 의한 허상.

그림 57(a)는 물체위치가 $a < f$ 이고, 오목렌즈($f = -18 \text{ cm}$)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라를 배치한 실험장치도이다. 그림 57(a)에서 볼록렌즈($f = 19 \text{ cm}$)와 스크린을 제거하고 카메라를 이용해 허상을 찍어보면, 그림 57(b)처럼 허상은 항상 축소된 정립상을 얻는다.

5) 볼록렌즈 2개를 이용해서 상공간의 스크린 위에 맺힌 허상 관찰

그림 58(a)는 초점거리가 $f = -18 \text{ cm}$ 인 오목렌즈와 물체위치가 $a = 20 \text{ cm}$ 인 경우, 오목렌즈에서 상공간 영역으로 25cm 떨어진 위치에 초점거리 $f = 19 \text{ cm}$ 인 볼록렌즈(1)과 75cm 떨어진 위치에 초점거리 $f = 27 \text{ cm}$ 인 평볼록렌즈(2)를 놓고 평볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린을 배치하여 스크린에 맺히는 상을 카메라로 촬영하기 위한 실험장치도이다. 초점거리 $f = -18 \text{ cm}$ 인 오목렌즈는 위치가 $a = 25 \text{ cm}$ 지점에 크기가 3cm인 물체를 놓으면 물체공간 영역 $i = 9.5 \text{ cm}$ 지점에 축소 정립허상이 나타난다. 그림 58(b)에서 보는 바와 같이 오목렌즈에 의한 허상은 볼록렌즈(1)에 의해서 도립상으로 나타나고, 이 도립상은 평볼록렌즈(2)에 의해서 스크린에 선명한 정립상으로 보인다.

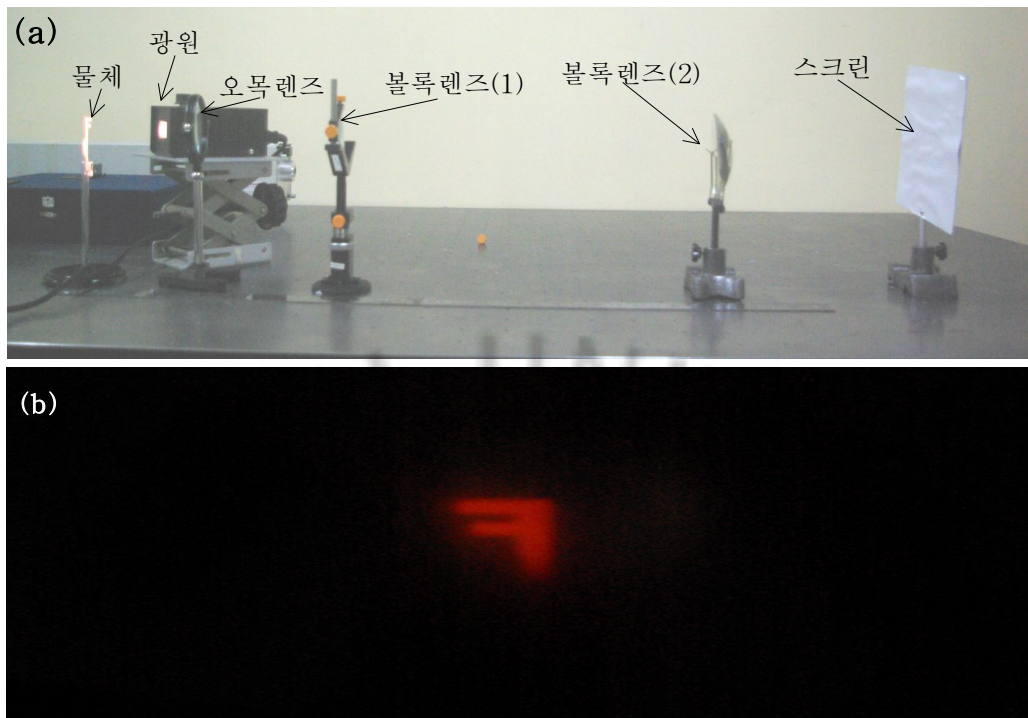
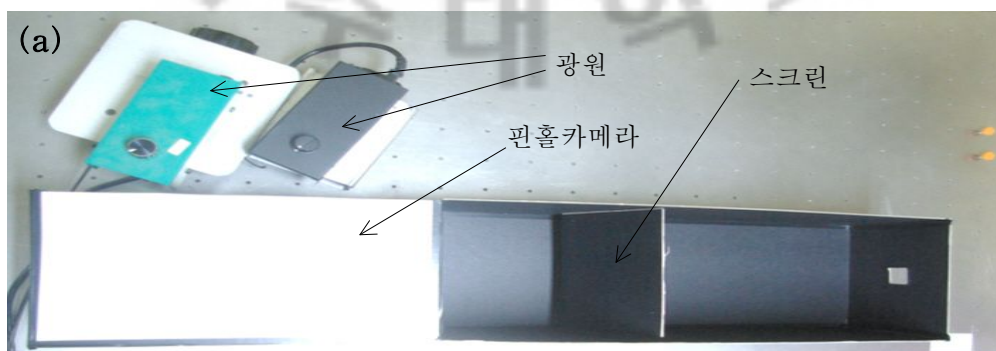


