



우주 중심양 과학



본 자료는

미항공우주국(NASA)의 항공우주과학교육교재를 토대로 새롭게 구성된 과학교육자료로 초/중등 교육자가 청소년들에게 과학 교육을 위해 활용할 수 있도록 제작되었습니다.

※ 본 교육자료의 저작권은 교육과학기술부, 한국항공우주연구원에 있으며 비상업적인 교육 목적에 한하여 사용 가능합니다.

발행일 | 2011.7

발행 | 교육과학기술부, 한국항공우주연구원

기획 | 이규수, 옥수현, 임영미

(한국항공우주연구원 홍보협력실)

원고작성 | 이용복 (서울교육대학교 과학교육과 교수)

고수미 (서울 우이초등학교 교사)

김혜진 (서울 영분초등학교 교사)

이나연 (서울 목동초등학교 교사)

이혜주 (서울 상봉초등학교 교사)

원고감수 | 심은섭 (한국항공우주연구원 책임연구원)

이주희 (한국항공우주연구원 선임연구원)

김연규 (한국항공우주연구원 선임연구원)

Space Science

우주과학

목 차

마이크로중력

지구 궤도를 도는 위성 모델	09
관성 저울	19
마이크로중력에서의 양초의 불꽃	27
결정 모델	37
결정성장에 의한 대류	45
급속한 결정화	53
현미경으로 본 결정 성장	61
비석의 결정 성장	69

우주에서 살아남기

우주 여행을 위한 음식물 건조	87
우주복의 장력 강도 실험	95
우주복의 내충격성 실험	107
우주복의 마모성 실험	115
차갑게 유지하기	123
흡수와 반사	135
딱 맞게 만들기	145
얼마나 많이?	155

달의 물 재활용 시스템

여과를 통한 물의 재활용	179
증류를 통한 물의 재활용	191
강제 분리를 통한 물의 재활용	210
침전을 통한 물의 재활용	211
생물학적 처리를 통한 물의 재활용	219
물 재활용 시스템의 설계	229

1 단원 소개

이제 우주로 여행을 떠나는 것은 꿈이 아니고 현실이 되고 있습니다. 우주의 환경은 지구와는 어떻게 다를까요? 본 단원에서는 지구와는 다른 우주에서의 마이크로중력에 대한 개념을 알아보고, 그 내용을 설명해 줄 수 있는 다양한 실험 활동을 하게 됩니다. 1차시는 지구 궤도를 선회하는 위성의 모델을 만들어 봄으로써 지구 궤도 위성의 발사 조건을 알아보는 활동입니다. 2차시에서는 마이크로중력에서 물체의 관성을 통해 그 질량을 측정하는 활동입니다. 3차시에서는 자유낙하로 인한 마이크로중력 상황에서 양초의 불꽃은 어떤 특성을 보이는가를 알아보게 됩니다. 4차시에서는 진동 플랫폼 위의 비비탄 총알의 정렬상태를 관찰함으로써 결정구조의 전개와 결합의 형성을 알아보는 활동입니다. 5차시에서는 결정 성장 용액에서 결정이 생길 때 나타나는 대류 현상을 관찰하게 됩니다. 6차시에서는 학생들이 겨울철 자주 이용하는 손난로를 실험 재료로 하여 급격한 결정의 성장 과정을 관찰하게 되며, 7차시에서는 마니톨, 살롤 등의 용융된 시료가 응결 도중 나타내는 결정핵 형성과 그 성장률을 관찰하게 됩니다. 마지막으로 8차시에서는 비석의 결정을 만들어보고 이를 관찰하는 활동을 하게 됩니다.



2 주제 안내

순	주 제	대상학년	소요시간
1	지구 궤도를 도는 위성 모델	중 1 ~ 2학년	40분
2	관성 저울	중 1 ~ 2학년	60분
3	마이크로중력에서의 양초의 불꽃	중 1 ~ 2학년	60분
4	결정 모델	중 1 ~ 2학년	60분
5	결정 성장에 의한 대류	중 1 ~ 2학년	60분
6	급속한 결정화	중 1 ~ 2학년	60분
7	현미경으로 본 결정 성장	중 1 ~ 2학년	80분
8	비석의 결정 성장	중 1 ~ 2학년	60분

3 지도상 유의점

대부분의 사람들은 우주선 안에서 우주 비행사와 사물이 떠다닌다는 것은 알고 있지만, 마이크로중력을 연구에 어떻게 활용할 수 있는지에 대해 알고 있는 사람은 매우 적다.

본 자료는 마이크로중력의 개념을 정의하고 마이크로중력이 우리가 사는 세계에서 나타나는 현상을 학습하는 데 어떤 도움을 줄 수 있는지를 밝히는 데 그 목적이 있다. 각 차시마다 마이크로중력 과학자들이 연구 중인 내용에 대한 실험을 교실 안에서 실시할 수 있도록 소개하고 있다. 모든 활동은 학교 안에서 쉽게 구할 수 있는 간단하고 저렴한 재료와 기구를 사용하며 실험, 예측, 데이터 수집 및 해석, 협동학습, 문제 해결력 등에 역점을 두고 있다.

4 배경 지식

:: 마이크로중력이란?

지구는 중력장을 만들어 물체를 잡아당기는데, 이때의 힘은 물체의 중심으로부터 지구 중심까지의 거리의 제곱에 반비례한다. 지구 표면에서 중력에 따른 물체의 가속도를 1g 또는 1지구중력이라고 한다. 이 가속도는 제곱초당 약 9.8미터(m/s^2)나 된다. 물체의 질량은 주어진 힘에서 물체가 어느 정도의 가속도를 갖는지를 나타내며, 물체의 무게는 그 물체에 작용하는 지구의 중력을 의미한다.

물체의 질량이 일정하고 무게가 일정할 때 물체의 환경이 변하면 상대적으로 물체의 무게도 변할 수 있다. 정지된 엘리베이터 안에 있는 저울 위에 올라서 있다고 가정해 보자. 몸무게 W는 현재 위치의 중력, 질량 및 가속도에 따라 결정된다.

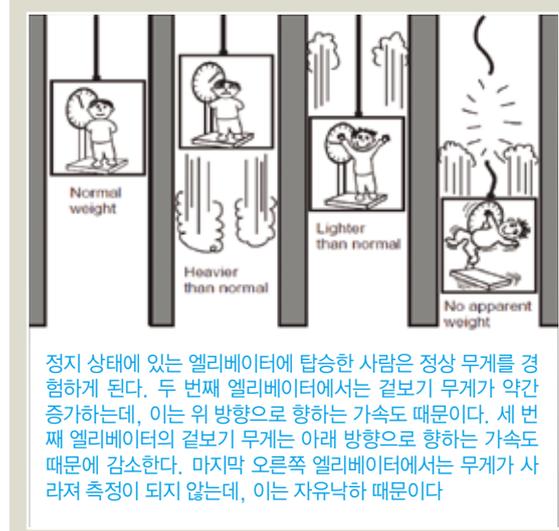
엘리베이터를 타고 위로 올라가는 경우, 또 다른 힘이 작용하는데 이 힘은 엘리베이터의 가속도 때문에 발생한다. 바닥에서 탑승자에게 작용하는 힘이 탑승자의 겉보기 무게 P가 된다. P의 크기는 저울에 표시된다. 탑승자에게 작용하는 전체 힘은 $F=W+P=mae$ 이다. 여기서 ae는 탑승자 및 승강기의 가속도이고, $W=mg$ 다. 승강기에 가속도가 붙지 않는 경우 W와 P의 크기는 동일하지만 작용하는 방향은 서로 반대가 된다($W=-P$).

이제 아주 높은 건물의 맨 위층까지 엘리베이터를 타고 올라간다고 상상해 보자. 맨 위층에서 엘리베이터를 지탱하는 케이블이 끊어져 엘리베이터와 탑승자가 지상으로 추락한다. 이 때 공기 마찰과 엘리베이터의 안전 메커니즘은 무시한다. 탑승자의 겉보기 무게는

$$P = m(ae-g) = (60kg)(-9.8m/s^2 - (-9.8m/s^2)) = 0kgm/s^2$$

(탑승자의 몸무게는 60kg으로 가정한다.)로, 탑승자의 중량은 0이 된다. 엘리베이터, 저울, 탑승자 모두 아래로 가속도가 붙어 같은 속도로 떨어지는데, 이는 오직 중력 때문이다. 탑승자가 엘리베이터 바닥에서 두 발을 떼 위로 올리면 엘리베이터 안에서 뜰 수 있다.

이것은 갈릴레오가 이탈리아의 피사에서 실시했다고 주장하는 실험과 동일한 실험이다. 갈릴레오는 질량이 다른 포탄과 소총 탄알을 동시에 같은 높이에서 떨어뜨렸다.



저울, 탑승자가 동시에 지면에 닿는 것과 마찬가지로 포탄과 소총 탄알이 모두 지상에 동시에 떨어졌다.

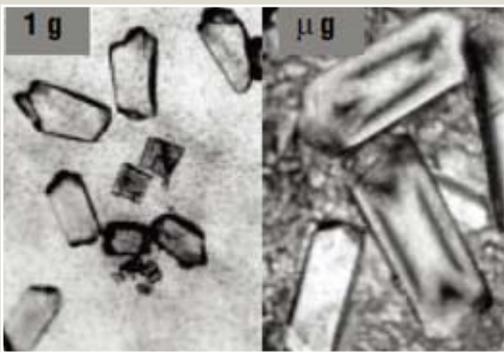
이처럼 실험의 겉보기 무게가 감소되는 조건에서 실시하는 과학적 실험을 수행하면 많은 이점이 있다. 이러한 연구 환경을 '마이크로중력'이라고 한다. 접두사 '마이크로(μ)'는 작다는 의미의 그리스어 '미크로스'에서 비롯된 것이다. 이 정의에 따르면, 마이크로중력 환경은 시스템의 겉보기 무게가 중력 때문에 실제 무게보다 작아지는 환경이다.

연구자들이 마이크로중력 상태를 만드는 방식은 두 가지이다. 첫째, 중력은 거리와 함께 감소하므로 지구에서 멀리 떨어지는 것이다. 지구 중력이 표면 중력의 100만분의 1로 감소되는 지점에 도달하려면 우주를 향해 지구로부터 637만km 떨어진 곳까지 가야 한다. 이 방법은 우주왕복선을 이용해서 실험해야만 가능하다. 인류는 지구에서 달보다 먼 거리를 아직 가보지 못했기 때문이다. 그러나 두번째 방법은 자유낙하를 이용해 마이크로중력의 정의에 맞는 마이크로중력 환경을 만드는 것이다.

:: 마이크로중력과 생물공학

생물공학은 응용생명과학으로서 보건, 농업 및 환경 보호에서 중요한 역할을 하고 있으며, 그 역할이 확장되면서 다음 세기의 경제와 생활에 중요한 영향을 끼치게 될 것으로 예상된다.

중력은 단백질 결정 및 포유류 세포 조직의 생성에 중요한 영향을 끼친다. 초기 연구 결과를



마이크로중력 상태에서 키운 단백질 결정은 규칙적이고 단순한 형태를 갖추고 있고, 지구에서 성장한 것보다 내부 구조가 훨씬 정돈되어 있다.

보면, 단백질 결정을 마이크로중력 상태에서 생성시키면 지구에서 생성된 결정에서 얻을 수 있는 것보다 훌륭한 구조적 정보를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 단백질은 수천 가지, 바이러스의 경우는 수백만 가지의 원자로 구성되어 있는데 이들 원자는 미세하게 작은 상태에서 서로 결합되어 좀 더 큰 분자를 구성한다. 지구에서는 부력이 유발하는 대류와 침강 분리 현상이 결정의 생성을 억제한다. 마이크로중력 상태에서는 대류 및 침강 분리 현상이 현저히 감소되어 구조적으로 양호하고 보다 큰 결정을 생성할 수 있다.

마이크로중력 상태에서 키운 단백질 결정은 규칙적이고 단순한 형태를 갖추고 있고, 지구에서 성장한 것보다 내부 구조가 훨씬 정돈되어 있다. 침강 분리 현상이 없다는 것은 단백질 결정이 지구에서와는 달리 생성 용기 바닥으로 가라앉지 않는다는 것을 의미한다. 그 결과 이들 결정이 다른 결정의 영향을 받을 가능성이 없어진다. 마이크로중력 상태에서는 대류 흐름이 크게 감소되므로, 결정은 움직임이 없는 거의 정지된 상태에서 성장하여 우주에서 생성된 결정의 구조가 보다 개선된 상태를 유지할 수 있게 된다. 마이크로중력 상태에서의 단백질 생성 과정을 연구해 얻은 지식은 지구에서의 단백질 결정 생성에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

또한 연구 결과 포유류 세포, 특히 정상 세포는 이들을 배양하는 환경의 조건에 민감하다는 것을 알 수 있다. 중력으로 인하여 생기는 유체의 흐름은 세포를 서로 분리시킬 수 있으며, 결집



하는 세포의 수를 크게 제한한다.

그러나 마이크로중력 상태에서 성장하는 조직 표본은 크기가 훨씬 크며, 조직이 인체 내에서 실제로 생성되는 모습에 보다 근접한 모습을 보여준다. 이러한 사실들로 미루어 보아 배양 과정에서 세포 및 조직에 작용하는 압력을 잘 관리하는 일이 중요하다는 것을 알 수 있다. 이러한 압력을 마이크로중력 상태에서는 크게 줄일 수 있다.

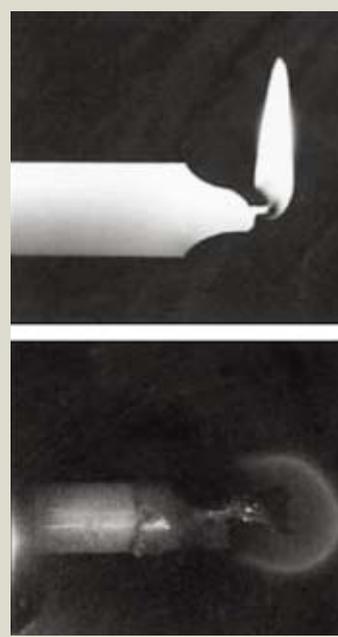
:: 마이크로중력과 연소과학

연소는 상당한 열량을 계속해서 방출하는 빠른 속도의 화학 반응이다. 흔히 볼 수 있는 연소의 예로는 타고 있는 촛불, 산불, 장작불, 가정용 난로에서의 천연 기체 연소, 내연 기관의 가솔린 연소 등이 있다. 연소가 발생하려면 세 가지 요소, 즉 연료, 산화제 및 발화원이 있어야 한다. 연료에는 고체, 액체 또는 기체 연료가 있다. 고체 연료의 예로는 거름종이, 나무 및 석탄이 있고, 액체 연료의 예로는 가솔린과 등유가 있다. 프로판 및 수소는 기체 연료이다. 산화제는 고체(예 : 우주 왕복선 부스터 로켓에 사용되는 과염소산암모늄), 액체(예 : 과산화수소) 또는 기체(예 : 산소)로 존재하는 것이 있다.

자연 발화는 일반적인 연소 과정에서 예외적인 현상이다. 이 경우 연료 및 산화제는 접촉하는 동시에 점화원의 도움 없이도 자발적으로 반응을 시작한다. 궤도에서 우주 왕복선의 방향을 유지 및 변경하는 데 사용되는 분사 장치는 자연 발화 반응에 의해 동력을 공급받는다. 산소를 포함하고 있는 공기는 우리가 흔히 볼 수 있는 산화제이다. 전기 스파크는 발화원의 일례이다. 연소는 현대 기술 사회에서의 중요한 핵심 요소이다. 전력 생산, 주택 난방, 육상 운송, 우주선 및 항공기의 추진력, 재료 공정 등은 모두 화학 에너지를 열에너지로 전환하는 데 연소가 사용된다. 전 세계 에너지 사용량의 약 85%를 차지하는 연소는 현재 우리 삶의 방식에 매우 중요하지만 공해 문제, 대기 변화 및 지구 온난화, 화재 및 폭발 사고, 유해 폐기물의 소각 문제 등과 같은 해결 과제를 안겨주기도 한다.

마이크로중력에서의 연소를 연구하는 목적 중 하나는 일반적인 기초 연소 현상에 관한 지식을 발전시키고, 연구한 결과를 연소과학 및 지구에서의 기술 발전에 활용해 우주에서 발생하는 화재 안전 문제 등에 적절히 대처하는 데 있다. NASA에서는 지상의 마이크로 중력 시설이나 궤도 위를 회전하는 실험실에서 수행된 실험 결과를 종합하여 마이크로중력 상태에서 화염의 발화, 확산 및 소화에 대한 연구를 하고 있다.

마이크로중력의 연구는 새로운 범주의 연소 실험을 태동시켰는데, 이 실험에서는 부력이 유발하는 흐름 및 침강 분리를 제거한다. 중력의 영향은 지구에서 진행하는 연소 연구에 방해 요인으로 작용하는 경우가 많다. 예를 들어 연소는 대개 뜨거운 기체를 만들어 내는데, 이러한 기체는 주위의 차가운 기체보다 밀도가 낮다. 지구 중력 환경에서 뜨거운 기체는 밀도가 낮아져 위로 올라가는데 이 때 부력이 유발하는 흐름을 발생시켜 아직 타지 않은 연료와 산화제를 혼합시키면



양초의 불꽃 모양은 부력으로 발생하는 대류 현상 때문에 생기는 것이다. 양초의 불꽃은 마이크로 중력 상태에서는 둥근 공 모양이 되는데, 이는 신선한 산화제가 확산 과정을 거쳐 양초에 도달하기 때문이다.

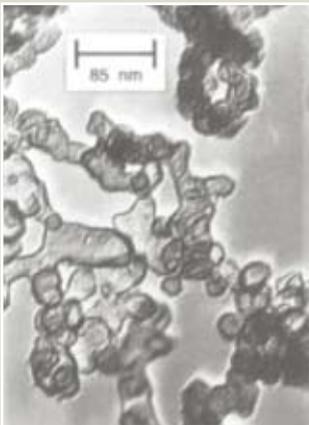
서 연소의 산물을 만들어 낸다.

중력의 영향으로 발생하는 공기의 흐름을 현저히 줄일 수 있다면 어떤 점에서 이로울까? 첫째, 마이크로중력 환경은 실험에서 모델을 만드는 데 용이하므로, 중력과 같은 외부의 힘의 영향에서 벗어나 과학적 이론을 검증할 수 있는 보다 나은 환경을 제공한다. 둘째로 중력의 영향 때문에 알 수 없었던 연소 과정에서 발생하는 연료 및 열의 이동 메커니즘 등에 대한 현상을 조사할 수 있게 된다.

마이크로중력 상태에서는 부력의 영향을 전혀 받지 않기 때문에 보다 오랜 시간 규모가 큰 실험을 할 수 있게 되며, 연소 과정에 대한 보다 상세한 관찰 및 조사가 가능해진다.

현재까지 과학자들은 여러 가지 유형의 화염에 대한 구조적인 차이점을 밝혀왔는데, 마이크로중력 상태와 1g(중력가속도) 상태에서의 차이를 비교하였다. 이러한 비교 실험의 이점이 크게 돋보이는 영역은 화재 안전 영역이다. 대부분의 연기 탐지기는 공기 중의 매연 입자를 탐지하는 것이 목적이지만, 1g에서 발생하는 매연 입자의 크기는 마이크로 중력 환경에서 발생된 것과는 차이가 있다. 따라서 연기 감지 장치를 다시 설계해야만 우주에서 장비와 승무원의 안전을 보장할 수 있게 된다.

마이크로중력과 1g에서의 비교 연구는 공해 물질을 줄이고 연료 효율을 높일 수 있을 것으로 기대된다. 공장 굴뚝에서 나오는 배출 기체의 성분을 측정해 이를 감시할 수 있는 시스템을 개발할 수 있게 되었으며, 이외에도 공기 품질을 저해하는 기체 중 하나인 암모니아 모니터가 이미 생산되고 있으며, 산업용으로도 사용할 수 있게 되었다. 또 다른 새로운 기술은 매연 생성 과정을 보다 구체적으로 규명하고 매연 통제 전략을 개발할 수 있게 하여 자동차와 항공기에서 사용되는 것을 비롯해 모든 종류의 엔진 및 연소기에서 나오는 배출 기체의 매연 비율을 측정하는 장치도 개발하였다.



레이저 가열 매연의 전자현미경 사진







낙하 장치, 비행기 및 로켓을 이용하면 마이크로중력 상태를 만들 수 있지만 이들은 한 가지 공통된 문제를 안고 있다. 몇 초 또는 몇 분 후면 중력의 영향으로 지표면에 닿게 되고, 이로써 자유낙하가 중단된다는 것이다. 마이크로중력 상태를 장시간 유지하는 방법의 하나로 지구 궤도를 도는 위성이 있는데, 이처럼 위성을 궤도에서 이탈하지 않도록 해주는 원리에 대해 알아보려고 한다. 이 차시에서는 지구 주위를 도는 위성의 모형 실험을 통해 궤도 역학의 기초를 이해하게 된다.



학습 목표

지구 궤도 위성의 모형 실험을 통해 지구 궤도를 돌기 위해서는 어떤 조건이 필요한지를 알 수 있다.



해당 학년

중학교 1 ~ 2학년



소요 시간

40분



이것이 필요해요

큰 공과 화분(지구본으로 대체 가능), 작은 공, 2미터 길이의 끈



이렇게 준비해요

끈을 부착하기 쉬운 작은 공을 고른다. 날카로운 칼로 테니스 공이나 라켓볼에 작은 틈을 내고 매듭이 있는 끈을 틈으로 밀어 넣어 끈을 부착한다. 단단한 고무 또는 나무 공에 나사를 고정시켜 끈을 부착할 수도 있다.



핵심 단어

- **마이크로 중력** : 지상의 1/1,000~1/10,000 정도에 해당하는 중력
- **궤도 속도** : 지구에서 쏘아 올린 물체가 지구로 추락하지 않고 지구 주위를 돌거나 다른 천체에 도달하는데 필요한 속도
- **우주왕복선** : 스페이스 셔틀이라고도 한다. 우주공간과 지구 사이를 몇 번이고 반복해서 왕복할 수 있도록 만들어진 유인우주선으로서, 지구 근방의 우주공간의 생활화를 목적으로 사용하려는 것이다.





활동 내용

【도전과제 소개하기】

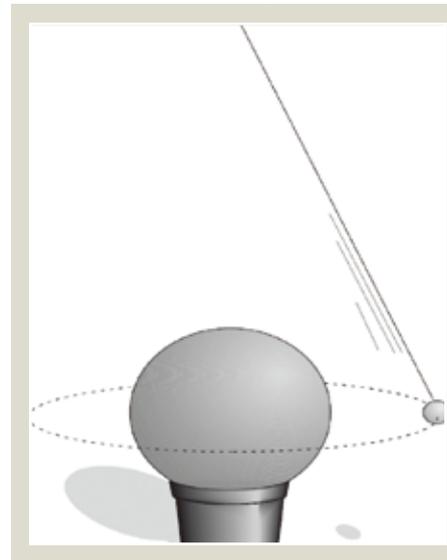
1. 마이크로중력에 대해 설명한다.
 - 마이크로중력에서의 환경은 무게가 중력 때문에 실제 무게보다 작아지는 환경이다. 즉, 지구 중력이 약 100만분의 1로 작아지는 환경을 말한다.
2. 실험의 목적에 대해 설명한다.
 - 이 실험은 지구 주위를 선화하는 위성의 모델 실험으로써, 위성이 지구 주위를 돌기 위해서는 어떤 조건이 필요한지를 알아보는 실험이다.

【도전과제 설계하기】

1. 역할 분담하기
 - 2인 1조로 실험
2. 가설 세우기

【추가 정보】

1. 지구 주위를 선화하는 위성 모델은 궤도 역학의 일부 기초를 가르치는 데 효과적이다. 작은 공이 큰 공 주위를 선화하기 위해서, 큰 공으로부터 바깥쪽으로 작은 공을 잡아당긴 후 큰 공의 표면에서 일정한 거리를 유지하고 움직이게 한다. 작은 공의 속력에 따라 작은 공이 큰 공 위의 어느 지점에 떨어지는가를 보면 알 수 있다. 작은 공이 천천히 움직이면 작은 공은 짧은 거리를 이동한 후 지표면으로 호를 그리며 떨어질 것이다. NASA는 같은 방법으로 궤도 우주선을 발사한다. 우주선은 대부분 지구 대기 위로 쏘아 올려, 특정한 고도에서 일정한 속력으로 지표면에서부터의 일정 고도를 유지한 채로 궤도를 따라 돌 수 있도록 추진된다. 이 속도는 지구상 고도에 의해 결정된다. 즉, 저궤도의 위성은 고궤도의 위성보다 빠른 속도로 지구 주위를 돌게 된다.
2. 이 모델에서는 작은 공과 끈이 진자가 된다. 정지 상태에서 진자의 위치는 큰 공의 중심이 된다. 작은 공을 바깥 쪽으로 당겨 놓으면 다시 큰 공 쪽으로 향한다. 중력의 실제 방향은 아래쪽이지만 공은 수평 방향으로만 이동하는 것처럼 보인다.
3. 큰 공과 작은 공의 거리를 다르게 실험할 때는 반드시 끈 길이를 조정해야 한다. 높은 고도에서 작은 공이 선화하는 실험을 할 때, 끈의 길이를 늘이지 않으면 이 공이 낮은 고도의 공보다 빨리 선화해야만 한다. 이는 실제 위성에서 일어나는 것과는 반대가 된다.



【결과 토의하기】

1. 위성이 궤도에서 이탈하지 않도록 해주는 원리는 무엇인가?
- 우주선의 속도 및 고도와 관련이 있다.

$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 의 식과 같이 지구 중심으로부터의 거리 r 에서 궤도를 선회하기 위해서 위성은 반드시 정확한 속도 v 로 비행해야 한다.

【심화 학습】

1. 궤도 속도와 궤도 반경 사이의 관계와 같이 위성 궤도를 지배하는 수학 방정식을 조사한다.
2. 다른 종류의 위성 궤도(예: 극지, 정지, 정지 궤도)와 그 용도를 학습한다.
3. 다른 행성에서의 중력의 영향을 알아본다. 지구보다 큰 중력을 가진 행성의 경우에 강한 중력으로 인하여 위성의 궤도에 차이가 생길까? 지구보다 작은 경우는 어떠할까?
4. 다음 방정식을 이용해 특정 고도의 궤도에 위성이 남아있도록 하기 위해 반드시 이동해야 하는 속도를 결정한다.

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

v = 위성의 속도(m/s)

GM = 지구 질량의 중력 상수 배수($3.99 \times 10^{14} \text{m}^3/\text{s}^2$)

r = 지구의 반경($6.37 \times 10^6 \text{m}$) + 위성 고도

【지도상 유의점】

1. 이 활동은 교실에서 교사의 시연, 또는 학생들을 소그룹으로 편성하여 그룹 활동으로 실시할 수 있다.
2. 이 활동은 마이크로 중력 상태를 장시간 유지하기 위해서 우주선이 궤도를 유지할 수 있게 하는 원리를 알아보는 실험이다.
3. 큰 공으로부터 작은 공까지의 거리를 달리하여 실험할 때는 반드시 끈의 길이를 조정하여야 한다.







지구궤도를 도는 위성모델

학년 반 이름

도전과제

위성은 어떻게 해서 지구 궤도를 선회할 수 있을까?



위성은 어떻게 해서 지구 궤도를 선회할 수 있을까요? 끈과 공으로 위성의 모형을 만들어 실험해보고, 위성이 지구 주위를 돌기 위한 조건에 대하여 알아보시다.



이것이 필요해요

큰 공과 화분(지구본으로 대체 가능), 작은 공, 2미터 길이의 끈, 칼



핵심 단어

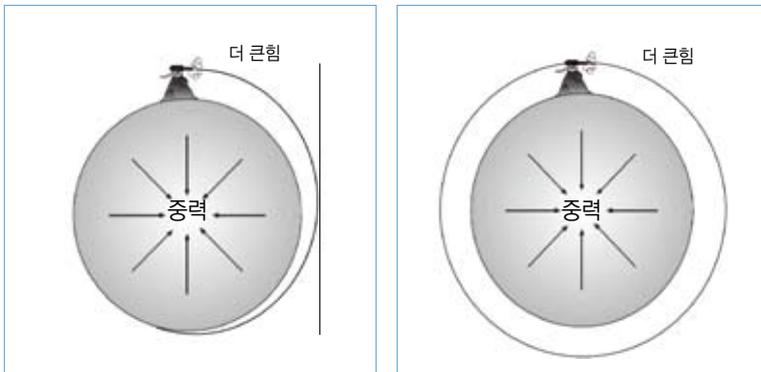
- 마이크로 중력 : 지상의 1/ ~ 1/ 정도에 해당하는 중력
- 속도 : 지구에서 쏘아 올린 물체가 지구 주위를 돌거나 다른 천체에 도달하는 데 필요한 속도.
- 우주왕복선 : 이라고도 함. 우주공간과 지구 사이를 몇 번이고 반복해서 왕복할 수 있도록 만들어진 유인우주선으로서, 지구 근방의 우주공간의 생활화를 목적으로 사용함.



생각해요

다음 그림을 보고, 위성이 지구 주위를 돌 수 있는 방법을 생각해봅시다.





활동 순서

- ① 화분 위에 큰 공을 올려놓거나, 지구본을 준비합니다.
- ② 작은 공에 칼집을 내고, 2미터 길이의 끈을 한쪽 끝에 매듭을 지어, 틈 속에 끼워 넣습니다.
- ③ 한 학생이 공과 화분(또는 지구본) 가까이에서 작은 공이 부착된 끈의 한쪽 끝을 잡습니다. 이 학생의 손은 큰 공의 북극 바로 위에 있어야 하며, 큰 공의 적도가 있어야 하는 곳에 작은 공이 위치하도록 끈을 충분히 풀어야 합니다.
- ④ 첫 번째 학생이 끈을 꼭 잡고 있는 동안 두 번째 학생이 작은 공을 이동시키기 시작합니다. 처음에는 목표는 큰 공 주위를 선회할 수 있도록 한 방향으로 한 속도에서 작은 공을 움직이게 하는 것입니다.
- ⑤ 실험을 마친 후 읽을 거리를 읽어 봅니다.

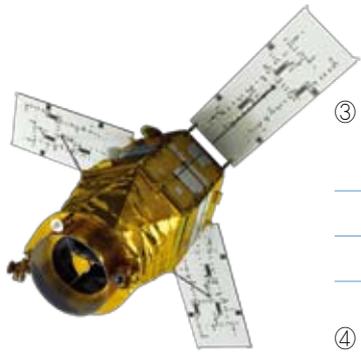
활동 결과

- ① 지구로부터 수직으로 발사될 때 위성(작은 공)은 어느 경로를 따르겠습니까? 어떤 일이 일어났는지 설명한다.



- ① 지구로부터 수직으로 발사될 때 위성(작은 공)은 어느 경로를 따르겠습니까? 어떤 일이 일어났는지 설명한다.





③ 위성의 속도를 달리하여 발사하면 어떤 결과가 나타날까요?

④ 완전히 지구 궤도를 선회하도록 하려면 위성을 어떻게 발사해야 합니까?

⑤ 실험 결과와 【읽을 거리】에 포함된 정보를 이용해 위성이 지구 궤도를 선회할 수 있는 방법을 설명하십시오.

⑥ 국제 우주 정거장이 마이크로 중력 연구를 하기에 알맞은 장소인 까닭은 무엇입니까?



【읽을 거리】

마이크로중력이란?

마이크로중력(micro gravity)은 지상 중력 크기의 1/1000~1/10000 정도로 대단히 작은 중력을 가진 것을 말한다. 마이크로중력은 지상에서 일반적으로 물체를 자유 낙하시킬 때 만들어지기 때문에, NASA에서는 비행기, 낙하 타워 및 작은 로켓 등을 이용해 몇 초에서 몇 분 동안 지속되는 마이크로중력 환경을 만들 수 있다. 하지만 이 경우 지구 중력 때문에 수초~수십초 내로 자유낙하가 종료되기 때문에 과학자들이 며칠, 몇 주, 몇 개월, 심지어는 몇 년간 지속되는 실험을 하고자 할 경우에는 우주로 나아가 지구 궤도를 선회하면서 이러한 실험들을 수행할 수밖에 없다. 실험 시간을 더 확보할 수 있다면, 일련의 실험 과정을 보다 천천히 수행하고, 보다 미묘한 영향까지도 조사할 수 있게 될 것이다.





어떻게 하면 오랜 시간 동안 마이크로중력 환경을 유지할 수 있을지를 알아보기 위해서는, 우주선이 지구를 선회하는 궤도를 유지할 수 있는 방법을 먼저 이해할 필요가 있다. 일반 사람들에게 "위성과 우주 왕복선이 궤도를 유지하는 것은 무엇 때문인가?"라고 물어보면 "우주에는 중력이 없기 때문이다."라는 대답을 한다. 이는 절대 사실이 아니다. 중력은 위성이나 우주 왕복선이 우주로 떠다니게 유지해 주는 역할을 한다. 중력은 궤도를 선회하는 물체의 경로를 원형으로 구부림으로써 선회 경로를 유지하게 해 준다.

위성의 원리

영국의 과학자 아이작 뉴턴 경은 1673년에 저서 '자연 철학의 수학적 원리'(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)에서 위성이 어떻게 지구 궤도를 선회할 수 있는지를 설명했다.

오른쪽 그림에서와 같이 뉴턴의 대포알이 첫 대포알을 발사한다. 대포알의 초기 속도와 지구의 중력이 합성되어 대포알이 산 근처 표면으로 호를 그리게 된다. 화약을 더 많이 충전해 두 번째 대포알을 발사한다. 대포알에 가해진 힘은 첫 번째 대포알보다 빠른 속도로 이동하게 한다. 중력으로 인해 대포알의 경로가 호를 그리게 되지만 속도가 더 빠르기 때문에 지구에 닿기 전 더 멀리 이동한다.

뉴턴은 지구 대기 위로 솟은 아주 높은 산을 상상했다. 이것은 지구 대기와의 마찰을 제거하기 위한 것이었다. 뉴턴은 그 산 꼭대기에서 땅과 평행하게 대포알을 쏘는 모습을 상상했다. 각 대포알은 발사될 때 두 가지 힘의 영향을 받는다. 화약 폭발로 인해 생긴 한 가지 힘은 대포알을 직선으로 추진시킨다. 대포알에 다른 힘이 작용하지 않는다면 대포알은 직선으로 일정한 속도로 이동할 것이다. 하지만 뉴턴은 두 번째 힘 또한 대포알에 작용한다는 것을 알았다. 즉, 지구 중력의 영향으로 대포알은 결국 지구 표면으로 떨어지는 경로를 그리게 되는 것이다.

화약을 더 많이 사용하면 이 대포알은 지구 주위를 반쯤 이동한다. 대포알의 낙하 경로는 지구 모양과 거의 일치하게 된다.

더 큰 힘뉴턴은 발사할 때마다 대포에 화약을 점점 더 많이 장전하면, 나중에는 발사한 대포알이 더 먼 곳까지 날아갈 수 있다고 설명했다. 발사할 때마다 경로가 연장되고, 대포알은 곧 수평선 위로 사라질 것이다. 결국 충분한 에너지로 대포알을 발사하면 완전히 지구 주위를 돌아 출발점으로 되돌아 올 것이다. 즉 완전한 하나의 지구 궤도를 이동하게 되는 것이다.

