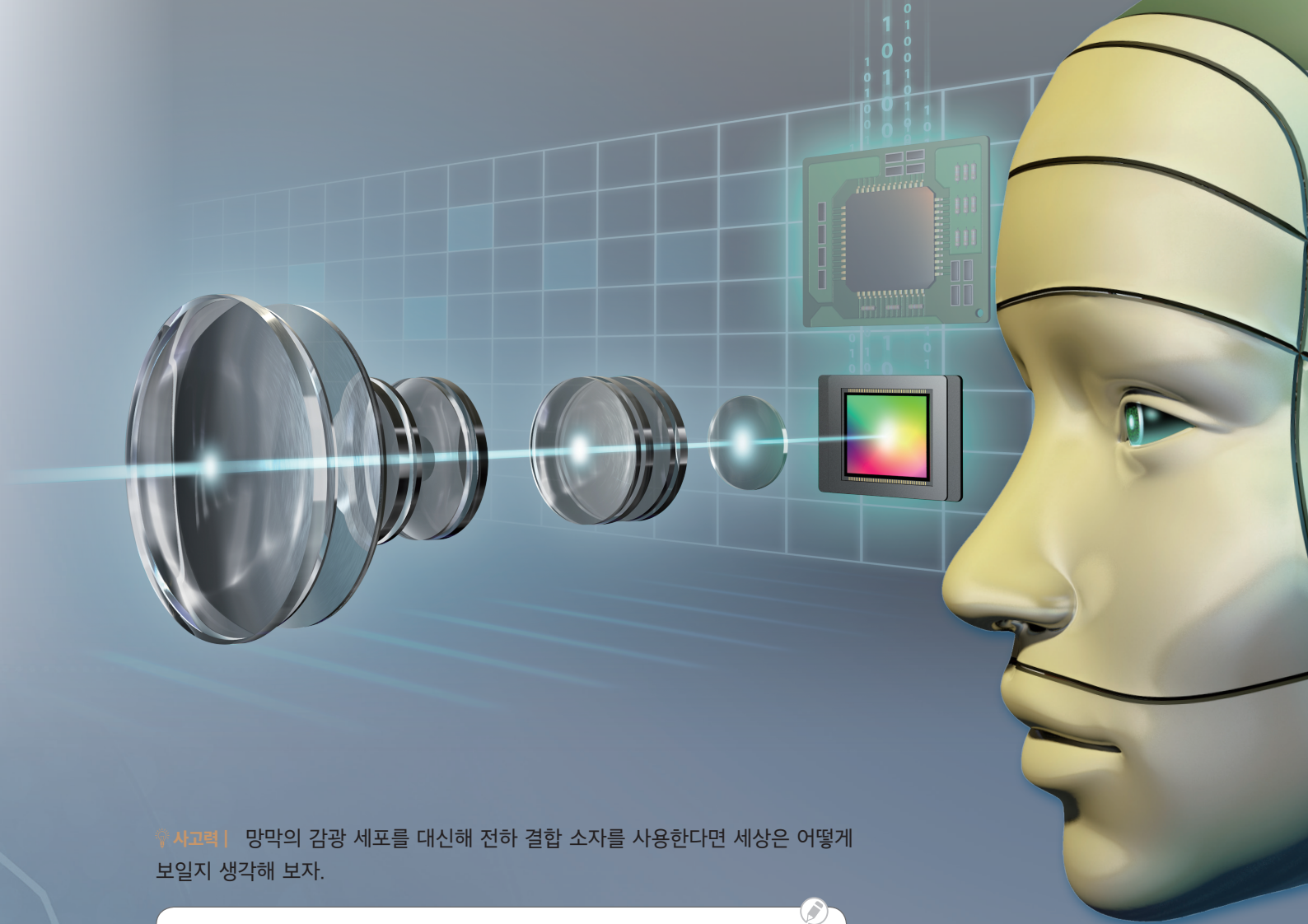


III-2 빛과 물질의 이중성

① 빛의 이중성 ② 물질의 이중성

사람의 눈을 대신할 전하 결합 소자(CCD)

눈은 사람이 가진 감각 기관 중 가장 중요한 기관이다. 우리의 눈은 수정체로 입사된 빛을 망막에서 감지함으로써 사물을 인식하는데, 망막에는 명암을 감지하는 막대 세포와 빛의 색을 감지하는 원뿔 세포와 같은 감광 세포가 있어서 빛의 밝기와 색을 인지할 수 있다. 디지털카메라에 사용되는 전하 결합 소자(CCD, Charge Coupled Device)는 사람의 망막과 같이 빛의 밝기와 색을 전기 신호로 감지하여 영상 정보를 받아들인다.



