

XV

영화 속에서 찾아보는 과학

1. 인터스텔라
2. 마션
3. 쥬라기 공원
4. 아바타
5. 명량
6. 블랙팬서
7. 해운대
8. 엑시트
9. 판도라
10. 감기
11. 백두산

개요

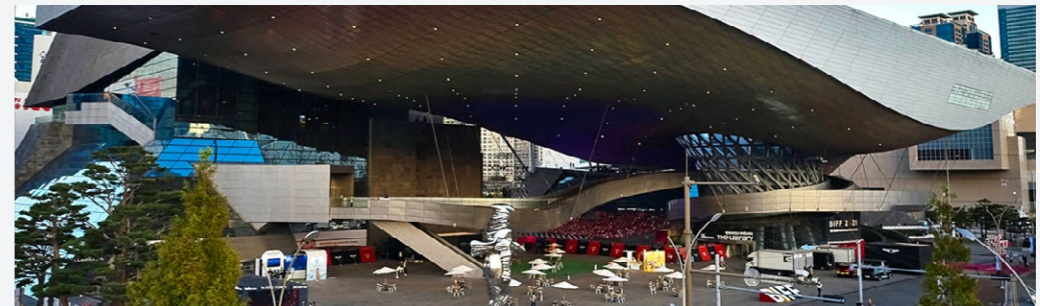


〈제29회 부산국제영화제 공식 포스터〉

부산국제영화제는 1996년 9월 13일에 첫 개막식을 개최하였다. 당시에는 서울도 아닌 부산에서 '국제영화제'를 개최하는 것에 대한 많은 우려 섞인 시선이 있었지만 31개국에서 169편의 작품을 초청하여 제1회 부산국제영화제가 시작되었다.

우리나라 최초의 국제영화제에서 이제는 명실상부 우리나라 최대의 국제영화제로 성장하였다. 현재는 아시아뿐 아니라 세계 속에서 많은 영화인들과 관객이 사랑하는 영화 축제가 되었으며, 이제는 70~80여 개국에서 300여 편이 초청되고 6개로 시작한 상영관은 현재 최대 37개 관까지 늘어났다. 또한 지난 2011년 개관한 부산국제영화제 전용관 '영화의 전당'은 부산의 랜드마크로 자리 잡았다.

영화의 전당은 부산 지하철 2호선 센텀시티역 근처에 있으며, 뛰어난 조형성과 해체주의 건축 미학이 구현된 건축물로, 대지와 하늘의 관계를 건축물에 나타냈다. 대지 전체를 광장으로 인식하고, 광장 자체를 부분적으로 융기시킴으로써 생성되는 산과 언덕의 내부 공간을 활용하여 거주 공간으로 조성하였으며, 들어 올려진 지형과 인위적으로 형성된 하늘(빅루프) 사이의 공간을 통해 공공 공간을 형성하였다. 면적 32,137㎡, 연면적 54,335㎡에 지하 1층, 지상 4층의 '비프힐', '더블콘', 지상 9층의 '시네마운틴' 건물 3개로 이루어져 있으며, 각 건물은 구름 다리로 서로 연결되어 있다.



〈영화의 전당〉

그림 출처

- 제29회 부산국제영화제 공식 포스터, 부산국제영화제 홈페이지
- 영화의 전당, 부산국제영화제 홈페이지



'인터스텔라' 속 과학

◆ 개요

한국에서는 2014년에 11월에 개봉한 미국 영화로 '~의 사이의'를 뜻하는 접두사인 'inter-'와 별을 뜻하는 'stellar'의 합성어로 별과 별 사이를 뜻한다. 황폐해져 가는 지구를 대체할 새로운 행성을 찾기 위해 원홀을 이용하여 우주를 탐험하는 내용이다.

◆ 과학적 요소

1. 시간 지연

인터스텔라에서 중요한 과학적 요소 중 하나가 바로 중력에 의한 시간 지연 현상이다. 이는 아인슈타인의 일반 상대성 이론에 기반한 개념으로, 중력이 강한 곳일수록 시간이 느리게 흐른다는 것을 의미한다. 아인슈타인은 중력을 시공간의 휘어짐으로 설명하였다. 질량을 가진 물체는 주변 시공간을 휘게 만들고, 이 휘어진 시공간을 따라 다른 물체들이 움직이는 것이 바로 중력이다. 이때 중력이 강할수록 시공간의 휘어짐은 더욱 심해지고, 이는 시간의 흐름에도 영향을 미친다. 블랙홀 주변이나 질량이 매우 큰 행성 근처와 같이 중력이 강한 곳에서는 시공간이 심하게 휘어진다. 이로 인해 그 곳에서의 시간은 상대적으로 느리게 흐르게 된다. 여기서 중요한 것은 시간은 절대적인 것이 아니라 상대적이라는 개념이다. 즉 관찰자의 위치와 속도에 따라 다르게 측정될 수 있다. 중력이 다른 두 곳에서 시간을 측정하면 중력이 강한 곳의 시간이 더 느리게 흐른다. 인터스텔라 속에서는 거대 블랙홀과 가까이 위치한 밀러 행성에서의 1시간은 지구의



〈인터스텔라 공식 포스터〉

7년(약 61,320시간)과 맞먹는다고 묘사하였으며, 블랙홀 경계(사건의 지평선)에서는 시간 지연이 극심하게 나타나 시간이 완전히 멈추게 된다고 묘사하였다.

※ 일반 상대성 이론

아인슈타인이 1915년에 발표한 중력 이론으로 기존의 뉴턴 중력 이론을 대체하고 현대 물리학과 천문학의 발전에 큰 영향을 미쳤다. 아인슈타인은 시간과 공간이 분리된 것이 아니라 하나의 4차원 연속체인 시공간으로 연결되어 있다고 보았다. 이는 우리가 일반적으로 경험하는 3차원 공간에 시간이라는 차원이 더해진 개념이다.

일반 상대성 이론에 따르면 질량을 가진 물체는 주변의 시공간을 휘게 만든다. 볼링공을 두꺼운 스펀지 위에 놓으면 볼링공이 아래의 스펀지 부분이 움푹 들어가는 것과 같다. 이 휘어진 시공간을 따라 다른 물체들이 움직이는 것이 중력이다.

일반 상대성 이론은 기존의 뉴턴 이론으로 설명할 수 없었던 여러 현상을 정확하게 예측하였다. 그 중 하나는 빛의 휘어짐이다. 중력이 강한 천체 주변을 지나가는 빛은 시공간이 휘어짐에 따라 경로가 휘어진다. 이는 1919년 일식 관측을 통해 실제로 확인되었다. 또 다른 것은 중력 렌즈 효과이다. 중력 렌즈 효과는 멀리 있는 은하의 빛이 질량이 큰 천체를 지나면서 여러 개의 상으로 보이거나 휘어져 보이는 현상이다. 이 것은 시공간의 휘어짐으로써 빛의 경로가 바뀌기 때문에 나타나는 현상이다.

2. 우주선에서 인공 중력 생성

우주 공간은 무중력 상태이기 때문에 장기간 우주 여행을 하는 우주 비행사들은 근육 손실, 골밀도 감소 등 신체에 여러 부정적인 영향이 생길 수 있다. 따라서 우주선 내에서 인공적으로 중력을 생성하는 기술은 장기간 우주 탐사를 위해 매우 중요하다. 인공 중력을 생성하는 방법 중 하나는 회전력을 이용하는 것이다. 우주선을 회전시켜 생기는 구심력을 이용하는 것이다. 둥근 원통형의 우주선을 회전시키면 우주선 내부에 있는 물체들은 구심력(회전의 중심 방향으로 가려는 힘)의 반대 방향으로 원심력을 받는다. 회전 반경이 클수록, 회전 속도가 빠를수록 더 센 힘이 생기게 되고, 지구의 중력과 같은 효과를 낼 수 있다.

3. 스윙바이(Swingby)

우주 탐사선의 항해 기술 중 하나로 행성이나 다른 천체의 중력을 이용하여 탐사선의 궤도를 조정하고 속도를 변화시키는 방법이다. '중력 도움(Gravity assist)'라고도 불린다. 스윙바이의 핵심은 행성의 운동 에너지와 중력을 이용하는 것이다. 탐사선이 행성에 접근하면 행성의 중력에 이끌려 속도가 증가한다. 이후 행성을 지나쳐 멀어질 때 행성의 중력은 탐사선을 뒤로 당기는 힘으로 작용하지만, 이 과정에서 탐사선은 행성의 공전 궤도 방향으로 추진력을 얻어 결과적으로 속도가 증가하게 된다.

'마션' 속 과학

◆ 개요

2015년에 개봉한 영화로 앤드 위어의 소설 마션을 원작으로 하였다. 화성 탐사 임무 수행 중 마주친 거대한 모래 폭풍으로 지구와 통신이 끊기고, 구조대가 오기 전까지 화성에서 혼자 고군분투 살아가는 이야기를 묘사하였다.

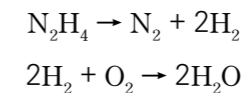
◆ 과학적 요소

1. 로켓 연료에서 물 추출

영화에서 물을 얻기 위해 로켓 연료인 하이드라진(N_2H_4)을 분해하여 물(H_2O)을 얻는다. 하이드라진은 질소 원자 2개와 수소 원자 4개로 이루어진 무색의 액체로 강한 환원성을 가지고 있어 반응성이 매우 높다. 특히 공기 중에서 쉽게 산화되거나 분해될 수 있으며, 가열하거나 촉매를 사용하면 더욱 쉽게 분해된다. 하이드라진을 분해하면 질소(N_2) 기체와 수소(H_2) 기체가 생성된다. 이 반응은 발열 반응으로 열을 방출한다. 이때 만들어진 수소(H_2)를 산소(O_2)와 반응시키면 물(H_2O)을 얻을 수 있다. 이 반응은 연소 반응의 일종으로 많은 열을 방출한다.



〈마션 공식 포스터〉



탐사선이 행성에 접근하면 행성의 중력이 탐사선을 끌어당겨 속도가 빨라지게 되고, 탐사선이 행성을 지나치는 동안에는 행성의 중력에 의해 탐사선의 궤도가 휘어진다. 마지막으로 탐사선이 행성에서 멀어지면서 탐사선은 행성의 운동 에너지 일부를 전달 받아 속도가 더욱 증가하게 되고, 탐사선의 궤도도 변경된다. 이때 행성은 탐사선에게 에너지를 전달한만큼 운동에너지를 잃게 되지만 행성의 질량이 탐사선과 비교하였을 때 워낙 크기 때문에 그 변화는 무시할 수 있을 정도이다. 마치 볼링공이 탁구공을 치면 탁구공의 속도는 크게 변하지만 볼링공의 속도는 변화가 거의 없는 것처럼 말이다.

스윙바이의 장점은 추가적인 연료 소모 없이 탐사선의 속도를 크게 높일 수 있으며, 목적지까지 이동 시간을 크게 단축할 수 있고, 탐사선의 궤도를 변경할 때도 유용하다. 스윙바이를 활용한 사례는 보이저 1, 2호는 목성, 토성, 천왕성, 해왕성을 탐사하는 과정에서 스윙바이를 활용하여 연료를 절약하고 탐사 기간을 단축하기도 하였다.

그림 출처

• 인터스텔라 포스터, CGV 홈페이지



하이드라진 분해 반응은 고온에서 자연적으로 일어나지만 촉매를 사용하면 더 낮은 온도에서도 효율적으로 분해할 수 있다. 영화에서는 이리듐 촉매를 사용하지만 다른 금속 촉매도 사용할 수 있다.

2. 화성의 환경

화성의 대기는 지구 대기의 약 1% 정도로 매우 희박하며, 주성분은 이산화탄소(95%)이다. 화성의 표면 기압은 지구의 약 0.6% 정도로 낮아 물이 액체 상태로 존재하기 어렵다. 또한 지구는 자기장과 두꺼운 대기층으로 인해 태양풍과 우주 방사선으로부터 보호받을 수 있지만 화성은 대기층이 거의 없어 우주 방사선에 직접적으로 노출되고, 이는 생명체에 매우 위험한 환경이다. 또한 희박한 대기는 열을 효율적으로 보존하지 못하기 때문에 화성의 표면 온도는 극심한 일교차를 보인다. 화성의 평균 온도는 -63°C 로 매우 낮으며, 여름철 낮에는 20°C 까지 올라갈 수 있다.