이 때 중력 이외의 어떤 힘도 대포알의 궤도를 방해하지 않는다면 대포알은 그 궤도에서 지구를 계속해서 돌게 될 것이다.

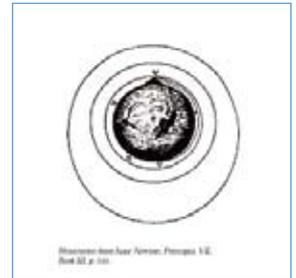
이 마지막 대포알 발사 시 많은 양의 화약을 장전함으로써 정확한 속력에서 포



탄을 추진시켜 완전히 지구 주위를 돌게 한다. 방해하는 다른 힘이 없다면 이 대포알은 계속해서 지구 궤도를 선회할 것이다.

이것이 바로 우주 왕복선이 궤도를 돌게 되는 원리이다. 정확한 속도에서 지면과 나란히 이동하도록 지구 위에서 호를 그리는 경로에 왕복선을 발사한다.

예를 들어 왕복선이 160km 궤도에 오르려면 이 궤도를 선회할 수 있도록 하기 위해 반드시 시속 약 28,300km의 속력으로 이동해야 한다. 이 속력과 고도에서 왕복선의 낙하 경로는 지구 곡률과 나란하게 될 것이다. 왕복선은 지구 주위를 자유 낙하 하므로 왕복선이 궤도에 머물러 있는 한 마이크로 중력 환경은 지속적으로 유지된다.



우주왕복선의 속도



우주 왕복선은 왜 궤도를 이탈하지 않을까? 물체에 작용하는 힘을 나타내는 다음 2개의 방정식을 이용해서 알아보자. 첫째 방정식은 왕복선에 작용하는 중력을 나타낸다.

$$F_1 = G \frac{m_e m_s}{r^2}$$

여기서,

F_1 = 왕복선에 작용하는 중력

G = 만유인력의 상수

m_e = 지구의 질량

m_s = 우주 왕복선의 질량

r = 지구 중심과 우주 왕복선 사이의 거리

두 번째 방정식은 우주 왕복선에 작용하여 원심성 가속도를 일으킨 힘을 나타낸다.

이것은 뉴턴의 제2법칙을 나타낸 수식 $F = ma$ 이다.

F_2 = 우주 왕복선에 작용해 균일한 원운동을 일으키는 힘

(원심성 가속도 포함)

v = 우주 왕복선의 속도

이 두 힘은 같다 $F_1 = F_2$

$$G \frac{m_e m_s}{r^2} = \frac{m_s v^2}{r} \quad v^2 = \frac{G m_e}{r} \quad v = \sqrt{\frac{G m_e}{r}}$$

지구 중심으로부터의 주어진 거리 r 에서 동근 궤도 안에 머물러 있으려면 우주 왕복선은 반드시 정확한 속도 v 로 비행해야 한다. 우주 왕복선은 어떻게 고도를 변경할 수 있는가?

우주 왕복선 속도와 고도의 관계를 나타내는 방정식으로부터 다음과 같은 원궤도 관계식을 구할 수 있다.

이 방정식을 구할 때 다음과 같은 가설을 세웠다.

- 1) 우주 왕복선 궤도의 반경은 지구의 반경과 거의 같다.
- 2) 궤도를 도는 우주 왕복선의 전체 에너지는 운동 에너지 $\frac{1}{2}mv^2$ 이며, 발사와 관련된 위치에너지를 무시한다.

$$\Delta r = \frac{\tau}{\pi} \Delta v = \frac{2\pi r^{3/2}}{(Gm_e)^{1/2}}$$

τ = 궤도 주기. 우주 왕복선이 지구 주위를 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간

Δv = 왕복선 속도 변화

Δr = 왕복선 고도 변화

예를 들어, 고도 160해리(296.3km)의 원 궤도 위에 우주 왕복선이 있다고 생각해 보자. 추진 엔진을 가동해 속도를 1m/s 증가시켜 올라간 새로운 고도를 측정한다.

우선 궤도 주기 τ 를 위 방정식에서 계산한다.

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{2\pi(re+2.96 \times 10^5 m)^{3/2}}{(Gm_e)^{1/2}} \\ &= \frac{2\pi(6.37 \times 10^6 m + 2.96 \times 10^5 m)^{3/2}}{(6.67 \times 10^{-11} m^3 \times 5.98 \times 10^{24} kg)^{1/2}} \\ & \quad \underline{s^2 kg} \\ &= 5.41 \times 10^3 s \end{aligned}$$

다음으로 주기와 적용된 속도의 변화를 이용해 변경된 고도를 계산한다.

$$\begin{aligned} \Delta r &= \frac{\tau}{\pi} \Delta v = \frac{5.41 \times 10^3 s}{\pi} (1m/s) \\ &= 1.72 \times 10^3 m \end{aligned}$$

이것이 바로 우주 왕복선이 궤도를 이탈하지 않고 그 궤도를 따라 회전할 수 있는 원리이다. 우주선은 지구 상공 위에서 아치형의 경로로 발사되어 지표면으로부터 항상 같은 고도를 유지하면서 계속 떨어지도록 정확한 속도로 이동한다. 예를 들면 우주 왕복선을 320km 고도의 궤도 위에 올렸을 때 시속 27,740km의 속도로 이동하지 않으면 안정된 궤도를 확보할 수 없다. 그 속도와 고도에서 우주 왕복선은 지구의 곡선과 평행을 이루는 낙하 경로를 유지한다. 우주 왕복선은 지구 주위를 돌면서 떨어지는 자유낙하의 상태에 있고, 고층 대기에는 거의 마찰이 없기 때문에 우주 왕복선과 그 안의 내용물은 높은 마이크로중력 상태에 놓이게 된다.



궤도를 선회하는 우주 왕복선이나 우주 정거장에서는 어떻게 질량을 측정할까? 우주는 저울이 작용하지 않는 마이크로 중력 상태이다. 이와 같은 마이크로 중력 환경에서는 관성을 이용해서 질량을 측정할 수 있는데, 관성과 그로 인한 질량 측정에 사용되는 장치가 바로 관성 저울이다. 이 차시에서는 관성 저울을 제작하여 질량을 알지 못하는 물체의 질량을 관성을 이용하여 측정하는 실험을 하게 된다.



학습 목표

마이크로 중력 환경에서 질량을 측정하는 방법을 알 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

활톱날(30cm), 실톱, C-클램프 1개, 35mm 플라스틱 필름통, 종이타월, 마스킹 테이프, 나무 블록(2.5cm×6.5cm×10cm), 나무 톱, 글루건, 측정할 물체, 그래프용지, 자, 연필, 10원짜리 동전, 100원짜리, 스톱워치, 와셔 등



이렇게 준비해요

학생 3명당 관성 저울을 1개 만들 수 있는 수량의 재료를 준비한다. 빈 필름통 이외의 모든 재료와 도구는 철물점에서 구입이 가능하다. 그리고 활톱날은 묶음으로 구입하면 비용을 줄일 수 있다. 나무 블록의 크기는 중요하지 않으며, 자투리 조각을 이용해도 무방하다.



핵심 단어

- **관성** : 원래의 상태를 그대로 유지하려는 성질. 달리던 버스가 급정거하면 앞으로 넘어지거나 브레이크를 급히 밟을 때 차가 앞으로 밀리는 경우, 트럭이 급커브를 돌면 가득 실은 짐들이 도로로 쏟아지거나 컵 아래의 얇은 종이를 갑자기 빠르고 세게 당기면 컵은 그 자리에 가만히 있는 것이 관성 때문에 생기는 현상이다.



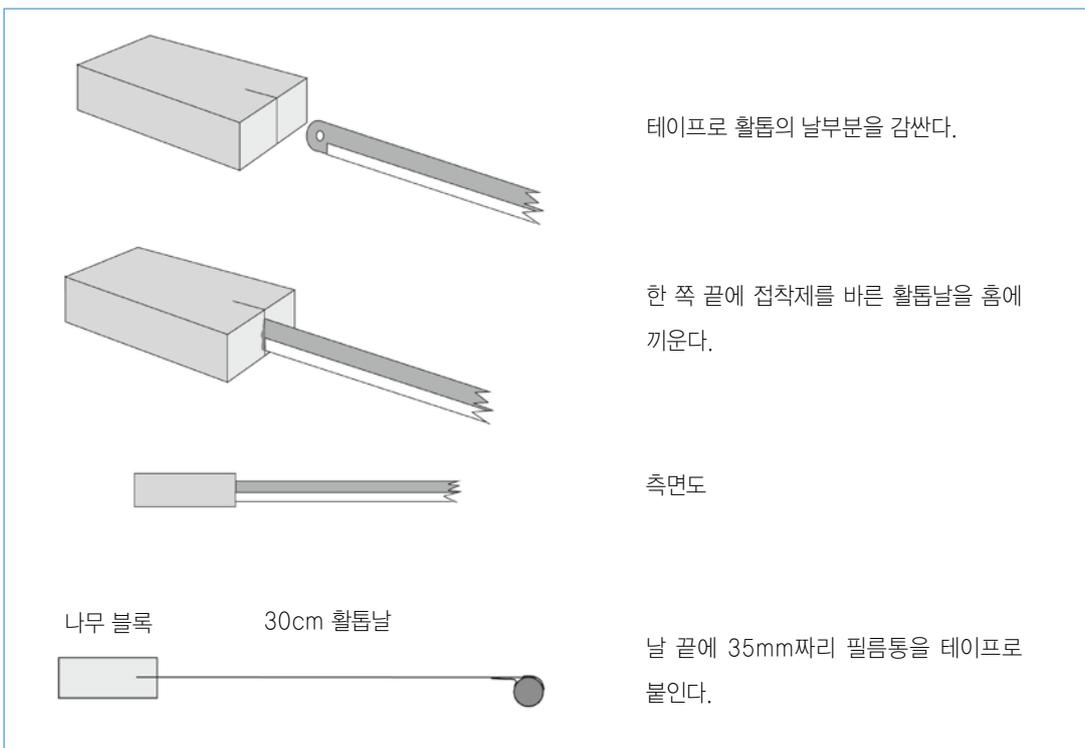


- **관성저울** : 마이크로중력 환경에서 물체의 관성을 직접 측정함으로써 간접적으로 질량을 측정하는 저울
- **질량** : 질량은 장소나 상태에 따라 달라지지 않는 물질의 고유한 양으로 접시저울이나 양팔저울을 사용하여 측정한다. 단위로는 kg, g, mg 등을 사용하며 1kg은 1000g이고 1g은 1000mg이다. 어떤 물체의 무게는 그 물체를 이루는 양, 즉 질량에 따라 결정되므로 질량은 그 물체의 무게를 결정하는 물질의 양이라고 할 수 있다. 그러므로 같은 장소에서 무게는 질량에 비례한다. 저울은 무게가 질량에 비례한다는 사실을 이용한 질량을 측정하는 장치라 할 수 있다.

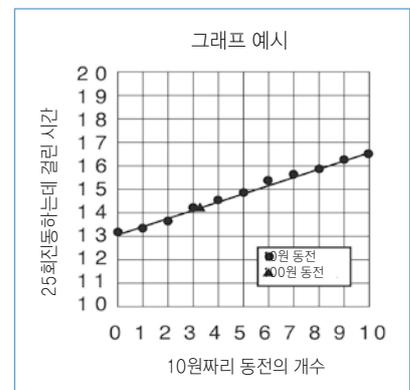
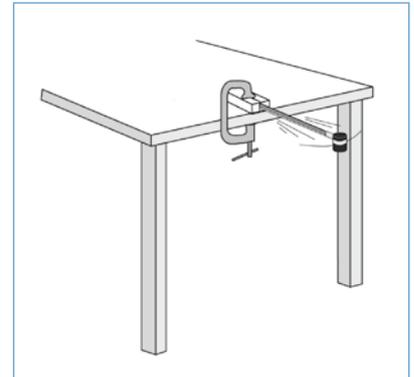


활동 내용

1. 마이크로중력 환경에서는 어떻게 질량을 측정할 수 있을지 이야기해 본다.
 - 접시 저울이나 대저울이 마이크로중력 상태에서 작동할 수 있을까?
 - 작동할 수 없다면 그 이유는 무엇일까?
 - 마이크로중력 환경에서는 어떻게 질량을 측정할 수 있을까?
2. 관성 저울 만들기
 - 길이 약 10cm의 나무 블록을 자른다.
 - 나무 블록의 한 쪽 끝에 실톱을 이용해 2cm 깊이의 홈을 낸다.
 - 활톱날의 한 쪽 끝에 접착제를 발라 나무 블록의 홈에 꼭 맞게 고정 시킨 후 건조시킨다.



- 활톱날의 반대편 끝에 테이프로 필름통을 붙인다.
 - 필름통 안쪽에 와셔를 넣고 클루건으로 고정시킨다.
3. 완성된 관성 저울을 클램프로 고정하거나 팀 내 학생 한 명이 탁자 위에서 눌러서 고정시킨다.
 4. 저울을 교정한다.
 - 이 작업은 10원짜리 동전과 같은 표준 질량을 이용해 실시한다. 저울이 25회 진동하는 데 걸리는 시간을 0으로 하여, 10원짜리 동전 10개에 대해 측정하고 결과를 그래프에 그린다.
 5. 질량을 알지 못하는 물체를 통에 넣고 톱날이 옆에서 옆으로 흔들리도록 하여 그 질량을 계산한다.
 - 질량을 알아보고자 하는 물체는 너트, 볼트, 와셔 및 자갈 등이 될 수 있다.
 - 물체가 주위로 튀어나와 정확성이 떨어지는 것을 막기 위해서 종이 타월로 고정시킨다.



심화학습

1. 관성 막대를 만들고 시연한다.

재
료
및
도
구

- 직경 2cm 정도의 PVC 수도관 (길이 약 1.5~2m)
- 쇠파이프 니플 4개(길이 10~15cm, PVC 파이프 내부에 맞는 크기)
- 수도 파이프를 고정하기 위한 PVC 뚜껑4개
- 실리콘액
- 저울 또는 대저울
- 톱
- 극세사 사포
- 직경 1.5cm 정도 굵기의 막대



니플

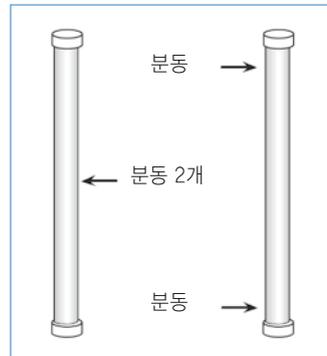
- 톱을 사용해 PVC관을 반으로 자른다. 끝을 매끄럽게 하고 뚜껑이 끝에 맞는지 확인한다.
- 넉넉한 양의 실리콘 액을 PVC관의 한쪽 끝에 짜놓는다. 쇠파이프 니플을 PVC관 속에 미끄러지듯 넣는다. 가늘고 긴 막대를 이용해 쇠파이프 니플을 PVC관 중간으로 밀어 넣는다. PVC관의 다른 쪽 끝에 실리콘액을 바르고 두 번째 쇠파이프 니플을 끼운다. 쇠파이프 니플 두 개가 서로 관 중앙에 걸쳐지도록 위치시킨다. 완전히 마를 때까지 건조시킨다.
- 두 번째 관의 양 끝에 실리콘액을 짜 놓는다. 쇠파이프 니플의 끝이 PVC관의 끝과 인접할 때까지 밀어 넣는다. 완전히 마를 때까지 건조시킨다.
- 두 PVC관의 실리콘액이 건조되면 쇠파이프 니플이 제자리에 단단히 접합되었는지 확인한다.

견고하게 부착되지 않았을 경우 실리콘액을 추가하여 접합을 완료한다. 두 막대의 무게를 측정한다. 막대 하나가 나머지보다 가벼우면 가벼운 막대의 양 끝에 실리콘액을 소량 추가한다. 다시 무게를 측정한다. 필요하다면 실리콘액을 더 추가한다.

- 일부 실리콘액을 PVC 뚜껑안쪽에 바른다.
- 뚜껑을 관 끝 위에 미끄러지듯 넣어 제자리에 접합시킨다.
- 미세 사포로 막대를 다듬는다.
- 학생들에게 두 막대를 위쪽 끝에서 잡고 올리고 막대가 똑같이 느껴지는지를 말해 보게 한 후 시연을 한다.

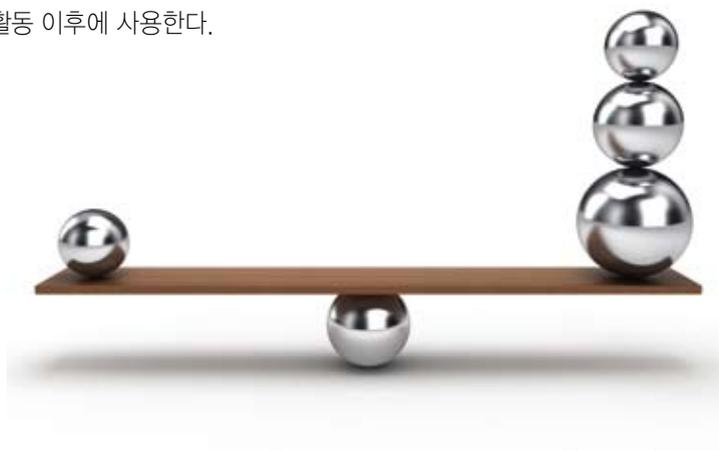
그러면 학생들이 각 막대의 중간 부분을 잡고 팔을 뻗어 가능한 한 빠르게 옆에서 옆으로 막대를 방향을 바꾼다. 한 막대는 움직이기 쉽지만 다른 한 막대 하나는 어려울 것이다. 이 현상은 각 막대 안의 질량이 분산되어 있기 때문에 나타나는 현상이다. 방향을 바꾸는 도중에 막대 끝이 중간보다 빨리 움직이기 때문에 중간에 질량이 있는 막대보다 끝에 질량이 있는 막대에서 학생들은 관성을 더 느낀다. 이 실험을 관성 저울이 작동하는 방법과 연관 짓는다.

2. 학생들에게 자동으로 진동을 측정하는 관성 저울을 설계해 보게 한다.
3. 학생들이 자신의 교정 데이터를 그래프로 나타내고 새로운 측정 결과를 입력할 때 이 그래프를 이용해 알지 못하는 질량을 산정하게 한다.



지도상 유의점

1. 관성 저울을 제작할 때, 나무 블록에 톱날을 삽입하기 위한 홈을 만드는데, 홈은 활톱날이 간신히 들어갈 수 있을 정도가 되도록 만든다.
2. 학생용 읽기 교재는 보관했다가 활동 이후에 사용한다.





관성으로 질량 측정하기

학년 반 이름

도전과제

관성 저울을 이용해 질량을 알 수 없는 물체의 질량 측정하기



중력이 약한 우주에서는 어떻게 질량을 측정할까요? 우주 공간에서도 사용할 수 있는 관성 저울을 만들어보고, 그 원리를 알아보시다. 그리고, 직접 물체의 질량을 측정해봅시다.



이것이 필요해요

관성 저울, 클램프, 탁자, 스톱워치, 동전, 종이 타월 등



핵심 단어

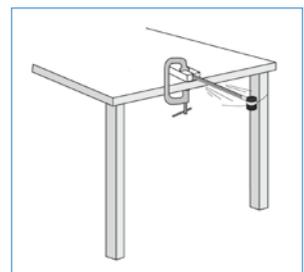
- : 원래의 상태를 그대로 유지하려는 성질. 달리던 버스가 급정거하면 앞으로 넘어지거나 브레이크를 급히 밟아도 차가 앞으로 밀리는 경우, 트럭이 급커브를 돌면 가득 실은 짐들이 도로로 쏟아지거나 컵 아래의 얇은 종이를 갑자기 빠르고 세게 당기면 컵은 그 자리에 가만히 있는 것이 관성 때문에 생기는 현상.
- 관성저울 : 환경에서 물체의 관성을 직접 측정함으로써 간접적으로 질량을 측정하는 저울.
- 질량 : 질량은 장소나 상태에 따라 달라지지 않는 물질의 한 양으로 접시저울이나 양팔저울을 사용하여 측정. 단위로는 kg, g, mg 등을 사용하며 1kg은 1000g이고 1g은 1000mg. 어떤 물체의 무게는 그 물체를 이루는 양, 그러므로 같은 장소에서 무게는 질량에 비례.



활동 순서

【관성 저울 교정하기】

1. 톱날과 필름통으로 만든 관성 저울을 탁자에 클램프로 고정합니다.
2. 팀원 중 1명은 계시원, 다른 1명은 기록자, 또 다른 1명은 계수원으로 선정합니다.
3. 통에 종이 타월 뭉치를 넣고 스프링을 휘어 교정을 시작합니다.
통에서 손을 떼고 주기를 세어봅니다. 25회 왕복하는데 걸린 시간이



- 측정되면 데이터 도표에 수치를 입력하고, 0점의 10원짜리 동전에 대한 그래프에 그 지점을 나타냅니다.
정확도를 향상시키기 위해 측정을 여러 번 반복해 그 결과의 평균을 구합니다.
4. 통 안에 있는 종이 타월 뭉치 옆에 10원짜리 동전 하나를 넣고 25회 왕복하는데 걸린 시간을 측정합니다.
이 데이터를 10원짜리 동전 1개로 기록합니다.
 5. 10원짜리 동전 2개부터 10개까지 이 절차를 반복해 데이터를 기록합니다.
 6. 그래프의 모든 점을 통과하거나 근접하는 하나의 직선을 그립니다.

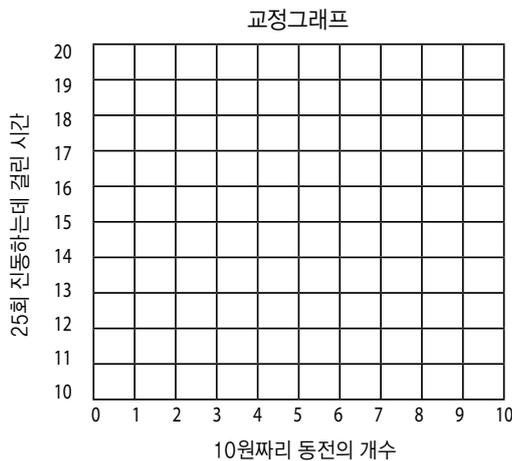
【관성 저울 이용하기】

1. 질량을 알지 못하는 물체를 관성 저울의 필름통에 놓습니다. 25회 왕복하는데 걸린 시간을 측정하고 기록합니다.
2. 그래프의 왼쪽에서 시작해 1단계에서 측정한 시간을 찾습니다. 이전 활동에서 그린 그래프 선과 만나는 점을 찾아, 이 교차점에서 아래를 향해 직선을 그립니다. 이로써 질량을 알 수 없는 물체의 질량을 10원 동전의 무게로 구할 수 있습니다.



활동 결과

1. 제작한 실험 기구를 관성 저울로 사용하기 위해서 다음 그래프를 완성하여 봅시다



2. 관성저울과 위에서 제작한 그래프를 참고로 질량을 모르는 물체의 질량을 측정해서 기록해 봅시다.

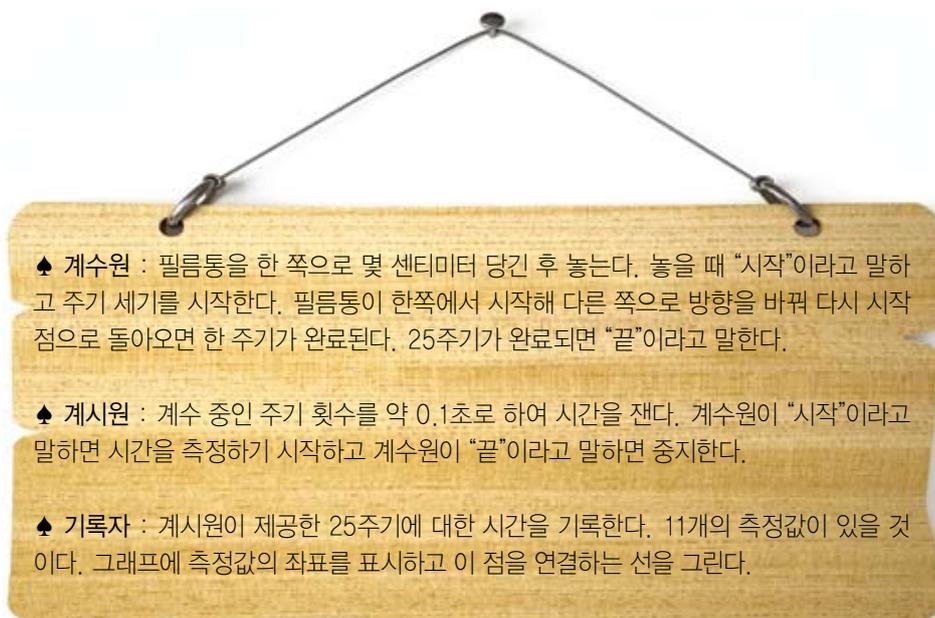
질량을 모르는 물체 1 질량 : g 질량을 모르는 물체 2 질량 : g	질량을 모르는 물체 3 질량 : g 질량을 모르는 물체 4 질량 : g
--	--





생각해요

- ① 이 기법을 이용해 마이크로 중력에서 질량을 측정할 수 있을까요?
- ② 충전재로는 왜 종이 타월이 필요했을까요?
- ③ 10원짜리 동전 무게 측정값을 어떻게 그램으로 변환할 수 있을까요?
- ④ 활탐날의 길이가 결과에 차이를 가져올까요?
- ⑤ 주기 측정 시 오류가 발생할 수 있는 원인으로는 무엇이 있을지 예상하여 적어 봅시다.
- ⑥ 교정 그래프의 직선은 무슨 뜻을 나타내고 있는지 설명하여 봅시다.





【읽을 거리】

관성과 마이크로중력

궤도를 선회하는 우주 왕복선이나 우주 정거장의 마이크로 중력 환경은 과학자들에게 많은 연구 문제를 제시한다. 이 문제 중 하나가 질량을 측정하는 것이다. 지구에서의 질량 측정은 아주 간단하다. 시료나 실험용 동물 등은 저울이나 대저울을 이용해 측정한다. 저울에서는 측정하는 물체에 무게에 의해 스프링이 압축된다. 따라서 압축량을 통해 물체의 무게가 어느 정도인지 알 수 있다.(지구에서 무게는 질량과 관련된다. 무거운 물체가 질량이 더 크다.) 시소와 같은 원리인 대저울에서는 이미 질량을 알고 있는 물체와 비교함으로써 알려지지 않은 물체의 질량을 측정한다. 두 장치 모두 지구 중력에 의해서 만들어진 힘이 저울을 작동시킨 것이다.

그러나, 마이크로중력에서는 저울이나 대저울이 작동하지 않는다. 저울의 접시에 물체를 올려놓아도 스프링이 압축되지 않을 것이다. 또한 대저울의 한쪽에 물체를 올려놓아도 다른 쪽에 영향을 주지 않을 것이다. 이것은 우주에서 큰 문제를 일으킬 수 있다. 예를 들어 우주 궤도에서 우주 비행사의 영양 섭취에 대한 생명과학 분야의 연구에서는 우주 비행사의 체중을 매일 관찰할 필요가 있을 수도 있다.



스페이스랩 생명과학 2 임무 중에 체중 측정 장치를 사용하고 있는 탑재 장비 사령관 리아 세튼 박사. 이 장치는 관성의 특성을 이용해 질량을 측정한다.

재료과학 연구에서는 성장 중인 결정의 질량이 매일 어떻게 변하는지 측정할 필요가 있을 것이다. 중력의 영향을 받지 않는다면 과연 어떻게 질량을 측정할 수 있을까? 스페이스랩 생명과학 2 임무 중에 체중 측정 장치를 사용하고 있는 탑재 장비 사령관 리아 세튼 박사. 이 장치는 관성의 특성을 이용해 질량을 측정한다.

마이크로중력에서는 관성을 이용해 질량을 측정할 수 있다. 관성은 가속도에 대한 저항을 일으키는 물체의 특성이다. 무거운 물체를 밀어보려고 시도한 적이 있다면 관성에 대해 알 수 있을 것이다. 트럭을 밀려고 시도하는 모습을 상상해 보자. 물체가 갖는 관성 또는 가속도에 대한 저항의 크기는 그 물체의 질량에 정비례한다는 것을 알 수 있을 것이다. 질량이 클수록 관성도 크므로 마이크로 중력 환경에서는 물체의 관성을 직접 측정함으로써 간접적으로 질량을 측정할 수 있다.

관성과 그로 인한 질량 측정에 사용되는 장치가 바로 관성 저울이다. 이 저울은 측정 중인 피험체나 시료를 진동시키는 스프링 장치다. 측정 대상을 시료 쟁반이나 시료대에 놓고 고정한다. 진동수는 물체의 질량과 스프링의 강도(이 활동에서는 활동날)에 따라 변한다. 질량이 큰 물체는 작은 물체보다 느리게 진동한다. 주어진 주기 횟수를 완료하는 데 걸리는 시간을 측정해 물체의 질량을 계산할 수 있다.

마이크로중력에서의 양초의 불꽃



마이크로중력에서 실시하는 연소에 대한 연구는 우주선의 안전을 위해 매우 중요하다. 지구상에서 발생하는 화재와는 달리 우주에서는 화재가 났을 경우 우주선 밖으로 나와 소방대가 도착하기를 기다릴 수 없다. 우주에서의 화재는 빠르고 안전하게 꺼야 한다.

이를 위해서는 마이크로중력에서 불이 어떻게 점화되고 어떻게 확산되는지를 이해하는 것이 필수적이다. 이 차시에서는 마이크로 중력 환경과 유사한 자유 낙하 실험에서 양초의 불꽃이 어떻게 변화하는가를 알아보는 실험을 하게 된다.



학습 목표

자유 낙하에서의 양초 불꽃의 특성을 관찰할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

투명한 플라스틱 병과 뚜껑(용량 2L), 나무 블록, 나사, 생일 초, 성냥, 송곳, 비디오 카메라 및 모니터(선택 사항), 보안경 등



이렇게 준비해요

교사의 시연으로 실험할 때는 양초 낙하 병은 하나만 필요하지만, 모둠별 활동으로 구성할 때는 모둠별 각 한 개씩의 양초 낙하 병이 필요하다.

투명한 플라스틱 병은 재활용품 중에서 사용하면 좋다.

특히 땅콩 버터용 플라스틱병을 사용하면 좋은데, 이 때 병의 크기는 2L 정도가 되어야 한다. 작은 병에 산소를 공급하면 제대로 관찰을 하기도 전에 산소가 너무 빨리 소진되기 때문이다.

준비물 목록에 나와있는 나무 블록과 나사는 점토 덩어리로 대체할 수 있다. 점토 덩어리를 병 뚜껑 안으로 눌러 양초의 끝을 점토 속으로 밀어 넣어 사용해도 무방하다.



핵심 단어

- **연소** : 물질이 빛이나 열 또는 불꽃을 내면서 빠르게 산소와 결합하는 반응이다.
- **자유 낙하** : 초기 속도가 0인 상태로 지상을 향해 낙하하는 물체의 운동이다. 지구중력가속도와 같은 가속도로 등가속도 운동을 하며, 떨어지는 동안의 속도는 중력가속도와 낙하시간의 곱과 같다.
- **g** : 지구 표면에서 물체에 지구 중력장이 가하는 가속도(약 9.8m/s^2)



활동 내용

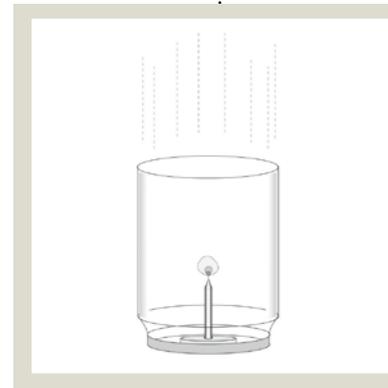
1. 모뎀별 역할 구성하기

- 학생 1 : 양초 낙하 병을 떨어뜨리기
- 학생 2 : 밑에서 양초 낙하 병을 잡기
- 학생 3 : 양초가 자유 낙하할 때 불꽃의 특성 관찰하기

* 각 학생이 각각의 작업을 한 번씩 해볼 수 있도록 모뎀 내에서 돌아가면서 해야 한다.

2. 양초 낙하 병 만들기

- 용량이 2리터 정도 되는 플라스틱 병을 준비한다.
- 나무 블록과 나사를 사용하는 경우 블록 중앙에 양초 끝을 고정할 구멍을 뚫어 양초 낙하 병을 준비한다. 나무 블록에 나사용 구멍을 두 개 뚫는다. 마지막으로 플라스틱 병 뚜껑을 관통하는 구멍을 뚫는다. 블록을 제자리에 놓은 상태에서 뚜껑 구멍을 관통해서 나사를 끼우고 길잡이 구멍을 뚫어둔 나무 블록에 고정한다.
- 나무 블록을 사용하지 않고 점토를 이용할 경우에는 병뚜껑에 점토 덩어리를 붙이고 그곳에 초를 붙여 고정시킨다.



3. 양초 낙하 병 실험하기

- 병을 열어 공기가 통하게 한다. 양초에 불을 붙이고 초를 뚜껑에 고정시킨다.
- 한 팀원이 이 병을 바닥에서 가능한 한 높이 들어 올린다. 셋을 센 후 두 번째 팀원이 병을 잡기 위해 기다리고 있는 바닥으로 병을 떨어뜨린다. 세 번째 팀원은 관찰자 역할을 한다. 관찰자는 데이터를 기록한다.
- 세 명의 팀원이 양초 낙하 병을 떨어뜨리고, 반고, 관찰하는 역할을 번갈아가면서 해본다.

4. 관찰한 내용 이야기하기

- 양초 불꽃의 모양은 어떠하였는가? - 양초 불꽃의 밝기는 어떠하였는가?
- 양초 불꽃의 색깔은 어떠하였는가? - 그 밖에 관찰한 내용에는 어떤 것이 있는가?

5. 관찰한 내용을 마이크로중력과 연관시켜 생각하기
 - 마이크로중력은 양초의 불꽃에 어떤 영향을 주었다고 생각하는가?



심화학습

1. 비디오 장비를 이용하여 낙하 중에 양초 불꽃의 모양을 녹화한다. 재생 중 일시 정지 버튼을 눌러 양초의 불꽃 모양을 조사, 기록한다.
2. 더 높은 곳에서 양초 불꽃 실험을 해 본다.
 - 발코니를 이용할 수 있는 경우에는 교실에서 떨어뜨릴 수 있는 것보다 높은 곳에서 병을 떨어뜨린다.
 - 전체 낙하 시간 동안 양초가 계속해서 타는가?
 - 낙하 시간이 길어지면 밑에서 손으로 직접 병을 잡는 것은 위험하므로, 큰 상자나 플라스틱 쓰레기통 속을 스티로폼 포장재 또는 구겨 놓은 비닐 봉지나 신문으로 채운 후 이 곳에 병을 받도록 한다.
3. 국제 우주 정거장에서 해볼 수 있는 양초 불꽃 실험 설계한다.
 - 종이에 실험가설을 작성하고 필요 기구를 스케치한다.
 - 장치, 작동 원리 그리고 절차를 설명하는 간략한 안내문 작성한다.



지도상 유의점

1. 불을 사용하므로 이 활동에 참여하는 모든 사람은 보안경을 착용해야 한다.
2. 이 활동은 암막 설치가 되어 있는 어두운 교실에서 하는 것이 가장 좋다. 불을 어둡게 하고 관찰할 준비가 되어 있을 때, 양초를 떨어뜨리도록 순서를 확실히 하여 실험한다.