✎ 사고력 망막의 감광 세포를 대신해 전자 결합 소자를 사용한다면 세상은 어떻게 보일지 생각해 보자.

↑ 문제 해결력 최근 선천적인 문제나 질병으로 감광 세포에 이상이 생겨 시력이 퇴화되거나 실명되어 앞을 보지 못하는 사람들을 위해 인공 망막에 대한 연구가 진행되고 있다. 인공 망막의 원리를 조사하여 발표해 보자.

**학습
계획하기**

다음에서 알고 있는 것에 ✓ 표를 해 보고, 스스로 학습 계획을 세워 보자.

☒ 빛의 이중성

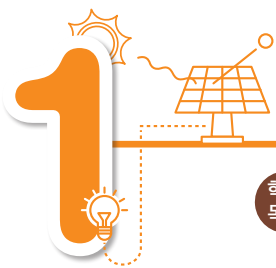
☒ 전자 결합 소자(CCD)

☒ 물질의 이중성

☒ 전자 현미경

나는

..... 할 수 있다.



빛의 이중성

학습 목표

- 빛의 이중성에 대한 과학사의 흐름을 설명할 수 있다.
- 광전 효과 실험을 바탕으로 빛의 입자성을 설명할 수 있다.
- 영상 정보가 기록되는 원리를 설명할 수 있다.

허블 망원경은 지구 대기권 밖에서 지구 주위를 돌며 천체를 관측하는 장비이다. 허블 망원경으로 촬영한 우주의 아름다운 영상은 허블 망원경에 장착된 장치에서 측정된 자료를 바탕으로 만들어진다. 이 장치는 어떻게 우주의 아름다운 영상을 만드는 것일까?



빛의 입자설과 파동설

빛의 본성을 알기 위한 과학적 탐구는 17 세기부터 시작되었다. 특히 뉴턴과 하위헌스(Huygens, C., 1629~1695)는 빛의 본성에 대해 서로 다른 견해를 갖고 주장을 펼쳤다. 다음 활동을 통해 각 과학자의 주장과 그 근거를 알아보자.

자료 해석

해 보기

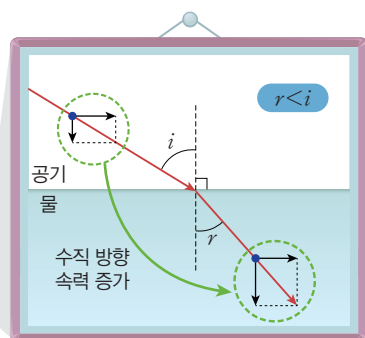
빛의 본성 알아보기

목표 과학자들의 주장을 통해 빛의 본성을 설명할 수 있다.

다음은 빛의 본성을 알기 위해 뉴턴과 하위헌스가 주장한 내용이다.

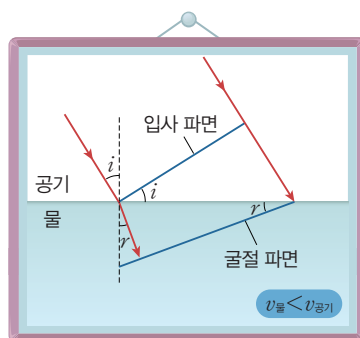
공기 중에서 물속으로 입사하는 빛의 경우 물 표면에 수평인 방향의 속력은 일정하지만 수직인 방향의 속력은 물과 빛 입사 사이에 작용하는 인력 때문에 증가하여 빛의 경로가 꺾이는 굴절이 일어납니다. 따라서 물속에서 빛의 속력은 공기 중에서보다 빠릅니다.

뉴턴



빛은 파동이기 때문에 물결파처럼 파면의 각 점에서 발생된 파동이 모여 다음 파면을 만들면서 앞으로 진행합니다. 따라서 빛이 물속으로 들어갈 때 굴절하는 이유는 물속에서 빛의 속력이 공기 중에서보다 느려지기 때문입니다.