화성의 중력은 지구의 약 40% 정도이며, 이는 사람이 화성에서 더 가볍게 느껴진다는 것을 의미한다. 영화에서는 사다리를 오르는 장면에서 가볍게 움직이는 모습이 나타난다.

화성의 표면은 산화철이 풍부하여 붉은색을 띠고 있으며, 거대한 협곡(마리네리스 협곡)과 거대한 화산(올림푸스 산)이 있다. 또한 과거에 물이 흘렀던 흔적 등 다양한 지형이 존재하여 과거에는 지구와 유사한 환경이었을 가능성을 보인다.

3. 전파 통신

영화에서 화성에 있는 사람과 지구의 과학자들이 서로 통신하는 모습이 나온다. 현재 화성과 지구의 통신은 주로 전파를 이용한다. 전파는 빛의 속도로 이동하기 때문에 매우 빠르지만, 지구와 화성 사이의 거리가 멀기 때문에 신호가 도달하는 데 시간이 걸린다. 지구와 화성 사이의 거리는 계속 변하지만 가장 가까울지라도 수천만 킬로미터 떨어져 있어 전파를 이용한 통신에는 시간 지연이 발생한다. 가장 가까이 있을 때 4분 정도, 가장 멀리 떨어져 있을 때 24분 정도의 통신 지연이 발생한다. 영화에서는 이러한 통신 지연으로 인해 지구에 있는 과학자와 화성에 있는 과학자 사이의 소통에 어려움이 나타나는 장면이 있다.

화성 궤도를 도는 여러 개의 중계 위성은 화성 표면에 있는 탐사 로버와 지구 사이의 통신을 중계하는 역할을 한다. 탐사 로버가 보낸 신호를 중계 위성이 받아 지구로 전송하고, 지구에서 보낸 신호를 중계 위성이 받아 탐사 로버에게 전달하는 방식이다.

4. 우주복

우주인들이 국제우주정거장 외부에서 작업하거나 달이나 행성 탐사 등 외부 활동을 할 때 입는 옷이다. 우주복은 외부 우주 환경과 철저하게 차단시켜 주고, 생명유지시

스템이 있어 적절한 온도와 습도에서 숨을 쉴 수 있다.

우주복의 가장 안쪽 층에는 얇은 플라스틱 튜브가 달려 있다. 이 튜브에는 냉각수가 흘러 사람의 체온으로 발생하는 열로 인해 우주복 안의 온도가 계속 올라가는 것을 막아준다. 다음에는 공기를 담고 있는 우레탄 층과 광기가 부풀어 오르지 않도록 막는 테크론 층이 있다. 우레탄은 일종의 고무 재질이고, 테크론은 단열 효과가 뛰어난 합성 섬유이다. 테크론 층은 우주복이 급격한 기압의 변화에도 터지지 않도록 단단하게 만들어져 있다.

테크론 층 바깥은 알루미늄 코팅 특수 섬유와 폴리에스터 부직포 등으로 이루어져 있어 단열 기능이 뛰어나다. 그래서 우주 환경에서도 우주인이 얼어 죽지 않을 수 있으며, 우주 먼지, 각종 전자파, 방사선 등을 막아주는 역할도 한다.

그리고 가장 바깥층은 하얀 테프론 직물로 열과 추위로부터 우주인을 안전하게 보호하고 압력을 유지시켜 준다.

그림 출처

• 마션 포스터, CGV 홈페이지



'쥬라기 공원' 속 과학

◆ 개요

1993년 개봉하여 이후 총 6개의 시리즈로 제작되었다. 가장 최근에는 2022년에 '쥬라기 월드: 도미니언'이라는 제목으로 개봉하였다.

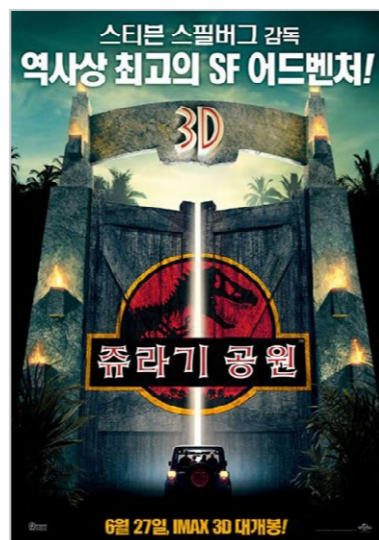
화석에 갇힌 모기의 피에서 공룡의 DNA를 채취해 6500만 년 전의 공룡을 재현해낸다. 공원 인부 하나가 공룡을 운반하다 죽게 되고, 이로 인해 쥬라기 공원의 안전성이 문제가 되어 여러 과학자가 쥬라기 공원의 안전 진단에 나선다.

◆ 과학적 요소

1. DNA 보존

영화 쥬라기 공원에서는 호박 속에 갇힌 모기의 뱃속에서 공룡의 피를 추출하여 DNA를 얻는 것으로 묘사되어 있다. 이는 이론적으로 가능한 아이디어지만, 현실적으로는 매우 어려운 과제이다. DNA는 시간이 지남에 따라 분해되는데, DNA의 반감기는 약 500년 정도로 추정된다. 따라서 수천만 년 전 공룡의 DNA가 온전한 형태로 보존되어 있을 가능성은 매우 낮다. 실제로 호박 속 곤충에서 DNA를 추출하는 데 성공한 사례가 있지만 추출된 DNA는 대부분 짧은 조각으로 분해되어 있었다.

그렇다면 DNA를 분해하는 요인에는 무엇이 있을까? 먼저 물은 DNA를 가수분해 할 수 있다. 특히 고온 다습한 환경에서 DNA 분해가 빠르게 진행된다. 또한 자외선은 DNA에 직접적인 손상을 주어 분해를 유발할 수 있다. 또 미생물은 DNA 분해 효소를 가지고 있어 DNA를 분해, 손상시킬 수



〈쥬라기 공원 공식 포스터〉

있다.

DNA 보존 기간은 보관 방법에 따라 크게 달라진다. DNA를 건조한 상태로 밀봉하여 보관하면 상온(25℃)에서 짧은 기간 동안 보존할 수 있다. 하지만 습도, 온도 변화, 자외선 노출 등에 취약하여 장기 보관에는 적합하지 않다. DNA를 용액 상태로 보관할 경우 냉장 보관(4℃)이 일반적이다. TE 버퍼와 같은 적절한 완충 용액에 DNA를 녹여 보관하면 수개월에서 수년 동안 안정적으로 보존할 수 있다. DNA를 장기간 보관하기 위해서는 냉동 보관(-20~-80℃)이 가장 효과적이다. -20~80℃의 냉동고에 보관하면 수십 년 동안 DNA를 안정적으로 보존할 수 있다. 특히, DNA를 침전시켜 건조시킨 후 냉동보관할 경우 더 오래 보존 가능하다. 마지막으로 극저온(액체질소, -196℃)에 보관할 경우 DNA를 거의 영구적으로 보존할 수 있지만 유지 및 관리 비용이 많이 든다.

그림 출처

• 쥬라기 공원 포스터, CGV 홈페이지



'아바타' 속 과학

◆ 개요

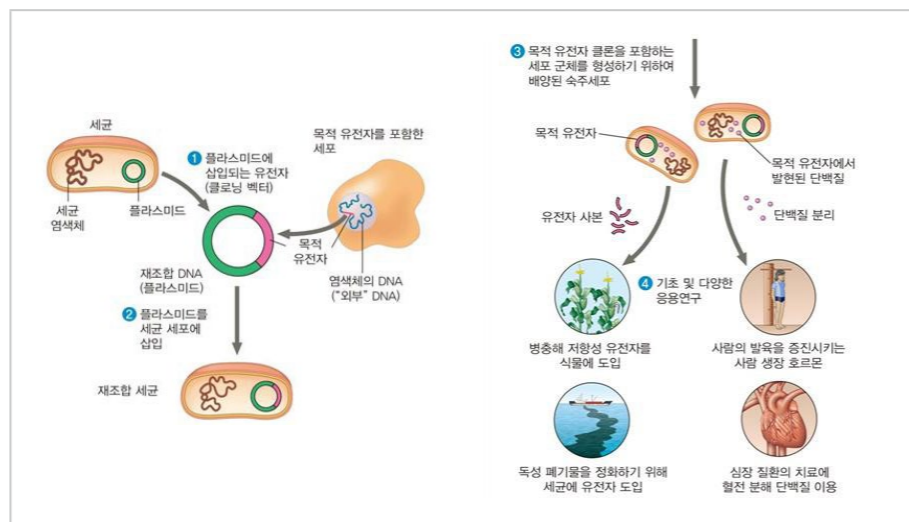
2018년 개봉한 영화로 지구 에너지 고갈 문제를 해결하기 위해 판도라 행성으로 향한 인류가 판도라 행성의 원주민인 '나비족'과 대립하는 과정에서 아바타 프로그램을 통해 주인공이 나비족에 투입되어 나비족과 함께 지내면서 인간과 나비족 사이의 전쟁에 참여하는 이야기이다.

◆ 과학적 요소

1. 유전자 조작

유전자 조작 기술은 생명체의 유전자를 인위적으로 변형시키는 기술을 통칭하는 용어이다. 이는 DNA를 절단, 삽입, 변형하는 다양한 기술을 포함하며 생명과학, 의학, 농업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

유전자 재조합은 서로 다른 생물체의 DNA 조각을 연결하여 새로운 DNA 분자를 만드는 기술이다. 이를 통해 특정 유전자를 다른 생물체에 삽입하거나 유전자의 발현을 조절할 수 있다.



〈유전자 재조합 기술〉

유전자 편집(Gene editing)은 특정 DNA 염기 서열을 정교하게 편집하는 기술이다. 대표적인 기술로는 ZFN(Zinc Finger Nucleases), TALEN(Transcription Activator like Effector Nucleases), CRISPR-Cas9이 있다.

먼저 ZFN은 원하는 DNA 부위를 정확하게 절단할 수 있는 인공 효소이다. 1세대 유전자 가위라고도 불리며, 이후 개발된 TALEN과 CRISPR-Cas9의 기반이 되는 중요한 기술이다. ZFN은 아연 손가락 단백질(Zinc Finger Protein)은 DNA의 특정 염기 서열을 인식하고 결합하는 역할을 한다. 아연 이온(Zn^{2+})에 의해 안정화된 손가락 모양의 구조를 가지고 있어 아연 손가락이라고 불린다. 각 아연 손가락은 3개의 염기 서열을 인식하며, 여러 개의 아연 손가락을 연결하여 더 긴 염기 서열을 인식하도록 설계할 수 있다. FokI 뉴클레아제는 DNA를 절단하는 효소이다. FokI 뉴클레아제는 두 개의 단위체가 만나야 DNA를 절단할 수 있다. ZFN은 두 개의 아연 손가락 단백질과 두 개의 FokI 뉴클레아제 단위체로 구성된 이합체 형태로 작동한다. 원하는 DNA 부위를 절단하기 위해서는 두 개의 ZFN이 DNA의 인접한 부위에 결합해야 한다. 각 ZFN의 아연 손가락 단백질은 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 결합하고, 연결된 FokI 뉴클레아제 단위체들이 만나 DNA 이중 나선을 절단한다.