마이크로 중력에서의 양초의 불꽃

학년 반 이름

도전과제

자유 낙하하는 양초의 불꽃의 특성 관찰하기



마이크로중력 환경에서 생일파티가 열렸다고 가정합니다. 생일 케이크 위의 양초의 불꽃은 어떤 모양을 하고 있을까요? 지구상에서 마이크로중력 환경과 유사한 상황을 갖추기 위해 자유 낙하하는 양초의 불꽃을 관찰하려고 합니다. 과연 이 때 불꽃의 모양은 어떠할까요?



이것이 필요해요

투명한 플라스틱 병과 뚜껑(용량 2L), 나무 블록, 나사, 생일 초, 성냥, 송곳, 비디오 카메라 및 모니터(선택 사항), 보안경 등



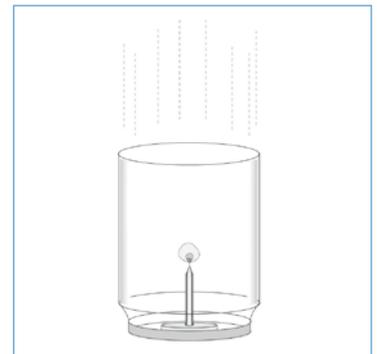
핵심 단어

- 연소 : 물질이 빛이나 열 또는 불꽃을 내면서 빠르게 와 결합하는 반응
- 자유 낙하 : 초기 속도가 인 상태로 지상을 향해 낙하하는 물체의 운동. 지구의 중력가속도를 갖는 운동을 하며, 떨어지는 동안의 속도는 중력가속도와 낙하시간의 곱과 같음
- g : 지구 표면에서 물체에 지구 중력장이 가하는 (약 9.8m/s^2)



활동 순서

1. 모둠별 역할을 구성합니다.
 - 양초 낙하 병을 떨어뜨리기
 - 밑에서 양초 낙하 병을 잡기
 - 양초가 자유 낙하할 때 불꽃의 특성 관찰하여 기록하기
2. 다음 순서에 맞게 양초 낙하 병을 만들어 봅시다.
 - 용량이 2리터 정도 되는 플라스틱 병을 준비합니다.
 - 나무 블록과 나사를 사용하는 경우 블록 중앙에 양초 끝을 고정할 구멍을 뚫어 양초 낙하 병을 준비합니다.



나무 블록에 나사용 구멍을 두 개 뚫고, 마지막으로 플라스틱 병 뚜껑을 관통하는 구멍을 뚫어 블록을 제 자리에 놓은 상태에서 뚜껑 구멍을 관통해서 나사를 끼우고 길잡이 구멍을 뚫어둔 나무 블록에 고정시킵니다.

3. 만들어진 양초 낙하 병으로 자유낙하 실험을 실시합니다.

- 병을 열어 공기가 통하게 하고, 양초에 불을 붙이고 초를 뚜껑에 고정시킵니다.
- 한 팀원이 이 병을 바닥에서 가능한 한 높이 들게 한 후, 셋을 센 후 두 번째 팀원이 병을 잡기 위해 기다리고 있는 바닥으로 병을 떨어뜨립니다. 세 번째 팀원은 관찰자 역할을 하며, 관찰자는 데이터를 기록합니다.
- 세 명의 팀원이 양초 낙하 병을 떨어뜨리고, 받고, 관찰하는 역할을 번갈아가면서 해봅니다.



활동 결과

♣ 모둠내에서 각자의 역할을 나누어 이름을 적어 봅시다.

역할	담당자 이름
양초 낙하 병을 떨어뜨리기	
밑에서 양초 낙하 병을 잡기	
양초가 자유 낙하할 때 불꽃의 특성 관찰하기	

♣ 양초 자유 낙하 실험을 하고, 그 결과를 다음 표에 기록하여 봅시다.

역할	관찰자 1	관찰자 2	관찰자 3
양초 불꽃의 모양			
양초 불꽃의 밝기			
양초 불꽃의 색깔			
기타 관찰한 내용			



생각해요

♣ 양초 불꽃이 마이크로 중력을 경험할 때 어떤 변화가 발생했습니까? 자유 낙하하지 않는 보통의 양초 불꽃과 비교하면 어떤 점이 다른지 적어 봅시다.

♣ 왜 이런 변화가 나타났다고 생각합니까?



♣ 국제 우주 정거장에서 직접 해 볼 수 있는 양초 불꽃 실험을 설계해 봅시다.

• 실험 가설

• 필요한 준비물 :

• 장치, 작동 원리 그리고 사용할 안전 절차에 대한 안내



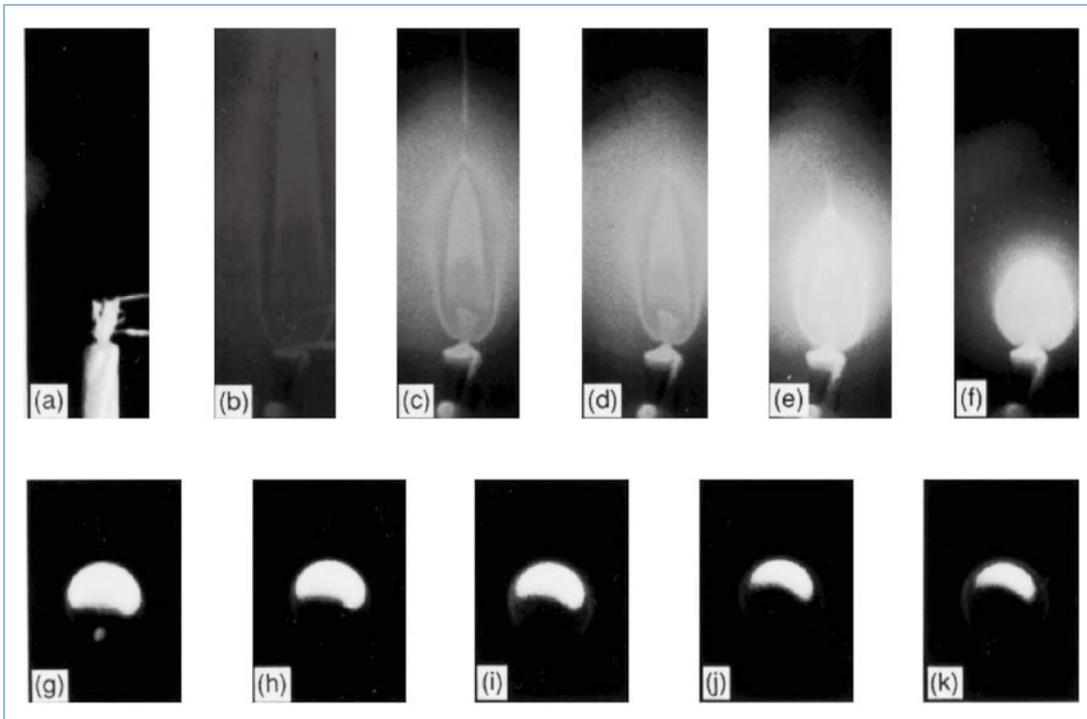
【읽을 거리】

낙하타워에서의 양초 불꽃 실험

낙하 타워와 우주 왕복선을 이용한 마이크로중력 실험은 물질의 연소에 대해 알아보는데 많은 도움이 되었다. 일반적인 실험에서는 양초와 같은 가연성 물질을 열선으로 점화한다. 점화 및 연소 과정은 카메라 및 기타 데이터 수집 장치에 기록된다. 이들 장치를 이용해 과학자들은 정상 중력의 지구에서 존재하는 불꽃과 마이크로중력에서 존재하는 불꽃에는 상당한 차이가 있음을 알게 되었다.

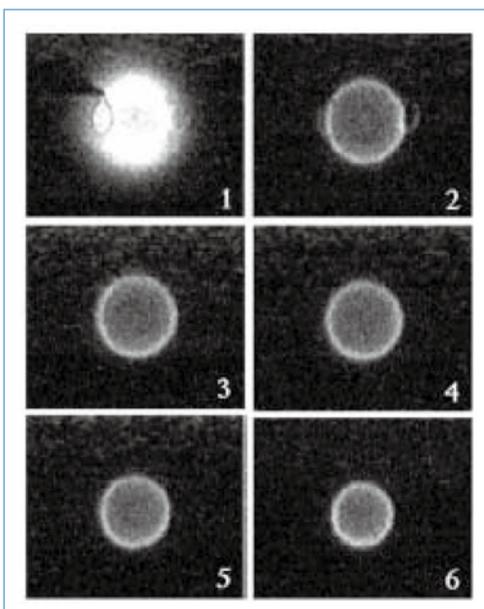
루이스 연구 센터의 132m 낙하타워에서의 양초 불꽃 실험아래의 사진은 NASA 루이스 연구 센터에 있는 132m의 낙하 타워에서 실시한 연소 실험을 보여준다. 이 사진들은 5초의 낙하 타워 시험 도중에 녹화된 것으로서 열선을 이용해 양초를 점화시킨 지 1초 뒤에 떨어뜨린 것이다. 사진에 나타난 것처럼 불꽃은 급속히 안정화되며, 그 모양은 낙하 전체에 걸쳐 일정하게 보인다. 지구에서 볼 수 있는 일반적인 불꽃 모양 대신 마이크로중력에서 불꽃은 구(求)모양이 된다. 지구에서 불꽃은 상승하는 고온 기체에 의해 위로 당겨지지만 마이크로 중력에서는 대류 흐름이비밀의 낙하 타워 실험 중 0.5초 간격으로 촬영한 OH 방사의 자외선 영상. 연소 실험 연소 중인 헤파탄 비밀이 만들어 내는 불꽃 직경은 자유낙하 상태에서 점차 감소한다.





루이스 연구 센터의
132m 낙하타워에서의
양초 불꽃 실험

상당히 감소하여 신선한 산소가 양초에 전달되지 않는다. 대신 산소는 확산 과정으로 인해 불꽃 쪽으로 천천히 움직인다. 이 때 불꽃 온도가 떨어지기 시작하는데, 이는 연소가 덜 활발하게 일어나기 때문이다. 낮은 온도에서는 양초의 용해 및 기화 속도가 줄어든다.



비말의 낙하 타워 실험 중 0.5초 간격으로 촬영한 OH 방사의 자외선 영상. 연소 실험 연소 중인 헵탄 비말이 만들어 내는 불꽃 직경은 자유낙하 상태에서 점차 감소한다.

1992년 6월에 발사된 최초의 미국 마이크로 중력 실험실에 탑재된 양초는 온도 하강과 양초의 기화 속도의 감소로 인해 45초부터 약 1분간 연소된 후 불이 꺼졌다고 한다. 마이크로 중력 상태에서처럼 대류 현상이 일어나지 않는 곳에서는, 대류보다는 속도가 느린 분자의 확산 등에 의해서 양초의 불꽃으로 산소 및 기체 상태의 양초 성분이 공급된다. "상승"이나 "하강"이 없는 이러한 환경에서 불꽃은 구체를 이루는 경향이 있다. 양초의 윗부분에서 손실된 열기는 불꽃 아랫부분의 냉각을 초래하여 구의 일부분만 보이게 된다. 산소와 연료 공급이 감소되어 매연이 거의 또는 전혀 형성되지 않는 온도로 불꽃의 온도가 낮아지며, 연소 속도도 감소된다.

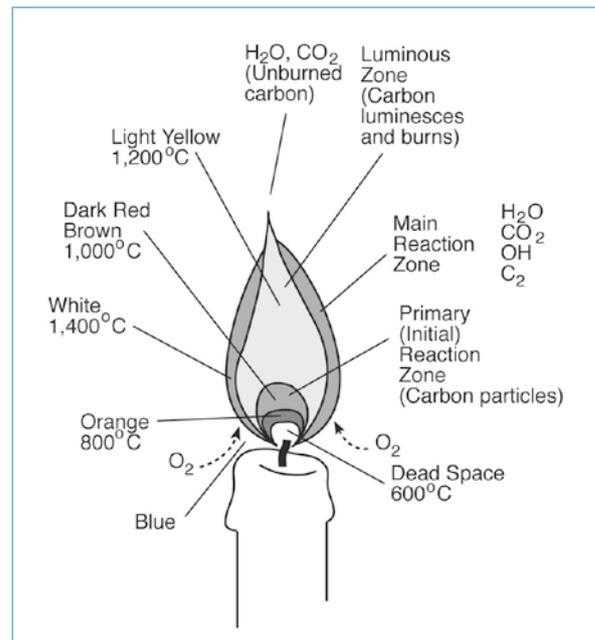
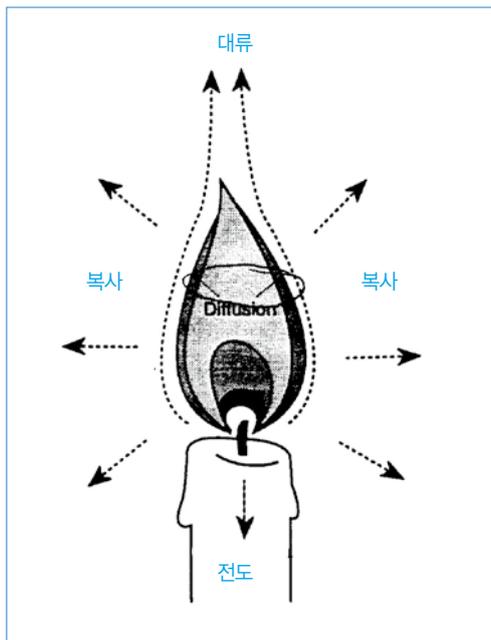
양초의 불꽃

양초는 연소 도중에 발생하는 복잡한 물리 화학적 과정을 설명하는 데 유용하다. 양초 불꽃 표면 자체는 연료 (밀랍 증기)와 산소가 혼합되어 고온에서 타면서 열과 빛을 발산이 일어나는 곳이다. 불꽃에서 나오는 열은 심지 아래로 전도되어 심지 밑에서 밀랍을 녹인다. 모세관 작용 때문에 액체 밀랍은 심지로 올라간다.

액체 밀랍이 불꽃에 가까워지면서 불꽃의 열이 이를 증발시킨다. 이 증기는 불꽃 속으로 빨려 들어가서 점화 된다. 발생한 열은 다시 더 많은 밀랍을 녹인다.

주변 공기로부터 신선한 산소가 불꽃 속으로 빨려 들어가는데 이는 주로 방출된 열에 의해 만들어진 대류 흐름 때문이다. 연소 도중에 만들어진 뜨거운 기체는 주변의 차가운 공기보다 밀도가 낮다.

이 기체는 올라가면서 신선한 산소를 포함한 주변 공기를 불꽃 속으로 빨아들인다. 심지와 불꽃 사이의 지역에서 형성되는 매연의 고체 입자 또한 대류 흐름에 의해 위로 운반된다. 이 매연이 점화되어 불꽃의 밝은 노란 색 끝을 만든다. 뜨거운 기체가 위로 올라가 불꽃이 눈물 모양으로 뿔어 나가게 한다.





물질이 결정 구조로 나타날 때 영향을 미치는 요인에는 무엇이 있을까? 결정의 생성에 가장 크게 영향을 미치는 힘 중의 하나는 중력이다. 이번 차시에서는 모터의 진동을 이용해 제작된 진동 플랫폼을 이용해서 고체 내부의 결정들이 어떻게 정렬되는지 모의실험을 통해 알아볼 것이다.



학습 목표

고체 내부에서 결정들이 정렬되는 과정을 시뮬레이션 할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

나무 받침대와 나무 막대, 납작한 종이 접시, 스프링, 길이 조절용 버클, 전동 모터, 칼라 너트, 가변 출력 변압기, 비비탄 총알 수백 개, 벨크로 테이프 등



이렇게 준비해요

칼라 너트는 철물점에서 구입할 수 있다. 칼라는 모터 축에 불균형한 무게를 제공하기 위한 것이다. 칼라의 멈춤 나사는 적절히 조여 모터 축에 닿을 수 있도록 더 긴 것으로 교체할 필요가 있을 수 있다. 전동 모터는 분당 수백 번의 회전이 가능한 것이어야 한다.



핵심 단어

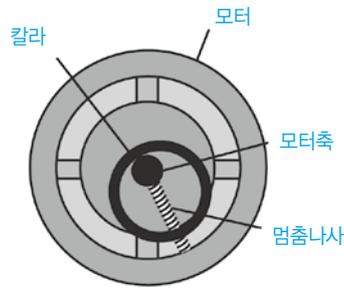
- **결정** : 물질을 이루고 있는 하나하나의 작은 입자들이 규칙적으로 고르게 배열되어 있고, 전체적인 겉모양이 울퉁불퉁하지 않고 고른 평면으로 둘러싸인 물질
- **격자결함** : 결정체 속에서 결정격자가 불완전한 상태인 것을 말한다. 실제로 결정은 여러 이유로 원자가 결여되어 있거나 원자의 배열이 흐트러져 있다. 이는 물질의 열전도도나 전기전도도, 재료의 강도에 큰 영향을 끼친다.
- **비결정질** : 광물을 이루는 원자나 이온의 배열 상태가 불규칙하여 일정한 결정을 이루지 못하는 광물을 말한다.



활동 내용

【진동 플랫폼 만들기】

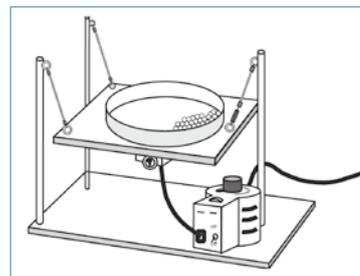
1. 나무 받침대에 막대 3개를 수직으로 세운다.
2. 모터를 진동 플랫폼 바닥에 설치한다. 설치할 때 모터 축은 플랫폼 바닥과 나란히 정렬되어야 한다.
3. 모터 축 위로 칼라를 집어 넣고 나사를 조여 축에 고정시킨다. 칼라가 적절히 부착되었을 때 축과 칼라가 어떻게 보이는지는 아래 그림을 참조한다.



4. 스프링으로 수직 막대 3개에 플랫폼을 매단다. 길이를 조정할 수 있도록 한 곳에 길이 조절용 버클을 추가한다. 플랫폼이 거의 평평하게 매달려 있도록 길이 조절용 버클 길이만큼 스프링 길이를 줄여 맞춘다.
5. 벨크로 테이프로 납작한 접시를 진동 플랫폼의 위쪽에 부착한다.
6. 접시에 수백 개의 비비탄 총알을 넣는다. 총알이 접시 위에 균일하게 퍼지면 길이 조절용 버클을 약간 늘어뜨려 총알이 접시 한쪽으로 모이게 한다.
7. 가변 출력 변압기를 켜 모터를 작동시킨다. 장치가 제대로 설치되었다면 총알이 접시 위에서 춤을 추듯 움직이기 시작하는 것을 볼 수 있다. 잠시 후 전압을 약간 낮춘다. 총알의 움직임이 느려지고 조직적인 다각형 모양으로 자체 정렬을 시작할 것이다. 이 현상이 관찰되지 않으면 관찰될 때까지 플랫폼의 수평을 약간 조절하거나 모터의 위치를 조절한다.

【모의실험 실시】

1. 총알들이 접시 위에서 춤을 추듯 움직일 때까지 가변 변압기의 전압을 올린다. 이는 고체가 용융하는 것을 나타낸다.
2. 가변 변압기를 끈다. 이것은 유리질(비결정) 상태로 액체의 급속 냉각을 나타낸다. 총알들이 만들어내는 결함의 무늬를 관찰해 스케치한다.
3. 다시 전압을 켜서 총알들이 천천히 움직일 때까지 진동을 점진적으로 감소시킨다. 총알들이 어떻게 움직이고 함께 모이는지 관찰한다.



【심화 학습】

1. 몇 가지 광물 결정 시료를 구해 결함을 조사한다. 대부분의 결정에는 눈에 보이는 결함이 있을 것이다. 이 결함은 학생용 읽기 교재에 나타난 것보다 훨씬 큰 규모일 것이다. 광물성 석영은 불순물로 인해 색상이 변하는 결함을 가진 것도 있다.
2. 컴퓨터 칩을 제조하기 위해 결정에 의도적으로 불순물을 함유시키기도 한다. 이에 대해 조사해 본다. 이런 결함은 어떤 도움을 주는가?
3. 국제 우주 정거장에서 할 수 있는 결정화 실험을 설계한다. 이 실험의 모의실험을 지구상에서 하려면 어떻게 해야 하는가? 또한, 우주 정거장에서 실시하려면 이 실험 기구를 어떻게 변경해야 하는가?

**지도상 유의점**

1. 이 모의실험은 진동 플랫폼 장치에 가까이 있어야 관찰하기 쉬우므로, 소그룹으로 편성하여 직접 관찰할 수 있도록 한다.
2. 고체가 “녹은” 후 모터 속도를 점차 낮춰 원자들이 어떻게 정렬되는지를 확인한다. 진동 플랫폼을 기울이면 모터 속도가 감소함에 따라 총알들은 접시의 낮은 쪽으로 이동하면서 정렬하기 시작할 것이다. 잘 되지 않을 경우에는 접시 한쪽을 손가락으로 가볍게 눌러 기울게 한다.
3. 모의실험을 하는 동안 스위치를 눌러 갑자기 진동을 멈추게 해 본다. 이는 녹은 물질이 급속히 냉각될 때 어떤 일이 일어나는지 생각해 볼 수 있게 하기 위함이다.





결정 모델

학년 반 이름

도전과제

모의실험을 통해 고체 원자들이 결정을 구성하는 과정을 관찰하고 이를 그림으로 나타내기



결정 구조에 영향을 미치는 요인에는 어떤 것이 있을까요?

이번 시간에는 진동 플랫폼을 만들어보고, 이를 이용해서 고체 내의 결정들이 어떻게 정렬을 하는지 알아보는 실험을 해봅시다.



이것이 필요해요

나무 받침대와 나무 막대, 납작한 종이 접시, 스프링, 길이 조절용 버클, 전동 모터, 칼라 너트, 가변 출력 변압기, 비비탄 총알 수백 개, 벨크로 테이프



핵심 단어

- **결정** : 물질을 이루고 있는 하나하나의 작은 입자들이 규칙적으로 고르게 되어 있고, 전체적인 겉모양이 울퉁불퉁하지 않고 고른 평면으로 둘러싸인 물질
- **격자** : 결정체 속에서 결정격자가 불완전한 상태인 것. 실제로 결정은 여러 이유로 원자가 결여되어 있거나 원자의 배열이 흐트러져 있는데, 이는 물질의 열전도도나 전기전도도, 재료의 강도에 큰 영향을 줌
- : 광물을 이루는 원자나 이온의 배열 상태가 불규칙하여 일정한 결정을 이루지 못하는 광물



활동 순서

【진동 플랫폼 만들기】

1. 나무 받침대에 막대 3개를 수직으로 세웁니다.
2. 모터를 진동 플랫폼 바닥에 설치하는데, 설치할 때 모터의 축은 플랫폼 바닥과 나란히 정렬되어야 합니다.
3. 모터 축 위로 칼라 너트를 집어 넣고 나사를 조여 축에 고정시킵니다.
4. 스프링으로 수직 막대 3개에 플랫폼을 매단다.
길이를 조정할 수 있도록 한 곳에 길이 조절용 버클을 매듭니다. 플랫폼이 거의 평평하게 매달려 있도록 버



클의 길이만큼 스프링 길이를 줄여 맞춥니다.

5. 벨크로 테이프로 납작한 접시를 진동 플랫폼의 위쪽에 부착합니다.

6. 접시에 수백 개의 비비탄 총알을 넣는다. 총알이 접시 위에 균일하게 퍼지면 길이 조절용 버클을 약간 늘어 뜨려 총알이 접시 한쪽으로 모이게 합니다.

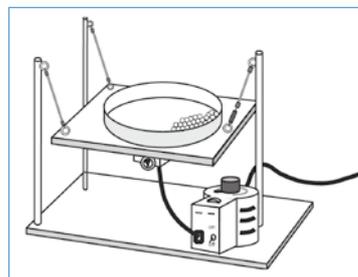
【모의실험 실시하기】

1. 변압기의 전압을 올려 모터를 켜고 총알의 움직임을 관찰합니다.

2. 가변 변압기의 전원을 끕니다.

총알의 결함의 무늬를 관찰합니다.

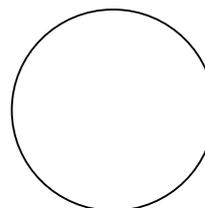
3. 다시 전원을 켜서 총알들이 천천히 움직일 때까지 진동을 점진적으로 감소시키고 총알들이 어떻게 움직이고 정렬되는지 관찰합니다.



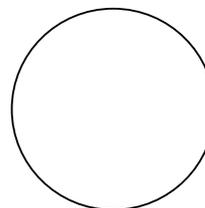
활동 결과

♣ 각 상태별로 총알의 움직임을 관찰한 후 그림으로 그리고 설명하십시오.

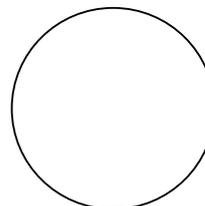
① 변압기의 전원을 켰을 때(응해) :



② 갑자기 변압기의 전원을 켰을 때(고속 냉각) :



③ 변압기의 전원을 서서히 켰을 때(저속 냉각) :





【읽을 거리】

결정화

결정을 이루는 고체 상태의 물질은 원자나 분자가 3차원으로 일정하게 반복되는 형태로 배열되는 물질이다. 결정질 물질은 액체나 기체 상태에 있는 원자나 분자가 고체 상태로 바뀌면서 원자나 분자가 서로 일정하게 반복되는 형태로 결합한다. 이런 형태를 구성하지 않는 물질을 비결정질이라 한다.

유리는 비결정질 물질의 좋은 예다.

결정의 유용성 여부는 그 구조에 따라 결정된다.

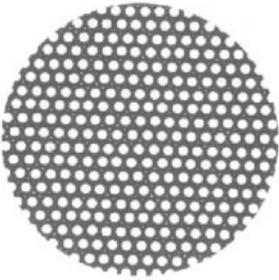
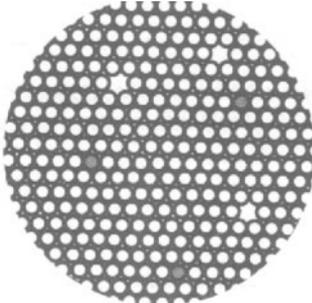
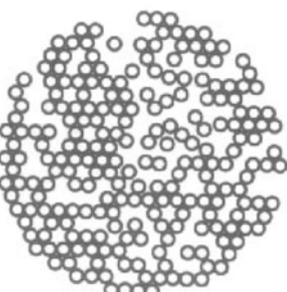
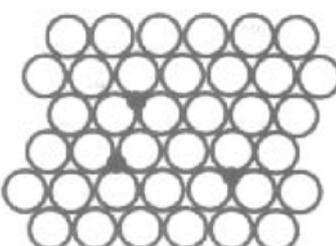
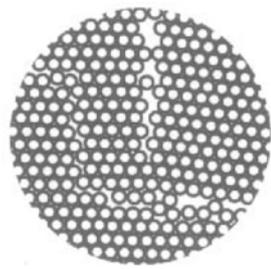
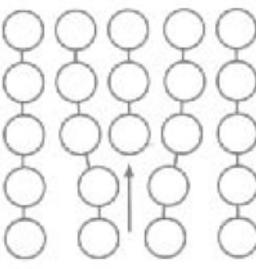
모든 결정질 물질은 결합의 정도가 다르므로, 결합은 다양한 형태를 이룰 수 있다. 보석급의 다이아몬드는 때때로 빛의 굴절을 감소시키는 소량의 탄소(탄소 얼룩)를 포함하게 되면 가치가 떨어지기도 한다. 또 어떤 결정질 물질에서는 오히려 결합이 있는 것이 그 가치를 높이기도 한다.

전자공학용으로 사용되는 어느 고체 광물의 결정은 의도적으로 주입된 불순물이 존재하여, 이것이 전기적 특성을 제어하기도 한다. 또 다른 결합에는 구조에서 단순히 원자가 누락된 빈 격자점과 원자의 반평면(half plane)이 누락된 전위가 포함된다. 결정의 결합에서 중요한 점은 그 수와 분포를 제어할 수 있어야 유익하다는 것이다. 제어되지 않은 결합은 신뢰할 수 없는 전자적 특성 또는 구조 물질의 결점이 될 수 있다.



결정 결함의 예

다음 그림은 이상적인 2차원 결정질 구조(다각형 기하)를 확대해 본 것이며, 이를 통해 다양한 결함을 볼 수 있다.

	
<p>이상적인 결정질 구조</p>	<p>결함점(빈 격자점과 대체 불순물)이 있는 결정질 구조</p>
	
<p>비결정질 또는 유리질 구조(정지한 경우) 또는 액체 구조(움직이는 경우)</p>	<p>격자 간 결함이 있는 결정질 구조</p>
	
<p>표면(입자 경계) 결함을 지닌 결정질 구조</p>	<p>가장자리 변위가 있는 결정질 구조</p>

결정 성장에 의한 대류

결정은 다양한 방법으로 성장할 수 있다. 일반적으로 결정의 성장 과정은 매우 정적인 것처럼 보인다. 하지만, 결정이 성장하는 용액을 밝게 비춰보면 용액에 어떤 흐름이 있다는 것을 알아차릴 수 있다. 이런 흐름은 어디에서 오는 것일까? 이번 차시에서는 이런 흐름이 발생하는 메커니즘을 이해하고, 마이크로 중력 환경에서와는 어떻게 다른지를 예상해보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

결정 성장 용액에서 결정이 생성될 때 나타나는 용액의 흐름을 관찰할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

알루미늄 칼륨 황산염($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - '명반'이라고도 함), 정사각형 아크릴 상자, 증류수, 유리 막대, 낚시줄, 실리콘 접착제, 비커, OHP 또는 빔프로젝터, 스크린, 보안경, 핫 플레이트, 온도계, 전자저울, 종이 조각 등



이렇게 준비해요

1. 대류 실험은 진동에 매우 민감하다. 따라서 이 실험은 매우 견고한 실험대 위에서 실시되어야 한다.
2. 진한 결정 용액을 만들기 위해 사용되는 명반의 양은 물의 양과 온도에 따라 다르다.
3. 투명한 아크릴 상자는 광학적으로 왜곡이 없는 것을 선택한다.



핵심 단어

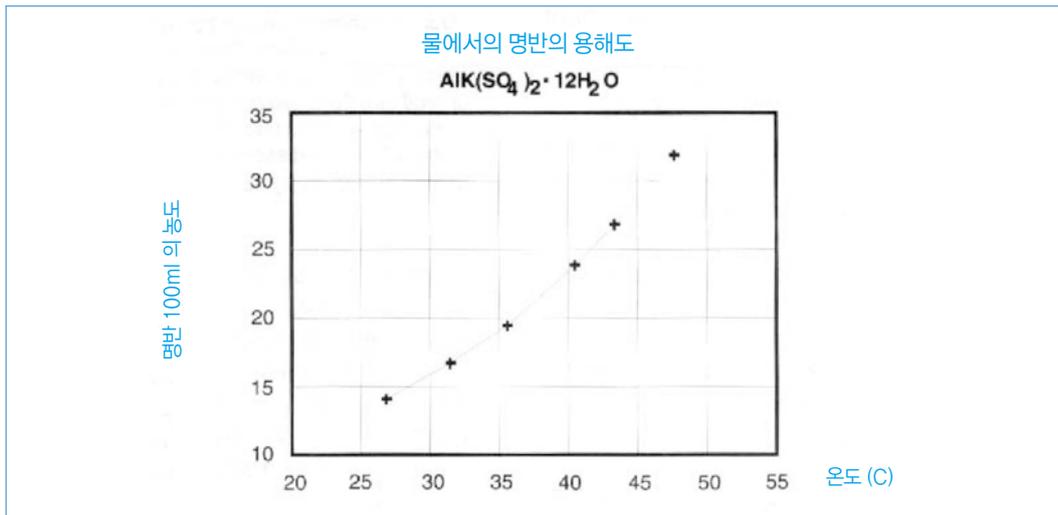
- **부력에 의한 대류** : 중력장에서 두 가지 이상의 유체 사이의 밀도 차이로 생기는 대류
- **유체** : 흐르는 모든 것(액체 또는 기체)
- **유체 역학** : 액체, 기체 및 유체와 유사한 고체의 속성과 움직임의 연구
- **결정 성장** : 결정구조를 가진 물질의 결정입자가 동일한 결정의 핵으로부터 차차 커지는 현상



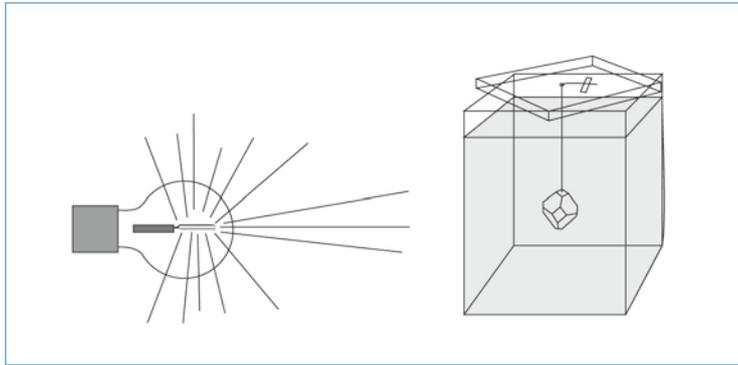
활동 내용

【결정핵 만들기】

1. 실험 몇 주 전에 소량의 따뜻한 물에 가급적 많은 양의 명반을 용해시켜 서서히 건조시킨다.
2. 결정핵(크기 약 3~5mm)이 만들어지면 거름종이나 종이 타월에 용액을 부어 결정핵을 포획한다.
3. 결정핵을 건조시킨다.
4. 작은 종이 조각에 실리콘 접착제를 조금 놓은 후 낚시줄의 한 쪽과 연결한다.
5. 낚시줄의 다른 한 쪽은 결정핵에 연결한다.
6. 따뜻한 물이 든 비커에 분말 또는 결정질 명반을 용해시켜 결정 성장 용액을 준비한다. 물에 용해될 수 있는 명반의 양은 사용된 물의 양과 온도에 따라 다르다. 필요한 양은 아래의 도표(물에서의 명반 용해도)를 참조한다.



7. 물에 더 이상 명반이 용해되지 않으면, 이 용액을 아크릴 상자로 옮긴다.
8. 상자 뚜껑 중앙에 작은 구멍을 뚫는다. 구멍으로 결정핵이 달린 줄을 관통시키고 테이프를 이용해 고정시킨다. 상자에 결정핵을 두고 상자 뚜껑을 45도 각도로 기울여 증발이 잘 일어나도록 살짝 열어 둔다. 결정핵이 상자 바닥 위 몇 센티미터 정도의 위치에 놓이도록 줄 길이를 조절한다.
9. 방해받지 않고 여러 날 동안 관찰할 수 있는 곳에 상자를 둔다. 결정이 사라진다면 용액에 더 많은 명반을 용해시키고 새로운 결정핵을 매달아둔다. 마침내 성장이 시작될 것이다.
10. 자로 크기를 측정해 결정의 성장 속도를 기록한다.
결정을 꺼내어 전자저울로 그 질량을 측정할 수도 있다.
11. 슬라이드 프로젝터의 빛이 상자를 통해 프로젝션 스크린에 비치도록 하여 결정의 성장과 관련된 유체의 흐름을 주기적으로 관찰한다. 특히 결정 그림자 주변의 깃털 모양의 흐름을 관찰한다. 성장 용액의 흐름은 결정 용액을 통과하는 빛을 왜곡시킨다. 관찰할 때에는 다음페이지의 그림을 참고한다.