하위헌스



뉴턴은 빛이 직선을 따라 진행하며 그림자가 뚜렷이 맺힌다는 사실과 교차하는 두 빛이 상호 작용하지 않는다는 사실로부터 빛을 아주 작고 가벼운 입자들의 모임으로 생각하였다. 이러한 생각을 바탕으로 입자설을 주장하였고, 입자설을 이용하여 빛의 반사와 굴절 현상을 설명하였다. 반면에 하위헌스는 빛이 입자라면 아무리 작은 입자로 되어 있어도 그들 사이의 충돌로 인한 상호 작용을 피할 수 없으며, 빛의 입자설로는 매질의 경계면에서 빛의 반사와 굴절이 동시에 일어나는 현상을 설명할 수 없다고 주장하였다.

☞ 빛의 입자성과 파동성은 물리학II '빛과 물질의 이중성' 단원에서 배운다.

뉴턴과 하위헌스의 주장은 각각 장단점을 갖고 있었지만, 당시에는 뉴턴의 명성 때문에 입자설이 더 많은 지지를 받았다. 하지만 1803 년 영국의 물리학자인 영(Young, T., 1773~1829)에 의해 두 개의 좁은 슬릿에 의한 간섭무늬가 빛의 파동설로 설명되었으며, 1850 년 뉴턴의 입자설에 의한 예측과는 반대로 물속에서 빛의 속력이 진공 중에서보다 느리다는 것이 푸코(Foucault, J. B. L., 1819~1868)에 의해 측정됨으로써 빛의 파동설이 확립되기 시작하였다.

핵심 개념
확인하기

- 1 뉴턴은 빛의 ()을/를 주장했으며, 하위헌스는 빛의 ()을/를 주장했다.
- 2 하위헌스의 주장에 따르면 물속에서 빛의 속력은 공기 중에서보다 () .



정리

1. 뉴턴과 하위헌스는 각각 빛의 본성을 무엇이라고 생각했는지 정리해 보자.

뉴턴



.....

.....

.....

하위헌스



.....

.....

.....

도움말 다른 모둠원이 발표할 때 주의 깊게 듣고, 다른 사람의 의견을 존중하면서 질문과 토론을 한다.

2. 두 과학자의 주장 중 자기 생각과 가장 가까운 것을 하나 선택하고, 그 주장을 지지하는 근거를 적어 보자.



.....

.....

3. 지지하는 과학자의 의견을 정리하여 모둠별로 모은 후 서로 비교하여 토론해 보자.



.....



광전 효과

1887 년 헤르츠는 전자기파 실험을 하는 도중 음전하로 대전된 금속구에 자외선을 비추었을 때 전자들이 방출되는 현상을 발견하였다. 다음 활동을 통해 자외선을 비출 때 전자가 방출되는 현상을 관찰해 보자.

실험 해 보기

빛을 비춘 금속 관찰하기



준비물 알루미늄 캔, 알루미늄 포일, 클립, 에보나이트 막대, 털가죽, 사포, 비커, 자외선 등, 장갑, 보안경



유의할 점

- 자외선 등을 사용할 때는 보안경을 착용한다.
- 자외선이 피부에 직접 노출되지 않도록 주의한다.

목표 금속에 자외선을 비출 때 일어나는 변화를 설명할 수 있다.

과정

① 알루미늄 포일을 잘게 자르고 클립을 이용해 알루미늄 캔에 붙인다. 이때 알루미늄 캔의 표면은 사포로 문질러 코팅을 벗겨 낸다.

도움말 클립과 알루미늄 캔을 붙이는 부분도 사포로 코팅을 벗겨 접촉이 잘 되도록 한다.

② 에보나이트 막대를 털가죽으로 마찰한 후 알루미늄 캔에 접촉한다.

③ 자외선 등을 켜서 과정 ②의 알루미늄 캔의 표면에 비춘다.

④ 과정 ②, ③에서 어떤 현상이 일어나는지 관찰하고, 그 결과를 글로 써 보자.



정리

● 과정 ②, ③에서 알루미늄 포일에 변화가 일어나는 까닭은 무엇인지 설명해 보자.