TALEN은 ZFN에 이어 개발된 2세대 유전자 가위 기술이다. 원하는 DNA 부위를 정밀하게 절단할 수 있는 인공 효소로, ZFN이 가진 단점을 일부 개선하였다. TALEN은 TAL 이펙터 단백질(TAL Effector Protein)과 FokI 뉴클레아제 두 부분으로 구성된다. 먼저 TAL 이펙터 단백질은 DNA 특정 염기 서열을 인식하고 결합하는 역할을 한다. 식물 병원균인 *Xanthomonas*에서 유래한 단백질로, DNA 결합 도메인(TALE domain)이라고도 불린다. 각 반복 단위(repeat unit)는 2개의 특정 염기를 인식하

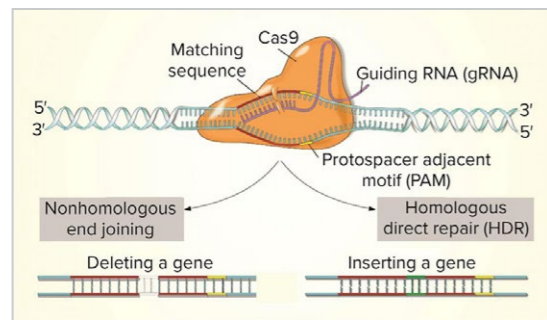


〈아바타 공식 포스터〉

며, 이러한 반복 단위들을 연결하여 원하는 길이의 염기 서열을 인식하도록 설계할 수 있다. 각 반복 단위는 약 34개의 아미노산으로 이루어져 있으며, 12번과 13번째 아미노산의 차이에 따라 인식하는 염기가 결정된다(예: HD는 C, NG는 T, NI는 A, NN은 G를 인식). FokI 뉴클레아제(FokI Nuclease)는 DNA를 절단하는 효소이다. ZFN과 마찬가지로 FokI 뉴클레아제는 두 개의 단위체(dimer)가 만나야 DNA를 절단할 수 있다. TALEN은 두 개의 TAL 이펙터 단백질과 두 개의 FokI 뉴클레아제 단위체로 구성된 이합체(heterodimer) 형태로 작동한다. 원하는 DNA 부위를 절단하기 위해서는 두 개의 TALEN이 DNA의 인접한 부위에 결합해야 한다. 각 TALEN의 TAL 이펙터 단백질은 DNA의 특정 염기 서열을 인식하여 결합하고, 연결된 FokI 뉴클레아제 단위체들이 만나 DNA 이중 나선을 절단한다. 이때, 두 FokI 뉴클레아제가 서로 반대 방향으로 DNA에 결합하여 이중 가닥 절단(Double-Strand Break, DSB)을 유도한다. TALEN은 ZFN보다 더 높은 특이성을 가지고 원하는 부위만 절단할 수 있으며, 각 반복 단위가 특정 염기를 인식하는 규칙이 비교적 간단하여 원하는 DNA 서열에 특이적인 TAL 이펙터 단백질을 설계하는 것이 ZFN보다 쉽다.

CRISPR-Cas9은 현재 가장 널리 사용되는 유전

자 편집 기술로, DNA의 특정 부위를 매우 정확하고 효율적으로 절단할 수 있는 도구이다. 3세대 유전자 가위로 불리며, 이전 세대의 유전자 가위인 ZFN, TALEN의 단점을 상당 부분 개선하였다. CRISPR 시스템은 원래 박테리아의 면역 체계에서 발견되었다. 박테리아는 바이러스의 공격을 받았을 때 바이러스의 DNA 조각을 자신의 DNA에 저장해 두었다가 같은 바이러스가 다시 침입했을 때 이를 인식하고 파괴하는 방어 시스템을 가지고 있다. 이 시스템의 핵심 구성 요소가 CRISPR와 Cas 단백질이다. CRISPR-Cas9의 시스템은 가이드 RNA와 Cas 단백질 두 부분으로 구성된다. 가이드 RNA(guide RNA, gRNA)는 Cas9 단백질이 DNA의 어느 부위를 절단해야 하는지 알려주는 역할을 한다. 약 20개의 염기 서열로 구성되어 있으며, 원하는 DNA 표적 서열에 상보적으로 결합하도록 설계된다. Cas9 단백질은 DNA를 절단하는 효소이다. gRNA와 결합하여 복합체를 형성하고, gRNA가 지정하는 DNA 부위를 찾아 이중 나선을 절단한다. Cas9 단백질은 DNA를 절단하는 두 개의 활성 부위를 가지고 있다.



〈CRISPR-Cas9〉

CRISPR-Cas9 시스템의 작동 원리 아래와 같다.

- ① gRNA 설계: 편집하고자 하는 DNA 부위에 상보적인 염기 서열을 가진 gRNA를 만든다.
- ② Cas9 단백질과 gRNA 결합: Cas9 단백질과 gRNA가 결합하여 복합체를 형성한다.

2. 생물 발광

영화 속 판도라 행성에 서식하는 많은 생물은 스스로 빛을 내는 생물 발광 현상을 보인다. 지구에서도 심

③ DNA 표적 부위 탐색: gRNA는 DNA에서 자신의 염기 서열과 일치하는 부위를 찾아 결합한다. 이때 PAM(Protospacer Adjacent Motif)이라는 특정 염기 서열이 표적 부위 바로 옆에 존재해야 Cas9 단백질이 DNA에 결합할 수 있다.

④ DNA 절단: Cas9 단백질은 gRNA가 결합한 DNA 부위의 이중 나선을 절단한다.

Cas9에 의해 DNA 이중 나선이 절단되며, 세포는 두 가지 경로를 통해 DNA를 복구하려고 시도한다. 비상동 말단 연결(Non homologous end joining, NHEJ)는 DNA의 절단된 말단을 직접 연결하는 과정이다. 이 과정에서 염기 서열의 삽입이나 결실이 발생할 수 있으며, 이는 유전자 기능을 파괴하는 결과를 초래할 수도 있다. 상동 재조합(Homology directed repair, HDR)은 절단된 DNA 부위와 상동성을 가진 DNA 주형을 이용하여 DNA를 복구하는 과정이다. 이 과정을 통해 원하는 염기 서열로 DNA를 정확하게 교체할 수 있다.

CRISPR-Cas9는 gRNA의 염기 서열만 바꾸면 원하는 DNA 부위를 쉽게 표적할 수 있기 때문에 ZFN이나 TALEN에 비해 설계가 훨씬 간편하고 효율적이다. 또한 gRNA의 특이적인 결합으로 인해 표적 DNA 부위를 정확하게 절단할 수 있으며, 여러 개의 gRNA를 동시에 사용하면 여러 개의 유전자를 동시에 편집할 수도 있다. 하지만 gRNA가 의도하지 않은 다른 DNA 부위에 결합하여 절단을 일으킬 수도 있으며, Cas9 단백질은 PAM이라는 특정 염기 서열이 표적 부위 옆에 존재해야 DNA를 절단할 수 있기 때문에 표적 서열 선택에 제약이 있을 수 있다. 하지만 다양한 PAM 서열을 인식하는 Cas9 변이체들이 개발되고 있어 이러한 제약이 점차 줄어들고 있다.

해 생물이나 반딧불이 생물 발광을 나타낸다. 지구의 생물들은 루시페린이라는 화학 물질의 산화 반응

에 의해 빛을 낸다.

생물 발광은 화학 반응을 통해 빛 에너지를 방출하는 현상이다. 루시페린은 빛을 내는 발광 기질로 루시페레이즈(Luciferase)라는 효소에 의해 루시페린이 산화되면서 빛을 낸다. 방출되는 빛의 색깔은 루시페린의 종류, 루시페레이즈의 종류, 주변 환경(pH, 온도 등)에 따라 달라질 수 있다. 반딧불이의 경우 황록색

빛을, 일부 심해 생물은 청색 빛을 낸다.

생물 발광을 나타내는 생물들은 발광을 다양한 목적으로 사용한다. 반딧불이는 특정 패턴의 발광 신호를 이용하여 짝짓기에 이용하며, 일부 심해 어류는 발광 기관을 이용하여 먹이를 유인한다. 또한 일부 생물들은 발광을 이용하여 동족과 의사소통을 하고, 포식자를 혼란시키거나 쫓아내는 역할도 한다.

3. 초전도체

영화 속에서 언옵테늄이라는 상온 초전도체를 얻기 위해 나비족과 전쟁을 하는 이야기가 나온다.

초전도체는 특정 온도 이하에서 전기 저항이 0이 되는 물질이다. 즉 초전도체에 전류를 흘리면 에너지 손실 없이 영구적으로 전류가 흐르게 된다. 이러한 초전도 현상은 1911년 네덜란드의 물리학자 카메를링 오네스가 수은을 극저온으로 냉각시키는 실험 중 처음 발견하였다.

초전도체는 특정 온도(임계 온도, T_c) 이하에서 전기 저항이 완전히 사라진다. 일반적인 도체에서는 전류가 흐를 때 원자와의 충돌로 인해 에너지 손실(열 발생)이 발생하지만, 초전도체에서는 이러한 손실이 없다.

또한 초전도체는 외부 자기장을 내부에서 완전히 밀어내는 성질을 가지고 있다. 즉 초전도체 내부에 자기장이 침투할 수 없다. 이로 인해 초전도체를 자석 위에 놓으면 공중에 뜨는 현상이 나타나는데 이를 마이스너 효과(Meissner effect)라고 한다.

초전도 현상을 양자역학적으로 설명하는 BCS 이론은 존 바딘(John Bardeen), 리언 쿠퍼(Leon Cooper), 존 로버트 슈리퍼(John Robert Schrieffer) 3명의 미국 물리학자에 의해 제안되어,

이들의 이름 앞 글자를 따서 이름 붙였다. BCS 이론의 핵심은 쿠퍼쌍(Cooper pair)라는 개념이다. 이는 일반적인 금속에서는 전자들이 개별적으로 움직이며 전류를 흐르게 하지만, 초전도체에서는 특정 온도(임계 온도, T_c) 이하에서 전자들이 쌍을 이루어 움직이는데 이를 쿠퍼쌍이라고 한다.

전자들은 같은 음전하를 띠고 있기 때문에 서로 밀어내는 힘이 작용한다. 하지만 초전도체 내에서는 전자와 원자핵 사이의 상호작용을 매개로 하여 인력이 발생할 수 있다. 하나의 전자가 금속 격자를 지나갈 때 주변의 양이온(원자핵)을 끌어당겨 격자 변형을 일으킨다. 이 격자 변형은 다른 전자에 영향을 미쳐 마치 첫 번째 전자가 지나간 자리에 웅덩이가 생겨 다른 전자가 그 웅덩이로 끌려 들어가는 것 같은 효과를 낸다. 즉 두 전자가 서로 끌어당기는 힘이 생긴다. 이러한 과정을 통해 두 전자는 서로 묶여 쌍을 이루게 되고 이를 쿠퍼쌍이라고 한다.

쿠퍼쌍은 격자와 충돌하지 않고 움직일 수 있기 때문에 전기 저항이 0이 되는 초전도 현상이 나타난다. 마치 모든 전자가 하나의 흐름으로 움직이는 것과 같다.

그림 출처

- 아바타 포스터, CGV 홈페이지
- 유전자 재조합 기술, 캠벨 생명과학 12판, 바이오 사이언스
- CRISPR-Cas9, Karp's 세포생물학 8판, 월드 사이언스



'명량' 속 과학

◆ 개요

2014년 개봉한 영화로 1592년에 발발한 임진왜란이 6년째 지속되면서 누명을 쓰고 파면당했던 이순신 장군이 삼도수군통제사로 재임명된다. 거북선은 불타고 12척 남은 판옥선으로 왜군 330척을 대항했던 해전의 이야기를 묘사하였다.

◆ 과학적 요소

1. 조류와 해류

명량 해전의 주 무대인 울돌목은 폭이 좁고 물살이 매우 빠른 해협이다. 특히 밀물과 썰물 때 조류의 방향이 급격하게 바뀌고, 소용돌이가 발생하는 특징이 있다. 영화에서도 이러한 울돌목의 거센 물살이 일본 수군을 혼란에 빠뜨리는 장면이 묘사된다.

조석 현상은 달과 태양의 인력에 의해 지구의 해수면이 주기적으로 오르내리는 현상이다. 흔히 밀물과 썰물이라고 부르는 것이다. 조석은 해안 지역의 생활, 해운, 어업 등 다양한 분야에 큰 영향을 미친다. 조석은 주로 달의 인력에 의해 발생한다. 태양의 인력도 조석에 영향을 미

치지만 달에 비해 지구와의 거리가 훨씬 멀기 때문에 태양의 영향력은 달의 약 46% 정도에 불과하다. 조석을 일으키는 힘을 기조력이라고 한다. 달은 지구를 끌어당기는 인력을 가지고 있다. 이 인력은 지구의 모든 부분에 작용하지만, 달과 가까운 쪽의 바닷물은 더 강한 인력을 받아 부풀어 오르게 된다. 이것이 밀물이다. 지구는 달의 주위를 공전하면서 원심력, 즉 관성력을 받는다. 이 관성력은 지구의 모든 부분에 동일하게 작용



〈명량 공식 포스터〉

한다. 달과 반대쪽의 바닷물은 달의 인력보다는 관성력이 더 크게 작용하여 바깥쪽으로 부풀어 오르게 되며, 이것 역시 밀물이다. 결과적으로 지구에서 달과 가장 가까운 쪽과 정 반대쪽 두 곳에서 해수면이 높아지는 밀물이 발생하고, 이 두 곳의 중간 지점에서는 해수면이 낮아지는 썰물이 발생한다.