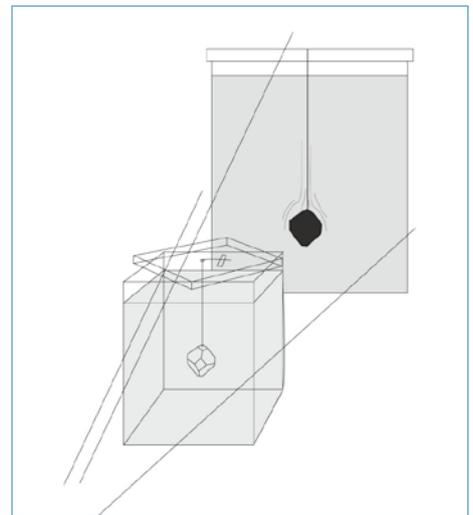
【심화 학습】

1. 다른 가루 물질의 결정 성장을 시도해 본다.
2. 자연 상태에서 얻은 결정을 수집해 그 표면과 내부를 관찰한다. 결정의 균일성과 결함을 조사한다. 다양한 종류의 결함(균열, 기포, 함유물, 색상 변화 등)이 관찰되면 그에 대한 목록을 만든다. 결함이 만들어지기 위해서는 결정 형성 과정에서 또는 형성 후에 어떤 조건이 필요한지 토의해 본다.
3. 마이크로중력 상태에서의 결정 성장 실험 결과에 대한 참고 문헌을 조사한다.



지도상 유의점

1. 아크릴 상자 한쪽에 슬라이드 프로젝터를 놓고 뒷벽에 그림자가 비춰지도록하여 빛이 프로젝터에서 아크릴 상자를 통과하도록 한다. 벽면에 결이 있거나 색이 어두운 경우에는 스크린 역할을 하도록 흰색 모조지를 테이프로 붙인다. 화면에 투사되는 외부의 빛을 줄이기 위해서는 화면 주위에 어두운 색 종이를 추가하면 좋다. 프로젝터는 직선 필라멘트가 있는 약 100~150W의 투명한 전구로 대체할 수 있다. 전구를 소켓에 설치하고 전구의 필라멘트가 아크릴 상자를 향하도록 한다. 여기에서 전구가 점광원의 역할을 해 그림자가 뚜렷해지게 한다. 전구와 함께 반사갓을 사용하지 않는다.
2. 결정의 크기를 측정할 때에는 자를 이용해 가로, 세로 길이를 측정하거나, 전자저울로 결정의 무게를 측정할 수도 있다.
3. 명반의 결정화가 잘 일어날 수 있는 환경을 갖추어 아크릴 상자를 두도록 한다.
4. 결정 만들기 실험은 명반뿐만 아니라 설탕이나 소금, LAP (L-아르기닌 인산염) 또는 TGS(황산 트리글리신) 같은 다양한 화합물로 할 수 있다.







결정성장에 의한 대류

학년 반 이름

도전과제

결정 성장 용액에서 결정이 성장할 때 만들어지는 용액의 흐름 관찰하기



여러분은 백반이나 소금과 같은 가루물질을 녹여 결정을 만들어 보았을 것입니다. 결정이 생기는 과정은 매우 정적이고, 조용하다고 느꼈을 것입니다. 하지만, 과연 그럴까요? 결정 성장 용액 속의 결정은 어떤 모습으로 성장해가는지 실험을 통해 알아보겠습니다.



이것이 필요해요

알루미늄 칼륨 황산염($\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - '명반'이라고도 함), 정사각형 아크릴 상자, 증류수, 유리 막대, 낚시줄, 실리콘 접착제, 비커, OHP 또는 빔프로젝터, 스크린, 보안경, 핫 플레이트, 온도계, 전자저울, 종이 조각 등



핵심 단어

- **부력에 의한 대류** : 중력장에서 두 가지 이상의 유체 사이의 차이로 생기는 대류
- : 흐르는 모든 것(액체 또는 기체)
- **줄 가열** : 액체, 기체 및 유체와 유사한 고체의 속성과 움직임의 연구
- **유체 역학** : 어떤 물질에 를 흘려 가열하는 것
- **결정** : 결정구조를 가진 물질의 결정입자가 동일한 결정의 핵으로부터 차차 커지는 현상



활동 순서

1. 실험 몇 주 전에 소량의 따뜻한 물에 가급적 많은 양의 명반을 용해시켜 서서히 건조시킵니다.
2. 결정핵(크기 약 3~5mm)이 만들어지면 거름종이나 종이 타월에 용액을 부어 결정핵을 포획합니다.
3. 결정핵을 건조합니다.
4. 작은 종이 조각에 실리콘 접착제로 낚시줄의 한 쪽과 연결합니다.
5. 낚시줄의 다른 한 쪽은 결정핵에 연결합니다.
6. 따뜻한 물이 든 비커에 분말 또는 결정질 명반을 용해시켜 결정 성장 용액을 준비합니다.

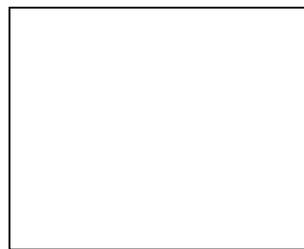


7. 물에 더 이상 명반이 용해되지 않으면, 이 용액을 아크릴 상자로 옮깁니다.
8. 상자 뚜껑 중앙에 작은 구멍을 뚫어, 구멍으로 결정핵이 달린 줄을 관통시키고 테이프를 이용해 제자리에 고정시킵니다. 상자에 결정핵을 두고 상자 뚜껑을 45도 각도로 기울여 증발이 잘 일어나도록 살짝 열어 둡니다. 결정핵이 상자 바닥 위 몇 센티미터 위치에 놓이도록 줄 길이를 조정합니다.
9. 방해를 받지 않고 여러 날 동안 관찰할 수 있는 곳에 상자를 둡니다.
결정이 사라진다면 용액에 더 많은 명반을 용해시키고 새로운 결정핵을 매달아둡니다.
10. 미터 단위 자로 측정해 결정의 성장 속도를 기록합니다.
결정을 꺼내어 전자저울로 그 질량을 측정할 수도 있습니다.
11. 슬라이드 프로젝터의 빛이 상자를 통해 프로젝션 스크린에 비치도록 하여 결정의 성장과 관련된 유체의 흐름을 주기적으로 관찰합니다. 특히 결정 그림자 주변의 깃털 모양을 관찰합니다. 성장 용액의 흐름은 결정 용액을 통과하는 빛을 왜곡시킵니다.



활동 결과

♣ 빈 칸에 용액 결정 성장 실루엣 사진에서 관찰한 것을 스케치한 후 자세히 설명합니다.



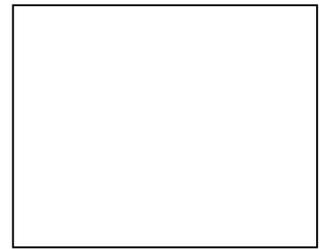
♣ 아래 빈 칸에 다시 용액에 의해 용해되고 있는 결정의 경우에는 어떤 실루엣 사진이 되어야 할지 스케치한 후 자세히 설명합니다.





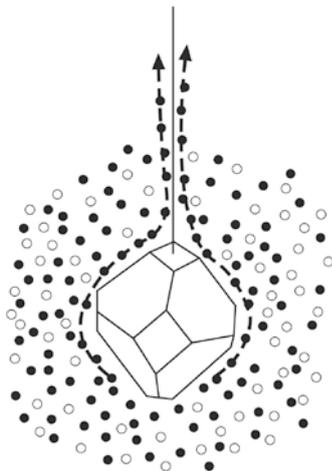
생각해요

♣ 아래 빈 칸에 마이크로 중력 환경에서의 결정 성장 실루엣 사진은 어떤 모양이 될지 스케치한 후 자세히 설명합니다.



【읽을 거리】

결정 성장 및 부력에 따른 대류



이 그림에서 물 분자는 검은 점으로, 용해된 명반은 흰 점으로 표시된다. 대부분의 용액에서 이 점들은 무작위로 섞여 있지만 결정 주변의 점들은 대부분 검은색이다. 이것은 성장하는 결정 주변의 명반이 결정 구조에 부착되어 물만 남기 때문이다. 남은 물은 부양성이어서 상승하는 반면, 더 많이 용해된 명반이 있는 밀도가 높은 물은 결정 옆으로 이동해 그 자리를 차지한다.

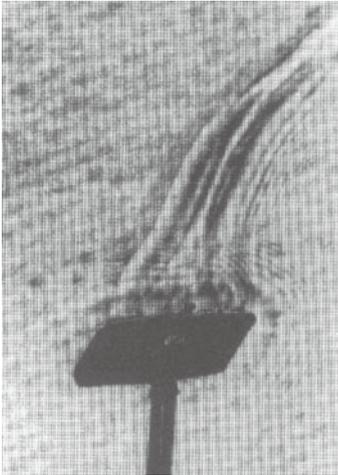
용액에서 결정을 성장시키기 위한 일반적인 절차는 먼저 진한 용액을 만드는 것이다. 이 활동에서는 용해될 수 있는 명반의 양을 증가시키기 위해 따뜻한 물을 사용했다.

뜨거운 물은 찬물보다 많은 설탕을 용해시킬 수 있기 때문이다. 명반이 용해된 후 이 용액이 실내 온도로 서서히 냉각되게 한다. 용액의 온도가 낮아지면, 이 용액 속에는 그 온도에서 일반적으로 보유할 수 있는 것보다 많은 양의 명반이 들어있게 된다. 즉, 용액이 과포화된 것이다. 용액에 매달려있는 결정핵은 이 때 성장하기 시작한다. 물에 용해된 포화상태의 명반이 결정으로 바뀌어 결정핵의 표면에 달라붙는다. 결정 성장 용액이 든 아크릴 상자의 윗부분이 열려있기 때문에 용액이 증발하기 시작한다.

언뜻 보기에 명반 결정의 성장 과정은 매우 조용하고 정지된 것처럼 보인다. 하지만 슬라이드 프로젝터의 빛으로 비춰보면, 용액에 어떤 흐름이 있다는 것을 알 수 있다. 이 흐름이 빛을 왜곡시켜 화면에 어두운 깃털 모양을 만들어 우리 눈에 보이게 된다.



화면에 나타나는 이 영상을 실루엣 사진(shadowgraph)이라고 한다.



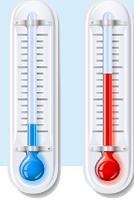
성장 중인 결정에서 피어오르는 성장 연기(growth plume)의 실루엣 사진 영상

이런 대류 흐름은 어디서 오는 것일까? 그 답은 성장 용액이 들어있는 아크릴 상자의 벽 주변에 있는 용액과 비교해 성장하는 결정 주변의 용액에서 명반 양이 차이가 나기 때문이다. 결정 주변을 제외하면 이 용액은 성분과 밀도가 균질하다. 그러나 결정 주변의 용액은 다르다. 명반의 각 분자가 용액을 떠나 결정 표면에 쌓이기 때문에 결정 주변 용액은 이전보다 밀도가 약간 낮아진다. 용액의 밀도가 낮아질수록 뜨는 성질을 가지게 되어 상승하기 시작한다. 밀도가 무거운 용액은 결정 근처로 이동해 그 자리를 차지한다. 이로써 용액 내에서 대류가 발생하게 된다.

성장 중인 결정에서 피어오르는 성장 연기(growth plume)의 실루엣 사진 영상. 마이크로중력을 연구하는 과학자들은 성장하는 결정 주변에서 형성되는 용액의 흐름에 관심을 보인다. 이 흐름은 액체 함유물과 같은 결함이 형성되는 원인이 될 수도 있다. 마이크로중력 환경에서는 부력에 의한 대류가 거의 없어 지구에서 성장한 결정보다 훨씬 함유물이 적을 확

률이 높다. 이런 이유로 용액 결정 성장이란 분야는 마이크로 중력 연구에서 활기를 띠는 분야가 되었다.

급속한 결정화



추운 겨울에 핫팩 속의 금속을 꺾어 따뜻하게 만든 후, 찬 손을 녹여본 경험이 있을 것이다. 그 원리는 과연 무엇일까? 이번 차시는 온도에 따라 결정이 성장하는 모습은 어떻게 다른지에 대해 알아보는 활동으로 구성되어 있다.



학습 목표

온도에 따라 결정이 성장하는 모습은 어떻게 다른지 조사하여 설명할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

핫팩 손난로(모듬별 1개 이상), 전기 주전자, 스티로폼 통(모듬별 1개), 온도계(모듬별 1개 이상), 관찰 및 데이터 표(학생 모듬별 1장), 냉각기, 시계 또는 다른 타이머 등



이렇게 준비해요

핫팩은 캠핑용품점에서 구할 수 있다. 이 활동은 두세 명을 한 모듬으로 하여 협동학습으로 구성한다. 학생 모듬 수에 맞게 세트로 모든 재료를 준비하고, 결정이 용해될 때까지 응결된 핫팩은 모두 가열하여 준비한다. 핫팩의 반은 실내 온도로 냉각되게 하고, 나머지 반은 약 45°C의 온도로 준비한다.



핵심 단어

- **핫팩(손난로 또는 주머니난로)** : 자극을 받으면 숨은열을 내놓고 결정화하는 아세트산나트륨의 성질을 이용한 것으로서, 비닐봉지에 아세트산나트륨과 금속 단추를 함께 넣고 그 금속 단추를 '똑딱'거리면 내용물이 굳어지면서 열을 낸다. 내용물이 굳어지면 물 속에 넣고 끓인다. 그러면 다시 액체 상태로 변한다. 여러 번 다시 사용할 수 있는 장점이 있다.
- **열전도** : 열에너지가 물질의 이동을 수반하지 않고 고온부에서 저온부로 연속적으로 전달되는 현상. 주로 고체 내부에서 일어난다.



- **응결** : 액체가 열에너지를 잃고 고체로 상태변화가 일어나는 경우
- **과포화 용액** : 일정한 온도에서 용질이 용해도 이상으로 녹아 있는 상태의 액체



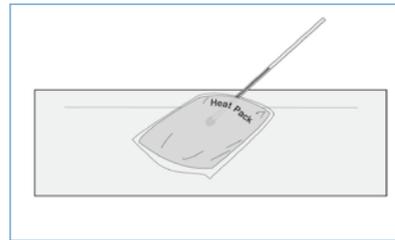
활동 내용

【데이터 수집 절차 토의】

1. 스티로폼 통이 왜 필요한지 학생들과 토의하고, 온도계의 구부가 어디에 있는 것이 가장 좋은지 학생들에게 물어본다.
2. 온도계는 각 실험에서 동일한 위치에, 동일한 방법으로 놓아야 한다는 것을 학생들에게 상기시킨다.
3. 각 모둠별 수행할 학생용 데이터 시트를 나눠준다.

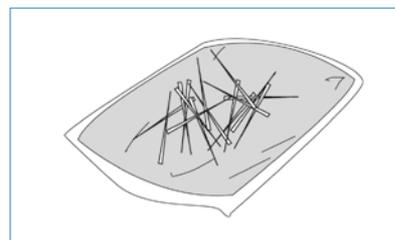
【핫팩의 결정화 실험】

1. 실내 온도를 측정한다.
2. 학생들은 핫팩 내의 금속판을 누른 직후 바로 관찰을 시작할 수 있도록 준비해야 한다. 1분 정도면 핫팩 내의 물질은 완전히 결정화되어 버리기 때문이다. 결정화 과정을 학생들이 직접 느껴 볼 수 있도록 돌아가며 관찰시킨다.
3. 비디오 영상 시스템이 있는 경우에는 텔레비전을 통해 결정화가 일어나는 과정을 영상으로 보여준다.
4. 첫 번째 팩의 관찰이 끝나면 두 번째 팩을 나눠준다. 두 번째 팩은 첫 번째 팩보다 초기 온도를 높게 하여 실험을 한다. 핫팩의 결정화가 완료되는 데에 걸리는 시간을 측정해 본다.



【관찰결과 토의】

1. 핫팩의 초기 온도와 결정화 도중의 핫팩의 온도 사이에는 어떤 관계가 있는가?
2. 핫팩의 초기 온도와 핫팩이 완전히 응결되는 시간과는 어떤 관계가 있는가?
3. 물과 같은 물질들은 응고될 때 열을 방출하는가?



【심화 학습】

1. 마이크로 중력 환경에서 핫팩이 결정화된다면 어떤 일이 일어날지 토의한다.
2. 중력은 어떤 영향을 끼치는가? 즉, 금속판이 바닥에 있을 때와 금속판이 위에 있을 때의 실험을 반복한다.
3. 냉장고에서 핫팩 파우치를 차갑게 한 후 응결을 촉발시킨다.



지도상 유의점

1. 핫팩의 온도를 측정할 때 온도계의 구부의 위치는 서로 다른 조건의 실험을 할 때에도 동일하게 일치되어야 한다.
2. 초기 온도가 높은 핫팩은 결정화되는데 더 많은 시간이 소요된다는 것을 알게 될 것이다. 초기 온도에 따라 결정은 바늘이나 칼날 모양이 되기도 한다. 중력은 결정의 성장 과정에 영향을 줄 것이다. 중력의 영향이 미치는 지구상에서는 결정은 팩 바닥에 가라앉아 섞여서 찌그러질 것이다. 초기에 차가운 핫팩에서 형성된 결정은 바늘 모양이지만, 동시에 너무 많이 형성되기 때문에 성장 형태는 부채 모양이 될 것이다.





핫팩 속의 결정화

학년 반 이름

도전과제

온도에 따라 결정이 성장하는 모습은 어떻게
다른지 비교하여 보기



여러분들은 추운 겨울에 손을 따뜻하게 해주는 핫팩을 사용해 본 적이 있나요? 핫팩은 어떤 원리로 따뜻하게 열을 내는 것일까요? 이번 시간에는 핫팩의 원리를 알아보고, 온도에 따라 결정의 성장에는 어떤 차이가 있는지를 알아보는 활동을 하게 됩니다.



이것이 필요해요

핫팩 손난로(모듬별 1개 이상), 전기 주전자, 스티로폼 통(모듬별 1개), 온도계(모듬별 1개 이상), 관찰 및 데이터 표(학생 모듬별 1장), 냉각기, 시계 또는 다른 타이머 등



핵심 단어

- **핫팩(주머니난로)** : 자극을 받으면 숨은열을 내놓고 결정화하는 아세트산나트륨의 성질을 이용한 것이다. 비닐봉지에 아세트산나트륨과 금속 단추를 함께 넣고 그 단추를 '똑딱'거리면 내용물이 굳어지면서 열을 낸다. 내용물이 굳어지면 물 속에 넣고 끓인다. 그러면 다시 액체 상태로 변한다. 여러 번 다시 사용할 수 있는 장점이 있다.
- **열전도** : 열에너지가 의 이동을 수반하지 않고 고온부에서 저온부로 연속적으로 전달되는 현상. 주로 고체 내부에서 일어난다.
- **응결** : 액체가 열에너지를 잃고 로 상태변화가 일어나는 경우
- **용액** : 일정한 온도에서 용질이 용해도 이상으로 녹아 있는 상태의 액체



활동 순서

1. 실내 온도를 측정합니다.
2. 학생들은 핫팩 내의 금속판을 누른 직후 바로 관찰을 시작할 수 있도록 준비해야 합니다. 결정화 과정은 인상적이기 때문에 직접 느껴볼 수 있도록 돌아가며 관찰합니다.
3. 비디오 영상 시스템이 있는 경우에는 텔레비전에 결정화가 일어나는 과정을 녹화하여 영상으로 지켜봅니다.



4. 첫 번째 팩의 관찰이 끝나면 두 번째 팩을 준비합니다.

두 번째 팩은 첫 번째 팩보다 초기 온도를 높게 하여 실험을 합니다. 핫팩의 결정화가 완료되는 데에 걸리는 시간을 측정해 봅니다.



활동 결과

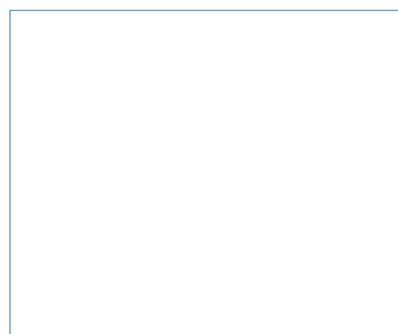
[실험1 : 파우치의 초기 온도(℃)]

① 결정화가 시작되는 온도와 시간 :

② 결정화가 종료되는 온도와 시간 :

③ 결정화 되기까지의 소요시간 :

④ 결정의 특징(모양, 성장률, 크기 등)



결정의 스케치(℃)

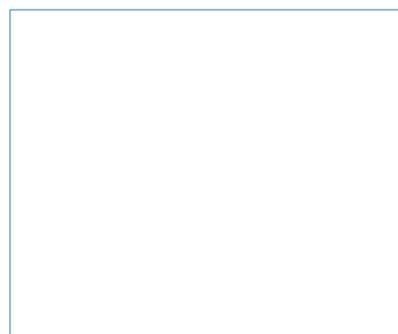
[실험2 : 파우치의 초기 온도(℃)]

① 결정화가 시작되는 온도와 시간 :

② 결정화가 종료되는 온도와 시간 :

③ 결정화 되기까지의 소요시간 :

④ 결정의 특징(모양, 성장률, 크기 등)



결정의 스케치(℃)



생각해요

1. 핫팩의 초기 온도와 결정화 도중의 핫팩의 온도 사이에는 어떤 관계가 있습니까?

2. 핫팩의 초기 온도와 핫팩이 완전히 응결되는 시간 사이에는 어떤 관계가 있습니까?

3. 물과 같은 물질들은 응고될 때 열을 방출할까요?
4. 마이크로중력 환경에서 같은 실험을 한다면 어떤 일이 일어날지 상상해서 써 봅시다.



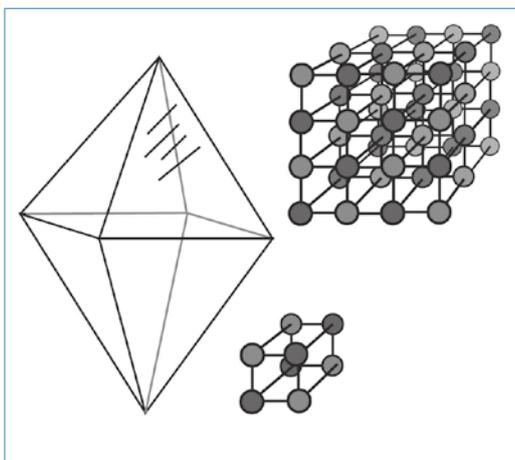
【읽을 거리】

햇팩과 결정

결정은 3차원에서 반복되는 순차적 형태로, 정렬된 원자, 이온 또는 분자로 구성된 고체를 말한다. 육안으로 보이는 결정의 기하학적 형태는 내부 정렬에 대한 단서를 제공하기도 한다. 강도와 연성 등 물질의 특성은 바로 이런 결정의 구조에 따라 나타나는 특성이다.

결정이란 단어가 오용되는 경우가 많기 때문에 결정의 본질을 혼동하기가 쉽다. 예를 들어 '크리스탈 샹들리에'는 결정이 아니다. '크리스탈 샹들리에'는 고체인 유리로 만들지만 규칙적인 내부 정렬이 없다. 유리는 원자의 규칙적인 내부 정렬이 없기 때문에 비결정성 물질로 불린다.

과학자들은 마이크로 중력에서 결정을 성장시키는 데 매우 관심을 갖고 있다. 중력은 때로는 결정 성장 과정을 방해해 결정질 구조에서 결함을 형성하기 때문이다.



마이크로 중력에서 결정을 성장시키는 목적은 우주에 결정 공장을 건설하려는 것이 아니라 결정 성장 과정과 중력이 서로 어떤 관계에 있는지를 더 잘 이해하기 위해서이다.

이 활동에서 학생들은 손난로를 이용해 결정의 성장을 조사할 것이다. 손난로는 식품급 아세트산나트륨 용액과 물로 채운 플라스틱 파우치로 구성된다. 또한 이 파우치에는 작은 스테인리스 강철판도 있다.

이 판을 꺾으면 결정화 과정이 촉발된다. 이 파우치는 물이 실내 온도에서 일반적으로 용해할 수 있는 것보다 많은 아세트산나트륨을 보유하도록 고안되었다.

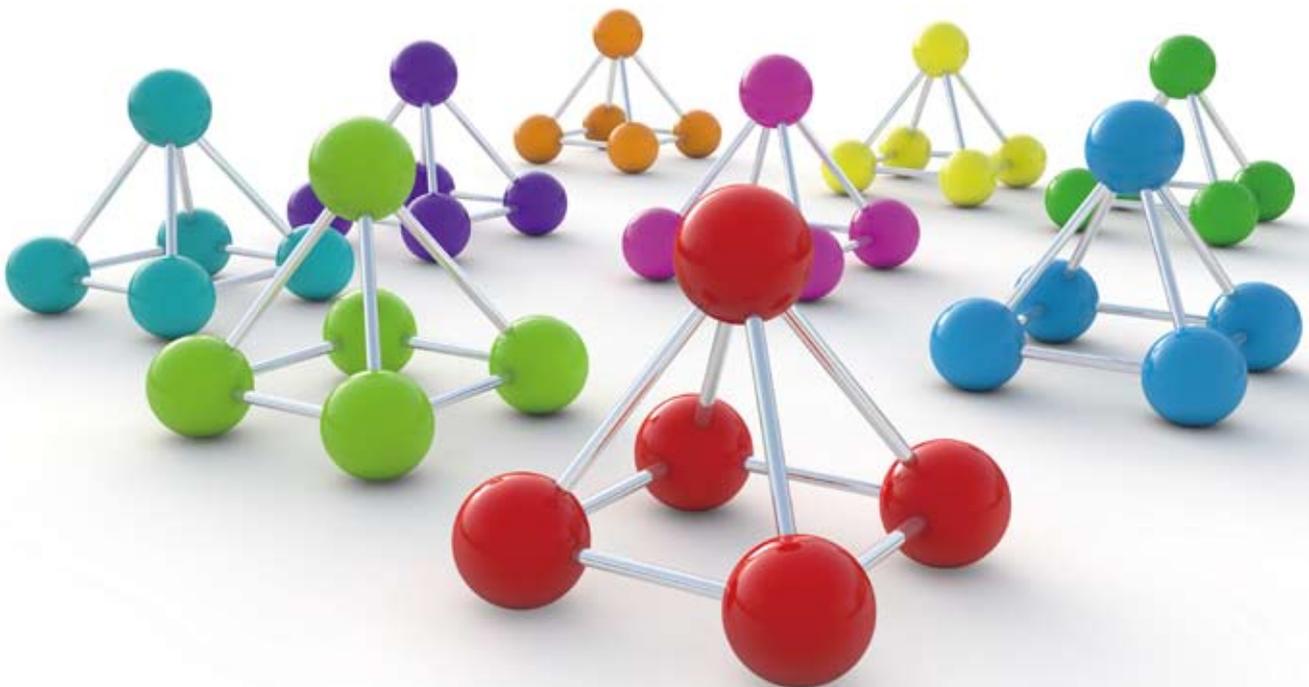
이를 과포화 용액이라 한다. 결정화가 시작되는 촉발자 역할을 하는 종자 결정이나 용액에 급속한 에너지를 유입하는 매개체와 접촉할 때까지 이 용액은 그 상태를 유지한다. 파우치 안의 금속판을 꺾으면 용액에 결정화 과정을 촉발시키는 급격한 기계적 에너지 입력이 전달된다.



Micro Gravity

결정화가 매우 빨리 발생해 결정 성장을 쉽게 관찰할 수 있다.

침전 도중에 파우치 온도를 약 54°C로 약 30분간 유지하는 열이 방출된다. 이 열로 인해 파우치가 손을 따뜻하게 데우는 데 이상적인 제품이 되는 것이다. 더욱이 이 파우치는 다시 가열해 고체 내용물을 용해시켜 재사용할 수 있다.



현미경으로 본 결정 성장



결정의 성장에 온도는 어떤 영향을 미칠까? 이번 차시에서는 몇 가지 화학약품을 열로 용융시킨 후, 서서히 또는 급속히 냉각시켜 보면서 온도가 결정의 성장에 미치는 영향을 알아보는 활동을 하게 된다. 확대 영상 현미경으로 관찰하는 결정 형성의 과정을 관찰하면서 학생들은 물질의 결정성 구조 형성을 설명할 수 있는 아이디어를 얻게 될 것이다.



학습 목표

응결 도중에 발생하는 결정핵의 형성과정과 결정 성장률을 관찰할 수 있다.



해당 학년

중학교 1 ~ 2학년



소요 시간

80분



이것이 필요해요

비스마르크 브라운 Y, 마니톨(d-마니톨), $\text{HOCH}_2(\text{CHOH})_4\text{CH}_2\text{OH}$, 살롤(살리실산 페닐) $\text{C}_{13}\text{H}_{10}\text{O}_3$, 마이크로 프로젝터, 학생용 현미경 (마이크로프로젝터 대체용), 덮개 유리가 있는 현미경 슬라이드, 도자기 판, 냉장고, 핫플레이트, 핀셋, 해부용 바늘, 약수저, 보안경



이렇게 준비해요

마니톨을 이용한 실험 부분은 마이크로프로젝터 또는 확대 영상 현미경을 이용해 시연으로 실시해야, 슬라이드 위에서 168°C 로 소량의 결정성 마니톨을 가열해 확대한 상태에서 재결정화를 관찰할 수 있다. 본 활동에서는 마니톨을 용융시켜 한 번은 급속하게, 또 한 번은 천천히 냉각시켜 그 결과를 서로 비교해 보게 되므로, 각각 별도의 시료를 준비하는 것이 좋다. 특히 천천히 냉각되는 경우는 학생들이 각자 관찰할 수 있도록 여러 개의 마니톨 슬라이드를 준비하도록 한다.



핵심 단어

- **마니톨** : 마니톨의 용융점은 약 168°C 로, 흡입하거나 삼키면 유해할 수 있다. 이 화학제품을 다룰 때에는 보안경과 장갑을 착용하며, 환기가 잘되는 장소에서 실험을 실시한다.
- **비스마르크 브라운** : 현미경 슬라이드용으로 빠 시편 제조각 염색에 사용되는 염료다. 비스마르크 브라운

은 염료이므로 손에 묻지 않게 한다. 비스마르크 브라운은 수용성이다.

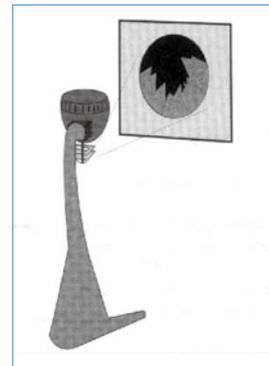
- **살롤** : 용융점은 43°C이며, 눈에 자극이 될 수 있으므로 보안경을 착용한다.



활동 내용

【마니톨의 결정 성장 관찰】

1. 소량의 마니톨을 현미경 슬라이드에 놓고 슬라이드를 핫플레이트에 놓는다.
마니톨이 녹을 때까지 핫플레이트의 온도를 올린다. 손으로 핫플레이트나 가열된 슬라이드를 만지지 않도록 주의한다. 슬라이드는 핀셋을 이용해 취급한다.
2. 녹은 후 덮개 유리로 마니톨을 덮고, 냉각고에서 냉각시킨 도자기 판 위에 슬라이드를 놓아 액체 마니톨이 결정화되도록 한다.
3. 마이크로프로젝터로 시료를 관찰한다. 결정의 크기, 모양, 개수, 경계선에 주목한다.
4. 두 번째 슬라이드를 준비하되, 즉시 마이크로프로젝터 판에 놓고, 마니톨이 천천히 냉각되게 한다.
5. 다시 결정의 크기, 모양, 개수 및 경계선을 관찰한다.
학생용 현미경으로 비교할 수 있도록 슬라이드를 두 개 표시해 보관한다. 비교 시에는 40배이면 충분하다. 두 슬라이드의 결정을 학생들이 스케치하게 하고 냉각 속도를 표시하게 한다.



【살롤의 결정 성장 관찰】

1. 마니톨과 마찬가지로 같은 절차를 반복하되, 덮개 유리를 사용하지 않는다. 핫플레이트를 이용해 살롤을 녹인다. 결정화가 시작되게 하려면 슬라이드의 액체에 결정핵을 넣는다. 결정핵이 녹으면 잠시 기다렸다가 액체의 온도가 내려가면 다시 시도한다.(사용하는 마이크로프로젝터에 열 필터가 없는 경우에는 결정화가 완료되기 전에 전구의 열로 인해 살롤이 다시 녹을 수 있다.)
2. 새로운 살롤 슬라이드를 준비하고 마이크로프로젝터 판에 놓는다.
녹인 것에 아주 작은 결정핵을 떨어뜨리고 고체-액체 접촉면을 관찰한다.
3. 슬라이드 위의 살롤을 다시 녹이고, 녹인 곳에 아주 작은 양의 비스마르크 브라운을 흩뿌린다. 결정핵을 녹인 데 떨어뜨리고 비스마르크 브라운 입자의 움직임을 관찰한다. 이 입자를 통해 액체의 움직임을 육안으로 확인할 수 있게 된다. 살롤 결정에서 성장하는 결정의 주변부와 성장의 중심에 세심한 주의를 기울여 관찰한다.

【심화 학습】

1. 우주에서 할 수 있는 결정 성장 실험을 고안한다. 이 실험은 자체로 완비된 것이어야 하며, 우주 비행사는 스위치를 켜고 끄는 정도의 일만 하도록 고안해야 한다.
2. 우주 비행사의 관찰과 해석이 필요한 우주에서의 결정 성장 실험을 고안한다.
3. 우주에서 실시한 이전 결정 성장 실험과 우주에서 성장시킨 결정에서 연구원들이 기대하는 성과에는 무엇이 있을지 조사한다.



지도상 유의점

살롤 관찰은 시연에는 적합하나 용융 온도가 낮아(48°C) 학생들은 마니톨로 작업하는 것이 훨씬 안전하다. 핫플레이트로 유리 슬라이드 위의 살롤을 녹인다. 이 때, 핫플레이트의 바닥에 금속 와셔를 몇 개 놓고 유리 슬라이드를 놓으면 나중에 가열된 슬라이드를 핀셋으로 쉽게 집어 올릴 수 있다.

살롤은 과열되면 쉽게 증발하고 화학적 약취를 발생시키며, 결정화를 위해 냉각되는 시간이 길어지기 때문에 가열할 때 주의해야 한다는 것을 학생들에게 강조한다.

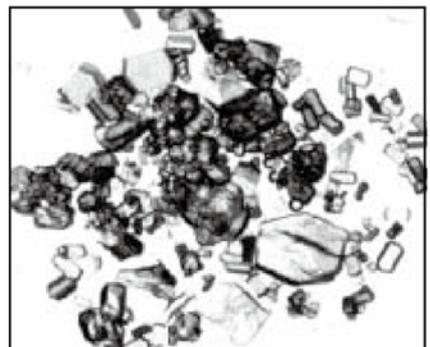
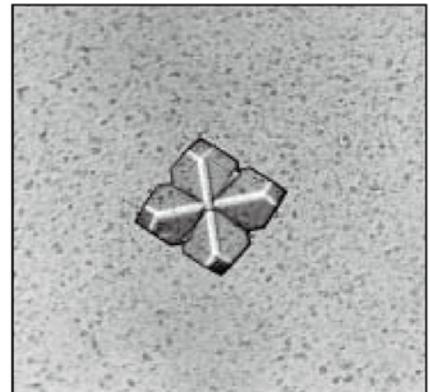
따라서 살롤 슬라이드는 녹기 시작할 때 즉시 핫플레이트에서 제거해야 한다.