에보나이트 막대를 알루미늄 캔에 접촉하면 에보나이트 막대의 전자는 알루미늄 캔과 알루미늄 포일에 고르게 퍼지지만 스스로 외부로 나오지는 못한다. 따라서 전자를 알루미늄 포일 밖으로 나오게 하려면 전자에 에너지를 주어야 한다.

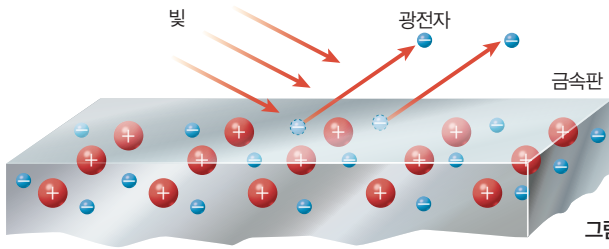


그림 III-25 광전 효과와 광전자

그림 III-25와 같이 금속에 빛을 비추면 금속 내부의 자유 전자가 에너지를 얻어 금속 밖으로 튀어 나간다. 이러한 현상을 **광전 효과**라 하며, 이때 튀어 나온 전자를 **광전자**라고 한다. 그림 III-26과 같이 광전 효과 실험 장치를 구성하고 왼쪽 극으로 입사하는 빛의 진동수와 세기를 조절하면서 회로에 흐르는 전류의 세기를 측정하면 다음과 같은 몇 가지 사실들을 알 수 있다.

오개념 바로잡기

반도체나 절연체에서의 광전 효과
광전 효과는 반도체나 절연체에서도 일어난다. 반도체에서는 원자가 띠의 전자를 전도띠로 보내는 광전 효과가 일어나며, 절연체에서도 광전 효과가 일어난다.