조석은 하루 동안의 해수면 변화 횟수에 따라 반일주조와 일주조로 나뉜다. 반일주조는 하루에 두 번의 밀물과 두 번의 썰물이 나타나는 조석이다. 우리나라에서는 서해안과 남해안 대부분 지역에서 나타나는 형태이다. 일주조는 하루에 한 번의 밀물과 한 번의 썰물이 나타나는 조석이다. 우리나라 동해안 일부 지역에서 나타난다.

또한 달과 태양의 위치 관계에 따라 조석의 높이 차이(조차)가 달라지는데 이를 사리(대조)와 조금(소조)이라고 한다. 사리는 태양, 지구, 달이 일직선으로 놓일 때(음력 초하루와 보름) 달과 태양의 인력이 합쳐져 조차가 가장 크게 나타나는 시기이다. 조금은 태양, 지구, 달이 직각을 이룰 때(달의 위상이 상현과 하현일 때) 달과 태양의 인력이 서로 상쇄되어 조차가 가장 작게 나타나는 시기이다.

조차는 밀물과 썰물의 해수면 높이 차이를 말한다. 지역에 따라 조차가 크게 차이가 나며, 우리나라 서해안은 조차가 매우 큰 편이다. 조석 현상에 의해 발생하는 해수의 흐름을 조류라고 한다. 밀물 때 바닷물이 육지 쪽으로 들어오는 흐름을 창조류, 썰물 때 바닷물이 바다 쪽으로 빠져나가는 흐름을 낙조류라고 한다. 조석 주기는 일반적으로 약 12시간 25분 주기로 밀물과 썰물이 반복되며, 이는 달의 공전 주기와 관련이 있다.

명량 해전의 주요 무대인 울돌목은 폭이 약 300m 정도로 매우 좁은 해협이다. 넓은 바다에서 좁은 해협으로 물이 통과하면 유속이 급격하게 빨라지는 현상이 발생한다. 또한 울돌목의 해저에는 암반과 암초들이 불규칙하게 솟아 있어 이러한 지형은 조류의 흐름을 더욱 복잡하게 만들고, 소용돌이를 발생시키는 원인이 된다.

울돌목의 최대 유속은 초속 5~6m에 달할 정도로 매우 빠르다. 이는 일반적인 해협의 조류 속도보다 훨씬 빠른 속도이며, 선박을 제대로 조종하기 어려울 정도이다. 울돌목이라는 이름 자체가 물이 우는 목이라는 뜻으로 거센 물살이 암반에 부딪히며 나는 소리에서 유래되었다고 한다. 울돌목의 조류는 밀물과 썰물에 따라 방향이 180°로 바뀌며 그 변화가 매우 급격하게 일어나 선박의 항해를 더욱 어렵게 만든다.

명량 해전에서 이순신 장군은 일본 수군을 울돌목으로 유인하여 좁은 해협과 거센 물살에 가두려 하였으며, 일본 수군이 울돌목에 진입했을 때 조류의 방향이 바뀌는 시점을 이용하여 일본 수군의 전열을 붕괴시켜 개별적으로 공격하는 전술을 사용하였다. 특히 일본 수군이 밀물에 의해 울돌목으로 들어왔을 때 썰물로 바뀌면서 일본 수군이 밖으로 나가지 못하고 서로 충돌하게 만드는 효과를 노렸다.

2. 고양이 눈으로 시간 추정

사람을 비롯한 포유류의 눈은 밝기에 따라 동공의 크기가 변한다. 영화 명량에서는 와

키자카가 고양이 눈을 보고 시간을 유추하는 장면이 나온다. 밝은 대낮에는 동공이 가늘게 찢어진 모양이 되고, 어두운 밤에는 동공이 크게 확장된다. 특히 정오 무렵, 즉 해가 가장 높이 떠 있을 때 고양이의 동공은 가장 가늘어진다. 즉 와키자카는 고양이의 눈 변화를 이용하여 대략적인 시간을 짐작하려 했던 것으로 보인다.

빛의 밝기와 동공 크기의 변화는 눈이 빛의 양에 적응하는 중요한 생리적 현상이다. 동공은 홍채의 중앙에 있는 검은 부분으로 눈으로 들어오는 빛의 양을 조절하는 역할을 한다. 동공의 주된 역할은 망막에 도달하는 빛의 양을 조절하여 시각 기능을 최적화하는 것이다. 밝은 곳에서는 동공이 작아져 망막에 도달하는 빛의 양을 줄이고, 어두운 곳에서는 동공이 최대한 커져 많은 빛을 받아들인다. 동공의 크기는 홍채에 있는 두 가지 근육인 동공 조임근과 동공 확대근에 의해 조절된다. 이 두 근육은 자율 신경계의 지배를 받아 의식적인 조절 없이 자동으로 작동한다. 동공 조임근은 부교감 신경의 지배를 받아 동공을 수축시키는 역할을 한다. 밝은 빛에 노출되면 부교감 신경이 활성화되어 동공 조임근이 수축하고 동공이 작아진다. 반대로 동공 확대근은 교감 신경의 지배를 받아 동공을 확대시키는 역할을 한다. 어두운 곳에 들어가면 교감 신경이 활성화되어 동공 확대근이 수축하고 동공이 커진다.

밝은 곳에서 어두운 곳으로 이동하면 처음에는 잘 보이지 않지만 시간이 지나면서 점차 어둠에 익숙해진다. 처음에는 밝은 빛에 의해 동공이 최대한 수축되어 있었지만 어두운 곳에 들어가면 교감 신경이 활성화되어 동공 확대근이 수축하기 시작하고, 동시에 부교감 신경의 활동이 억제되어 동공 조임근은 이완된다. 이러한 과정을 통해 동공이 점차 확대되어 어둠 속에서도 사물을 볼 수 있게 된다. 이 과정을 암순응이라고 한다.

3. 부력

부력은 유체(액체 또는 기체) 속에 잠긴 물체가 유체로부터 받는 중력의 반대 방향으로 작용하는 힘이다. 즉 물체를 위로 밀어 올리려는 힘이라고 생각하면 된다. 물 위에 떠 있는 배, 공중에 떠 있는 풍선 모두 부력의 원리로 설명할 수 있다.

아르키메데스는 목욕탕에서 물이 넘치는 것을 보고 부력의 원리를 발견했다고 전해진다. 유체 속에 완전히 혹은 부분적으로 잠긴 물체는 그 물체가 밀어낸 유체의 무게와 같은 크기의 부력을 받는다는 것이다. 즉 물체가 물속에 잠긴 부피만큼의 물의 무게가 바로 부력의 크기가 되는 것이다.

부력의 크기(F)는 유체의 밀도(ρ), 유체에 잠긴 물체의 부피(V), 중력 가속도(g)를 곱하여 구할 수 있다. 즉 유체의 밀도가 클수록, 물체의 잠긴 부피가 클수록, 중력 가속도가 클수록 부력이 커진다.

부력은 중력에 의해 발생하는 압력 차이 때문에 생긴다. 유체 속에서 물체는 모든 방향에서 압력을 받는데, 물체의 아랫부분이 윗부분보다 더 깊은 곳에 있기 때문에 더 큰 압력을 받는다. 이 압력 차이 때문에 물체를 위로 밀어 올리는 힘인 부력이 발생한다. 물

체의 무게가 부력보다 작을 때 물체는 떠오르게 되고, 물체의 무게와 부력이 같을 때 물체는 유체 속에서 정지(떠 있는 상태를 유지)한다. 여기서 물체의 무게는 물체의 밀도와 부피의 곱으로 계산할 수 있다.

영화에서 조선 수군의 판옥선이나 일본군의 함선은 그 자체의 무게가 어마어마하다. 거기에 사람이 탑승하고, 무기 등의 무게까지 더하게 되면 엄청나다. 하지만 선박의 속은 대부분 비어 있는 부분이기 때문에 전체적인 밀도는 물보다 낮다. 따라서 부력이 배의 무게보다 커서 물에 뜰 수 있다.

4. 포탄의 포물선 운동

명량 해전에서 조선 수군은 화포를 이용하여 일본 수군에 맞섰다. 화포에서 포탄을 발사하면 포탄은 포물선 운동을 하여 목표물로 이동한다.

포물선 운동은 수평 방향의 운동과 수직 방향의 운동이 결합된 형태이다. 공기 저항을 무시할 경우 수평 방향으로의 외부 힘이 작용하지 않으므로 등속 운동을 한다. 즉 일정한 속도로 수평 방향으로 이동한다. 수직 방향의 운동은 중력의 영향을 받아 등가속도 운동을 한다. 위로 던져진 물체는 중력에 의해 속도가 점점 줄어들다가 최고점에서 속도가 0이 되고, 이후에는 중력 방향으로 가속하여 아래로 떨어진다. 이 두가지 운동이 합쳐져서 포물선 형태의 궤적을 그리게 된다.

포탄의 포물선 운동은 발사 각도, 초기 속도, 중력 가속도를 고려하여야 한다. 발사 각도는 포탄이 수평면과 이루는 각도로 발사 각도에 따라 포탄의 도달 거리와 최고 높이가 달라진다. 초기 속도는 포탄이 발사되는 순간의 속도이다. 초기 속도가 클수록 포탄은 더 멀리 날아갈 수 있다. 중력 가속도는 지구의 중력에 의해 발생하는 가속도로 약 9.8m/s^2 이다.

공기 저항을 무시할 경우 수평 방향과 수직 방향의 운동은 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x &= v_0 t \cos(\theta) & (x: \text{수평 거리}, t: \text{시간}, \theta: \text{발사 각도}) \\ y &= v_0 t \sin(\theta) - \frac{1}{2} g t^2 & (y: \text{수직 거리}, t: \text{시간}, \theta: \text{발사 각도}) \end{aligned}$$

실제 포탄 운동은 공기 저항, 지구 자전(코리올리 효과), 바람 등 다양한 요소의 영향을 받는다. 공기 저항은 포탄의 속도를 줄이고 궤적을 짧게 만드는 역할을 한다. 특히 포탄의 속도가 빠를수록 공기 저항의 영향이 커진다. 코리올리 효과는 지구 자전으로 인해 발생하는 힘으로 장거리 포탄의 경우 궤적에 영향을 미칠 수 있다. 바람의 방향과 세기에 따라 포탄의 궤적이 영향을 받을 수 있다.

그림 출처

• 명량 포스터, CGV 홈페이지



'블랙팬서' 속 과학

◆ 개요

2018년 개봉한 마블 스튜디오의 영화로 와칸다에만 존재하는 지구 최강의 희귀 금속 비브라늄과 와칸다의 왕좌를 두고 사촌 간 다툼을 하는 이야기를 묘사하였다. 특히 영화에는 부상이 살짝 등장한다.

◆ 과학적 요소

1. 자기부상열차

영화 속 와칸다에는 물질 수송을 위해 자기부상열차가 등장한다.

자기부상열차는 자기력을 이용하여 열차를 선로 위로 부상시켜 움직이는 열차이다. 바퀴와 레일 사이의 마찰을 최소화하여 기존의 바퀴식 열차보다 훨씬 빠른 속도와 부드러운 승차감을 제공한다.