살롤을 이용한 활동의 마지막 부분에는 매우 소량의 비스마르크 브라운이 필요하다.

보통은 약수저가 비스마르크 브라운에 닿기만 해도 충분한 입자가 약수저에 붙는다. 녹은 살롤 위에서 약수저를 가볍게 두드려 입자를 옮긴다. 살롤 슬라이드를 흰 종이 위에 놓고 실험하면 입자가 살롤에 떨어지는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

이 작업을 학생들에게 개별 실험하게 하였다면, 교사는 d-만티놀을 이용한 결정화를 시연하면서 절차를 시찰한다. 살롤을 그리기 전에 결정화된 만티놀 시료 그리기를 학생들에게 먼저 연습시킨다.

이 활동에 필요한 안전 예방 조치를 위해 아래 【읽을 거리】에 나오는 화학약품들의 주의사항을 강조하며, 보안경을 꼭 착용한 채 실험에 임하도록 지도한다.



Micro Gravity





현미경으로 본 결정 성장

학년 반 이름

도전과제

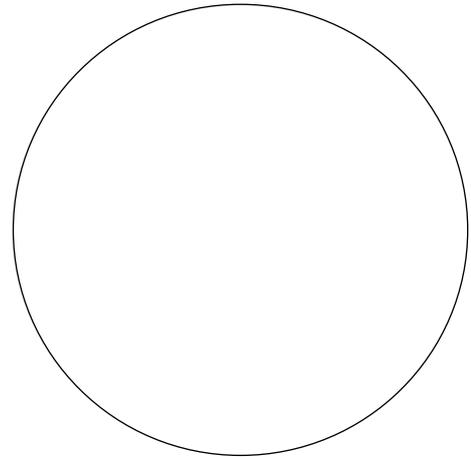
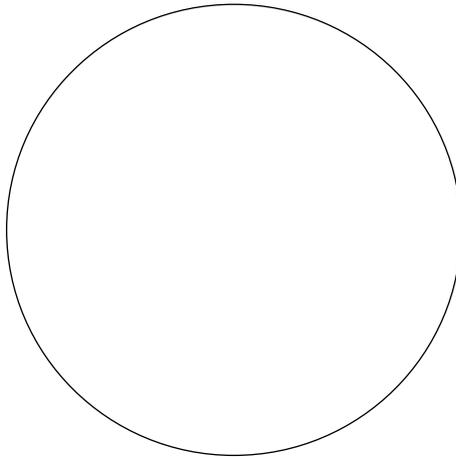
응결 도중에 발생하는 결정핵의 형성과정과 결정 성장률을 관찰하기



활동 결과

【마니톨 결정 성장 관찰하기】

마니톨 결정 슬라이드를 조사하고, 아래 두 원에 관찰한 것을 그립니다. 각 슬라이드에 대한 생각률과 관찰에 사용한 배율을 기록합니다.



▶ 생각률 : _____

▶ 배 율 : _____

▶ 생각률 : _____

▶ 배 율 : _____

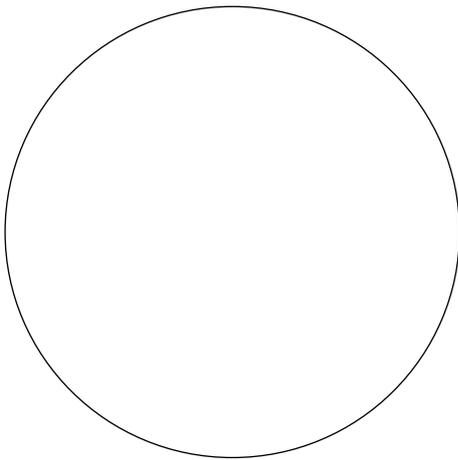
① 두 마니톨 시료의 차이는 무엇입니까?

② 이러한 차이가 생기는 이유는 무엇입니까?

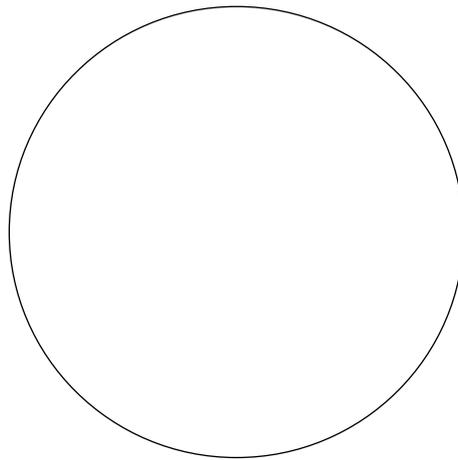


【살로 결정 성장 관찰하기】

교사가 제공한 지침에 따라 살로 시료를 준비합니다. 화학물질을 다룰 때는 반드시 안전경을 착용하도록 합니다. 살로 결정 슬라이드를 관찰하여 아래의 두 원에 그립니다. 각 슬라이드에 대한 생각들과 관찰에 사용한 배율을 확인하여 기록합니다.



▶ 생각률 : _____
▶ 배 율 : _____

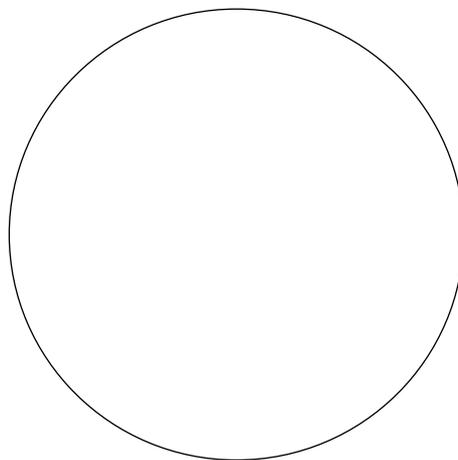


▶ 생각률 : _____
▶ 배 율 : _____

① 두 살로 시료의 차이는 무엇입니까?

② 이러한 차이가 생기는 이유는 무엇입니까?

③ 교사의 지침에 따라 세 번째 살로 시료를 준비합니다. 성장 중인 결정과 용융된 약품 사이의 접촉면을 관찰할 수 있도록 현미경대 위에서 슬라이드를 조정합니다. 특히 비스마르크 브라운 입자에 성장 중인 결정이 닿으면 어떤 일이 발생하는지 조사하고 아래의 원에 관찰한 것을 그립니다.



▶ 생각률 : 느낌 _____
▶ 배 율 : _____

- ① 용융된 슬라이드에 비스마르크 브라운을 넣으면 어떤 현상이 발생합니까?
- ② 성장 중인 결정면 주위에 액체의 순환 형태를 만든 것은 무엇입니까? 이 순환 형태가 결정의 원자 배열에 영향을 준다고 생각합니까? 만일 그렇다면 어떤 영향을 줄 것인지 예상해 보세요.
- ③ 마이크로 중력에서 결정을 성장시키게 되면 지상에서와는 어떤 점이 다를 것이라고 생각합니까?



【읽을 거리】

결정 성장

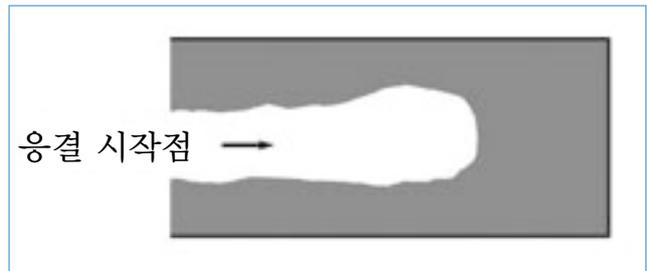
방향성 응결(Directional solidification)은 열이 한쪽 방향에서부터 제거되면서 액체가 고체로 응결되는 과정을 말한다. 열은 고온에서 저온으로 이동하고, 액체는 온도가 낮아지면 고체로 바뀐다.

만일 액체에 용질이 들어 있다면 일반적으로 용질의 일부가 액체 / 고체 접촉면에서 액체로 받아들여지지 않는다. 하지만 고체가 형성될 때 모든 용질이 고체에 착상되지는 않으므로 남아있는 용질은 접촉면 부근에서 다시 액체로 돌아간다. 이 현상에는 결국 얼마만큼의 용질이 고체가 되는지를 포함해 고체에 대해 중요한 내용이 설명된다. 고체 내 용질의 농도는 반도체의 전기적 특성과 금속의 기계적 부식 특성을 제어할 수 있다.

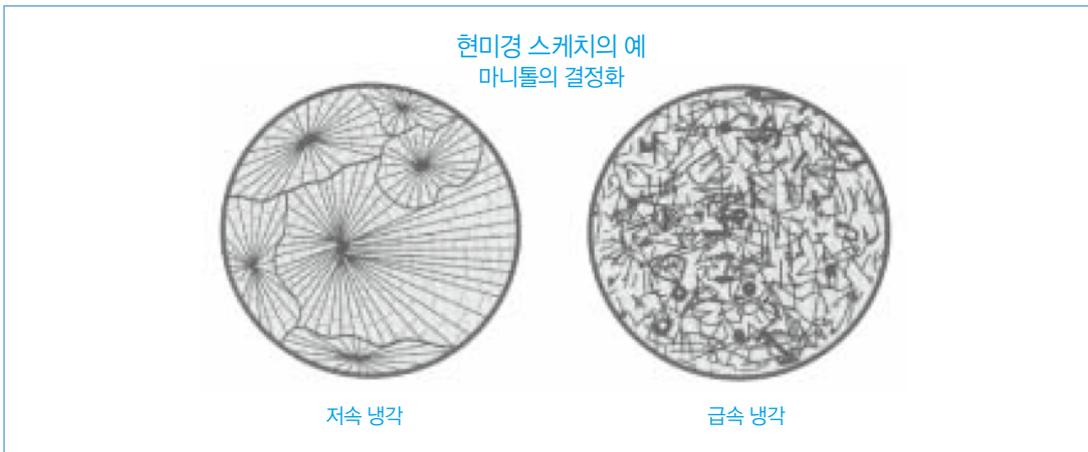
따라서 용질의 배제는 응결 실험에서 반대하게 연구되고 있다.

배제된 용질은 접촉면에 집결되어 용질이 풍부한 층을 형성하게 된다.

이 실험을 통해 결정 성장이 급속하게 진행되면 어떤 현상이 일어나는지와 액체/고체 경계면에서 용질이 집결되면 어떤 현상이 일어나는지를 알 수 있게 된다.



용해되고 있는 유체의 흐름은 층의 형성에도 영향을 미친다. 지구의 경우, 확장되는 유체는 밀도가 더 낮아진다. 이는 성장하는 고체 옆에서 풍부해진 층을 방해하는 액체의 수직 흐름을 유발되기 때문이다. 우주에서는 이 유체의 흐름이 일어나지 않아 더욱 균일하고 풍부한 층을 얻게 될 것이다. 반대로 여기에는 용질이 성장 중인 결정에 포함되어 균일성이 향상될 수 있다.



비석의 결정 성장

비석의 결정은 어떤 형태로 성장할까? 이번 차시에서는 적절한 온도 유지 장치를 이용해서 비석의 결정을 성장시키고, 이를 관찰하여, 비석 결정의 기하학적 구조를 알아내는 활동을 하게 된다. 그리고 여기서 관찰한 비석의 결정 구조와 비석의 역할을 관련지어 설명해 볼 수 있게 된다.



학습 목표

비석의 결정을 성장시켜보고, 중력이 이 결정 성장에 어떤 영향을 미치는지를 조사할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년

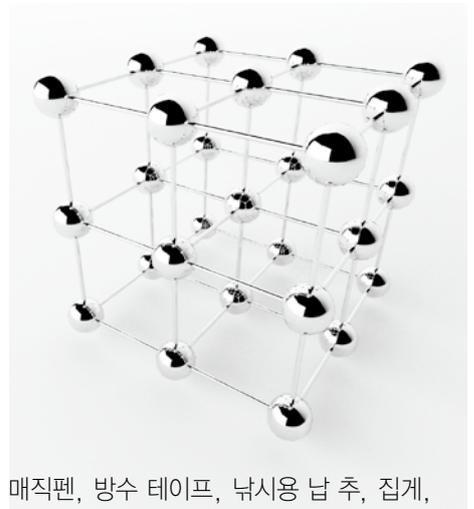


소요 시간 60분



이것이 필요해요

알루미늄산나트륨(NaAlO_2 , FW=81.97),
순수 무수염 메타규산나트륨($\text{Na}_2\text{O}_3\text{Si}$, FW=122.06)
수산화나트륨 정제(97%, 평균 성분 NaOH , FW=40)
트리에탄올아민(TEA)(98%, $(\text{HOHCH}_2)_3\text{N}$, FW=149.19)
증류수, 1000mL 파이렉스□ 유리 비커, 알루미늄 포일
최대 범위 100°C 의 온도계, 실험실용 핫플레이트
2~60mL의 고밀도 폴리에틸렌 병(뚜껑 포함) 2개
4~30mL의 고밀도 폴리에틸렌 병(뚜껑 포함) 4개
비닐 장갑, 보안경, 현미경 슬라이드, 병에 표시를 하기 위한 유성 매직펜, 방수 테이프, 낚시용 납 추, 집게, 스포이트, 광학 현미경(400배율)



이렇게 준비해요

이 차시에서는 비석 결정 형성을 위한 다양한 화학약품들을 준비해야 한다. 이 때 반드시 안전에 주의해서 무게를 측정하거나 혼합해야 한다.

이 활동에서는 최대 연속 8일까지 온수조를 이용해 일정 온도를 유지할 필요가 있다. 이러한 장비가 준비되지 않았을 경우에는 활동 내용에 설명된 0TEA(트리에탄올아민), 1TEA에 대해서만이 실험이 가능하다.



핵심 단어

- **스페이스 랩 (space lab)** : 유럽 우주국이 개발하고 지구 궤도를 도는 우주왕복선의 화물칸에서 실행되는 과학 실험실



활동 내용

1. 손과 눈 보호 장구를 착용한 상태에서 0.15g의 수산화나트륨을 측정해 60mL 고밀도 폴리에틸렌 병에 넣는다. 증류수 60mL를 넣고 뚜껑을 닫는다. 고체가 완전히 용해될 때까지 병을 힘차게 흔든다. 첫 번째 병과 동일한 두 번째 병을 준비한다.
2. 메타규산나트륨 3.50g을 병 하나에 넣고 다시 뚜껑을 닫은 후 모든 고체가 용해될 때까지 흔든다. 이 병에 "실리카 용액"이라고 표시한다. 두 번째 병에 알루미늄산나트륨 5.6g을 넣고 뚜껑을 닫은 후 모든 고체가 용해될 때까지 흔든다. 이 병에 "알루미늄 용액"이라고 표시한다.
3. 유성 마커 펜으로 30mL의 고밀도 폴리에틸렌 병 4개에 0TEA, 1TEA, 5TEA, 10TEA를 표시한다.
4. 0.85g의 TEA(트리에탄올아민)를 병에 넣고 "1TEA"라고 표시한다. 4.27g의 TEA를 병에 넣고 "5TEA"라고 표시한다. 8.55g의 TEA를 병에 넣고 "10TEA"라고 표시한다. TEA를 병에 넣지 않고 "0TEA"라고 표시한다.
5. 각 병에 알루미늄 용액 10mL를 추가하고, 실리카 용액 10mL도 추가한다.
6. 각 병의 뚜껑을 단단히 닫고 힘차게 흔든다. 방수 테이프로 각 뚜껑을 봉한 후 각 병 바닥에 납으로 된 추를 테이프로 붙인다. 병이 뜨거운 물에 완전히 잠기도록 추로 조절한다.
7. 1000mL의 파이렉스 비커에 물을 약 800mL 넣어 온수조를 준비한다. 추가 달린 병 4개를 물에 잠기도록 비커에 놓는다. 알루미늄 포일로 비커를 덮고 포일에 작은 구멍을 뚫어 미터식 온도계가 들어갈 수 있게 한다. 온도계가 비커 바닥에 닿지 않도록 고정한다. 비커를 핫플레이트 위에 놓고 85~95°C로 가열한다. 실험 내내 이 온도를 유지하는 것이 필요하다. 알루미늄 포일이 증발을 막지만 비커에 주기적으로 뜨거운 물(85~95°C)을 넣어 병이 뜨거운 물에 뚜껑까지 덮여 있도록 해야 한다.
8. 하루 가열한 후 집게로 온수조에서 0TEA가 표시된 병을 제거한다. 스포이트로 병 바닥에서 찾아볼 수 있는 흰색 침전물의 시료를 소량 채취한다. 시료를 현미경 슬라이드 위에 놓고 다양한 배율에서 결정의 존재를 조사한다. 찾은 결정을 그림으로 그리거나 사진을 찍는다. 그림이나 사진의 배율을 확실히 확인하고 결정의 실제 크기를 추정하며, 결정의 기하학적 구조를 알아본다.

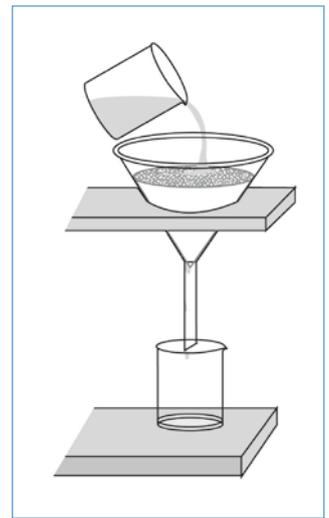


9. 2일 가열한 후 1TEA 병에 절차 ㉔을 반복한다. 5일 가열한 후에는 5TEA 병에, 8일 가열한 후에는 10 TEA 병에 절차 ㉔을 반복한다. 각 병에서 형성된 결정의 크기, 모양 등을 비교한다.



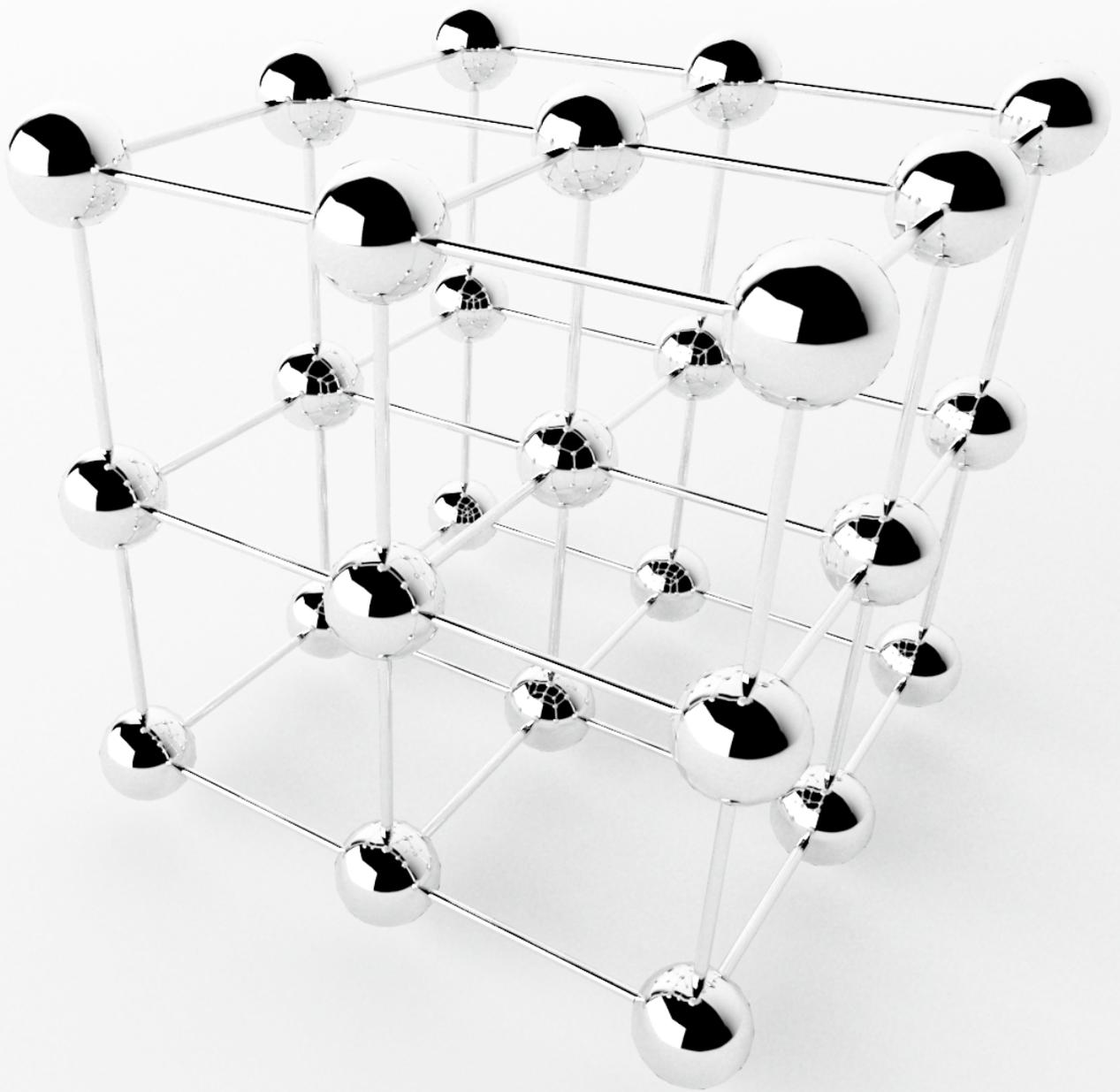
심화학습

1. 애완동물 가게에서 비석 필터 입자를 구입한다. 이 입자는 어항 물에서 암모니아를 거르는 데 사용된다.
거름종이를 깔때기 모양으로 만들어 붙이고, 그 안을 비석 입자로 채운다. 비석 입자에 물과 가정용 암모니아 용액을 천천히 붓는다. 아래에서 액체를 모아 여과한 용액과 여과하지 않은 용액의 냄새를 비교한다. 여과된 용액을 다시 여과시키고 다시 냄새를 비교한다. 이 때, 보안경을 꼭 착용한다.



지도상 유의점

1. 수업 시간 종료 후 온수조의 전원이 꺼지고 다음 날 다시 전원이 켜져도 결정 형성이 가능하다. 결정화되는 시간은 환경에 따라 다양하므로 결정성 침전물의 형성을 세심하게 주목해야 한다.
2. 비석 결정 성장에 이어 현미경 조사를 위해 작은 시료를 학생 그룹에 나눠주고 개별 관찰을 하도록 한다.





비석의 결정 성장의 현미경 관찰

학년 반 이름

도전과제

비석의 결정을 성장시켜보고, 중력이 이 결정 성장에 어떤 영향을 미치는지를 조사할 수 있다.

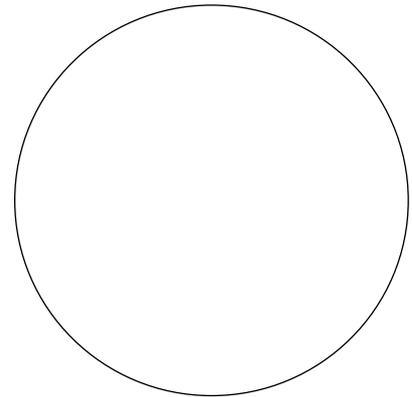


활동 결과

♣ 교사가 제공한 각각의 비석 결정 시료를 현미경으로 관찰합니다. 원에 시료를 그리고, 관찰한 내용을 간단히 설명합니다.

1. 시료 1 (_____TEA)

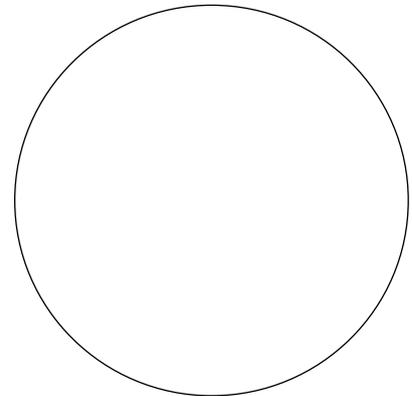
▶ 시료 연령 : _____ 일
▶ 설명 : _____



▶ 배율 : _____ 배

2. 시료2 (_____TEA)

▶ 시료 연령 : _____ 일
▶ 설명 : _____



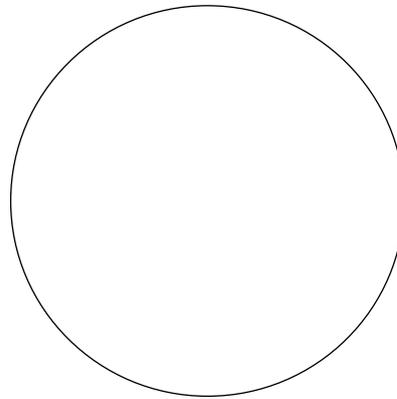
▶ 배율 : _____ 배



3. 시료 3 (_____TEA)

▶ 시료 연령 : 일

▶ 설명 :

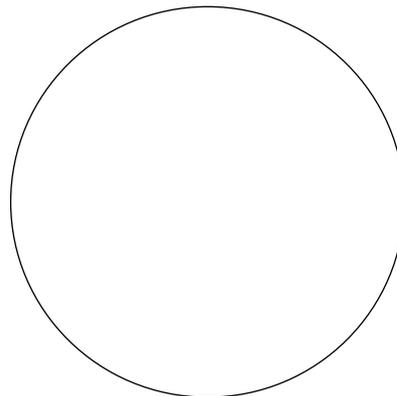


▶ 배율 : 배

3. 시료 4 (_____TEA)

▶ 시료 연령 : 일

▶ 설명 :



▶ 배율 : 배

5. 비석 결정이 성장함에 따라 어떤 기하학적 형태를 형성합니까? 두 가지 이상의 형태가 존재합니까?
성장할 때 비석 결정은 어떻게 나타났습니까?

6. 결정 형성에 주어진 시간과 결정의 크기 및 기하학적 형태의 완벽성과의 관계를 찾아낼 수 있습니까?

7. 성장 시간을 더 주면 더 큰 결정을 얻을 수 있을까요? 그 이유는 무엇이라고 생각합니까?



【읽을 거리】

비석이란?

비석은 실리콘, 알루미늄 및 산소 원소로 만들어진 결정이다. 이 결정은 실리카(바다 모래, SiO_2)와 알루미늄(산화알루미늄, Al_2O_3)의 교차 배열로 구성되며, 입방체 및 사면체 같은 다양한 기하학적 형태를 하고 있다. 내부적으로 비석은 균일하지만 아주 작은 공극(예: $0.1\sim 0.2\text{nm}$ ($0.1\sim 1.2 \times 10^{-9}\text{m}$))이 있는 견고한 해면형 구조다. 이러한 특성 때문에 이 무기질 결정은 때때로 “분자체”라고 하며, 이런 이유로 비석은 다양한 화학 공정에 사용된다.

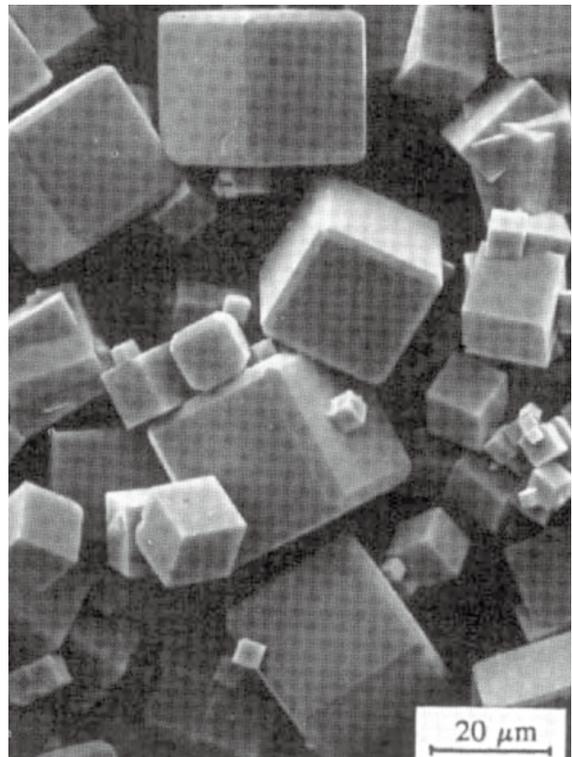
비석은 입자가 큰 것은 분리하면서 특정한 크기의 분자만 공극에 들어가도록 한다. 어떤 면에서 비석 결정은 스파게티를 그대로 유지한 채 뜨거운 물이 통과하게 하는 스파게티 여과기와 같은 역할을 한다. 이러한 여과 작용의 결과로 비석은 화학자들이 분자를 조작하고 개별적으로 처리하는데 사용할 수 있다.

비석 결정은 화학적인 응용 분야가 다양해 비석은 세상에서 가장 유용한 무기질 중 하나로서, 각종 화학 반응에서 촉매로 많이 사용된다.(촉매는 반응에 의해 영향을 받거나 소모되지 않으면서 화학 반응의 속도에 뚜렷한 영향을 끼치는 재료를 말한다.)

과학자들은 비석 결정을 이용한 '접촉 분해'라는 화학 공정을 통해 이 세상의 모든 휘발유를 만든다. 비석 결정은 물에서 암모니아를 제거하기 위해 대형 수족관용 여과 시스템으로 종종 사용된다. 환경적으로도 안전하기 때문에 비석은 마그네슘과 칼슘 이온을 제거하기 위한 세탁제로도 사용되어 왔다. 또한 미네랄이 풍부한 “경수”에서 세제 거품을 개선시키기도 한다. 비석은 Hg, Cd, Pb 같은 저농도의 중금속과 폐수에서 방사성 물질을 제거하기 위한 여과기의 기능도 할 수 있다.

과학자들은 비석에서 여러 가지 유용한 용도를 발견했지만 단 한 가지 완전하게 이해하지 못하는 것이 비석 결정이 어떻게 생성되고, 성장하는가에 관한 것이다.

물 용액에서 비석 결정의 핵이 만들어질 때 그 밀도(물의 2배)는 비석이 성장하는 특정 용기(오토클레이브)의 바닥에 비석이 가라앉게 한다.



이 과정을 침전이라 하며, 이 때문에 결정이 서로의 꼭대기에 떨어진다. 정착된 후 결정이 계속 성장함에 따라 좀 더 큰 별도의 결정 대신 일부가 합쳐져 여러 개의 작고 균생한 비석 결정이 만들어진다.

지구 궤도의 마이크로중력 환경에서 비석 결정의 성장을 연구함으로써 지구에서 더 나은 비석 결정을 만들 수 있는 중요한 정보를 과학자들이 얻게 되는데, 마이크로 중력에서는 침전이나 중력에 의한 대류는 거의 없기 때문이다.

마이크로중력 환경에서 성장한 비석 결정은 지구에서 통제된 실험에서 성장한 유사한 결정보다 품질이 좋고 크기가 큰 경우가 많다. 과학자들은 정확히 어떻게, 왜 이런 일이 발생하는지를 아직은 완전히 이해하지 못하고 있다. 우주 정거장은 물론, 향후 국제 우주 정거장에서의 비석 결정 성장 실험은 비석 결정의 핵 형성과 성장 과정에 대한 귀중한 데이터를 제공하게 되 것이며, 이런 이해를 기반으로 비석 결정을 새롭고 보다 효율적으로 활용할 수도 있을 것으로 기대된다.

미국 마이크로중력 실험실

1992년 6월, 최초의 미국 마이크로중력 실험실(USML-1)이 당시 최장 시간인 14일의 우주 왕복선 임무 비행에 탑재되어 날아갔다. 이 스페이스랩 기반의 우주 비행은 정부, 학계 및 산업계 연구원을 포함해 마이크로중력 프로그램을 구축하는 중요한 단계였다.

탑재 장비에는 단백질 결정 성장 설비, 우주 가속도 측정 시스템 및 고체 표면 분사 실험을 비롯해 이전 비행에서 사용한 일부 설비와 기기를 이용한 31가지 마이크로중력 실험이 포함되었다.



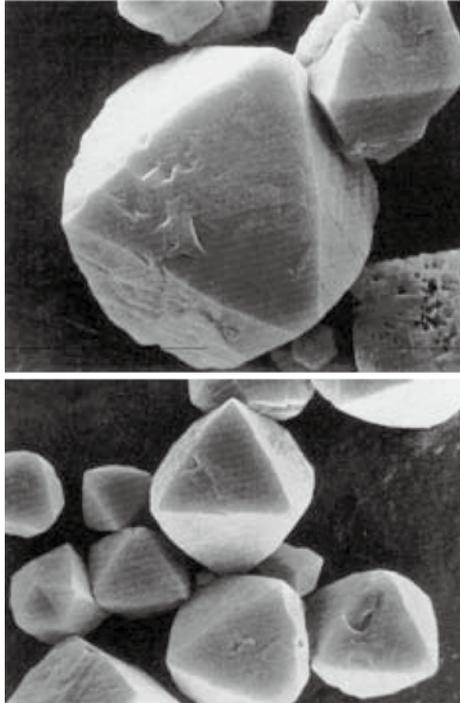
향후 임무에서 모두 재사용할 수 있도록 설계된 새로운 실험 설비는 결정 성장로(CGF), 유럽우주국에서 제공한 글로벌상자, 표면 장력 구동 상승 실험 기구(STDCE) 및 낙하 물리 모듈이 포함되었다.

조사원들은 1260°C의 높은 온도에서 네 가지 다른 반도체 재료의 결정을 성장시키기 위해 CGF를 사용했다. 우주에서 성장시킨 하나의 CdZnTe 결정은 지구에서 성장시킨 최상의 결정보다 결함이 훨씬 적게 나타나 비행 전에 했던 기대를 훨씬 넘어서는 결과를 보였다.

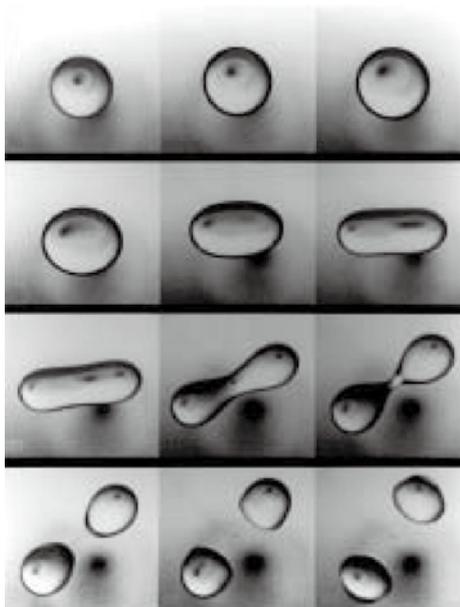
증기에서 성장시킨 HgCdTe 결정은 고확대율에서도 표면이 유리처럼 매끈했다. 이런 형태의 표면은 지구에서 성장시킨 결정에서는 관찰되지 않는 것이었다.

연구원들은 STDCE 기구를 이용하여 액체 표면에서 온도의 공간적 차이가 있는 경우 액체의 내부 운동이 어떻게 생성되는지를 조사했다. 그 결과는 실험 연구원들이 개발한 첨단 이론과 모델에 근접하게 일치한다.

낙하 물리 모듈에서는 음파를 이용하여 액체 물방울의 위치를 정하고 조작했다. 표면 장력은 이론적 예측과 부합하는 방식으로 물방울 모양을 제어했다. 회전하는 실리콘 기름 물방울의 역학 또한 이론적 예측을 따랐다. 이런 종류의 실험적, 이론적 결과는 그 결과가 과학적 방법에서 아주 중요한 부분, 즉 가설을 만들고 계획한 실험을 실시해 가설을 검증할 수 있다는 것을 명확히 하기 때문에 매우 중요하다.