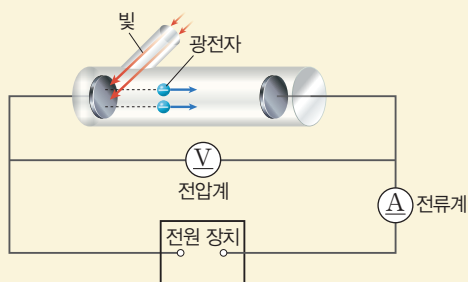


그림 III-26 광전 효과 실험 장치

광전 효과 실험 결과

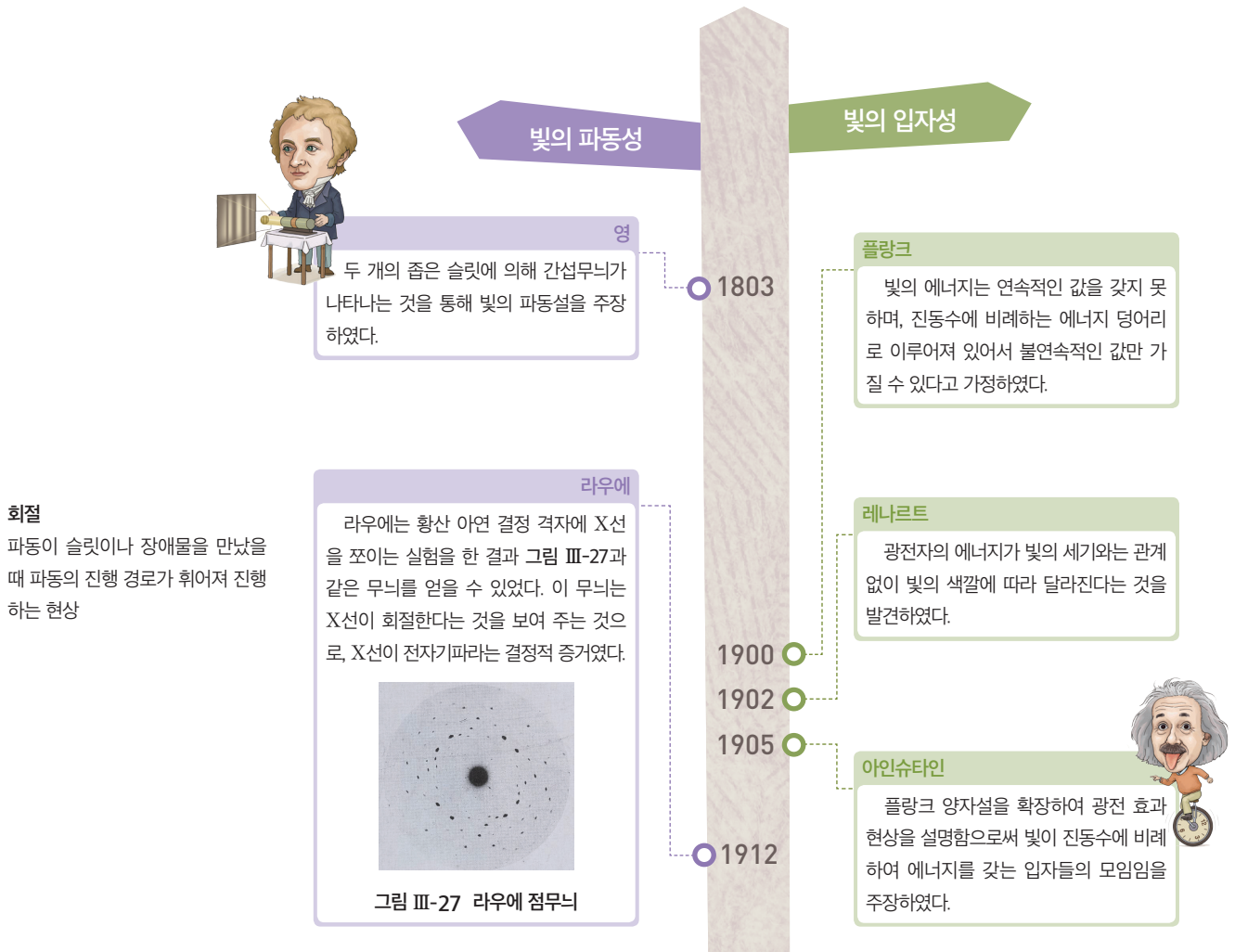
- ▶ 일정한 진동수 미만의 빛을 비추면 빛의 세기에 관계없이 광전자가 튀어 나오지 않으며, 일정한 진동수 이상의 빛을 비추면 빛의 세기가 아무리 약해도 광전자가 즉시 튀어 나온다.
- ▶ 같은 진동수의 빛을 비추는 경우 단위 시간당 튀어 나오는 광전자의 수는 빛의 세기에 비례하며, 튀어 나온 광전자의 최대 운동 에너지는 빛의 진동수가 클수록 커진다.

파동설에 의하면 빛의 에너지는 진동수와 빛의 세기에 따라 달라진다. 따라서 아무리 작은 진동수의 빛이라도 충분한 세기의 빛을 비추면 전자가 튀어 나와야 한다. 하지만 광전 효과 실험에서 작은 진동수의 빛으로는 광전 효과가 발생하지 않았다.

파동설로는 설명할 수 없었던 광전 효과 실험 결과는 1905년 아인슈타인이 제안한 ‘빛은 광자(광양자)라고 하는 불연속적인 에너지 덩어리로 구성되며, 진동수가 f 인 광자 한 개의 에너지는 $E = hf$ (h : 플랑크 상수)로 주어진다.’라는 광양자설로 쉽고 간단하게 설명되었다. 광양자설에 의하면 광자 한 개의 에너지는 진동수가 클수록 크며 광자의 개수가 많을수록 빛의 세기가 세진다. 따라서 빛의 세기가 아무리 약해도 그 빛을 구성하는 광자 한 개의 에너지가 충분히 크면 광자와 충돌한 전자는 즉시 튀어나오며, 광자의 에너지가 클수록 튀어나온 전자가 가질 수 있는 최대 운동 에너지도 커진다. 또한, 일정한 진동수(문턱 진동수) 이상의 빛은 빛의 세기가 셀수록 전자와 충돌하는 광자의 수도 많아지므로 튀어나오는 광전자의 수도 그만큼 증가한다.

빛의 이중성

빛의 간섭과 회절 현상은 빛의 파동성으로 잘 설명되었기 때문에 아인슈타인이 빛의 입자성으로 광전 효과 실험을 해석한 이후에 빛의 입자성과 파동성의 논란이 다시 일어났다.



그렇다면 빛은 입자일까 파동일까? 지금까지 연구한 결과에 의하면 빛은 입자성과 파동성을 모두 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 이것을 빛의 이중성이라고 한다. 하지만 빛의 입자성과 파동성은 동시에 나타나지 않으므로 어떤 특정한 순간에 입자적 성질과 파동적 성질 중 하나만 측정할 수 있다.