자기부상열차의 핵심 원리는 전자기 유도과 자기 반발력 또는 흡인력을 이용하는 것이다. 자석의 같은 극끼리는 밀어내고, 다른 극끼리는 끌어당기는 성질을 이용하여 열차를 선로 위에 띄우고 추진력을 얻는다. 자석의 같은 극

끼리는 밀어내고 다른 극끼리는 끌어당기는 성질을 이용하여 열차를 선로 위에 띄우고 추진력을 얻는다. 열차 하부와 선로에 자석(전자석 또는 영구자석)을 설치하여 같은 극끼리 마주보게 하면 서로 밀어내는 반발력이 발생한다. 이 반발력을 이용하여 열차를 선로 위로 띄우는 것이 부상의 기본 원리이다. 열차를 앞으로 나아가게 하기 위해서는 선로에 설치된 전자석의 극성을 바꿔줘야 한다. 예를 들어 열차 앞쪽의 선로 전자석은 열차와 다른 극으로 당기고 뒤쪽의 선로 전자석은 같은 극으로 밀어내



〈블랙팬서 공식 포스터〉

면 열차는 앞으로 나아가게 된다.

자기부상열차의 부상 방식은 전자석 흡인식과 전자석 반발식, 영구자석 부상식 세 가지가 있다. 전자석 흡인식(EMS)은 열차 하부에 전자석을 설치하고, 선로에는 철로 된 레일을 설치한다. 전자석의 힘으로 열차를 레일 쪽으로 끌어당겨 부상시키는 방식이다. 부상 높이가 낮고 정밀한 제어가 필요하지만, 기술적으로 비교적 간단하고 건설 비용이 저렴하다는 장점이 있다. 전자석 반발식(EDS)은 열차 하부에 초전도 자석을 설치하고, 선로에는

코일을 설치한다. 열차가 움직이면서 선로의 코일에 전류가 유도되고, 이 전류에 의해 발생한 자기장과 열차의 초전도 자석 사이의 반발력을 이용하여 부상시키는 방식이다. 부상 높이가 높고 안정적인 주행이 가능하지만 고속 주행 시에만 부상이 가능하고 건설 비용이 높다는 단점이 있다. 영구자석 부상식은 열차와 선로에 영구자석을 설치하여 반발력을 높여주는 방식이다. 별도의 전력 공급이 필요 없어 유지 보수 비용이 적지만, 부상 높이가 낮고 속도를 높이는 데 한계가 있다.

2. 방탄복

영화에 등장하는 블랙팬서는 비브라늄이라는 가상의 광물로 만들어진 수트를 입고 있다. 블랙팬서의 수트는 총알을 막아내는 방탄 능력을 갖추고 있다. 방탄복은 총알이나 파편으로부터 신체를 보호하기 위해 착용하는 보호 장비이다. 단순히 총알을 튕겨내는 것이 아니라 총알의 운동 에너지를 흡수하고 분산시켜 인체에 가해지는 충격을 최소화하는 원리로 작동한다.

방탄복의 핵심은 고강도 소재를 사용하여 총알의 운동 에너지를 흡수하고 넓은 면적으로 분산시키는 것이다. 총알이 방탄복에 충돌하면 총알은 변형되거나 파괴되면서 운동 에너지 일부가 소모된다. 방탄 소재가 여러 겹으로 이루어져 있어 각 층

은 충격을 흡수하고 다음 층으로 전달하는 역할을 한다. 이를 통해 충격이 넓은 면적으로 분산되어 인체에 가해지는 압력을 줄인다.

방탄복에는 아라미드 섬유, 케블라(Kevlar), 초고분자량 폴리에틸렌, 세라믹 등이 활용된다. 케블라는 매우 높은 인장 강도와 내열성을 가지고 있어 같은 무게의 강철보다 강도가 5배 강한 것으로 알려져 있다. 또 초고분자량 폴리에틸렌(UHMWPE)은 매우 긴 분자 사슬을 가진 폴리에틸렌으로 높은 충격 흡수력과 가벼운 무게를 자랑한다. 세라믹은 탄화규소(SiC), 산화알루미늄(Al₂O₃) 등의 세라믹 소재는 매우 높은 경도를 가지고 있어, 철갑탄과 같은 고성능 탄환을 막는 데 사용된다. 총알의 충격으로 깨지면서 에너지를 흡수하고, 후속 충격을 완화한다.

3. 홀로그램

영화 속에서 블랙팬서는 와칸다의 신하들과 홀로그램으로 통신한다. 홀로그램(Hologram)은 완전하다는 뜻의 holo와 기록이라는 뜻의 gram이 합쳐진 단어로 3차원 입체 영상을 기록하고 재생하는 기술 또는 그 결과물을 말한다. 단순히 2D 이미지를 3D처럼 보이게 하는 것이 아니라 빛의 간섭 현

상을 이용하여 실제 사물과 똑같은 입체감을 제공하는 것이 특징이다.

홀로그램의 핵심 원리는 빛의 간섭 현상이다. 빛은 파동의 성질을 가지고 있으며, 두 개 이상의 빛이 만나면 서로 간섭하여 밝은 부분과 어두운 부분이 나타나는 현상이 빛의 간섭이다. 홀로그래피

'해운대' 속 과학

◆ 개요

2009년 개봉한 영화로 2004년 인도네시아에서 발생한 쓰나미가 대마도와 해운대를 둘러싼 동해의 상황이 인도네시아 쓰나미와 흡사하다는 사실을 발견하고, 한국이 쓰나미에 안전하지 않다고 강조하였으나 재난 방재청에서 쓰나미가 올 확률은 없다고 단언한다. 하지만 휴가철 엄청난 쓰나미가 해운대로 밀려오면서 일어나는 이야기를 묘사하였다.

◆ 과학적 요소

1. 지진

영화에서 대마도의 지진 발생으로 쓰나미가 들이닥치는 설정이 있다.

지진은 지구 내부의 급격한 지각 변동으로 인해 땅이 흔들리는 현상이다. 이러한 지각 변동은 주로 지구를 구성하는 여러 개의 판(plate)들이 움직이면서 발생합니다. 지진은 예측하기 매우 어려운 자연재해 중 하나이며, 발생 시 큰 인명 및 재산 피해를 초래할 수 있다. 지구 표면은 여러 개의 판으로 나뉘어져 있으며 이 판들은 맨틀 위를 천천히 움직이고 있다. 발산형 경계는 두 개의 판이 서로 멀어지는 경계이다. 이 곳에서는 맨틀에서 마그마가 올라와 새로운 해양 지각이 생성된다. 아이슬란드와 같은 해령에서 주로 발생하며, 비교적 약한 지진이 발생한다. 수렴형 경계는 두 개의 판이 서로 충돌하는 경계이다. 해양판이 대륙판 아래로 섭입하거나, 두 대륙판이 충돌하여 습곡 산맥을 형성한다. 섭입대에서는 매우 강력한 지진이 발생할 수 있으며, 일본, 칠



〈해운대 공식 포스터〉

레, 인도네시아 등에서 발생하는 지진이 대표적이다. 보존형 경계는 두 개의 판이 서로 스쳐 지나가는 경계이다. 이 곳에서는 판이 서로 마찰하면서 에너지가 축적되고, 갑자기 방출되면서 지진이 발생한다. 샌 안드레아스 단층이 대표적이다. 지진은 이러한 판의

(Holography)라는 기술을 통해 홀로그램을 만들게 된다. 홀로그래피는 레이저 광 분할, 간섭 무늬 기록, 홀로그램 재생 과정을 거친다. 레이저 광 분할은 단일 레이저 광선을 두 개로 나누고, 하나는 직접 필름(또는 기록 매체)에 비추고, 다른 하나는 물체에 비추어 후 반사된 빛을 필름에 비춘다. 간섭 무늬 기록은 물체에서 반사된 빛과 직접 필름에 비추는 빛이 만나 간섭 무늬를 형성하고, 이 간섭 무늬가 필름에 기록된다. 여기에는 3차원 정보가 모두 담겨 있다. 기록된 간섭 무늬에 다시 레이저 광을 비추면 원래 물체와 똑같은 3차원 입체 영상인 홀로그램이 재생된다.

4. 투명화

영화 속에서 와칸다의 전투기는 투명해진다. 이러한 투명화 기술은 빛의 굴절을 조절하여 물체를 보이지 않게 하는 것이다.

우리가 물체를 볼 수 있는 이유는 빛이 물체에 반사되어 우리 눈에 들어오기 때문이다. 빛이 물체에 부딪히면 일부는 흡수되고, 일부는 반사되는데 이 중에서 반사된 빛이 우리 눈에 들어와 물체의 색깔과 형태를 인지할 수 있다. 반대로 빛이 물체를 통과하거나 물체를 피해 지나가도록 하면 물체는 투명하게 보인다.

메타 물질은 자연계에 존재하지 않는 특성을 가진 인공 물질이다. 원자나 분자보다 훨씬 큰 인공적인 미세 구조로 이루어져 있어 빛, 전자기파, 음파 등을 자유자재로 조절할 수 있다. 특히 메타 물질은 빛의 굴절을 조절하여 빛을 휘어지게 만들 수 있기 때문에, 투명 망토를 구현하는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다.

홀로그램은 빛의 간섭을 이용하여 실제 사물과 같은 입체 영상을 제공하므로 안경 없이도 어느 각도에서나 입체적으로 볼 수 있어 기존의 3D 영상과는 차별성이 있다.

홀로그램에는 레이저 광을 홀로그램 필름 뒤에서 비추어 영상을 재생하는 전송 홀로그램, 백색광을 홀로그램 필름 앞에서 비추어 영상을 재생하는 반사 홀로그램, 간섭 무늬를 플라스틱 필름 등에 찍어내는 방식으로 대량 생산이 가능한 엠보싱 홀로그램, 컴퓨터 그래픽스를 이용하여 간섭 무늬를 계산하고 필름에 기록하는 컴퓨터 생성 홀로그램이 있다.

메타 물질은 특수한 미세 구조를 통해 빛의 굴절을 조절한다. 굴절률은 빛이 물질 속을 통과할 때 속도가 얼마나 느려지는지를 나타내는 값으로, 메타 물질은 이 굴절을 자유롭게 조절하여 빛을 원하는 방향으로 휘어지게 만들 수 있다. 특히 음의 굴절률을 가진 메타 물질을 사용하면 빛이 일반적인 물질에서 휘는 방향과 반대 방향으로 휘어지도록 만들 수 있다. 또 메타 물질로 만든 망토를 물체에 덮으면 빛이 망토를 따라 휘어져 물체를 우회하게 된다. 즉 빛이 물체를 피해 돌아가는 것이다. 따라서 관찰자는 물체 대신 뒤쪽의 배경을 보게 되어 물체가 투명해 보이는 효과를 얻을 수 있다.

그림 출처

• 블랙팬서 포스터, CGV 홈페이지



경계에서 주로 발생하지만, 판 내부에서도 단층의 활동이나 화산 활동에 의해 발생할 수 있다.

지진의 크기를 나타내는 척도로는 규모와 진도가 있다. 규모는 지진 자체의 에너지 크기를 나타내는 척도로, 리히터 규모(Richter scale) 또는 모멘트 규모(Moment magnitude scale)가 사용된다. 규모는 로그 스케일로, 규모가 1 증가할 때마다 에너지는 약 32배 증가한다. 예를 들어, 규모 6의 지진은 규모 5의 지진보다 약 32배의 에너지를 방출한다. 진도는 지진으로 인해 지표면에서 느껴지는 흔들림의 정도를 나타내는 척도로, 수정 메르칼리 진도 계급(Modified Mercalli Intensity scale)이 사용된다. 진도는 지진 발생 지점에서의 거리, 지반의 상태, 건물의 구조 등에 따라 달라진다. 같은 규모의 지진이라도 진앙에서 가까울수록, 지반이 약할수록 진도가 높게 나타난다. 규모는 관측하는 지점이 달라도 같게 측정되지만 진도는 진원과 멀어질수록 작게 측정된다.