글로벌상자 설비에서 비석 결정을 성장시킬 수 있다. 위 사진은 USML-1(위) 및 지구(아래)에서 성장시킨 비석 결정의 모습이다.



회전하는 공중 부양 물방울의 분열 순서

NASA 연구원들이 실시한 16가지의 다른 조사에서는 글로벌상자를 사용했는데, 이 상자는 안전한 밀폐 공간으로 되어 있으며, 사진 장비가 구비되어 있어 조사 작업을 시각적으로 기록할 수 있었다.

글로벌상자를 이용해 지구에서처럼 승무원들이 단백질 결정화에 대한 조사 작업을 진행할 수 있었다.

다른 여러 결과 가운데 글로벌상자를 이용한 경우에 항기생충약 개발에 유용할 수도 있는 말산 효소 중 지금까지 최고의 결과를 탄생시키기도 하였다.

글로벌상자에서는 연소되는 작은 양초를 통해 기류가 없는 환경에서 불꽃이 어떻게 존재할 수 있는가에 대한 새로운 고찰을 제공했는데, 그 결과는 지구에서 자유낙하 시 유사한 실험을 실시함으로써 볼 수 있는 것과 비슷하였다.

다른 글로벌상자 조사원은 기류가 없는 완전히 정지상태의 공기와, 다른 방향에서 챔버를 통해 흐르는 공기에서 전선 절연체가 어떻게 연소하는지 시험했다. 이 연구를 통해 대단히 중요한 정보를 얻을 수 있었으며, 우주선에서의 화재 안전을 한층 증진시킬 수 있는 방안을 찾기도 하였다.

스페이스랩의 우주 비행사는 이 임무를 통해서 과학적 성과를 극대화하는 데 중요한 역할을 해왔다.



Micro Gravity



1 단원 소개

'우주 유명'은 공상과학 작가들이 달로 우주 여행을 떠나는 등장인물을 만들어낸 이후로 가장 매력있는 이야깃거리이다. 그러나 실제 우주 유명은 1960년대 중반 구소련의 알렉세이 A. 레오노프와 미국의 에드워드 H. 화이트 2세의 위업으로 사실상 시작되었다. 처음으로 우주 캡슐 밖에서 조사를 시도한 후 우주 비행사들은 수많은 시간의 선외활동을 기록했고, 일부는 달 표면 위에서 걷기도 했다. 이들의 우주 임무에 대한 이야기는 상당히 매력적이지만 이들이 우주에서 "걸을" 수 있도록 해준 우주복 기술의 발전이 없었다면 상상도 못할 일이었다.

오늘날, 우주복은 허블 우주 망원경을 수리하고 위성을 회수하는 등 우주 비행사들의 여러 가지 임무에 활용된다. 새 국제 우주 정거장의 경우, 우주 비행사들이 향후 몇 년에 걸쳐 우주 정거장의 구성요소를 조립하고 유지하기 위해 1,200여 시간의 우주 유영을 해야 한다. 아직 확실한 계획은 없지만 NASA는 달에 가서 영구 기지를 세우고, 나중에는 인간의 화성 표면 탐사를 시작하기를 기대하고 있다. 이와 같은 모험을 하기 위해서는 우주복 시스템과 우주 비행사들이 사용하는 도구에 특별한 기능을 탑재할 필요가 있다.

본 단원에서는 우주 환경, 우주에서의 식사와 영양섭취, 우주 유명한 역사, 현재 NASA의 우주복, 우주 비행사들이 우주 유영을 하면서 하는 일에 대해 알아보고, 그 다음에는 인간이 한 번도 가본 적 없는 외계 세계에서 사용할 우주복의 원형을 학생들이 설계하고 만들어보게 되는데, 이를 수행하는 과정에서 학생들은 외계 환경의 속성을 조사하고, 미래의 탐험가들이 그곳에서 안전하게 작업하기 위해서는 어떤 보호 조치가 필요한지 결정하게 된다.

먼저 1차시에서는 신선한 식품을 건조할 때 줄어드는 물의 비율을 알아봄으로써 우주 여행을 위해 갖춰야 할 음식의 조건을 탐색하며, 2차시에서는 우주복의 장력강도를, 3차시에서는 내충격성을, 4차시에서는 마모성을 테스트하기 위한 각종 실험을 고안하여 실행하게 된다. 5차시에서는 우주복 내, 외부에서 가해지는 온도 상승을 막기 위한 물 냉각 장치, 6차시에서는 단열 효과 등을 고려한 우주복의 재질과 색상 선택을, 7차시에서는 우주 비행사의 편안한 우주선 선외활동을 돕기 위한 우주복 제작 아이디어를 체험하며, 마지막 8차시에서는 우리가 다양한 활동을 통해 소비하게 되는 산소의 양을 측정해 봄으로써 우주 비행사의 생명 유지 장치에 사용될 산소의 양을 짐작하는 것을 가능하게 해주는 활동을 하게 된다.



2 주제 안내

순	주 제	대상학년	소요시간
1	우주 여행을 위한 음식물 건조	중 1~2학년	60분
2	우주복의 장력강도 실험	중 1~2학년	100분
3	우주복의 내충격성 실험	중 1~2학년	100분
4	우주복의 마모성 실험	중 1~2학년	100분
5	차갑게 유지하기	중 1~2학년	100분
6	흡수와 반사	중 1~2학년	60분
7	딱 맞게 만들기	중 1~2학년	60분
8	O ₂ - 얼마나 많이?	중 1~2학년	60분

3 지도상 유의점

이 단원에서 가장 핵심적인 내용은 인간이 한 번도 가본 적이 없는 외계 세계에서 사용할 우주복의 원형을 학생들이 설계하고 만들어 볼 수 있게 하는 것이다. 이를 위해 우주의 환경, 우주 유영의 역사, 현재의 우주복과 우주 비행사들이 우주 유영을 하면서 행하게 되는 업무에 대한 개략적인 안내 및 학생들과의 토의 시간이 필수적이다.

본 자료에서 주어지는 다양한 우주복 실험장치 등을 이용하여 우주복이 갖춰야 할 조건을 알아 보게 하고, 직접 그 느낌 등을 생생하게 체험해보는 것이 교육적 효과를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

4 배경 지식

:: 우주 유영의 역사

우주 왕복선 비행사들이 우주 유영을 할 때 입는 선외 활동용 우주복은 미국, 러시아, 프랑스, 이탈리아, 독일, 그 외 다른 국가들의 60여 년에 걸친 압력복 개발과 실험에 쏟은 노력을 여실히 보여주는 것이다. 그 모든 노력은 높은 고도를 비행하는 조종사들로부터 시작되었고, 미국인 와일드 포스트는 그 최초의 인물 중 한 명이었다. 1930년대의 비행 선구자였던 포스트는 높은 고도와 속도의 기록을 깨려고 했다. 다른 사람들과 마찬가지로 포스트도 낮은 기압에 대비한 보호 장치가 필수라는 것을 알았다. 비행사들은 경험을 통해 고도가 높아짐에 따라 지구의 대기가 얇아진다는 것을 알았다.



비행 선구자,
와일리 포스트



초기 우주복의
모습

5,500m 상공에서는 공기의 밀도가 해수면의 절반에 그친다. 12,200m 상공에서는 기압이 매우 낮고 산소량이 희박해서 대부분의 생명체가 죽는다. 와일리 포스트는 고도 기록을 달성하기 위해 보호 장비가 필요했다.(당시에는 가압 항공기 조종실이 아직 개발되지 않았다.) 포스트가 생각한 방법은 비행기 엔진의 과급기로 가압되는 비행복이었다.

압력복을 만들기 위한 첫 번째 시도는 압력이 가해졌을 때 옷이 딱딱하고 움직일 수 없어서 실패했다. 포스트는 부푼 옷을 입고는 움직일 수가 없었고, 비행기 조종은 두말할 나위도 없었다. 다음 시도에서 포스트는 옷을 사람이 앉아 있는 모양으로 만들어 보았다. 이렇게 해보니 양손으로 조종장치를 잡을 수 있었고, 발을 방향타 조정장치에 올려놓을 수 있었다. 팔과 다리를 움직이는 것이 어려웠지만 시야를 확보하기 위해 딱딱한 헬멧에 구멍을 만들어 머리 위에 썼다. 구멍은 작았지만 포스트는 외눈박이였고 시력이 좋았기 때문에 큰 구멍이 필요하지 않았다.

그 후 30년에 걸쳐 압력복은 여러 가지 방식으로 진화했고, 제조 기술을 발전시키기 위해 무기, 다이빙복, 고무덧신, 심지어는 거들과 코르셋 제조 회사에서도 도움을 받았다. 완벽한 옷을 찾던 중 설계자들은 꼭 정확한 해수면의 압력을 제공할 필요가 없다는 것을 알게 됐다. 옷을 입은 사람이 순수한 산소를 들이마실 경우 옷의 압력은 24.13kPa(해수면-101kPa) 이면 충분했다.

이렇게 낮은 압력에서 순수한 산소를 제공하게 되면 해수면에서 압력복을 입지 않고 숨을 쉬는 사람보다 실제로 더 많은 산소를 공급하게 된다. 한편, 압력복을 만들기 위해 다양한 기술을 활용하였다.

어떤 방법은 팔과 다리를 움직일 수 있도록 링이나 케이블, 또는 기타 장치를 사용한 특수 연결부를 딱딱한 층에 접목시켰다.

또 다른 방법으로는 비신축성 소재를 사용했다.

가압 항공기 조종실이 등장하면서 압력복이 가압되지 않았을 때의 편안함과 이동성이 압력복 설계에 주요 목표가 되었다.

:: 머큐리 프로젝트

NASA가 머큐리 유인 우주비행 프로그램을 시작할 당시, 최고의 압력복은 섬유를 네오프렌으로 코팅한 내부의 공기주머니 층과, 알루미늄이 함유된 나일론 소재의 외부 억제층으로 구성되어 있었다. 첫번째 층은 순수한 산소를 34.5kPa로 유지시켰고, 두 번째 층은 첫 번째 층이 풍선처럼 팽창하는 것을 방지했다. 이 두 번째 섬유 팽창 억제층이 산소의 압력을 우주 비행사의 내부로 향하게 했다. 이 우주복의 팔과 다리 부분은 사람의 팔과 다리처럼 경첩 형태로 구부러지지 않았다. 대신, 섬유로 된 팔과 다리가 부드러운 곡선을 그리며 구부러져서 움직임을 제한했다. 우주

비행사가 한쪽 팔을 움직이면 구부러지는 움직임 때문에 관절 부분 근처에서 섬유가 안쪽으로 주름이 잡히거나 접혀서 우주복의 부피가 줄어들고 전체 압력이 약간 증가되었다. 머큐리 우주 비행사들의 편의 측면에서는 다행스럽게도 우주선 조종실의 압력이 감소될 때에만 압력을 보충하도록 머큐리 우주복을 설계하였다. 머큐리 캡슐은 임무 중에 한 번도 압력을 잃은 적이 없었고, 우주복에 바람을 불어넣을 일이 없었다.

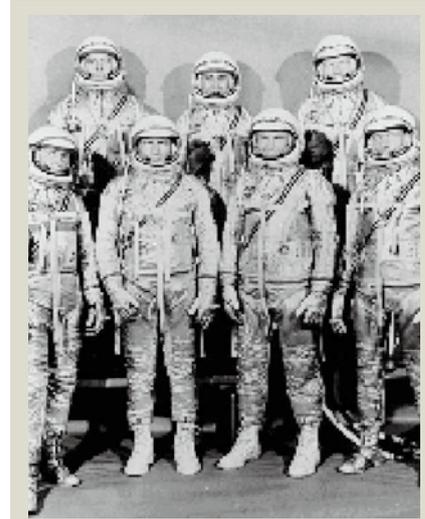
:: 제미니 프로젝트

6번의 머큐리 프로젝트 비행 이후, 10번의 제미니 프로그램 비행이 이어졌다. 우주복 설계자들은 새로운 문제에 부딪혔다. 즉, 제미니 우주복은 우주선 조종실에 압력을 보충해야 할 뿐만 아니라, 발사가 중단되어 탈출좌석을 가동해야 할 경우 탈출복의 역할과 선외 활동을 위한 우주복으로서의 역할도 해야 했다. 오랫동안 입을 우주복의 이동성과 편안함을 증대시키기 위해 설계자들은 머큐리 우주복의 개념에서 탈피했다.

설계자들은 섬유 관절부 대신, 압력을 그물로 가둬놓는 주머니를 사용하는 방법을 선택했다. 이 주머니는 네오프렌으로 코팅한 나일론층으로, 사람의 형태를 띠었다.

이것을 다시 테플론® 코팅된 그물 모양의 나일론으로 덮었다. 압력 주머니보다 약간 작은 이 그물 모양의 나일론은, 자동차의 튜브리스 타이어가 나오기 전에 타이어가 내부 튜브의 부하를 유지하던 것과 똑같은 방식으로 주머니의 팽창을 억제하고 압력 부하를 유지시켰다. 새 우주복은 어깨와 팔의 움직임이 개선되었고 14일이나 되는 긴 우주 비행 동안 압력을 가하지 않은 채 입었을 때 더 편안함을 느낄 수 있었다.

처음으로 모선을 떠나 선외활동을 한 제미니 우주 비행사는 에드워드 화이트 2세였다. 화이트는 레오노프가 구소련 최초의 우주 유영을 한 후 단 몇 개월 만인 1965년 6월 3일에 제미니 4 우주 캡슐에서 발을 내디뎠다. 화이트는 산소 공급 호스로만 캡슐과 연결한 채 우주에서 30분 동안 점프하고 에드워드 H. 화이트의 역사적인 우주 유영 굴렀다. 이 호스는 밧줄 및 캡슐과의 통신 연결 장치라는 부차적 기능을 한 셈이다. "우주 유영"이 제미니 프로그램에서 만들어진 말이지만 실제로 걷지는 않았다. 화이트는 우주 유영을 할 때 우주에서 조종하는 데 사용되는 권총 모양의 휴대용 추진 장치를 사용했다. 방아쇠를 당기면 추진 장치에서 질소 제트기류가 방사되어 사람이 그 반대 방향으로 나아가게 된다.



머큐리 프로젝트
우주 비행사들



에드워드 H.
화이트의 역사적
인 우주 유영

이것은 우주에서 사용된 최초의 개인용 조종 장치였다. 제미니 프로그램을 완수한 후 NASA 우주 비행사들은 추가로 거의 12시간에 달하는 선외 활동을 기록했다. 이 시간의 약 절반은 단순히 열린 해치 사이에서 있는 채로 보냈다.

제미니 프로그램에서 얻은 가장 중요한 교훈은 선외 활동이 생각만큼 간단하지 않다는 것이었다. 우주에서 돌아다니는 일은 많은 연습이 필요했다. 그러나 지구에서 훈련을 많이 하면 연습 시간을 줄일 수 있었다. 가장 효과적인 훈련은 물 속에서 이루어졌다. 특수한 무게가 실린 우주복을 입고 깊은 물탱크 속에 들어가는 훈련은 나중에 제미니 승무원들이 우주에서 수행할 조종에 대비하는 적절한 연습이 되었다. 또한 우주 비행사의 온도를 낮추기 위한 보다 좋은 방법이 필요하다는 것도 알게 되었다. 가스 냉각 시스템은 우주 비행사가 열과 습기를 만들어 내는 만큼 빨리 이를 제거하지 못했고, 헬멧 바이저 안쪽은 금방 흐려져 앞을 보기가 힘들었다.

:: 아폴로 프로젝트

제미니에 이은 아폴로 프로그램은 우주복 설계에 새로운 지평을 열었다. 즉, 실제 달 표면에서의 우주 유영이 이제 처음으로 가능했던 것이다. 머큐리와 제미니 우주복처럼 아폴로 우주복도 우주 캡슐의 압력 보충 시스템 역할을 해야 했다. 어깨와 팔의 유연성을 가미하는 것 외에, 아폴로 우주복은 다리와 허리도 움직일 수 있게 만들어야 했다. 우주 비행사들은 달에서 견본을 채취하기 위해 몸을 구부리고 기울일 수 있어야 했다. 우주복은 마이크로 중력과 달 표면의 1/6 중력에서도 제 기능을 할 수 있어야 했다. 더욱이 아폴로 우주 비행사들에게는 달 위를 걸을 때 산소 공급선과 바늘이 결합된 줄을 성가시게 끌고 다니지 않고 자유롭게 돌아다닐 수 있는 유연성이 필요했다. 그러기 위해서는 휴대용 생명 유지 시스템도 필요했다.

아폴로 우주복은 냉각제로 물을 사용한 옷에서 시작되었다. 긴 속옷과 비슷하지만 벽이 얇은 플라스틱 관으로 그물망처럼 짜여진 이 옷은 우주 비행사 주위로 냉각수를 순환시켜 과열을 방지했다.

이 냉각복 위에는 여러 층으로 된 압력복을 입었다. 이 옷의 가장 안쪽 층은 통기성 섬유관과 함께 가벼운 나일론으로 되어 있어 편안했다. 이 위에는 네오프렌으로 코팅된 나일론층이 나일론 억제층으로 둘러싸여 있었다. 이층이 우주복 내에 압력을 가뒀었다. 억제 케이블을 내장하였고, 풀무처럼 생긴 고무로 된 연결부를 허리, 팔꿈치, 어깨, 손목, 무릎, 발목에 결합하여 이동성이 향상되었다. 이 억제층 위로는 열을 보호하기 위해 짜이지 않은 데이كرون® 소재로 만든 네 겹의 간격층과 알루미늄이 함유된 마이라® 층을 다섯 겹으로 둘러쌌다.

그 위에는 두 개의 층, 즉 추가적으로 열을 보호하기 위한 캡톤 및 베타 마키젯과 테플론®으로 코팅된 필라멘트 베타 섬유 소재의 불연성 마모 방지층이 둘러쌌다. 우주복의 가장 바깥 층은 흰색 테플론® 섬유로 되어 있었으며, 마지막 두 개 층은 불연성을 지니고 있었다.



전체적으로 이 우주복의 여러 층에서 압력을 제공하고, 열과 추위로부터 우주 비행사를 보호하며, 미소 유성체의 충격과 달 위를 걸어다니면서 생기는 마모로부터 비행사를 보호하는 역할을 했다. 우주복의 마무리는 통신 헤드셋과 투명한 폴리카보네이트-플라스틱 압력 헬멧이었다.

헬멧 위에는 태양 필터링 바이저와 태양빛으로부터 보호하기 위한 조절 블라인더로 구성된 조립체를 장착했다. 아폴로 우주복의 마지막 구성요소는 달에서 신을 보호 부츠, 휴대용 생명 유지 시스템, 그리고 장비를 다룰 때 어느 정도의 감도를 제공해 주도록 손끝을 실리콘 고무 처리한 맞춤형 장갑이었다. 등에 짊어지는 생명 유지 시스템은 산소와 압력, 냉각수, 달 표면에서 8시간까지 지속되는 활동에 대비한 무선 통신장치로 구성되었다. 또한 달 착륙선 내부로 돌아가면 추가 월면보행을 위해 생명 유지 시스템에 산소와 배터리를 충전할 수 있었다. 아폴로 프로그램을 진행하면서 12명의 우주 비행사들은 달 표면에서 총 161시간의 선회 활동을 수행했다. 그 밖의 추가 선회 활동은 우주 비행사들이 달에서 지구로 이동하는 동안 마이크로중력에서 이루어졌다.



아폴로 16호 달 데카르트 지역 착륙 임무의 사령관, 존 W. 영이 지구 중력의 1/6인 달에서 위로 점프하면서 성조기에 경례를 하고 있다. 그의 뒤로 달 모듈 "오리온"과 월면차가 보인다.

총 4시간 동안 사령선 조종사였던 한 우주 비행사가 캡슐을 떠나 사진 필름을 회수하였다. 달에서 멀리 떨어져 있는 상태에서 휴대용 생명 유지 시스템은 필요하지 않았는데, 이는 우주 비행사들이 산소를 공급해 주는 생명줄로 우주선과 연결되어 있었기 때문이었다.

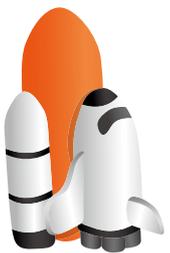
:: 스카이랩

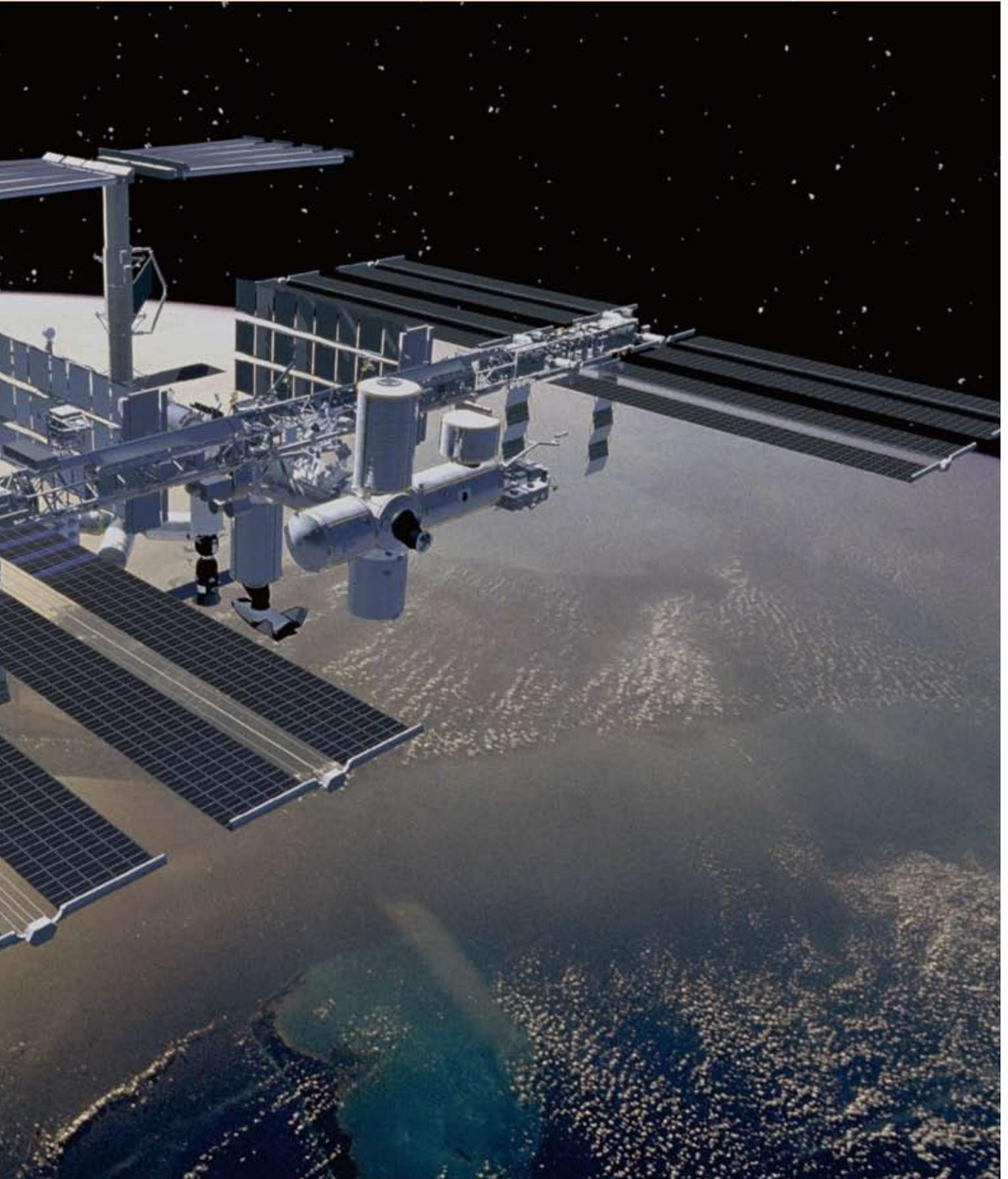
NASA가 수행한 다음 선외 활동은 스카이랩 프로그램에서 이루어졌다.

스카이랩은 NASA의 첫 번째 우주 정거장이었다. 이 우주 정거장은 아폴로의 마지막 달 착륙이 있는 지 6개월 후인 1973년에 발사하였다. 그런데 발사 도중에 미소 유성체 보호막이 우주 정거장 외벽에서 떨어져 나가면서 문제가 발생했다. 이 사고로 태양 전지판 6개 중 2개가 너무 빨리 펼쳐졌고, 그중 하나가 대기 마찰로 떨어져 나갔다. 다른 하나는 일부만 열린 상태에서 구부러진 금속 조각에 걸려 멈춰버렸다. 궤도에 진입한 후, 스카이랩은 남아 있는 태양 전지판에서 전기 에너지를 충분히 공급받지 못했다. 결국 사라진 보호막 때문에 정거장이 과열되었다. NASA는 임무를 포기하지 않고, 처음 우주 비행사 3명에게 고장 난 정거장을 수리하는 임무를 부여했다. 아직 아폴로 사령선에 있던 폴 웨이츠는 측면 해치를 통해 몸을 뺀어 걸린 태양 전지판을 풀어보려고 했지만 실패했다. 스카이랩에 승선한 비행사들은 우산처럼 생긴 휴대용 열 보호막을 과학 에어록에 꽂아서 원래 보호막이 떨어져 나간 자리를 덮었다. 그리고 조금 후 선외 활동을 통해 태양 전지에 걸려 있던 금속을 잘라내 태양 전지판이 정상적으로 열리게 되었다. 두 번째 스카이랩 비행사들도 선외 활동을 통해 첫 번째 열 보호막 위에 추가로 휴대용 열 보호막을 세웠다.

스카이랩의 선외 활동용 우주복은 아폴로의 달 우주복을 간소화한 것이었다.

우주 비행사들은 산소와 냉각수를 공급해 주는 생명줄로 정거장에 연결되어 있었기 때문에 휴대용 생명 유지 시스템이 필요하지 않았다. 압력조절장치와 생명줄 부착장치로 구성된 우주 비행사 생명 유지 조립체를 가슴에 착용하고, 산소 공급병 2개로 구성된 응급 산소 패키지를 오른 쪽 허벅지에 부착했다. 압력 헬멧 위에는 간소화된 바이저 조립체를 착용했다. 보호 부츠는 필요하지 않았다. 스카이랩 우주 비행사들은 필름 및 실험을 회수하기 위해 계획한 선외 활동을 17.5시간 기록했고, 정거장을 수리하기 위해 일정에 없던 선외 활동을 65시간 기록했다.





우주여행을 위한 음식물 건조

옛날 사람들은 음식을 건조시켜 먹기 전까지 시원하고 건조한 곳에 보관하면 상하지 않는다는 것을 알게 되었다. 이후에는 음식을 조리, 가공, 보존해 밀폐 용기에 보관하는 기법이 개발되었다.

저온 살균과 통조림 기법이 개발되면서 장거리 여행 시 훨씬 더 다양한 음식을 보관하여 가지고 다닐 수 있게 되었다. 이러한 포장 식품의 형태는 지상 여행에는 적합하지만 우주 비행에는 적합하지 않은 경우가 있다. 우주 여행 시 무게와 부피가 제한될 뿐만 아니라, 우주의 마이크로 중력도 음식 포장에 영향을 주기 때문이다.

이번 차시에는 신선한 과일이나 채소를 건조시켰을 때 줄어드는 물의 비율을 직접 측정해 봄으로써 우주 여행에 필요한 음식물이 갖춰야 하는 조건을 알 수 있도록 하는 활동이다.



학습 목표

- 신선 식품을 건조할 때 줄어드는 물의 비율을 구할 수 있다.



해당 학년 중학교 1~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

채소: 양파, 양상치 등

과일: 신선한 사과, 바나나 등

음식물 건조기, 저울, 분동, 지퍼백, 접시, 칼

건조식품(컵라면, 누룽지 등)



핵심 단어

- **건조** : 수분을 제거하여 수분이 없는 상태로 만드는 것이다. 건조기, 건조제를 사용하거나 건조한 공기를 이용하여 물질 속의 수분을 증발시킨다. 혹은 물질을 넣은 용기를 저압으로 만들어 증발시키기도 한다.
- **재수화** : 건조 식품에 물을 가하여 다시 원래대로 돌아가게 하는 것



활동 내용

【실험방법】

1. 과일이나 채소의 무게를 측정한다.
2. 각 음식을 접시 위에 놓고 작은 조각으로 자른다.
3. 음식물 건조기에 넣고 건조한다.
4. 건조기에서 꺼내 습기가 다시 흡수되지 않도록 식힌 후 지퍼백에 넣어 무게를 측정한다.
5. 건조된 음식 무게를 측정할 때 빈 지퍼백의 무게를 뺀다.
6. 다음 방정식으로 음식 샘플에서 손실된 수분의 비율을 계산한다.

$$\text{수분 손실 비율 (\%)} = \frac{\text{원래 무게} - \text{건조된 무게}}{\text{원래 무게}} \times 100$$

【평 가】

학생들에게 과일 및 채소 건조 절차를 적어보게 한다.

【심화 학습】

식료품점에서 나오는 다양한 식품의 재수화 실험을 실시한다.

1. 양을 알고 있는 건조 식품의 무게를 측정하고 물이 들어 있는 용기에 넣는다.
2. 음식을 완전히 재수화한다.
3. 용기에서 음식을 꺼내고 물기를 닦아낸다.
4. 재수화된 음식의 무게를 재고 재수화 비율을 계산한다.

$$\text{재수화 비율 (\%)} = \frac{\text{무게 증가} + \text{원래 무게}}{\text{원래 무게}} \times 100$$



지도상 유의점

1. 과일이나 채소의 무게를 측정할 때, 빈 지퍼백을 같이 올려놓고 무게를 측정하도록 한다.
2. 수분 손실 비율이나 재수화 비율을 구할 때에는 전자계산기를 이용하여 계산하도록 한다.



우주여행을 위한 음식물 건조 학년 반 이름

도전과제



신선한 식품을 건조할 때 줄어드는 물의 비율 계산하기

우주 왕복선을 이용한 우주 여행을 하려고 합니다. 어떤 음식을 준비해가면 좋을까요? 우주에 가져갈 음식이 갖춰야 할 조건에는 어떤 것이 있을까요? 이번 시간에는 채소나 과일을 직접 건조시켜 보고, 손실된 수분의 비율을 계산해보는 활동을 하게 됩니다. 이런 활동들이 우주 여행을 위한 음식 준비에 어떤 도움을 주는지 생각해 봅시다.



이것이 필요해요

- 채소 : 양파, 양상치 등
- 과일 : 신선한 사과, 바나나 등
- 음식물 건조기, 저울, 분동, 지퍼백, 접시, 칼
- 건조식품(컵라면, 누룽지 등)



핵심 단어

- **건조** : 을 제거하여 이 없는 상태로 만드는 것이다.
건조기, 건조제를 사용하거나 건조한 공기를 이용하여 물질 속의 수분을 증발시킨다.
혹은 물질을 넣은 용기를 으로 만들어 증발시키기도 한다.
- **재수화** : 건조 식품에 을 가하여 다시 원래대로 돌아가게 하는 것



활동 순서

【신선식품이 건조할 때 줄어드는 물의 비율구하기】

1. 과일이나 채소의 무게를 측정합니다.
2. 각 음식을 접시 위에 놓고 작은 조각으로 자릅니다.
3. 음식물 건조기에 넣고 건조합니다.
4. 건조기에서 꺼내 습기가 다시 흡수되지 않도록 식힌 후 지퍼백에 넣어 무게를 측정합니다.



5. 건조된 음식 무게를 측정할 때 빈 지퍼백의 무게를 뺍니다.
6. 음식 샘플에서 손실된 수분의 비율을 계산합니다.

【다양한 식품의 재수화 비율구하기】

1. 양을 알고 있는 건조 식품의 무게를 측정하고 물이 들어 있는 용기에 넣습니다.
2. 음식에 적당히 물을 넣어 불게 합니다.(재수화)
3. 용기에서 음식을 꺼내고 음식에 포함된 물 이외의 남아있는 물을 제거합니다.
4. 재수화된 음식의 무게를 재고 재수화 비율을 계산합니다.



활동 결과

- ♣ 아래 각 과일이나 채소의 무게를 재어 기록해 봅시다.

또한 건조기를 이용해 건조시킨 후의 무게도 재어 봅시다. 건조 전에 비해서 얼마나 차이가 납니까?

	양 파	양 상 치	사 과	바 나 나
건조 전				
건조 후				
차이 (건조전-건조후)				

- ♣ 아래 계산식을 이용해서 각 음식의 수분 손실 비율을 계산하여 보고, 표로 만들어 봅시다.

$$\text{수분 손실 비율 (\%)} = \frac{\text{원래 무게} - \text{건조된 무게}}{\text{원래 무게}} \times 100$$

1. 양파의 수분 손실 비율 =
2. 양상치의 수분 손실 비율 =
3. 사과와 수분 손실 비율 =
4. 바나나의 수분 손실 비율 =

- ♣ 다음 건조식품의 무게를 재어 봅시다. 약간의 물을 넣어 건조식품이 적당한 양의 물을 함유하도록 하여 봅시다. 물을 적당히 함유한 건조식품의 무게를 재어 봅시다.

	양 파	양 상 치	사 과	바 나 나
물 첨가 전				
물 첨가 후				

- ♣ 아래 계산식을 이용해서 건조 식품의 재수화 정도를 알아봅시다.

$$\text{재수화 비율 (\%)} = \frac{\text{무게 증가} + \text{원래 무게}}{\text{원래 무게}} \times 100$$

1. 컵라면의 재수화 비율 =
2. 누룽지의 재수화 비율 =



생각해요

- ♣ 신선한 식품을 건조했을 때 물이 줄어드는 비율이 가장 큰 것은 어느 것입니까?
- ♣ 우주 여행을 할 때 음식이 갖추어야 할 조건으로는 어떤 것들이 있을까요?
- ♣ 과거에는 우주 여행용 음식으로 재수화가 가능한 음식을 선호하였는데, 지금은 그렇지 않다고 합니다. 왜 그렇게 되었을까요? 우주에서 사용하는 연료와 관련지어 생각해 봅시다.





【읽을 거리】

아폴로 우주선과 음식들

머큐리와 제미니 비행에서는 우주 음식 준비, 처리 및 섭취가 향후 우주 비행의 음식 개발에 중요한 일이 되었다. 아폴로 프로그램에서는 제미니에서 사용된 것과 비슷한 음식 포장을 사용했으나 음식은 훨씬 더 다양해졌다. 재수화가 가능한 음식을 스푼 볼이라고 하는 플라스틱 용기에 넣었다. 워터 건 노즐로 포장 안에 물을 주입했다. 음식 재수화가 끝나면 압력식 플라스틱 지퍼를 열고 스푼으로 음식을 꺼냈다. 수분이 함유되어 있어 음식이 스푼에 붙기 때문에 지상에서 먹는 것과 비슷했다.