핵심 개념 확인하기

- 1 금속에 빛을 비출 때 금속 내부의 자유 전자가 튀어 나오는 현상을 ()라 하며, 이 때 튀어 나온 전자를 ()라고 한다.
- 2 빛의 파동성과 입자성을 확인할 수 있는 실험은 무엇인지 각각 써 보자.

영상 정보가 기록되는 원리

영상 정보를 전기 신호로 전환하여 저장하는 장치 중 우리 주변에서 쉽게 접할 수 있는 것으로 디지털카메라가 있다. 디지털카메라에는 그림 III-28과 같이 렌즈로 들어오는 영상 정보를 받아들이는 **전하 결합 소자(CCD)**라는 장치가 있다.

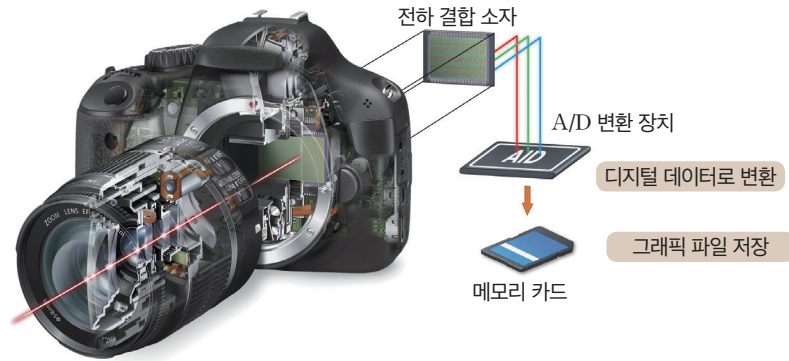


그림 III-28 디지털카메라의 구조

그림 III-29와 같은 전하 결합 소자는 우리 눈의 망막과 같은 역할을 하는 것으로, 매우 작은 여러 개의 화소로 구성되어 있다. 각 화소는 그림 III-30과 같이 보통 3 개의 금속 전극으로 구성되어 있으며 그 위치로 들어오는 빛의 세기에 비례해 전기 신호를 만들어 낸다. 즉, 전하 결합 소자 내부로 빛이 입사하면 광전 효과가 일어나 반도체 내에서 전자-양공 쌍이 형성된다. 이때 생성된 전자는 (+)전압이 걸려 있는 전극 아래쪽에 쌓이며, 전극 아래쪽에 쌓인 음전하의 총량은 입사한 빛의 세기에 비례한다. 이렇게 생성된 음전하의 양을 측정하면 각 화소에 입사하는 빛의 세기를 알 수 있다.

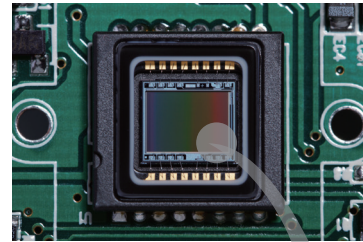


그림 III-29 전하 결합 소자(CCD)

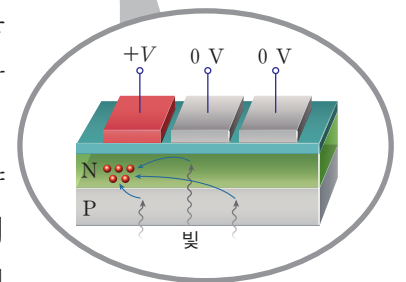


그림 III-30 화소

각 화소에 쌓인 음전하의 양을 측정하기 위해서는 전자를 측정 장치로 이동시켜야 한다. 그림 III-31과 같이 왼쪽 전극 아래쪽에 쌓인 전자들은 가운데 전극에 같은 크기의 전압을 걸어 주면 두 전극에 고루 퍼지게 된다. 이때 왼쪽 전극의 전압을 '0'으로 하면 왼쪽 전극에 있던 전자들이 가운데 전극으로 이동하여 모이므로 결과적으로 전자들이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동한다.