그림 58. (a) 오목렌즈와 볼록렌즈(1)를 상공간 영역에 놓고 볼록렌즈(2)을 스크린 사이에 놓고 스크린을 위치시킨 실험장치도 (b) 스크린에 맺힌 상을 카메라로 찍은 사진.

6) 핀홀카메라로 찍은 오목렌즈의 허상

그림 59(a)는 오목렌즈와 물체위치가 $a < f$ 이고 오목렌즈의 상공간 영역의 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 핀홀 크기 2mm인 핀홀카메라를 배치한 실험장치도이다. 물체와 오목렌즈 사이의 거리는 9.5 cm ($a < f$)이고 오목렌즈와 핀홀 사이의 거리는 6.5 cm이다. 그림 59(c)는 오목렌즈에 의한 허상이 핀홀카메라의 스크린에 맺힌 도립실상이다.



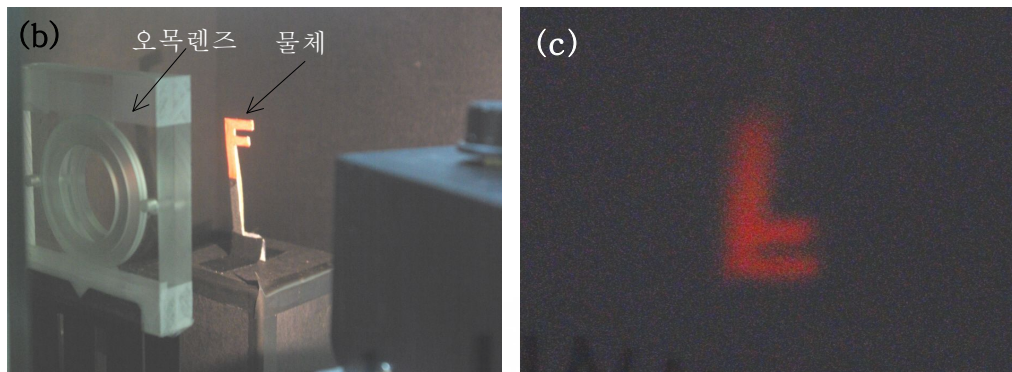


그림 59. (a) 오목렌즈와 물체위치가 $a < f$ 이고 오목렌즈의 상공간 영역의 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 핀홀 크기 2mm인 핀홀카메라를 배치한 실험장치도 (b) 핀홀과 물체 사이에 오목렌즈를 놓은 사진 (c) 오목렌즈 초점 안에 물체가 있을 때 핀홀카메라의 스크린에 맺힌 허상사진

그림 37~그림 59의 실험결과를 보면 오목렌즈의 초점 밖, 초점 위, 초점 안에 있는 물체가 오목렌즈에 의해서 물체공간에 만드는 허상은 상공간 영역에 있는 볼록렌즈의 초점 위에 스크린이 있을 때 가장 선명한 도립실상으로 맺힌다. 이때 볼록렌즈는 상공간 어디에 있든지 선명한 도립실상을 스크린에 맺히게 한다. 이것은 상공간 여러 곳에서 카메라로 오목렌즈를 통해서 허상을 촬영하면 선명한 정립실상을 얻을 수 있기 때문에 확인된다. 그러나 핀홀카메라를 이용하여 물체를 관찰하면, 스크린에는 도립실상이 맺힌다. 또한 물체공간에 있는 물체가 초점 안으로 이동함에 따라 상공간에 있는 스크린에 맺힌 상의 크기는 커진다. 지금까지 오목렌즈에 의한 허상을 관찰하는 실험결과에서 허상이 눈으로 보이는 이유는 볼록렌즈가 만드는 허상이 보이는 이유와 같이 눈은 볼록렌즈 역할의 수정체 렌즈, 렌즈의 초점을 조절하는 홍채, 스크린 역할의 망막으로 구성되어 있기 때문이다.