또 한 가지 새로운 포장인 습포, 즉 연성 내열 파우치는 음식의 수분이 유지되기 때문에 재수화를 위한 물이 필요하지 않았다. 내열 용기에는 플라스틱 및 알루미늄 호일 덮개 판 전체를 떼어내는 캔의 두 가지가 있었다. 통조림 제품의 단점은 무게가 늘어난다는 데 있었다. 그 무게는 재수화가 가능한 음식의 약 네 배였다. 이 새로운 포장으로 아폴로 비행사들은 우주에서 처음으로 스푼으로 식사하면서 음식 맛을 보고 냄새를 맡을 수 있었다. 초기 포장과 식품에는 없었던 이런 장점으로 식사의 즐거움이 더해졌다.



다. 새로운 포장은 비행사 한 명의 일주일치 식량을 구두 상자 세 개 크기의 내압 용기에 넣을 수 있는 정도의 공간을 차지했다.

아폴로의 달 비행은 우주 음식에 획기적인 도전의 기회가 되었다. 머큐리 때의 음식 튜브가 예비 음식물 시스템으로 다시 도입되었다. 여기에는 머큐리 때 사용된 자연 식품 퓨레 대신 특수 조제식을 담았다. 아폴로 비행에서는 음식과 음료에 뜨겁거나 주위와 같은 온도(실온)의 물을 타서 액상으로 만들었다. 아폴로에서 먹은 음식 중에는 커피, 베이컨, 콘플레이크, 스크램블드 에그, 참치 샐러드, 땅콩버터, 쇠고기 포트 로스트, 스파게티, 프랑크푸르트 소시지 등이 있었다.

우주 음식의 유형

우주 음식은 다음의 여덟 가지 범주로 나뉜다.

1. 재수화 가능 음식(건조 식품): 보관하기 쉽도록 재수화 음식에서 물을 제거한다. 물은 먹기 전에 음식으로 다시 공급된다. 재수화 가능 식품에는 음식과 음료 모두 포함된다. 오트밀 같은 따뜻한 시리얼이 재수화 가능 음식이다.



2. 내열 처리 음식 : 내열 처리 음식은 실온에 보관할 수 있도록 열처리한 것이다. 과일과 생선(참치) 대부분은 캔에 담아 열처리한다. 동네 식료품점에서 구입할 수 있는 과일 통조림에 있는 고리를 당겨 캔을 쉽게 열 수 있다. 푸딩은 플라스틱 컵에 포장된다.

3. 중간 수분 음식 : 중간 수분 음식은 제품에 있는 물을 부드러운 질감을 유지할 정도만 남겨두고 빼서 보존한다.

이렇게 하면 준비 과정 없이 먹을 수 있다.

이런 음식으로는 말린 복숭아, 배, 살구, 쇠고기 육포가 있다.

4. 자연 형태 음식 : 이 음식은 부드러운 파우치에 포장되어 쉽게 먹을 수 있는 것으로 견과류, 그래놀라 바, 쿠키 등이 그 예이다.

5. 방사선 조사 음식 : 비프스테이크와 훈제 칠면조가 현재 사용되고 있는 유일한 방사선 조사 식품이다. 이런 식품은 조리하여 연성 포일 파우치에 포장한 후 실온에 보관할 수 있도록 이온 방사선으로 살균한다. 이 외에도 ISS에서 먹을 방사선 조사 식품이 개발 중이다.

6. 냉동 음식 : 이 음식은 급속 냉동을 통해 커다란 얼음 결정이 생기는 것을 막는다. 이렇게 하면 음식 고유의 질감이 유지되어 맛이 신선하다. 캐서롤 요리, 치킨 팟 파이가 이 음식의 예이다.

7. 신선 음식 : 이것은 가공이나 인공 보존 처리를 하지 않은 음식으로, 사과와 바나나가 그 예이다.

8. 냉장 음식 : 이 음식은 상하지 않도록 저온에 보관해야 한다. 크림 치즈와 사워 크림이 그 예이다.



Space Survival



우주복의 장력 강도 실험

우주복은 인간이 대기권 밖을 탐험하게 해준 중요한 기술 중의 하나이다. 우주의 외계 환경에 맞도록 우주복은 마모, 천공, 극한 온도, 구부림, 마모 등에 견딜 수 있는 것 이어야 한다. 이번 차시에서는 장력 강도 실험 장치를 만들어 장력에 대한 재료의 저항력을 측정해보고, 어떤 소재로 우주복을 만들어야 하는지 재료와 기술을 선택해보는 활동을 하게 된다.

↑ 학습 목표

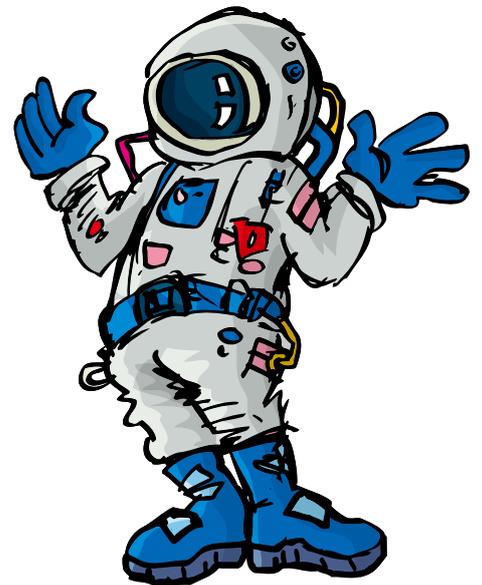
장력 강도 실험장치를 만들고, 장력에 대한 소재(옷감)의 저항력을 측정·비교할 수 있다.

👥 해당 학년 중학교 1~2학년

🕒 소요 시간 100분

📁 이것이 필요해요

나무 판자(15cm x 2.5cm x 10cm),
나사산을 낸 쇠 파이프(2cm x 5cm 1개), (2cm x 7.5cm 2개)
파이프 엘보*(2개), 파이프 플랜지*(2개) * 파이프 연결시에 사용
플랜지 나사, 도르래(싱글 1개)
도르래 블록(더블 1개, 트리플 1개)
도르래 줄, 클램프(2개), 미터 자, 지시자(딱딱한 철사)
호스 클램프(2개), 납 분동(25kg), 양동이, 드라이버, 파이프 렌치
시험할 재료(섬유 견본), 보안경



📁 이렇게 준비해요

1. 직물 가게에서 자투리로 남은 여러 종류의 섬유 견본을 구한다. 학생들에게도 작업할 견본을 가져오라고 한다. 시험할 재료를 폭 1cm, 길이 10cm의 직사각형으로 잘라 준비한다.
2. 납 분동을 담을 바구니는 금속으로 된 3~4L 크기의 빈 페인트 통을 사용해도 된다.
3. 타이어 상점에서 무료로 또는 적은 비용으로 중고 휠밸런스 조정용 납을 구할 수 있다.



핵심 단어

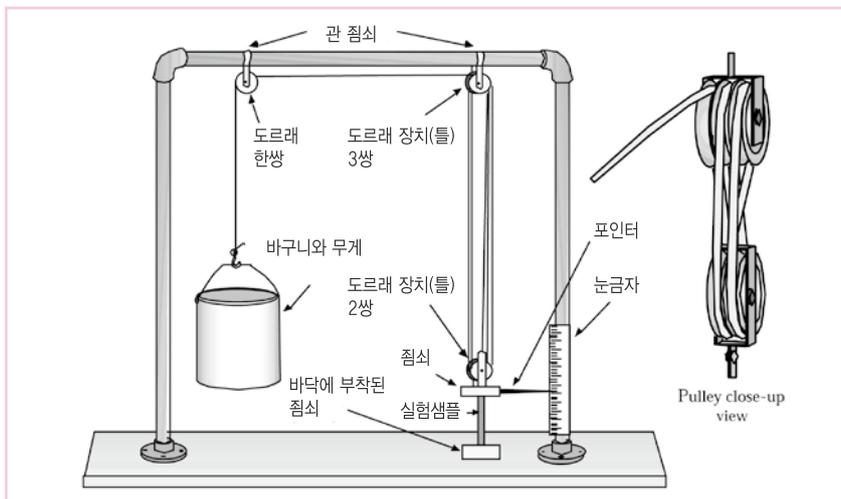
- **장력** : 줄에 걸리는 힘의 크기를 줄의 장력이라고 한다.
- **EMU** : 왕복선 선외 활동용 우주복
- **클램프** : 철제스탠드에 고정함으로써 실험기구들을 입체적으로 지탱하게 하는 것을 돕는 금속제 집게
- **케블라** : 미국 듀폰이 개발한 파라계 방향족 폴리아마이드 섬유로 황산용액에서 액정 방사한 고강력섬유이다. 강도·탄성·진동흡수력 등이 뛰어나 진동흡수장치나 보강재· 방탄재 등으로 사용된다.
- **노멕스** : 미국의 뒤폰에서 개발한 방향족 폴리아마이드 섬유이다. 내열성· 내후성· 내약품성 등이 뛰어나 공업 자재로 이용된다.
- **플랜지** : 부품의 보강을 위하여 원기둥 위에 돌려 붙인 자루



활동 내용

【실험절차】

1. 직물 견본을 다음 그림과 같이 두 개의 클램프 사이에 고정시킨다.
2. 양동이에 작은 수의 납 분동들을 넣고 클램프와 도르래 조립체의 무게가 균형을 이루게 하여 견본 재료가 수직으로 지탱되도록 한다.
3. 철사 지시자가 가리키는 자의 수치를 기록한다.
4. 점차적으로 양동이에 분동을 추가한다.
5. 장력을 기록하고(양동이에 있는 분동의 다섯 배) 지시자의 위치를 기록한다.
6. 분동을 더 추가하고 데이터를 기록한다.
7. 견본이 찢어지거나 분동을 다 사용할 때까지 이 과정을 계속한다.



【결과 분석】

1. 차트를 만들어 각 시험에서 나온 결과를 표시한다.
2. 재료의 성능을 나타내는 그래프를 만든다.

【생각해보기】

1. 어떤 재료는 힘이 가해지는 방향에 따라 장력 강도가 달라진다. 직조 방향의 가로, 세로, 또는 대각선으로 측정하는 경우 강도는 어떻게 다른지 비교한다.
2. 매우 강한 섬유(예: 케블라®)의 경우, 천의 폭을 좁게 하거나 아예 한 가닥으로 시험해 폭 1센티미터의 조각이 견딜 수 있는 힘에 대한 결과를 추정한다.

【평가】

학생 팀은 차트에 시험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. "첨단 기술" 직물과 섬유를 제조하는 회사에 문의하여 생산하는 제품의 속성이 기재된 사양서를 구한다. 일부 회사는 인터넷 웹사이트가 있을 수도 있다. 인터넷에서 케블라® 와 노멕스® 를 검색해 본다.
2. 옷을 만드는 가게에 가서 옷을 만들 때 사용하는 재료에 대해 알아보고 직물이 최대의 강도를 지니게 하려면 어떻게 꿰매야 하는지 알아본다.
3. 직물이 어떻게 만들어지는지 알아보고 섬유의 종류, 직조 기술, 코팅을 통해 어떤 다양한 속성을 갖게 되는지 알아본다. 학교에서 관련 비디오 테이프를 찾아본다.

**지도상 유의점**

1. 다양한 클램프 도구를 사용할 수 있기 때문에 클램프를 장치에 연결하는 상세한 방법은 기재하지 않았다. 이 방법은 장치를 만드는 학생들이 판단하도록 한다.
2. 학생들은 장치를 작동시킬 때 보안경을 착용한다.





우주복의 장력 강도 실험

학년 반 이름

도전과제

장력 강도 실험 장치를 만들고, 장력에 대한 소재(옷감)의 저항력을 측정·비교하기



우주복이 갖춰야할 조건에는 어떤 것이 있을까요?

도르래를 이용하여 만든 장력 강도 실험 장치를 만들어 실험해 보고, 어떤 소재로 만든 우주복이 우주 유영에 적합한지를 찾아봅시다.



이것이 필요해요

- 나무 판자(15cm x 2.5cm x 10cm),
- 나사산을 낸 쇠 파이프(2cm x 5cm 1개), (2cm x 7.5cm 2개)
- 파이프 엘보*(2개), 파이프 플랜지*(2개) * 파이프 연결시에 사용
- 플랜지 나사, 도르래(싱글 1개)
- 도르래 블록(더블 1개, 트리플 1개)
- 도르래 줄, 클램프(2개), 미터 자, 지시자(딱딱한 철사)
- 호스 클램프(2개), 납 분동(25kg), 양동이, 드라이버, 파이프 렌치
- 시험할 재료(섬유 견본), 보안경



핵심 단어

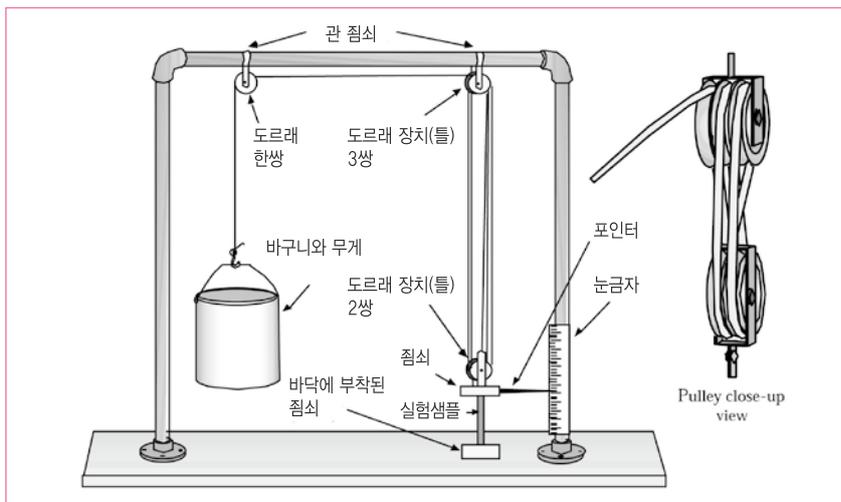
- : 줄에 걸리는 힘의 크기를 줄의 □
- EMU : 왕복선 선외 활동용 □
- : 철제 스탠드에 고정함으로써 실험 기구들을 입체적으로 지탱하게 하는 것을 돕는 금속제 집게
- : 미국 듀폰이 개발한 파라계 방향족 폴리아마이드 섬유로 황산 용액에서 액정 방사한 고강력섬유. 강도·탄성·진동흡수력 등이 뛰어나 진동흡수장치나 보강재·방탄재 등으로 사용됨
- : 미국의 뒤폰에서 개발한 방향족 폴리아마이드 섬유. 내열성·내후성·내약품성 등이 뛰어나 공업 자재로 이용
- 플랜지 : □ 를 연결할 때 사용되는 부품





활동 순서

1. 준비한 직물 견본에 번호를 붙여 표시합니다.
2. 직물 견본을 아래 그림과 같이 두 개의 클램프 사이에 고정시킵니다.



3. 양동이에 작은 수의 납 분동들을 넣고 클램프와 도르래 조립체의 무게가 균형을 이루게 하여 견본 재료가 수직으로 지탱되도록 합니다.
4. 철사 지시자가 가리키는 자의 수치를 기록합니다.
5. 점차적으로 양동이에 분동을 추가합니다.
6. 장력을 기록하고(양동이에 있는 분동의 다섯 배) 지시자의 위치를 기록합니다.
7. 분동을 더 추가하고 데이터를 기록합니다.
8. 견본이 찢어지거나 분동을 다 사용할 때까지 이 과정을 계속합니다.



활동 결과

♣ 준비한 섬유 견본에 번호를 붙이고 장력 강도 실험을 하여 아래 표에 데이터를 기록합니다.

번호	섬유이름	양상치	사과	바나나
1				
2				
3				
4				
5				
6				



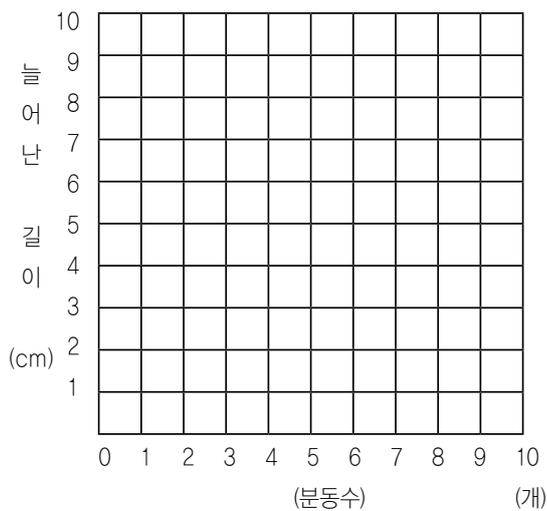
활동 결과

♣ 준비한 섬유 견본에 번호를 붙이고 장력 강도 실험을 하여 아래 표에 데이터를 기록합니다.

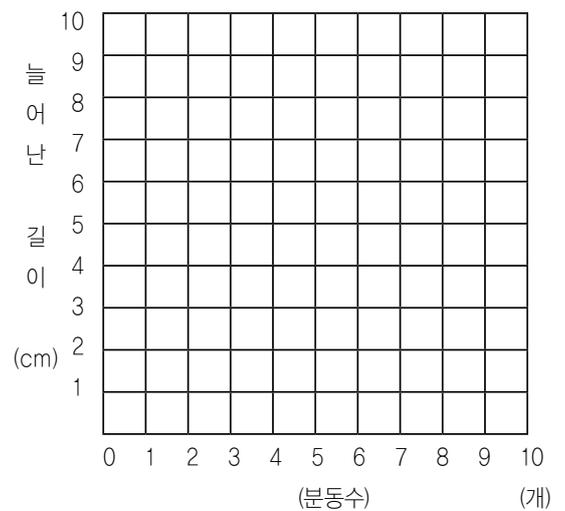
번호	섬유이름	분동의 개수에 따른 섬유의 늘어난 정도(cm)				
		2	4	6	8	10
1						
2						
3						
4						
5						
6						

♣ 위에서 기록한 데이터를 이용하여 각 섬유 견본의 성능을 꺾은선 그래프로 그립니다.

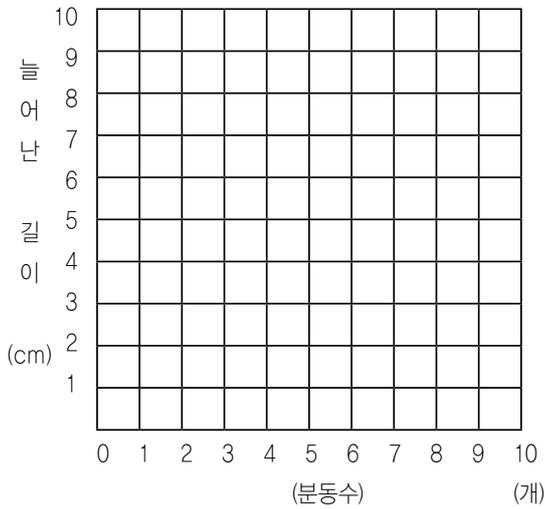
〈견본1〉



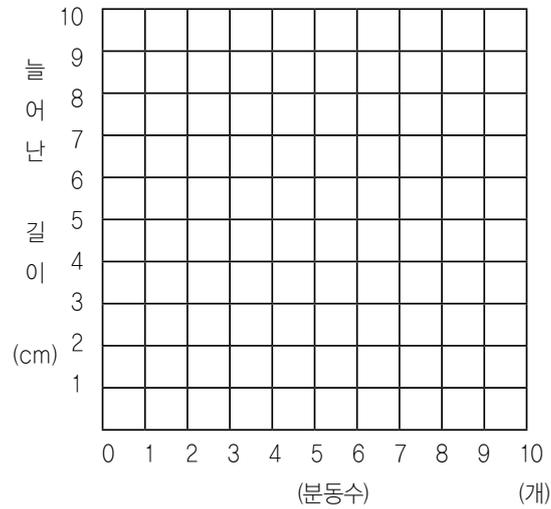
〈견본2〉



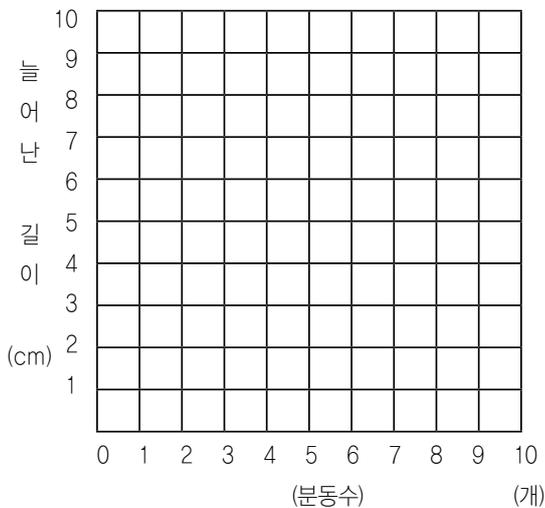
〈견본3〉



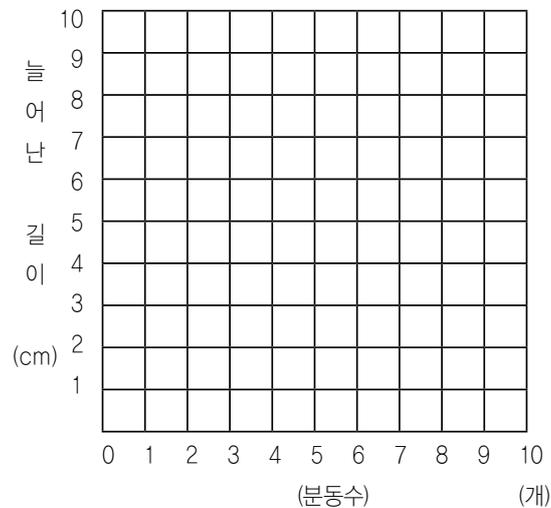
〈견본4〉



〈견본5〉



〈견본6〉



생각해요

- ♣ 위 실험으로 알아낸 결과를 바탕으로 우주복으로 이용할 수 있는 섬유로 가장 적당한 것은 어떤 것인지 그 번호와 이유를 적어봅시다.
- ♣ 첨단 기술에 의해 탄생한 새로운 섬유인 '케블라'와 '노멕스'에 대해 인터넷 검색을 하고, 알아낸 사실을 적어 봅시다.



【읽을 거리】

우주 왕복선 선외 활동용 우주복(EMU)

NASA가 우주 비행사들이 탄 소모용 로켓을 발사하는 방식에서 재사용 가능한 궤도선과 고체 로켓 추진체를 단 우주 왕복선 시스템으로 방식을 바꾸면서 우주복 엔지니어들은 재사용 가능한 EMU를 개발하기 시작했다. 이 전에는 모든 우주복이 일회용 옷이었다. 우주복을 우주 비행사의 신체 사이즈에 맞게 맞춤 제작했었다. 아폴로 프로그램을 예로 들면, 우주 비행사마다 비행용, 훈련용, 비행 예비용으로 각각 한 벌씩 맞춤 우주복이 세 벌 있었다. 그러나 왕복선용 우주복은 우주 비행사의 다양한 신체 사이즈에 맞게 규격화된 부품들 가운데 선택해 제작했다.

개발자들은 왕복선용 우주복을 만들면서 모든 설계 요소를 한 가지 기능, 즉 선외 활동을 수행하는 데 집중할 수 있었다. 초기 유인 우주선의 우주복은 여러 가지 기능을 해야 했다. 조종실의 압력이 떨어지면 압력을 보충해야 했고, 제미니 임무에서는 발사 도중 탈출해야 할 경우 보호 기능도 해야 했다. 또한 마이크로중력 및 달 위를 걷는 등 낮은 중력에서 선외 활동을 하기 위한 환경도 제공해야 했다. 이륙할 때와 대기권 재돌입 시에 우주복을 입었고, 우주복은 가속과 감속 시 경험하게 되는 높은 중력에서도 편안함을 제공해야 했다. 반면 왕복선 우주복은 궤도선 조종실 밖으로 나갈 때만 입었으며, 그 외의 시간에는 편안한 셔츠와 바지나 반바지를 입었다.

여러 개의 층

왕복선 EMU는 선외 활동 시 우주 비행사를 보호하기 위해 14개의 층으로 이루어졌다. 내부의 층들은 액체 냉각 및 환기용 내피로 구성된다. 가장 밑에 나일론 트리코트 안감이 있고, 그 위에 플라스틱 튜브가 들어간 스판덱스 섬유층이 온다.

그 위에는 우레탄으로 코팅된 나일론 소재의 압력 주머니층과 압력을 가뒀놓는 데이크론® 섬유층이 있다. 주머니층과 억제층 위에는 네오프론으로 코팅된 나일론 립스톱 천이 놓인다. 그 다음에는 알루미늄이 함유된 마이라®에 데이크론® 스크림으로 얇게 막을 씌운 열 및 미소 유성체 보호층 7겹이 놓인다. 우주복의 외층은 고어텍스®, 케블라®, 노멕스® 소재를 혼합한 오르토파브릭으로 제조되었다.

왕복선 EMU의 최종 부품들

왕복선 선외 활동용 우주복(EMU)은 18개 부품으로 구성되어 있다. 왕복선 EMU를 모두 조립하면 거의 완벽한 단기 1인용 우주선이 된다. 즉, 압력을 제공하고, 열 및 미소 유성체로부터 보호해 주며, 산소, 냉각수, 음료수, 음식을 제공하고, 이산화탄소 제거 기능 등의 폐기물 수집 기능이 있으며, 전력과 통신 기능을 제공



한다. EMU에 유일하게 없는 것은 조종 기능인데, 이 문제는 가스 제트추진력을 제공하는 선외 활동용 배낭형 추진장치(SAFER)를 EMU의 1차 생명 유지 시스템 위에 착용하면 해결할 수 있다. 지구에서는 SAFER만 제외하고 우주복과 부품을 모두 조립하면 무게가 약 113kg이 된다. 물론 지구 밖의 궤도를 돌 때에는 무게가 전혀 느껴지지 않는다. 그러나 우주에서는 그 질량이 유지되어 움직임의 변화에 대한 저항력으로 느껴진다.

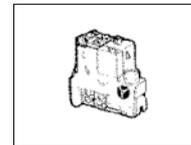
1. 1차 생명 유지 시스템(PLSS)

산소 공급장치, 이산화탄소 제거장치, 주의 및 경고 시스템, 전력, 냉각장치, 환기 팬, 기계류와 무선장치가 포함된 자족형 배낭장치.



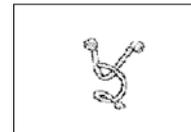
2. 표시 및 통제 모듈(DCM)

모든 통제장치, 디지털 표시장치, 외부의 액체, 기체, 전기 인터페이스가 포함된 가슴에 장착하는 통제 모듈. DCM에는 2차 산소팩과 함께 사용하는 1차 퍼지 밸브도 있다.



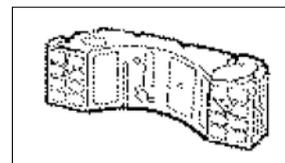
3. EMU 전기 하네스(EEH)

우주복 안에 착용하는 하네스로, 생체계측 및 PLSS와의 통신 기능을 제공한다.



4. 2차 산소팩(SOP)

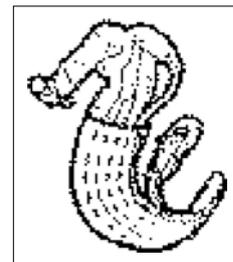
30분 분량의 응급용 산소 탱크 2개와 밸브 및 조절기. SOP는 PLSS의 밑에 장착된다. PLSS에서 SOP를 제거할 수 있어 편리하게 유지 관리할 수 있다.



5. 서비스 및 냉각 공급선(SCU)

궤도선 에어로크 지지 시스템과 EMU를 연결해 EVA 이전에 우주 비행사를 지탱해 주고, PLSS를 위한 궤도 내 충전 기능을 제공한다.

SCU에는 전력선, 통신선, 산소 및 물 충전관, 배수관이 포함되어 있다. EVA를 준비하는 동안에 PLSS 소모품들을 보존한다.



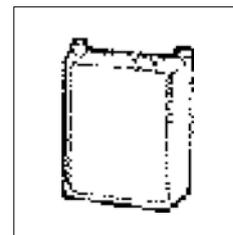
6. 배터리

EVA를 수행하는 동안 EMU에 전력을 공급하는 배터리. 궤도에 진입하여 배터리를 충전할 수 있다.



7. 오염물질 제어 카트리지(CCC)

리튬 수산화물, 활성탄, 필터의 통합 시스템을 장치 하나에 포함시킨 것으로, 오염된 우주복의 공기를 정화한다. CCC는 궤도에 진입하여 교체할 수 있다.



8. 경질 상위 몸통부(HUT)

우주복의 상위 몸통부로, 단단한 유리 섬유 외피로 되어 있다. PLSS, DCM, 팔, 헬멧, 우주복 내부 음료수 가방, EEH, 허리 마감부의 윗부분을 지탱하는 구조적 지지부 역할을 한다. HUT는 미니 워크스테이션 도구 운반장치를 실을 설비도 갖추고 있다.

9. 하위 몸통부

우주복 바지, 부츠, 허리 마감부의 아랫부분. 하위 몸통부에는 몸의 회전과 이동성을 감안하여 허리 베어링과 안전 생명줄을 부착하기 위한 D링이 있다.

10. 팔(왼쪽과 오른쪽)

어깨 연결부와 어깨 베어링, 팔 상부 베어링, 팔꿈치 연결부, 장갑 부착 마감부.

11. EVA 장갑(왼쪽과 오른쪽)

손목 베어링 및 탈거부, 손목 연결부, 손가락. 장갑에는 작은 도구와 장비를 통제하기 위해 밧줄을 붙일 수 있도록 고리가 달려 있다. 일반적으로 비행사들은 EVA 장갑 밑에 소맷부리가 있는 얇은 섬유로 된 편안한 장갑을 낀다.

12. 헬멧

목 탈거 링과 환기 분배 패드가 장착된 플라스틱 압력 발포체. 헬멧에는 내산 이산화탄소를 제거하기 위해 2차 산소팩과 함께 사용하는 보충 퍼지 밸브가 달려 있다.

13. 액체 냉각 및 환기용 내피(LCVG)

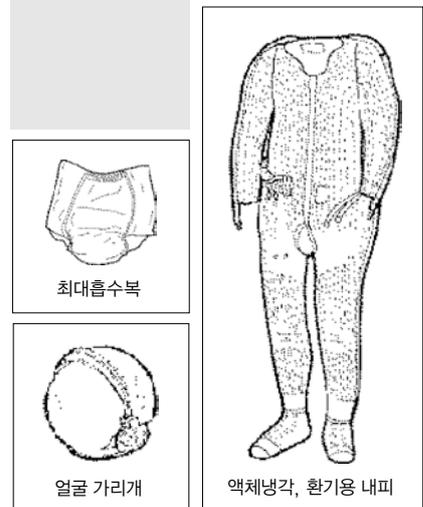
압력층 내부에 입는 긴 속옷처럼 생긴 옷. 액체 냉각 튜브, 기체 환기 배관, HUT를 통해 PLSS에 부착할 여러 개의 물/기체 연결부가 포함되어 있다.

14. 최대흡수복(MAG)

소변을 담기 위한 추가 흡수 재료가 추가된 성인용 크기의 기저귀

15. 선외 활동용 바이저 조립체(EVA)

메탈릭 골드로 덮은 태양광 필터 바이저와 투명한 열 충격 보호



바이저, 그리고 헬멧 윗부분에 부착된 조절 블라인더로 구성되는 조립체. 이 외에 4개의 작은 "헤드 램프"를 장착했고, TV 카메라 트랜스미터도 추가할 수 있다.

16. 우주복 내부 음료수 가방(IDB)

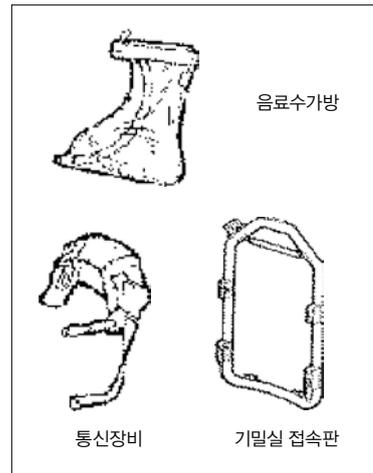
HUT 내부에 장착된, 물로 채워진 플라스틱 주머니. 헬멧 안쪽으로 연결된 튜브가 빨대 역할을 한다.

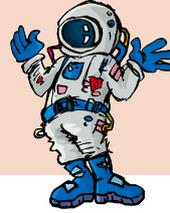
17. 통신장치 조립체(CCA)

EMU 무선장치와 함께 사용할 내장 이어폰과 마이크로폰이 장착된 직물 모자

18. 에어로크 어댑터 플레이트(AAP)

EMU를 에어로크 내부에 거치하고 보관할 때, 그리고 우주복을 입을 때 보조기구로 사용하는 시설





우주 유명한 위험요소 중 하나는 고속으로 이동하는 작은 입자들이다. 이 입자들은 미소 유성체라고 하는 것으로, 보통 모래 알갱이보다 작으며 질량이 몇 분의 일 그램밖에 되지 않아서 초속 수 km에서 80km에 이르는 속도로 이동한다. 우주 비행사가 미소 유성체에 맞으면 심각한 부상을 입을 수 있다. 게다가 지구에서 가까운 우주 공간에는 이전의 로켓 추진기와 위성에서 나온 페인트 조각 및 금속 조각 같은 우주 먼지도 존재한다. 이러한 입자 역시 하나라도 맞으면 위험하다. 따라서 우주복은 이러한 충격들을 견뎌낼 수 있는 소재로 만들어져야 한다. 이번 차시에서는 견본 섬유의 내충격성을 측정하는 장치를 만들어 실험해 보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

- 내충격성 실험 장치를 만들어 견본 섬유의 내충격성을 측정할 수 있다.



해당 학년

중학교 1 ~ 2학년



소요 시간

100분



이것이 필요해요

나무 판자(15cm x 2.5 x 5cm), PVC 플라스틱 수도관(2cm x 25cm)
파이프 엘보(2개), 파이프 플랜지(1개), 플랜지 나사
전화선, 큰 고리 나사못, 전력 공급 상자, On/Off 스위치
표시등, 누름 단추 스위치, 6볼트 배터리 홀더, 자, 견본 섬유
나무 블록(2.5cm x 15cm x 15cm), 센터 펀치, 드라이버, 테이프 또는 핀



이렇게 준비해요

1. 이 활동에 필요한 총돌체 설계의 부품들은 공구상가(파이프 부품, 나사, 고리 나사못, 센터 펀치)와 전자상가(전력 공급 상자, 스위치, 배터리 홀더, 표시등, 전자석선)에서 구할 수 있다.
2. 큰 고리 나사못에 에나멜선을 약 400회 감아 전자석을 만든다. 자석에 전류가 흐르면 총돌체의 뭉툭한 끝이 자석에 매달리게 된다. 전류가 끊어지면 자석 총돌체가 목표물 위로 곧장 떨어진다.
3. 학생들에게 직물과 플라스틱 같은 다양한 시험 재료를 가져오게 한다.
두 개 이상의 재료를 결합해 복합재료를 만들도록 학생들을 유도한다.