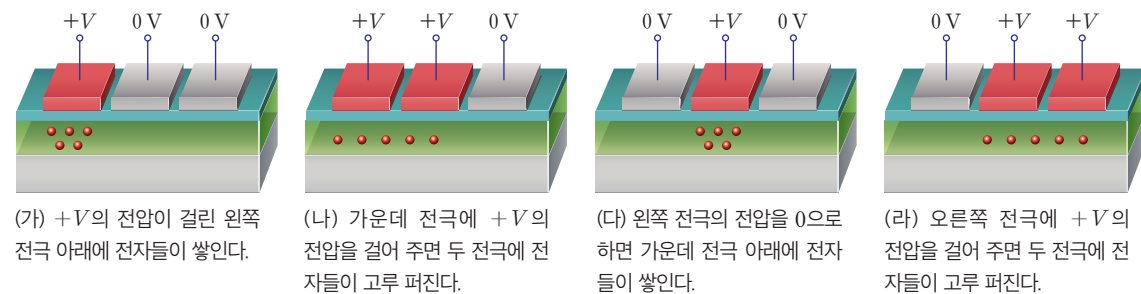


그림 III-31 전하 결합 소자의 화소에 저장된 전하의 이동 화소에 쌓인 전자들이 왼쪽에서 오른쪽으로 이동한다.

사이언스올

<http://www.scienceall.com>

'사이언스 피디아'에서 전하 결합 소자의 자료를 확인할 수 있다.

일반적으로 전하 결합 소자는 화소마다 입사하는 빛의 세기만 측정하므로 전하 결합 소자로는 흑백 영상만을 얻을 수 있다. 따라서 전하 결합 소자로 컬러 영상을 얻기 위해서는 그림 Ⅲ-32와 같이 서로 교차된 구조의 컬러 필터를 전하 결합 소자 위에 배열한다.

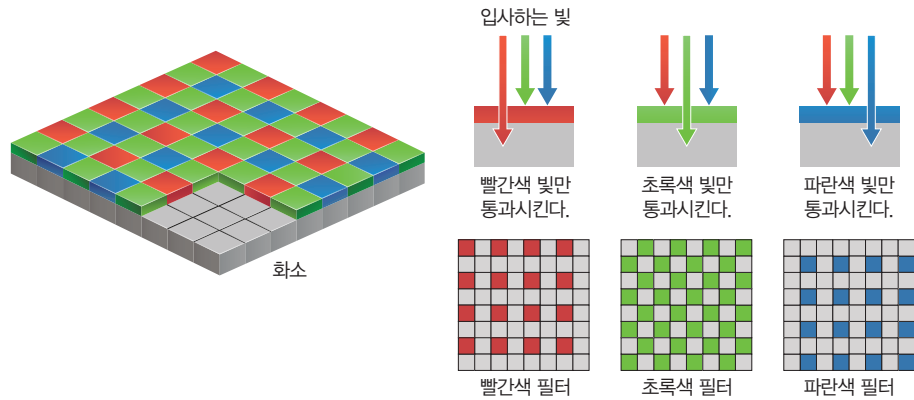


그림 Ⅲ-32 컬러 필터를 이용한 전하 결합 소자

예를 들어 빨간색 필터 아래에 있는 전하 결합 소자는 빨간색 빛의 세기를 측정하며 인접한 초록색, 파란색 필터의 아래에 있는 전하 결합 소자는 각각 초록색, 파란색 빛의 세기를 측정한다. 이렇게 측정된 세 종류의 빛의 세기로부터 그 지점의 색을 결정한다.

전하 결합 소자 기술은 천문학의 발달에도 크게 이바지하고 있다. 허블 우주 망원경이나 케플러 우주 망원경과 같은 우주 망원경은 전하 결합 소자를 이용해 지상에서는 볼 수 없었던 우주의 또 다른 모습들을 관찰하고 있다. 이 밖에도 전하 결합 소자는 디지털 카메라, 시시 티브이(CCTV, Closed - Circuit Television), 내시경 등 빛을 인식하는 여러 가지 기구에 광센서로 활용되고 있다.

**핵심 개념
확인하기**

- 1 전하 결합 소자에서 각 전극에 저장된 전자를 이동시키는 방법을 설명해 보자.
- 2 우리 주변에서 전하 결합 소자가 사용되는 예를 찾아보자.



다음 핵심 개념을 사용하여 학습한 내용을 설명해 보자.