V. 결 론

물체를 볼록렌즈와 오목렌즈의 초점 안, 초점 위, 초점 밖에 놓았을 때 렌즈에 의한 허상이 허상 위치의 스크린, 상공간 영역에 있는 스크린, 상공간 영역에 있는 볼록렌즈의 초점 안, 초점 위, 초점 밖의 스크린에 어떻게 맺히는지와 상공간에서 카메라로 허상을 촬영한 결과를 분석하여, 볼록렌즈와 오목렌즈가 만드는 허상을 눈으로 보았을 때 왜 허상이 정립상으로 보이는지를 설명하였다.

볼록렌즈(1)의 초점 안에 물체가 있을 때 볼록렌즈(1)이 만드는 확대 정립허상은 물체공간에 형성이 된다. 이 허상을 관찰한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 볼록렌즈(1)의 허상 위치에 스크린을 놓고 허상을 관찰하면 스크린에는 아무런 상도 맺히지 않았다.
2. 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 스크린만을 놓고 스크린에 맺힌 허상을 관찰하면 스크린에 상이 맺히지 않는다.
3. 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)의 초점 안과 밖에 위치한 스크린에는 희미하고 퍼진 도립실상으로 매쳤다.
4. 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)의 초점 위에 스크린이 있을 때, 볼록렌즈(2)는 상공간 어디에 있든지 허상은 스크린에 선명한 도립실상으로 매쳤다.
5. 볼록렌즈(1)에 의한 허상은 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)에 의해서 도립상으로 나타나고, 이 도립상은 평볼록렌즈(3)에 의해서 스크린에 선명한 정립상으로 보인다.
6. 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(2)와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라로 허상을 찍으면, 카메라의 위치에 상관없이 허상은 선명한 정립상으로 촬영되었다.
7. 볼록렌즈의 허상은 핀홀카메라의 스크린에 도립실상으로 맺힌다.
8. 볼록렌즈(1)의 상공간 영역에서 눈으로 허상을 보면 선명하게 허상이 보인다.

오목렌즈의 초점 밖, 초점 위, 초점 안에 물체가 있을 때 오목렌즈가 만드는 축소된 정립허상은 물체공간에 형성이 된다. 이 허상을 관찰한 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 오목렌즈에 의한 허상은 항상 물체공간 영역인 오목렌즈와 초점 사이에 있기 때문에 허상 위치에 스크린을 놓아도 스크린에 상이 맺히지 않는다.
2. 물체공간에 있는 오목렌즈에 의한 허상은 상공간 영역에 있는 스크린에는 상이 맺히지 않는다.
3. 오목렌즈의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈의 초점 위에 스크린이 있을 때, 볼록렌즈는 상공간 어디에 있든지 허상은 스크린에 선명한 축소 도립실상으로 맺혔다.
4. 오목렌즈의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈와 스크린을 치우고 그 위치에 카메라로 허상을 찍으면, 카메라의 위치에 상관없이 허상은 선명한 축소된 정립상으로 촬영되었다.
5. 오목렌즈에 의한 허상은 오목렌즈의 상공간 영역에 있는 볼록렌즈(1)에 의해서 도립상으로 나타나고, 이 도립상은 평볼록렌즈(2)에 의해서 스크린에 선명한 정립상으로 보인다.
6. 오목렌즈의 허상은 핀홀카메라의 스크린에 도립실상으로 맺힌다.
7. 오목렌즈의 상공간 영역에서 눈으로 허상을 보면 선명하게 허상이 보인다.