지진이 발생하면 땅속에서 여러 종류의 파동이 발생하는데 이를 지진파라고 한다. 지진파에는 P파, S

2. 쓰나미

쓰나미는 지진, 화산 폭발, 해저 산사태 등으로 인해 해저에서 발생한 큰 파도가 해안으로 밀려오는 현상이다. 일본어 Tsunami에서 유래된 용어로 항구의 파도라는 뜻을 가지고 있다. 일반적인 바람에 의한 파도와 달리 쓰나미는 엄청난 에너지와 파괴력을 가지고 있어 해안 지역에 막대한 피해를 입힐 수 있다. 쓰나미는 주로 해저에서 발생한 지진에 의해 발생한다. 지진으로 인해 해저 지반이 수직 방향으로 급격하게 움직이면, 그 위에 있던 해수가 함께 움직이면서 큰 파도가 발생한다. 이러한 파도는 먼 바다까지 전파되다가 해안에 이르러 거대한 해일로 변한다. 해저 지진은 쓰나미의 가장 흔한 원인으로 특히 해저 단층에서 발생하는 대규모 지진이 쓰나미를 유발할 가능성이 높다. 또 해저 화산 폭발이나 화산체의 붕

파, 표면파가 있다. P파(Primary wave)는 종파라고도 하며, 지진파 중에서 가장 빠른 속도로 전달된다. 고체, 액체, 기체를 모두 통과할 수 있으며, 진행 방향과 같은 방향으로 매질을 진동시킨다. S파(Secondary wave)는 횡파라고도 하며, P파보다 느린 속도로 전달된다. 고체만 통과할 수 있으며, 진행 방향과 수직 방향으로 매질을 진동시킨다. 표면파(Surface wave)는 P파와 S파가 지표면에 도달하면서 발생하는 파동으로, 속도는 느리지만 진폭이 크기 때문에 지표면에 큰 피해를 준다. 러브파(Love wave)와 레일리파(Rayleigh wave)가 있습니다.

현재 기술로는 지진 발생 시점과 규모를 정확하게 예측하는 것은 불가능하다. 하지만 지진 발생 가능성이 높은 지역을 파악하고, 지진 발생 시 피해를 최소화하기 위한 대비는 가능하다. 지진 조기 경보 시스템은 지진 발생 직후 P파를 감지하여 S파가 도달하기 전에 경보를 발령하는 시스템이다. 이 경보 시스템은 대피 시간을 확보하는 데 도움이 될 수 있다. 건축물의 내진 설계는 지진에 강한 건축물을 설계하여 지진 피해를 최소화할 수 있다.

괴, 해저 산사태도 쓰나미를 발생시킬 수 있다. 매우 드문 경우이긴 하지만 거대한 운석이 바다에 충돌할 경우에도 쓰나미가 발생할 수 있다.

쓰나미는 일반 파도에 비해 파장이 매우 길다. 먼 바다에서는 파고가 낮아 눈에 잘 띄지 않지만, 해안에 가까워질수록 파고가 급격히 높아진다. 또 쓰나미의 전파 속도는 먼 바다에서 매우 빠르게 전파된다. 수심이 깊을수록 속도가 빨라지며, 태평양과 같이 수심이 깊은 곳에서는 시속 700km 이상으로 전파될 수 있다. 해안에 가까워지면 수심이 얕아지면서 파도의 속도는 느려지지만 파고는 급격히 높아진다. 이러한 현상 때문에 해안 지역에서는 큰 피해를 입을 수 있다. 또 쓰나미는 한 번의 큰 파도로 끝나는 것이 아니라 여러 차례의 파도가 연속적으로 밀려온다는 특

징을 갖고 있다. 첫 번째 파도보다 이후의 파도가 더 클수도 있으므로 첫 번째 파도가 지나갔다고 해서 안심할 수 없다. 쓰나미가 오기 전에 해안에서 해수면이 갑자기 낮아지는 현상이 나타날 수 있다. 이는 쓰나미의 전조 현상으로, 이러한 현상이 관측되면 즉시 높은 곳으로 대피해야 한다. 마치 물이 빠지는 썰물처럼 보일수도 있지만 이는 곧 엄청난 파도가 들이닥

칠 것이라는 신호이다.

쓰나미 경보가 발령되면 해안에서 멀리 떨어진 높은 곳으로 즉시 대피해야 한다. 해안에서 최소 1km 이상 떨어진 곳이나 해발 고도 10m 이상의 높은 곳으로 대피하는 것이 안전하다. 튼튼한 고층 건물도 대피 장소로 활용할 수 있다.

3. 심폐소생술

영화에서 바다 레저 스포츠를 하다 물에 빠져 의식을 잃은 사람에게 구조대원이 심폐소생술을 하는 장면이 나온다.

심폐소생술(CPR)은 심장 기능이 갑자기 멈추거나 호흡이 멈췄을 때, 즉 심정지 상황에서 생명을 구하기 위해 실시하는 응급처치이다. 심폐소생술은 인공적으로 혈액 순환을 유지하고 산소를 공급함으로써 뇌 손상을 최소화하고 생존 가능성을 높이는 데 목적이 있다. 심정지 후 4~5분 이내에 심폐소생술을 실시하지 않으면 뇌 손상이 시작될 수 있기 때문에, 신속한 대처가 매우 중요하다.

과거에는 기도 확보(Airway), 인공 호흡(Breathing), 가슴 압박(Chest Compression) 순서의 ABC 접근법을 사용했지만, 현재는 흉부 압박을 가장 먼저 시행하는 CAB 접근법을 권장한다. 이는 흉부 압박을 통해 혈액 순환을 유지하는 것이 무엇보다 중요하기 때문이다.

심폐소생술을 실시 하기 전에 먼저 환자의 의식을 확인하고, 주변 사람에게 부탁하여 119 신고와 자동 제세동기를 가져와 달라고 부탁하여야 한다. 그리고 119 구조대와 자동제세동기가 오기 전까지 환자가 의식을 찾기 전까지 가슴 압박을 계속하여야 한다.

가슴 압박은 환자를 단단하고 평평한 바닥에 똑바로

눕힌 뒤 환자 가슴의 중앙에 한 손의 손꿈치를 대고, 다른 손으로 그 위를 덮는다. 손가락은 가슴에서 떼고, 팔꿈치를 곧게 펴서 환자의 가슴과 수직이 되도록 한다. 성인의 경우 가슴이 약 5~6cm 깊이로 눌릴 정도로 강하고 빠르게 압박한다. 압박 속도는 분당 100~120회로 유지하여야 한다. 압박 후에는 가슴이 완전히 이완되도록 하여 혈액이 심장으로 다시 채워질 수 있도록 한다.

만약 인공 호흡을 시행하기 어렵거나 꺼려지는 경우 가슴 압박만 지속적으로 시행하는 것도 효과적이다. 자동제세동기(자동심장충격기, AED)는 심정지 환자에게 전기 충격을 주어 심장 박동을 정상으로 회복시키는 의료 기기이다. AED는 안내되는 음성에 따라 시행하면 되며, 사용법은 전원 켜기, 패드 부착, 심장 리듬 분석, 제세동, 심폐소생술 재개 단계로 진행된다. 패드는 안내에 따라 환자의 오른쪽 쇄골 아래, 왼쪽 젖꼭지 아래 옆구리에 부착하고, 제세동을 하기 전에는 안내 음성에 따라 환자 주변에서 떨어져야 한다. 제세동 후에는 즉시 가슴 압박을 다시 시작하고, AED가 2분마다 자동으로 심장 리듬을 분석하고, 필요한 경우 추가적인 전기 충격을 안내한다.

그림 출처

• 해운대 포스터, CGV 홈페이지



'엑시트' 속 과학

◆ 개요

2019년 개봉한 영화로 온 가족이 참석한 어머니의 칠순 잔치 때 의문의 연기가 빌딩에서 피어오르며 피할 새도 없이 순식간에 도심 전체가 유독 가스로 뒤덮여 일대가 혼란에 휩싸이게 된다. 대학교 산악 동아리 출신이었던 두 주인공이 대학생 때 쌓았던 스킬을 동원하여 탈출하는 이야기이다.

◆ 과학적 요소

1. 방독면

영화에서 유독 가스를 흡입하지 않기 위해 방독면을 쓰거나 간이 방독면을 착용하는 장면이 나온다. 방독면은 유해한 화학 물질, 생물학적 작용제, 방사성 물질 또는 화재 시 발생하는 유독 가스와 미립자로부터 호흡기를 보호하는 장비이다. 단순히 냄새를 막는 마스크와는 달리 특수한 필터(정화통)를 사용하여 유해 물질을 걸러낸다.

방독면의 안면부는 얼굴에 밀착되어 외부 공기가 직접 호흡기로 들어가지 않도록 막아주는 부분이다. 재질은 주로 고무나 실리콘으로 만들어지며, 얼굴 형태에 맞춰 밀착될 수 있도록

디자인되어 있다. 안면부는 눈을 보호하는 렌즈와 공기를 흡입하고 배출하는 밸브가 있습니다. 방독면의 정화통은 유해 물질을 걸러내는 필터가 내장된 용기이다. 정화통 내부에는 활성탄, 화학 흡수제, 특수 필터 등 다양한 여과재가 들어 있어 특정 유해 물질을 제거하는 역할을 한다. 정화통은 안면부에 연결되어 사용하며, 유해 물질의 종류에 따라 적합한 정화통을 선택해야 한다.



〈엑시트 공식 포스터〉

2. 회전 운동

방독면은 사용 목적과 방호 대상에 따라 전면형, 반면형, 송기식, 특수목적 방독면으로 나뉜다. 전면형 방독면은 얼굴 전체를 덮는 형태로, 눈, 코, 입 등 호흡기뿐만 아니라 얼굴 피부까지 보호하고, 반면형 방독면은 코와 입만 덮는 형태로, 전면형에 비해 착용이 간편하지만 눈은 보호하지 못한다. 송기식 방독면은 외부의 깨끗한 공기를 호스를 통해 공급받는 형태로, 장시간 작업이나 고농도의 유해 물질에 노출되는 환경에서 사용되며, 특수목적 방독면은 특정 유해 물질(예: 염소 가스, 암모니아 가스)에 특화된 정화통을 사용하는 방독면이다.

활성탄이 들어 있는 정화통은 유기 가스, 증기 등을 흡착하는 활성탄을 주 여과재로 사용하며, 일반적인 유독 가스 방호에 사용된다. 화학 흡수제 정화통은 특정 화학 물질과 반응하여 무해한 물질로 변환시키는 화학 흡수제를 사용하여 산성 가스, 염기성 가스, 특정 독성 가스 등을 방호한다. 방사성 분진, 생물학적 에어로졸을 방호할 때는 입자 필터 정화통을 사용하고, 여러 종류의 여과재를 함께 사용하여 다양한 유해 물질을 방호할 수 있는 복합식 정화통도 있다. 정화통은 사용 시간 또는 보관 기간이 제한되어 있으므로, 사용 전에 유효 기간을 확인해야 한다. 한번 개봉한 정화통은 사용하지 않았더라도 시간이 지나면 성능이 저하될 수 있으므로, 제조사의 지침에 따라 교체해야 한다.

방독면을 착용해야 하는 경우에는 유해 물질에 적합한 정화통을 선택하여야 하고, 안면부를 얼굴에 밀착시켜 외부 공기가 새어 들어가지 않도록 해야 한다. 또 머리카락을 적절히 조절하여 얼굴에 단단히 고정시켜야 한다.

영화에서 주인공이 유리창을 깨기 위해 케틀벨을 회전시켜 던지는 장면이 나온다. 케틀벨을 회전시켜 던졌을 때 물체의 속력은 그냥 던졌을 때보다 더 빠를 수 있다. 회전 운동은 물체가 어떤 축을 중심으로 회전하는 운동을 말한다. 일상생활에서 쉽게 찾아볼 수 있는데, 돌아가는 바퀴, 회전하는 지구, 돌아가는 팬 등이 모두 회전 운동의 예시이다. 회전 운동은 선형 운동과는 다른 특징을 가지며, 이를 설명하기 위한 여러 물리량과 법칙들이 존재한다.

회전 운동을 이해하기 위해서는 회전축, 각변위, 각속도, 각가속도를 알아야 한다. 회전축은 회전의 중심이 되는 직선으로 물체는 이 축을 중심으로 회전한다. 각변위는 물체가 회전한 각도의 변화량으로 단위는 라디안(radian)을 사용한다. 각속도는 단위 시간당 각변위의 변화량으로 얼마나 빠르게 회전하는지를 나타내는 물리량이다. 단위는 라디안/초(rad/s)를 사용한다. 각가속도는 단위 시간당 각속도의 변화량으로 회전 속도가 얼마나 빠르게 변하는지를 나타내는 물리량이다. 단위는 라디안/초²(rad/s²)를 사용한다.