- ☒ 광전 효과 ☒ 광자
- ☒ 광전자 ☒ 광전류
- ☒ 빛의 이중성
- ☒ 전하 결합 소자(CCD)



창의 융합 활동하기

🔑 문제 해결력 | 3D 스캐너는 실물의 모양이나 색을 디지털 정보로 전환하는 장치이다. 3D 스캐너를 이용하면 단 몇 장의 사진으로 물체의 입체 영상을 만들 수 있다. 이러한 3D 스캐너의 원리를 조사해 보고, 주변에서 활용되는 예를 찾아보자.

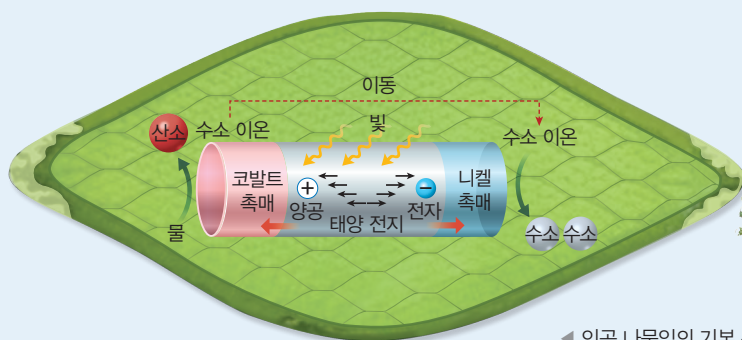
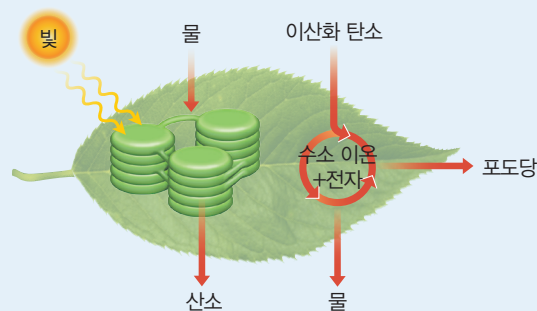


광전 효과로 구현되고 있는 인공 나뭇잎

오늘날 인류가 직면한 가장 큰 문제 중 하나는 과도한 화석 연료 사용에 따른 공해 발생과 자원 고갈에 따른 에너지 부족이다. 전 세계의 과학자들은 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 친환경 에너지 개발 연구를 진행하고 있다. 그중에서 인공 나뭇잎 연구는 친환경 에너지를 얻을 수 있는 기술로 주목받고 있다.

실제 나뭇잎에서는 태양 에너지를 이용하여 물을 산소 분자와 수소 이온, 전자로 분리한다. 산소 분자는 바로 공기 중으로 배출되고, 수소 이온과 전자는 복잡한 과정을 거쳐 이산화 탄소와 결합하여 포도당을 만든다. 하지만 인공 나뭇잎은 아직 이러한 모든 광합성 과정을 구현하지는 못하고 있으며 산소와 수소 기체를 만드는 수준에 머물러 있다.

최근 한 과학자는 태양 전지 양쪽에 촉매를 발라 인공 나뭇잎을 만들었다. 태양 전지가 햇빛을 받아 광전 효과에 의해 양공과 전자를 만들면 전지 표면에 있는 코발트 촉매가 물을 분해해 산소 기체와 수소 이온을 만든다. 수소 이온들은 태양 전지 반대편 니켈 촉매 쪽으로 이동하여 광전 효과에 의해 형성된 전자를 받아 수소 기체가 된다. 이렇게 만들어진 수소는 다른 장치의 연료로 사용할 수 있다. 이처럼 인공 나뭇잎은 이산화 탄소도 배출하지 않으면서 태양 에너지를 이용해 수소 에너지를 얻는 매우 유용한 장치이다.



◀ 인공 나뭇잎의 기본 구조

하지만 아직도 풀어야 할 문제가 많이 남아있다. 현재 가장 효율이 높은 인공 나뭇잎의 효율은 8 % 정도이며 생산 비용을 낮출 방법을 아직 찾지 못하고 있다. 그러나 광합성 과정을 완벽하게 재현해 탄수화물을 생성할 수 있다면 인류의 식량 문제 또한 해결할 수 있을 것이다.



핵심 역량 펼치기

인공 나뭇잎 이외에도 광전 효과가 이용된 장치들이 많이 있다. 그중 한 가지를 찾아 광전 효과가 이용된 예를 발표해 보자.