지금까지의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 상공간 쪽에서 볼록렌즈와 오목렌즈를 통해서 직접 눈으로 허상을 관찰하면 보이는 이유는 눈이 구조적으로 볼록렌즈 역할을 하는 수정체 렌즈, 수정체 렌즈의 초점거리를 변하게 하는 홍채, 스크린 역할을 하는 망막으로 구성되어 있기 때문이다. 그리고 오목렌즈와 볼록렌즈가 만드는 허상은 볼록렌즈인 눈의 수정체가 망막에 도립실상으로 맺히게 한다. 인간의 뇌가 망막에 맺힌 도립실상을 정립상으로 인식하기 때문에 허상은 정립상으로 보인다는 것을 확인하였다.

참고문헌

- [1] 송진용 · 김익균 · 김영민 · 권성기 · 오원근 · 박종원, 학생의 물리 오개념지도, (북스힐, 서울, 2004), p. 277.
- [2] Palacios, F. J. P. P.(1989). Misconception on geometric optics and their association with relevant educational. International Journal of Science Education, 11(3), p. 273-286.
- [3] Jung, W.(1981). Conceptual Frameworks in elementary optics. Working paper presented at the International workshop of problems concerning Student's Representation of physics and chemistry knowledg, Pedagogische Hochschule, Ludwigsburg.
- [4] 김현진, 중등예비교사들의 상 형성에 대한 개념연구, 단국대학교 석사 학위 논문, 2005. 6.
- [5] 장수 · 조재홍, 광학, (대웅, 서울, 1996).
- [6] 정완호외 9인, 과학 1 교과서, (교학사, 서울, 2001), 2단원 빛.
- [7] 채광표 · 송용갑 · 김진만 · 김성진 · 정대영 · 장동호, 물리 I 교과서 해설서, (금성출판사, 서울, 2005).
- [8] 엄정인 · 김인묵 · 박홍이 · 정광호, 수학없는 물리 9판, (홍릉과학출판사, 서울, 2003).
- [9] 경상대학교 외 6개학교 공역, 헐리데이 일반물리학 7판 2권, (범한서적주식회사, 서울, 2007), p. 1117~1122.
- [10] 일반물리학교재편찬위원회, 일반물리학, (북스힐, 서울, 2007).
- [11] 김인묵 외 4인 공저, 생명공학을 위한 물리학, (대영사, 서울, 2000).

- [12] 정동근 · 서덕준 공역, 생명과학을 위한 인체물리, (한승, 서울, 2004).
- [13] 물리학교재편찬위원회, 물리학Ⅱ, (북스힐, 서울, 2005).
- [14] 박대희 · 이종찬 · 최용성, 전기전자공학을 위한 광학입문, (인터비전, 서울, 2004).
- [15] <http://physica.gsnu.ac.kr/physEdu/wavelight/geomopt/geomopt.html>.
- [16] http://www.kangwon.ac.kr/~sericc/sci_lab/physics/lens/lens.html.
- [17] http://www.kangwon.ac.kr/~sericc/sci_lab/physics/mirror/mirror.html.
- [18] <http://physica.gnu.ac.kr/physedu/wavelight/instrum/applets/single.html>.
- [19] 이성목외 11인, 중학교 과학 1 교과서, (금성출판사, 서울, 2001), 2단원 빛.
- [20] 이성목외 11인, 과학 1 중학자습서, (금성출판사, 서울, 2003), 2단원 빛.
- [21] 한국교원대학교 과학교육연구소, 고급물리, (교육인적자원부, 서울, 2003).
- [22] 채광표 · 송용갑 · 김진만 · 김성진 · 정대영 · 장동호, 물리 I, (금성출판사, 서울, 2005).

ABSTRACT

Study on physical characteristic of virtual images

We put a subject in the focus, on the focus and out of the focus of convex and concave lens and found out the shape of a virtual image on the screen located in the image, the area of image space and in, on and out of the focus of the convex lens which was in the area of image space.

Also, we explained the reason why the virtual image made by convex and concave lens was seen as the erect image from the result that we analyzed the virtual image taken by camera.

We identified that we can see the virtual image directly because eyes consist of a crystalline lens which plays a role of convex lens, the iris which changes the distance of the focus of the crystalline lens and the retina which plays a role of a screen.

Keyword : virtual images, real images, convex lens, concave lens

※ A thesis submitted to the committee of the Graduate School of Education, Jeju National University in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of education in August, 2009