회전 운동과 선형 운동을 비교하면 선형 운동의 변위는 회전 운동의 각변위, 속도는

각속도, 가속도는 각가속도, 질량은 관성 모멘트, 힘은 토크, 운동량은 각운동량으로 대응된다. 특히 선형 운동의 질량에 대응하는 관성 모멘트는 회전 운동에서 매우 중요하다. 관성 모멘트는 물체가 회전 운동을 유지하려는 성질, 즉 회전에 대한 저항을 나타내는 물리량이다. 같은 질량이라도 질량 분포에 따라 관성 모멘트가 달라진다. 질량이 회전축에서 멀리 떨어져 있을수록 관성 모멘트가 커진다. 피겨 스케이팅 선수가 회전할 때 팔을 몸에 붙이면 회전 속도가 빨라지는 것은 관성 모멘트가 작아지기 때문이다.

그림 출처

• 엑시트 포스터, CGV 홈페이지



'판도라' 속 과학

◆ 개요

2016년 개봉한 영화로 역대 최대 규모의 강진에 이어 원자력 폭발 사고까지 예고 없이 찾아온 초유의 재난 앞에 한반도 일대는 혼란에 휩싸이고 믿었던 컨트롤 타워마저 사정없이 흔들리는 상황에서 2차 폭발의 위험을 막기 위해 목숨을 거는 주인공의 이야기를 그린 영화이다.

◆ 과학적 요소

1. 원자력 발전

영화의 주요 소재는 부산, 울산, 경주 쪽에 위치한 원자력 발전소이다.

원자력 발전은 우라늄과 같은 원자핵의 핵분열 과정에서 발생하는 에너지를 이용하여 전기를 생산하는 방식이다. 화력 발전이 석탄이나 석유를 태워 열을 얻는 것과 달리, 원자력 발전은 핵분열이라는 원자 수준의 반응을 이용하는 것이 특징이다.

원자력 발전의 핵심은 핵분열이다. 핵분열은 무거운 원자핵이 중성자와 충돌하여 두 개 이상의 가벼운 원자핵으로 쪼개지는 현상이다.

이 과정에서 엄청난 양의 에너지가 방출되는

데, 이 에너지를 이용하여 물을 끓여 증기를 만들고, 이 증기로 터빈을 돌려 전기를 생산하는 것이 원자력 발전의 기본 원리이다. 핵분열 과정은 중성자가 우라늄-235(^{235}U) 원자핵과 충돌 후 ^{235}U 원자핵이 불안정해지면서 두 개 이상의 가벼운 원자핵과 몇 개의 중성자로 쪼개진다. 이때 질량의 일부가 에너지로 변환된다. 이때 생성되는 에너지의 양은 아인슈타인의 유명한 공식인 $E=mc^2$ 에 따라 아주 작은 질



〈판도라 공식 포스터〉

량의 변화에도 엄청난 에너지가 방출된다. 핵분열 과정에서 방출된 중성자는 또 다른 ^{235}U 원자핵과 충돌하여 연쇄적인 핵분열 반응을 일으킨다. 원자력 발전의 원자로 내에서는 중성자 흡수 물질을 사용하여 핵분열 속도를 조절한다. 이를 통해 원자로의 출력을 제어하고 안전하게 운영할 수 있다.

원자력 발전소는 원자로, 증기 발생기, 터빈, 발전기, 복수기로 구성되어 있다. 원자로에서는 핵분열 반응이 일어나는 곳으로 핵연료, 감속재(중성자 속도 조절), 제어봉(핵분열 속도 조절), 냉각재(핵분열로 발생한 열을 전달)로 구성된다. 증기 발생기는 원자로에서 가열된 냉각재의 열을 이용하여 물을 끓여 증기를 만든다. 이때 생긴 증기로 터빈이 회전하여 발전기를 돌리고, 발전기에서 터빈의 회전 운동이 전기 에너지로 변환된다. 복수기는 터빈을 거친 증기를 냉각하여 물로 응축시키는 장치이다. 원자력 발전은 적은 양의 핵연료로도 많은 양의 전기를 생산할 수 있으며, 발전 과정에서 이산화탄소와 같은 온실가스 배출량이 적어 기후 변화 문제에 대한 대안으로 고려될 수 있고, 날씨나 계절의 영향을 적게 받는다는 장점이 있다. 하지만 핵연료의 방사성 물질 유출 사고 발생 시 심각한 환경 오염과 인명 피해가 초래될 수 있고, 사용 후 핵연료는 방사성 물질을 포함하고 있어 안전하게 관리해야 하며, 발전소 건설에 막대한 비용이 소모된다는 단점이 있다.

2. 방사능 유출

영화에서 방사능에 피폭된 사람들이 등장한다. 이처럼 방사능 유출은 인류뿐만 아니라 환경에 심각한 피해를 줄 수 있다. 방사성 물질이 환경으로 방출되면 인체에 직접적인 영향을 미치기도 하지만 토양, 물, 공기 등 환경 전반을 오염시켜 장기적인 피해를 야기시킨다. 실제 방사능 유출 사고 사례는 1986년 체르노빌 원전 사고, 2011년 후쿠시마 원전 사고가 있다.

방사능(방사선)은 인체의 세포를 손상시키고 DNA 변이를 유발한다. 방사선 피폭량과 피폭 방식에 따라 나타나는 증상은 다르다. 급성 방사선 증후군(ARS)은 단시간에 고량의 방사선에 피폭되었을 때 나타난다. 증상은 피폭량에 따라 다르지만, 일반적으로 메스꺼움, 구토, 설사, 탈모, 백혈구 감소, 면역력 저하 등이 나타나며, 심한 경우 사망에 이를 수 있다. 만성 방사선 영향은 장기간에 걸쳐 저량의 방사선에 피폭되었을 때 나타나는 영향이다. 암 발생 위험 증가, 백내장, 유전적 영향 등이 나타날 수 있다. 특히, 어린이와 태아는 방사선에 더 민감하기 때문에 더욱 주의해야 한다. 또 방사선은 생식 세포의 DNA를 변형시켜 유전적 이상을 초래할 수 있다. 이는 후대에 유전 질환이나 기형을 유발할 가능성을 높인다. 방사성 물질이 호흡, 음식 섭취, 피부 접촉 등을 통해 체내에 들어오는 경우, 내부 장기에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 특히, 방사성 요오드는 갑상샘에, 방사성 세슘은 근육에 축적되어 장기적인 건강 문제를 일으킬 수 있다.

방사성 물질은 토양, 물, 공기를 오염시켜 생태계 전반에 심각한 영향을 미친다. 방사성 물질이 토양에 축적되면 농작물, 가축 등을 통해 인간에게 유입될 수 있다. 또한, 토양의 미생물 생태계를 파괴하여 토양의 생산성을 저하시킬 수 있다. 방사성 물질이 강, 호수, 바다 등에 유입되면 수생 생물에 영향을 미치고, 먹이사슬을 통해 인간에게 유입될 수 있다. 그리고 공기 중에 확산될 경우 호흡을 통해 인체에 흡수될 수 있다. 또한, 방사성 물질이 포함된 먼지나 비는 넓은 지역을 오염시킬 수 있다. 방사성 물질은 동식물의 생식 기능, 성장, 생존 등에 영향을 미쳐 생태계 균형을 파괴할 수 있다.

그림 출처

• 판도라 포스터, CGV 홈페이지



'감기' 속 과학

◆ 개요

호흡기로 감염되고, 치사율 100%의 유례 없는 최악의 바이러스가 대한민국에 발병하고, 정부는 국가 재난 사태를 발령한다. 피할 새도 없이 격리된 사람들은 혼란에 휩싸이고, 치료제를 찾기 위한 사람들의 목숨 건 사투가 시작된다.

◆ 과학적 요소

1. 바이러스

바이러스는 살아 있는 생물과 무생물의 경계에 있는 독특한 존재이다. 바이러스는 스스로 살아 갈 수 없고, 다른 생물의 세포(숙주 세포)에 침입하여 그 기능을 이용해 증식할 수 있다.

바이러스는 핵산과 캡시드라는 부분으로 이루어진 매우 단순한 구조를 갖는다. 핵산은 바이러스의 유전 정보를 담고 있는 DNA 또는 RNA로 구성된다. 모든 생물은 DNA와 RNA를 모두 가지고 있지만, 바이러스는 둘 중 하나만 가지고 있다. 즉, DNA 바이러스 또는 RNA 바이러스로 나뉜다. 핵산은 바이러스의 종류에 따라 단일 가닥(single-stranded) 또는 이중 가닥(double-stranded) 형태를 가질 수 있다. 캡

시드는 핵산을 둘러싸고 있는 단백질 껍질이다. 캡시드는 핵산을 보호하고, 바이러스가 숙주 세포에 부착하는 것을 돕는 역할을 한다. 캡시드는 여러 개의 단백질 소단위체(캡소미어)로 구성되어 있으며, 바이러스의 종류에 따라 다양한 모양을 가진다. 일부 바이러스는 캡시드 바깥에 외피라는 지질 막을 갖기도 한다. 외피는 숙주 세포의 막에서 유래된 것으로 바이러스가 숙주 세포에 침입하는 것을 더욱 쉽게 한다.

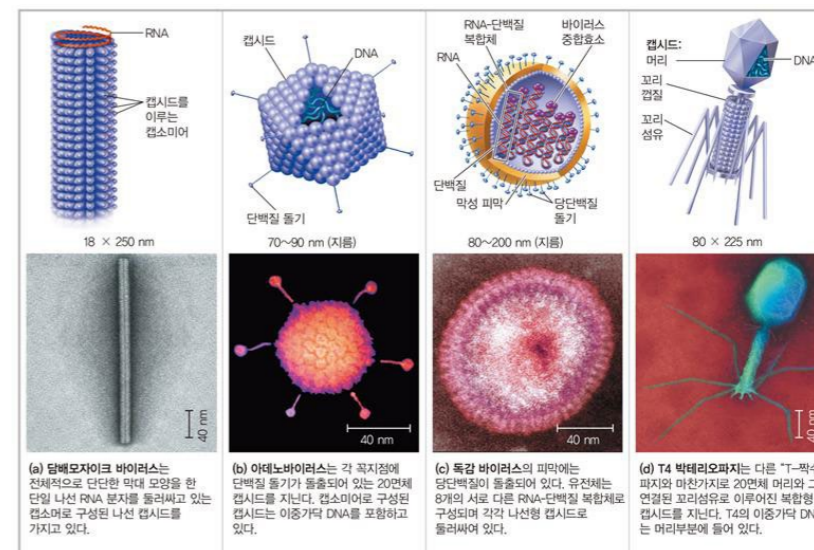
바이러스는 스스로 물질대사를 할 수 없기 때문에 숙주 세포의 기능을 이용하여 자신의



〈감기 공식 포스터〉

유전 물질을 복제하고 새로운 바이러스를 만든다. 박테리아(세균)보다 훨씬 작으며 광학 현미경으로 관찰하기 어렵고 전자현미경을 이용하여 관찰할 수 있다. 특히 RNA 바이러스의 경우 DNA 바이러스에 비해 변이율이 매우 높아 새로운 변종이 쉽게 나타날 수 있다. 이는 백신 개발과 치료에 어려움을 초래하기도 한다.

바이러스가 증식하기 위해서는 먼저 숙주 세포의 표면에 부착하는 과정이 필요하다. 이후 바이러스의 핵산이 숙주 세포 내로 들어가고, 숙주 세포의 효소를 이용하여 바이러스의 유전 물질이 복제되고, 단백질이 만들어진다. 복제된 유전 물질과 단백질 껍질이 조립되어 새로운 바이러스가 만들어지고, 새로운 바이러스는 숙주 세포 밖으로 방출되어 다른 세포를 감염시킨다.



〈여러 바이러스의 형태〉

바이러스에 의한 대표적인 질병으로는 감기, 독감, 홍역, 에이즈, 코로나-19 등이 있다.

2. 백신

백신은 특정 질병에 대한 면역력을 획득하게 하여 해당 질병을 예방하는 데 사용되는 의약품이다. 우리 몸의 면역 체계를 자극하여 마치 그 질병에 걸렸던 것처럼 항체를 만들도록 유도하는 원리를 이용한다. 즉, '가짜 적'을 보여줘서 '진짜 적'이 나타났을 때 효과적으로 싸울 수 있도록 훈련시키는 것이다. 우리 몸의 면역 체계는 외부에서 침입한 병원체(세균, 바이러스 등)를 기억하는 능력을 가지고 있다. 이를 '면역 기억'이라고 한다. 백신은 이러한 면역 기억을 활용한다.

백신은 약화시키거나 죽인 병원체(또는 병원체의 일부)인 '항원'을 포함하고 있다. 이 항원은 체내에 주입되면 면역 세포들은 이를 외부 침입자로 인식하여 공격한다. 면역 세포들이 항원을 공격하는 과정에서 특정 항원에 대한 '항체'를 생성한다. 항체는 특정 병원체에 결합하여 그 기능을 무력화시키는 역할을 한다. 항체가 생성됨과 동시에 면역 체계는 해당 항원에 대한 정보를 '기억 세포'에 저장한다. 이후 동일한 병원체가 체내에 침입하면, 기억 세포는 저장된 정보를 바탕으로 신속하게 항체를 다량 생산하여 병원체를 효과적으로 제거한다.

'백두산' 속 과학

백신은 제조 방식에 따라 약독화 생백신, 불활성화 백신, 독소이드 백신, 서브유닛 백신, mRNA 백신, 바이러스 벡터 백신이 있다. 약독화 생백신은 병원체를 약화시켜 만든 백신입니다. 자연 감염과 유사한 면역 반응을 유도하기 때문에 효과가 뛰어나지만, 면역력이 약한 사람에게는 부작용이 발생할 수 있다. 불활성화 백신은 병원체를 죽여 만든 백신이다. 약독화 생백신에 비해 안전하지만, 면역력이 약하게 형성될 수 있어 여러 차례 접종해야 하는 경우가 많다. 독소이드 백신은 병원체가 분비하는 독소를 약화시켜 만든 백신이다. 독소에 대한 면역력을 형성한다. 서브유닛 백신은 병원체의 특정 부분(단

백질, 다당류 등)만 분리하여 만든 백신이다. 안전성이 높지만, 면역력이 약하게 형성될 수 있다. mRNA 백신은 병원체의 유전 정보(mRNA)를 이용하여 체내에서 항원 단백질을 생성하도록 유도하는 백신이다. 빠른 개발과 대량 생산이 가능하며, 높은 효과를 나타낸다. 바이러스 벡터 백신은 다른 바이러스(무해한 바이러스)를 이용하여 병원체의 유전 정보를 전달하는 백신이다.

백신은 대부분의 질병에 대해 매우 높은 예방 효과를 나타낸다. 백신 접종을 통해 집단 면역이 형성되면 질병의 유행을 막을 수 있다.

3. 항체

항체는 우리 몸의 면역 체계에서 중요한 역할을 하는 단백질이다. 외부에서 침입한 항원(세균, 바이러스, 독소 등)에 특이적으로 결합하여 항원을 무력화시키는 역할을 한다. 마치 자물쇠와 열쇠처럼, 특정 항원에만 결합하는 특성을 가지고 있어 면역 반응의 핵심 요소라고 할 수 있다. 항체는 면역글로불린(Immunoglobulin, Ig)이라고도 불리는 당단백질이다. 우리 몸의 혈액, 림프액, 점막 등에 존재하며, B 림프구라는 면역 세포에서 생성된다. 항체는 Y자 모양의 구조를 가지고 있으며, Y자 끝부분의 항원 결합 부위를 통해 특정 항원에만 결합할 수 있다.

항체는 Fab와 Fc 부분으로 구성된다. Fab 부위는 Y자 모양의 윗부분으로, 항원과 직접 결합하는 부위이다. 항체마다 Fab 부위의 아미노산 서열이 다르기 때문에, 다양한 항원에 특이적으로 결합할 수 있다. 마치 열쇠의 모양이 다양한 것처럼, Fab 부위의 모양이 다양하여 여러 종류의 자물쇠(항원)에 대응할 수 있다. Fc 부위는 Y자 모양의 아랫부분으로, 다른 면역 세포나 단백질과 결합하여 면역 반응을 유도하는

역할을 한다. Fc 부위는 항체의 종류에 따라 기능이 조금씩 다르다.

항체의 주요 기능은 항원과 특이적으로 결합하여 항원을 무력화시키는 것이다. 이러한 반응을 항원-항체 반응이라고 한다. 항원-항체 반응에는 중화, 옵소닌화, 보체 활성화, 항체 의존성 세포 매개 세포 독성 과정이 있다. 먼저 중화는 항체가 바이러스나 독소에 결합하여 세포에 부착하지 못하도록 막는 작용이다. 마치 열쇠 구멍을 막아 문을 열지 못하게 하는 것과 같다. 옵소닌화는 항체가 병원체에 결합하여 대식세포와 같은 면역 세포가 병원체를 더 쉽게 잡아먹도록 하는 작용이다. 마치 깃발을 꽂아 적을 쉽게 알아볼 수 있도록 하는 것과 같다. 보체 활성화는 항체가 병원체에 결합하면 보체라는 단백질을 활성화시켜 병원체를 직접 파괴하거나 염증 반응을 유도하는 작용이다. 항체 의존성 세포 매개 세포 독성은 항체가 감염된 세포에 결합하면 자연 살해 세포(NK cell)와 같은 면역 세포가 해당 세포를 파괴하는 작용이다.

그림 출처

- 감기 포스터, CGV 홈페이지
- 여러 바이러스의 형태, 캠벨 생명과학 12판, 바이오 사이언스



◆ 개요

대한민국 관측 역사상 최대 규모의 백두산 폭발이 발생하여 한반도는 혼란에 빠진다. 백두산 폭발을 연구해 온 지질학 교수와 특전사가 비밀 작전에 투입된다. 화산 폭발이라는 재난에 맞서 살아남기 위해 고군분투하는 모습을 그린 영화이다.

◆ 과학적 요소

1. 화산

화산은 지구 내부의 마그마가 지표면을 뚫고 분출하여 형성된 지형이다. 단순히 산의 형태를 띠는 것 외에도, 폭발이나 함몰로 인해 움푹 들어간 지형을 형성하기도 한다. 화산 활동은 지구 내부의 에너지가 지표 밖으로 분출되는 현상으로, 지구의 역사와 지형 변화에 중요한 역할을 해왔다. 화산은 지하 깊은 곳에서 생성된 마그마가 지표의 약한 부분을 뚫고 올라오면서 형성된다. 지구 내부의 높은 온도와 압력으로 인해 암석이 녹아 마그마가 생성된다. 주로 맨틀 상부나 지각 하부에서 형성된다. 마그마는 주변 암석보다 밀도가 낮기 때문에 부력을 받아 지표면을 향해 상승한다. 지각의 틈이나 약한 부분을 따라 올라오게 된다. 마그마가 지표면에 도달하면 가스와 함께 폭발하거나 용암의 형태로 흘러나온다. 분출된 물질들은 화구 주변에 쌓여 화산체를 형성한다. 분출된 용암, 화산재, 화산탄 등의 화산 쇄설물이 층층이 쌓여 화산체를 형성한다. 화산체의 모양은 마그마의 성질과 분출 방식에 따라 다양하게 나타난다.



〈백두산 공식 포스터〉

화산은 형태와 분출 방식에 따라 성층 화산, 순상 화산, 종상 화산, 칼데라로 분류된다. 성층 화산은 점성이 높은 용암과 화산 쇄설물이 번갈아 쌓여 형성된 원뿔 모양의 화산이다. 폭발적인 분화가 자주 일어나며, 경사가 급합니다. 후지산, 베수비오 산 등이 대표적이다. 순상 화산은 점성이 낮은 현무암질 용암이 넓게 흘러내려 형성된 완만한 경사의 화산이다. 하와이의 마우나 로아 산이 대표적이다. 종상 화산은 점성이 매우 높은 용암이 화구 주변에 굳어져 형성된 돔 모양의 화산이다. 분화 시 폭발적인 성향을 보인다. 칼데라는 대규모 폭발 이후 화구의 함몰로 인해 형성된 큰 웅덩이 모양의 지형이다. 백두산 천지, 일본의 아소산 칼데라 등이 대표적이다.

화산 분출은 마그마의 성질(특히 점성)과 가스 함량에 따라 폭발적인 분출과 용암류 분출로 나뉜다. 점성이 높은 마그마는 가스가 쉽게 빠져나가지 못하고 압력이 높아져 폭발적인 분출을 일으킨다. 화산재, 화산단, 화산 가스 등이 대량으로 분출되기도 한다. 반면 점성이 낮은 마그마는 비교적 조용하게 흘러내리는 형태로 분출된다. 용암의 흐름은 주변 지형을 변화시키고 새로운 지형을 형성한다.

화산 활동은 지구 환경과 인간 생활에 다양한 영향을 미친다. 화산재는 토양에 영양분을 공급하여 농업에 유리한 환경을 만들고, 화산의 지열을 이용하여 발전 및 난방 등에 활용할 수 있다. 또 독특한 화산 지형은 관광 자원이 될 수 있다. 하지만 화산 폭발로 인한 용암류, 화산재, 화산 가스, 화산 이류(화산재와 물이 섞여 흐르는 것) 등은 인명과 재산에 큰 피해를 줄 수 있으며, 대규모 화산 폭발은 대기 중에 많은 양의 화산재와 가스를 방출하여 일시적인 기후 변화를 초래하기도 한다.

2. 마그마 방

마그마 방(Magma chamber)은 지구 내부, 주로 지각 또는 맨틀 상부에 위치한 마그마의 저장소이다. 화산 활동의 근원지로, 마그마가 축적되어 압력이 높아지면 화산 분출로 이어질 수 있다. 마그마 방은 화산의 형성과 분출 양상을 이해하는 데 매우 중요한 요소이다. 마그마는 지구 내부의 높은 온도와 압력으로 인해 암석이 녹아 생성된 액체 상태의 물질이다. 이 마그마는 주변 암석보다 밀도가 낮기 때문에 부력을 받아 지표면을 향해 상승한다. 상승하는 마그마는 지각의 틈이나 약한 부분에 모여 일시적으로 저장되는데, 이 공간이 바로 마그마 방이다. 마그마 방의 형성과 관련된 요인에는 지각의 구조, 맨틀의 상승류, 판의 경계가 있다. 지각의 균열, 단층, 암석의 종류 등이 마그마의 이동 경로와 저장 공간 형성에 영향을 미친다. 또 맨틀의 하부에서 뜨거운 맨틀 물질이 상승하는 현상으로, 이로 인해 지표 부근에 많은 양의 마그마가 공급될 수 있다. 특히 섭입대(Subduction zone)에서는 해양판이 맨틀 속으로 섭입하면서 물이 방출되고, 이 물이 맨틀 물질의 용융점을 낮춰 마그마 생성을 촉진한다. 마그마 방의 크기는 수 킬로미터에서 수십 킬로미터에 이르기까지 매우 다양하다. 주로 지각 상부나 지각과 맨틀의 경계 부근에 많이 분포한다. 마그마의 성분은 화산 활

동의 유형과 분출물의 특성을 결정하는 중요한 요소이다. 마그마의 주요 성분은 규소(Si), 알루미늄(Al), 철(Fe), 마그네슘(Mg), 칼슘(Ca), 나트륨(Na), 칼륨(K) 등이며, 이들의 함량 비율에 따라 마그마의 점성, 온도, 가스 함량 등이 달라진다. 마그마 방은 지하 깊은 곳에 위치하여 직접 관측이 어렵다. 따라서 주로 간접적인 방법을 통해 연구가 진행된다. 지진파가 지하를 통과할 때 속도가 변하는 것을 이용하여 지하 구조를 파악한다. 마그마 방은 주변 암석보다 밀도가 낮기 때문에 지진파의 속도가 느려지는 특징을 보인다. 또 마그마 방 주변의 중력과 자기장 변화를 측정하여 마그마의 분포와 양을 추정할 수 있으며, GPS, 위성 레이더 등을 이용하여 지표면의 미세한 변화를 관측한다. 마그마 방의 압력 변화에 따라 지표면이 부풀어 오르거나 내려앉는 현상을 관측할 수 있다.

그림 출처

• 백두산 포스터, CGV 홈페이지