핵심 단어

- **미소유성체** : 작은 유성체로 우주공간의 작은 암석 입자로서 보통 그램 단위 이하이다.
- **전자석** : 전류가 흐르면 자기화되고, 전류가 흐르지 않으면 자기화되지 않은 원래의 상태로 되돌아가는 자석
- **내충격성** : 충돌이나 충격을 견디는 성질



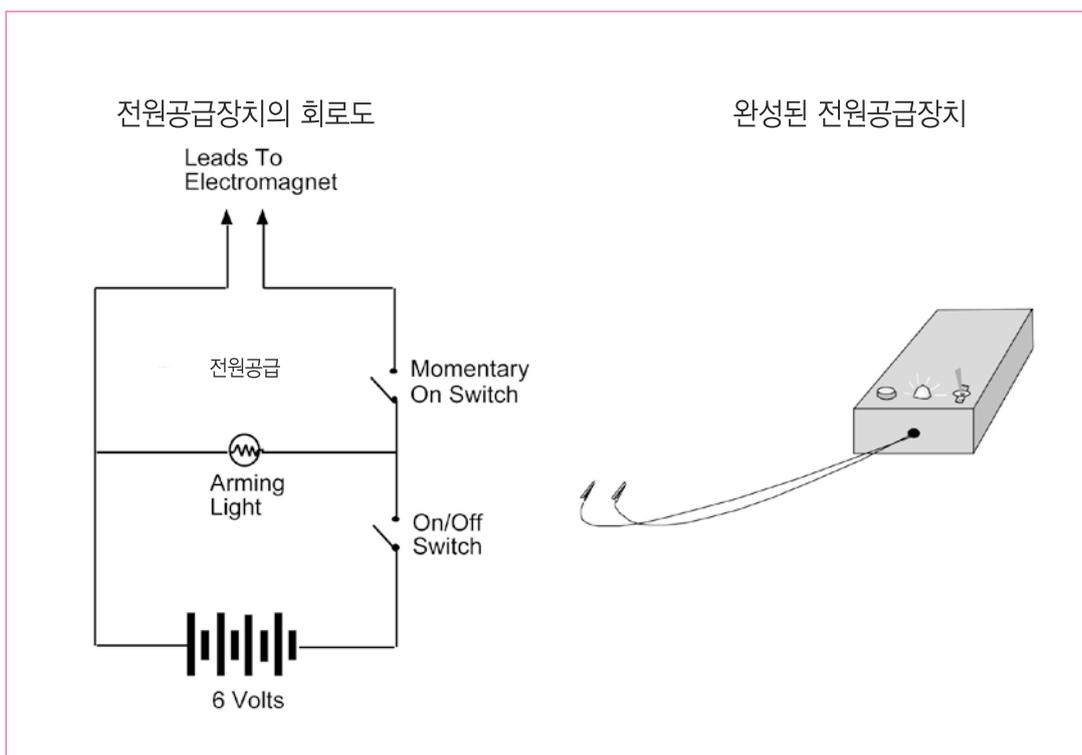
활동 내용

【생각해보기】

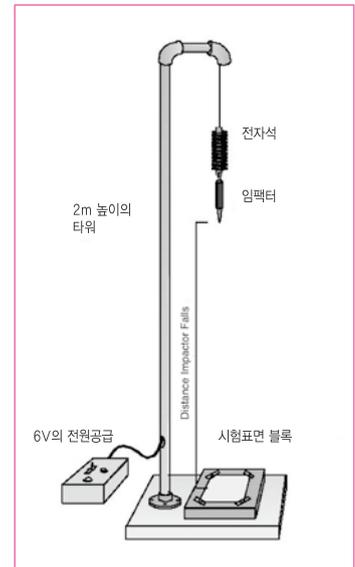
1. 미소유성체와 우주먼지 등과 관련된 우주의 환경에 대하여 이야기를 나눠본다.
2. 미소유성체나 우주먼지 등과 관련하여 우주복이 갖춰야 할 조건에 대하여 생각해본다.

【실험 절차】

1. 실험 타워를 만든다.
 - 큰 고리 나사못에 에나멜선을 400회 감아 전자석을 만든다.
 - 아래 그림과 같이 전력 공급 장치를 만든다.



2. 견본 섬유를 작은 사각형 모양으로 잘라서 시험 표면 블록 위에 테이프나 핀으로 고정한다.
3. 섬유 견본을 올려놓은 후 전자석의 전원을 켜고 충돌체를 부착한다.
4. 전자석의 끝 부분과 섬유 견본과의 거리를 측정한다.
5. 충돌체와 자석이 흔들리지 않을 때 전류를 차단하여 충돌체를 떨어뜨린다.
6. 충돌체는 떨어지면서 가속도가 붙어 견본을 움푹 들어가게 하거나 뚫기도 할 것이다. 여러 가지 재료로 실험해보고 그 손상 정도를 비교함으로써 내충격성을 평가한다. 패인 곳이나 구멍의 직경을 자로 측정한다.



【결과 분석】

1. 학생들에게 각 시험에서 얻은 데이터를 기록한 시험 일지를 작성하게 한다. 실험 도중 견본이 받게 될 손상의 정도를 예측하고 이를 실제 결과와 비교해 보도록 학생들을 유도한다.
2. 학생들이 시험한 재료들의 상대적인 장점을 토의한다.

【수학 방정식】

물리학에서는 움직이는 물체의 에너지를 운동 에너지라고 한다. 이 에너지의 양은 그 물체의 질량과 속도와 관련이 있다. 아래의 방정식은 떨어지는 센터 펀치가 시험 표면에 충돌하는 순간의 운동 에너지를 구할 때 사용할 수 있다. 방정식의 답은 J(줄)(1미터 거리에서 가해진 1N(뉴턴)의 힘과 동일한 일의 단위)로 표현된다.

$$KE(\text{운동 에너지}) = 1/2mv^2$$

(m = 충돌체의 질량, v = 충돌 시의 속도)

충돌 시의 속도를 구할 때는 다음 방정식을 사용한다.

$$V = gt$$

(g = 중력가속도, 즉 9.8m/s², t = 충돌체가 떨어진 시간)

충돌체가 떨어지는 시간 구할 때는 다음 방정식을 사용한다.

$$t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$$

(d = 충돌체가 떨어진 거리)

[예제]

$d = 2\text{m}$, 충돌체 질량 = 50g 이라면, 운동 에너지(KE)는 얼마인가?

$$v = 9.8\text{m/s}^2 \times t$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \times 2(\text{m})}{9.8(\text{m/s}^2)}}$$

$$KE = \frac{1}{2} \times 0.05\text{kg} \times (9.8\text{m/s})^2 \times \left(\sqrt{\frac{2 \times 2(\text{m})}{9.8(\text{m/s}^2)}} \right)^2 = 0.98\text{J}$$

【평가】

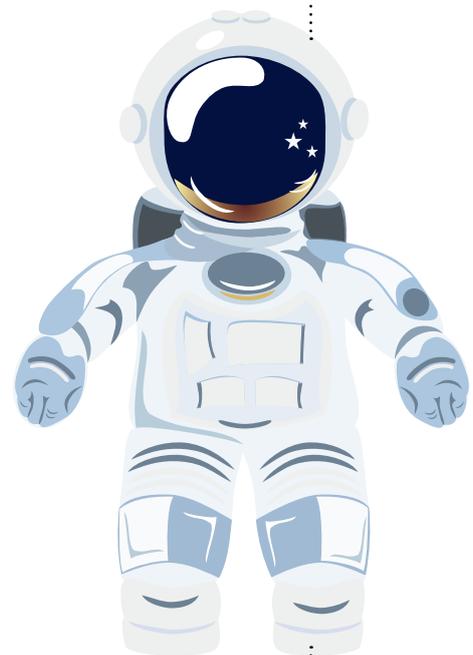
학생 팀은 차트에 시험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. 재료를 시험할 때 충돌체는 임의의 높이에서 떨어뜨릴 수 있다.
우주의 미소 유성체가 $1 \times 10^{-5}\text{g}$ 의 질량과 초속 8,000m의 속도를 지니고 있을 경우, 이 미소유성체와 동일한 충격을 재현하려면 어느 정도의 높이에서 충돌체를 떨어뜨려야 할까? 초속 16,000m의 속도를 지니고 있다면 어떻게?(사용하는 충돌체의 질량에 따라서 답이 달라진다.)
2. 위에 제시한 미소 유성체는 얼마나 많은 운동 에너지를 소비할까?
3. 앞 페이지의 방정식을 조합해 수학적으로 더 간단하게 설명해 보도록 유도한다.
4. $1 \times 10^{-5}\text{g}$ 의 질량과 초속 8000km의 속도를 지닌 미소 유성체의 충돌을 재현하려면 어느 정도의 높이에서 충돌체를 떨어뜨려야 할까? 미소 유성체의 속도가 초속 16km라면 충돌체를 얼마나 높이 매달아야 할까?

**지도상 유의점**

1. 작업자와 관찰자는 모두 충돌체가 떨어질 때 눈 보호장비를 착용해야 한다.
2. 충돌체를 전자석에 매달기 전에 시험할 재료를 먼저 시험대에 놓는다.
매달린 충돌체 아래에는 시험할 재료 외에는 아무것도 놓아서는 안 된다.
3. 이 실험에는 실험 타워가 반드시 필요하지는 않다. 자석을 천장의 도르래에 매달면 되기 때문이다. 하지만 타워를 사용하면 실험 장치를 옮길 수가 있고, 또 높은 천장에 도르래를 달 때 발생할 수 있는 위험 요소가 제거된다.





우주복의 내충격성 실험

학년 반 이름

도전과제

내충격성 실험 장치를 만들어 견본 섬유의 내충격성을 측정하기



우주 유영의 위험 요소 중의 하나는 고속으로 이동하는 작은 입자들입니다. 이 입자들은 미소 유성체라고 하는 것으로 보통 모래 알갱이보다 작으며 질량이 몇 분의 일 g밖에 되지 않고, 초속 수 km에서 80km에 이르는 속도로 이동하므로, 우주 비행사가 이러한 미소 유성체에 맞으면 심각한 부상을 입을 수도 있습니다. 그러면 지금부터 내충격성 실험 장치를 만들어 실험해보고, 우주복을 만들기에 적합한 섬유는 어떤 것인지 알아보도록 합시다.



이것이 필요해요

- 나무 판자(15cm x 2.5 x 5cm), PVC 플라스틱 수도관(2cm x 25cm)
- 파이프 엘보(2개), 파이프 플랜지(1개), 플랜지 나사
- 전화선, 큰 고리 나사못, 전력 공급 상자, On/Off 스위치
- 표시등, 누름 단추 스위치, 6볼트 배터리 홀더
- 나무 블록(2.5cm x 15cm x 15cm), 센터 펀치, 드라이버, 자, 견본 섬유, 테이프 또는 핀



핵심 단어

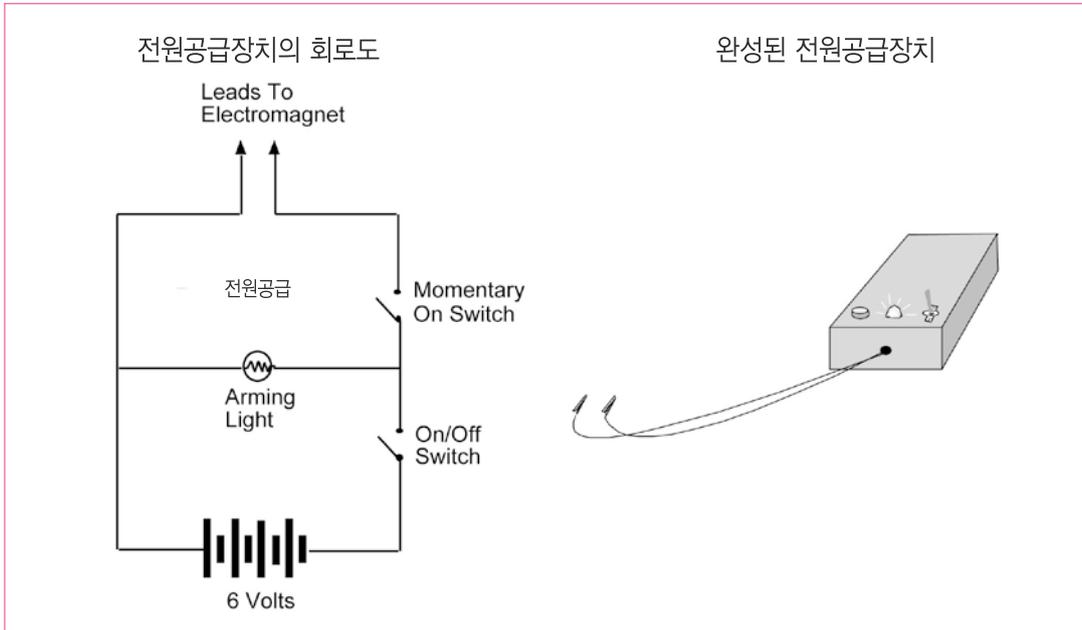
- 미소 유성체 : 작은 로 우주공간의 작은 암석 입자로서 보통 그램 단위 이하이다.
- 전자석 : 전류가 흐르면 되고, 전류를 끊으면 자기화되지 않은 원래의 상태로 되돌아가는 자석
- : 충돌이나 충격을 견디는 성질



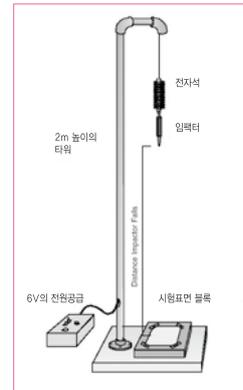
활동 순서

1. 실험 타워를 만듭니다.
 - 큰 고리 나사못에 에나멜선을 400회 감아 전자석을 만듭니다.
 - 아래 그림과 같이 전력 공급 장치를 만듭니다.





2. 견본 섬유를 작은 사각형 모양으로 잘라서 시험 표면 블록 위에 테이프나 핀으로 고정시킵니다.
3. 섬유 견본을 올려놓은 후 전자석의 전원을 켜고 충돌체를 부착합니다.
4. 전자석의 끝 부분과 섬유 견본과의 거리를 측정합니다.
5. 충돌체와 자석이 흔들리지 않을 때 전류를 차단하여 충돌체를 떨어뜨립니다.
6. 충돌체는 떨어지면서 가속도가 붙어 견본을 움푹 들어가게 하거나 뚫기도 할 것입니다. 여러 가지 재료로 실험해보고 그 손상 정도를 비교함으로써 내충격성을 평가합니다. 패인 곳이나 구멍의 직경을 자로 측정합니다.



활동 결과

♣ 준비한 섬유 견본에 번호를 붙이고 내충격성 실험을 하여 아래 표에 데이터를 기록합니다.

번호	섬유이름	패인 구멍의 직경(mm)			평균	손상정도(의견)
		1회	2회	3회		
1						
2						
3						
4						
5						
6						

- ♣ 총돌체가 섬유에 닿기까지의 시간을 측정하여 봅시다. 그리고 총돌체가 섬유에 닿는 순간의 속도는 얼마인지 다음을 참고하여 계산해 봅시다.

[총돌시의 속도]

$$V = gt$$

(g = 중력가속도, 즉 $9.8m/s^2$, t = 총돌체가 떨어진 시간)

- ♣ 총돌체가 가지고 있는 운동 에너지는 얼마인지 계산해 봅시다.

[총돌시의 운동 에너지]

$$KE(\text{운동 에너지}) = 1/2mv^2$$

(m = 총돌체의 질량, v = 총돌 시의 속도)



생각해요

- ♣ 미소 유성체와 우주먼지 등과 관련된 우주의 환경에 대하여 알아보시다.
- ♣ 미소 유성체나 우주먼지 등과 관련하여 우주복이 갖춰야 할 조건에 대하여 적어봅시다.
- ♣ 미소 유성체와의 충돌에도 안전하도록 두꺼운 강철로 우주복을 만들면 어떤 문제점이 있을까요?
- ♣ 미소 유성체의 속도는 초속 8,000m라고 합니다. 이 충격을 재현하려면 어느 정도의 높이에서 총돌체를 떨어뜨려야 할까요?





【 입을 거리 】

대기권 밖의 환경

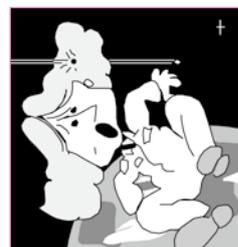
대기권의 바깥이라는 뜻은 그 말이 의미하는 그대로이다. 즉, 지구 대기권의 가장 높은 영역 너머에 있고, 우주의 다른 모든 물체들 사이에 있는 텅 빈 공간을 뜻한다. 대기권 밖은 텅 빈 공간임에도 하나의 환경으로 간주할 수 있다. 방사성 물질을 비롯한 모든 물체가 이 공간을 자유롭게 통과한다. 사람이나 다른 생명체가 보호 장비 없이 대기권 밖에 있다면 얼마 지나지 않아 고통스럽게 죽을 것이다.

대기권 밖의 주된 특징은 진공 상태, 또는 기체 분자가 거의 전무하다는 점이다. 행성이나 별 같은 우주의 커다란 물체들의 중력으로 인한 인력이 기체 분자를 자신의 표면에 가깝게 끌어당겨서 우주를 사실상 텅 비게 만든다. 이러한 물체들 사이에 떠다니는 기체 분자들이 발견되기도 하지만 밀도가 너무 낮아서 실제로 존재하지 않는다고 볼 수 있다. 지구에서는 대기가 모든 방향으로 압력을 가한다. 해수면에서의 압력은 101KPa이다. 그러나 우주에서는 이 압력은 거의 0이다.

실제로 외부 압력이 없는 상태에서 보호 장비를 갖추지 않은 사람의 폐 속 공기는 순식간에 우주의 진공으로 빨려나갈 것이다. 또한 체액 속에 용해된 기체가 팽창하여 고체와 액체를 떼어놓을 것이다. 피부는 부풀어 오르는 풍선처럼 팽창하며, 혈류에 기포가 생겨서 신체의 각 세포로 산소와 영양분을 나르는 혈액의 기능이 떨어질 것이다. 게다가 체액과 기체의 내부 압력의 균형을 유지시키는 외부 압력이 갑자기 사라지면서 고막과 모세혈관 같은 약한 조직이 파열될 것이다. 결과적으로 몸이 부풀어 오르고, 조직이 파괴되며, 뇌에 산소 공급이 중단되면서 15초 이내에 의식을 잃는 것이다. 대기권 밖의 온도 범위는 두 번째로 큰 문제이다. 태양에서 지구만큼 떨어져 있는 우주 공간 속 물체의 빛을 받는 부분은 섭씨 120℃ 이상 올라갈 수 있고, 그 반대 부분은 섭씨 영하 100℃ 이하까지 급락할 수 있다. 그러므로 인간에게 쾌적한 온도 범위를 유지하는 것이 중요한 문제가 된다.

대기권 밖에서 접할 수 있는 그 밖의 환경적인 요소에는 마이크로중력, 태양에서 전기적 전하를 띠는 입자가 방사되는 현상, 자외선 방사, 유성체가 있다.

유성체는 태양계의 형성, 그리고 혜성과 소행성의 충돌로 남겨진 암석과 금속의 매우 작은 조각들이다. 일반적으로 이 입자들은 질량이 매우 작지만 아주 높은 속도로 이동해 사람의 피부나 얇은 금속을 쉽게 관통할 수 있다. 앞서 이루어진 우주 임무의 잔해들도 마찬가지로 위험하다. 작은 페인트 조각도 시속 수천 킬로미터로 이동해 심각한 손상을 가할 수 있기 때문이다.





아폴로 우주 비행사들이 달의 표면을 걷기 수년 전, 몇몇 과학자들은 달의 먼지가 심각한 위험을 초래할 것이라고 생각했다. 실제로 1970년대 중반의 바이킹 화성 착륙선과 최근의 패스파인더/소저너 임무에서는 화성 역시 미래의 화성 탐험가들의 장비와 우주복 구성요소를 손상시킬 수 있는 침전물로 덮여 있다는 것이 밝혀졌다.

우주 비행사가 달에 머무는 시간은 보통 하루 또는 이틀로 제한되었기 때문에 아폴로 우주복의 재료는 10시간~20시간 동안만 버티면 되었다.

그러나 미래의 탐험가들은 몇 개월에서 1년 이상까지 남아 있을 것이므로 견고한 재료로 우주복을 만들어야 할 것이다. 이번 차시에서는 견본 섬유를 암석 회전 드럼에 가상 화성 침전물과 함께 넣고 섬유의 마모성을 측정하는 장치를 만들어 보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

- 마모성 실험 장치를 만들어 견본 섬유의 마모성 정도를 측정할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 100분



이것이 필요해요

나무 판자(30cm x 60cm x 2.5cm), 도르래가 달린 전기 모터(모터를 낮은 회전수로 사용), 도르래 벨트, 양념통 다리바퀴 네 개, 나무 블록 빼기, 직물 견본, 양면테이프, 망치, 보안경
화성 침전물 유사토를 만들기 위한 붉은 갈색의 화산암



이렇게 준비해요

1. 암석 회전 드럼은 양념이나 마요네즈 같은 여러 가지 조미료를 넣어서 카페테리아나 레스토랑에 공급되는 것과 같은 종류의 플라스틱 통으로 만든 것이다.
2. 전자상가에서 전기 모터를 구한다. 오래된 기계에서 적절한 모터를 찾는 것도 가능하다. 다리바퀴는 공구 상가에서 구할 수 있다.





핵심 단어

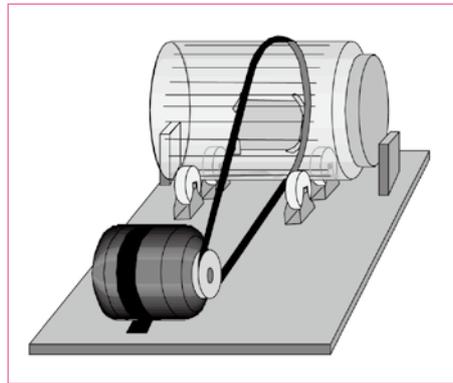
- **마모** : 마찰 부분이 닳아서 손상되는 현상



활동 내용

【실험 절차】

1. 모터, 양념통, 고무밴드 벨트 등을 이용하여 오른쪽 그림과 같은 암석 회전 드럼을 만든다.
2. 이 양념통을 회전시켜 본다.
이 양념통은 뒤집어 놓은 다리바퀴 위에 놓여 양끝이 쇠기로 고정되어 있다. 양념통이 1분에 몇 번 회전하는지 세어서 "암석 회전 드럼" 양념통의 회전수를 추정한다.
3. 조경에 사용되는 붉은 갈색의 화산암을 사용해 화성 침전물 유사토를 만들어 본다. 화산암을 담은 가방 밑바닥에 마모된 침전물이 조금 있을 테고 아니면 암석을 미세한 흙처럼 되도록 부술 수도 있다. 보안경과 장갑을 꼭 착용한다. 망치를 사용하여 암석을 부순다. 큰 조각들은 골라서 버리고 모래나 가루처럼 된 것만 남긴다.
4. 사각형으로 자른 식물 견본을 단지 안쪽 벽에 테이프로 붙이고 일정량의 화성 침전물 유사토를 양념통 안에 넣는다.
5. 양념통을 하루나 이틀 동안 회전시킨다.



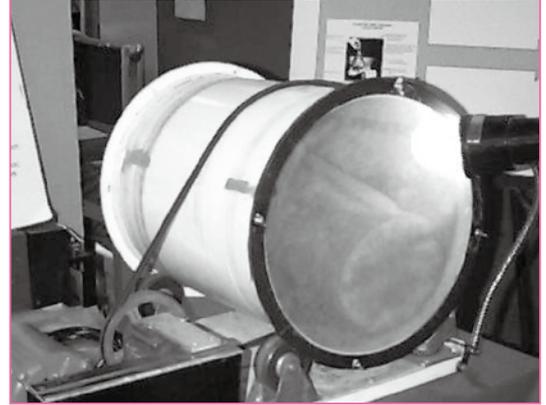
【결과 분석】

1. 양념통의 1분간의 회전수를 구한다. 그리고 여기에 회전한 분 수를 곱하면 전체 회전수를 구할 수 있다.
2. 양념통을 하루나 이틀 동안 회전시킨 후 식물 견본을 꺼내 새 견본과 비교한다.
식물 견본에 찢어진 곳이나 구멍이 있는지 살펴본다.

【참고사진】



▲ 아폴로 16호 우주 비행사 찰스 M. 듀크 주니어가 달의 데카르트 고원의 "하우스 록(house rock)" 근처에서 달 표토(침전물)를 채취하고 있다. 매우 미세한 침전물이 그의 우주복에 달라붙어 있다.



▲ NASA 존슨 우주 센터에서 사용되는 식물 마모 시험 장치. 흰색 드럼 속에 우주복의 외피로 만들어진 팽창된 실린더가 있다. 또 달 침전물 유사 토도 들어 있다. 도르래가 연결된 전기 모터가 드럼을 움직인다.

【평가】

학생 팀은 차트에 실험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. 모터로 움직이는 이 장치를 오른쪽 그림과 같이 양념통 하나로 대체하면 학생들이 더 많은 활동을 할 수 있다. 학생들이 1주 또는 2주 동안 매일 양념통을 흔들고 돌리면서 그 횟수를 세어보도록 한다.
2. 우주복의 부위 중 직물이 서로 비벼지는 부분(겨드랑이, 가랑이 등)에서 직물이 직물에 가하는 마모도를 측정하기 위한 실험 절차를 생각해 본다.



지도상 유의점

1. 양념통에 단단한 재료를 넣어서 실험할 경우, 단단한 재료가 직물에 직접적인 손상을 주어서 실험 결과를 해석하기가 힘들어질 수 있다.
2. 직물 견본에 찢어진 곳이나 구멍이 있는지 살펴볼 때, 견본이 불투명하다면 OHP의 조명대에 직물을 올려 놓고 구멍이나 얇게 해진 부분이 있는지 찾아본다.





우주복의 마모성 실험

학년 반 이름

도전과제



마모성 실험 장치를 만들어 견본 섬유의 마모성 정도를 측정하기

아폴로 우주 비행사들이 달의 표면을 걷기 수년 전부터 일부 과학자들은 달의 먼지가 우주인의 활동에 심각한 위험을 초래할 수 있을 것이라고 생각했습니다. 또한 실제로 1970년대 중반의 바이킹 화성 착륙선과 최근의 패스파인더/소저너 임무에서는 화성 역시 미래의 화성 탐험가들의 장비와 우주복 구성요소를 손상시킬 수 있는 침전물로 덮여 있다는 것이 밝혀졌습니다. 이런 위험요소를 없애고 안전한 우주 여행을 하려면 어떻게 해야 할까요? 이번 시간에는 견본 섬유를 암석 회전 드럼에 가상 화성 침전물과 함께 넣고 섬유의 마모성을 측정하는 장치를 만들어 보는 활동을 해보게 됩니다.



이것이 필요해요

- 나무 판자(30cm x 60cm x 2.5cm), 도르래가 달린 전기 모터(모터를 낮은 회전수로 사용), 도르래 벨트
- 양념통, 다리바퀴 네 개, 나무 블록 썰기
- 직물 견본, 양면테이프, 망치, 보안경
- 화성 침전물 유사토를 만들기 위한 붉은 갈색의 화산암



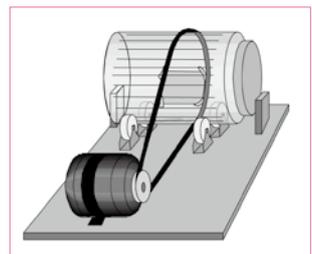
핵심 단어

- **마모** : 부분이 닳아서 손상되는 현상.



활동 순서

1. 모터, 양념통, 고무밴드 벨트 등을 이용하여 오른쪽 그림과 같은 암석 회전 드럼을 만듭니다.
2. 이 양념통을 회전시켜 봅니다. 이 양념통은 뒤집어 놓은 다리바퀴 위에 놓여 양끝이 썰기로 고정되어 있습니다. 양념통이 1분에 몇 번 회전하는지 세어서 "암석 회전 드럼" 양념통의 회전수를 추정합니다.
3. 조경에 사용되는 붉은 갈색의 화산암을 사용해 화성침전물 유사토를 만



들어 봅니다. 화산암을 담은 가방 밑바닥에 마모된 침전물이 조금 있을 테고 아니면 암석을 미세한 흙처럼 되도록 부술 수도 있습니다. 보안경과 장갑을 꼭 착용한다. 망치를 사용하여 암석을 부숩니다. 큰 조각들은 골라서 버리고 모래나 가루처럼 된 것만 남깁니다.

4. 사각형으로 자른 직물 견본을 단지 안쪽 벽에 테이프로 붙이고 일정량의 화성 침전물 유사토를 양념통 안에 넣습니다.
5. 양념통을 하루나 이틀 동안 회전시킵니다.



활동 결과

- ♣ 양념통의 전체 회전수를 구합니다. 먼저 1분 간의 회전수를 구고 여기에 회전한 분 수를 곱하여 전체 회전수를 구할 수 있습니다.

1분 간의 회전수	
회전시키기 시작한 날짜와 시간	
회전이 끝난 날짜와 시간	
회전한 분 수	
전체 회전수	

- ♣ 준비한 섬유 견본에 번호를 붙이고 마모성 실험을 하여 아래 표에 데이터를 기록합니다.

번호	섬유이름	손상정도(의견)
1		
2		
3		
4		
5		
6		



생각해요

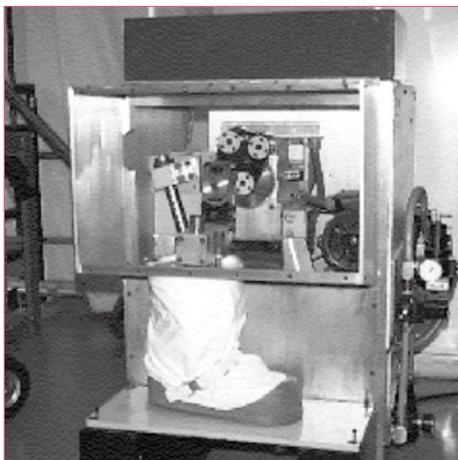
- ♣ 암석 회전 드럼에 넣은 화성 침전물 유사토 성분 중에서 단단한 물질이 들어 있다면 실험 결과는 어떻게 달라질지 예상해보고, 왜 그렇게 되는지도 설명해 봅시다.

- ♣ 우주복의 부위 중 직물이 서로 비벼지는 겨드랑이나 가랑이 등에서 한 직물이 다른 직물에 가하는 마모도를 측정하기 위한 실험 설계를 하여 설명하고, 그림으로도 그려 봅시다.



【읽을 거리】

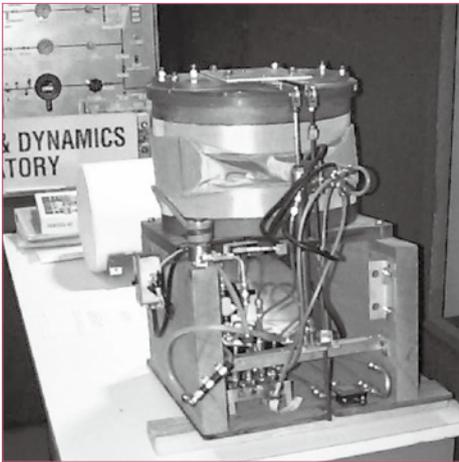
NASA의 우주복 실험 장치



◀ 기계 장화 시험장치

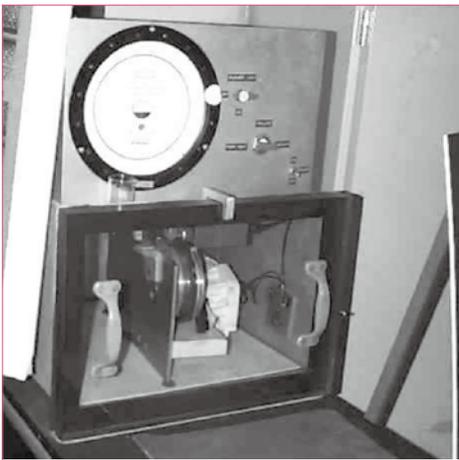
걷는 동작을 통해 장화의 성능을 점검한다.





◀ 허리 베어링 시험장치

이 장치는 허리 베어링을 연속된 만곡부 사이로 통과시킨다.



◀ 베어링 시험장치

베어링과 기타 연결부를 가상의 달 침전물에 적용시켜 침전물이 이들의 성능을 저하시키는지 조사한다. 장치 내부의 손목 베어링이 회전할 때 가상의 달 침전물을 그 위에 붓는다. 시험장치 안의 흰색 장비는 베어링을 회전시키는 윈드실드 와이퍼 모터이다.

차갑게 유지하기

작업 환경의 위험 요소로부터 보호하는 것만이 우주 비행사의 건강과 안위를 위한 충분한 조치는 아니다. 우주복 자체에서 형성되는 환경도 고려해야 한다. 그 중 가장 중요한 환경 조건은 온도이다. 우주복의 단열재 기술은 우주 환경의 극도로 높고 낮은 온도로부터 우주 비행사를 보호해 준다. 그러나 이 단열재 기술은 비행사의 몸에서 방출되는 열을 우주복 내부에 가둬두는 작용도 한다. 쉽게 말해 여름에 비닐봉지를 입고 돌아다니는 것과 똑같은 조건이다. 이 때문에 우주복에서는 냉각 시스템을 사용한다. 이번 차시에서는 우주 왕복선 선외 활동 우주복의 물 냉각 시스템의 작동 방식을 조사, 체험해보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

우주 왕복선 선외 활동 우주복의 물 냉각 시스템의 작동 방식을 조사하고 체험할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 100분



이것이 필요해요

【실험1】

플라스틱 뚜껑이 달린 커피 캔 두 개, 수족관용 호스 4미터, 양동이 두 개, 온도계 두 개, 덕트 테이프, 물(고체 및 액체), 열원(전구와 스탠드), 구멍 뚫는 펀치

【실험2】

양동이 두 개, 수족관용 호스 3미터, 물(고체 및 액체), 주방용 쓰레기 비닐봉지(1인 1장)



핵심 단어

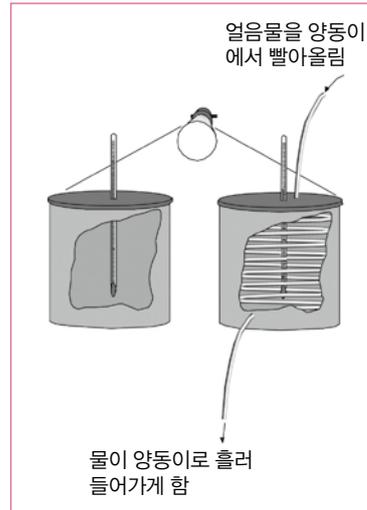
- EMU : Extravehicular Mobility Unit의 약자로서 우주 비행사들의 선외 활동 우주복
- EVA : Extravehicular Activity의 약자로서 모선 밖에서 이루어지는 우주 비행사들의 작업



활동 내용

【실험1의 절차】

1. 금속 커피 캔의 옆면 바닥 근처에 구멍 하나를 뚫는다. 수족관용 호스가 통과할 수 있을 만큼 크게 뚫는다. 플라스틱 뚜껑에도 호스가 통과할 수 있도록 구멍을 뚫는다. 온도계가 꼭 들어맞도록 뚜껑 가운데에 구멍을 하나 더 뚫는다. 마지막으로, 두 번째 커피 캔의 뚜껑 가운데에 또 다른 온도계를 꽂을 구멍을 뚫는다.
2. 수족관용 호스를 느슨하게 감아서 첫 번째 커피 캔 속에 넣는다. 테이프 조각을 사용하여 호스를 캔 내벽에 고정시키고 호스가 균등하게 퍼지도록 한다. 호스의 아래쪽 끝은 캔 바닥의 구멍으로 빼내고 위쪽 끝은 뚜껑의 바깥쪽 구멍으로 빼낸다. 아래쪽 호스는 캔 밑에 있는 물받이 양동이까지 뻗어 있어야 한다. 호스의 위쪽 끝은 얼음물 양동이의 바닥까지 닿아야 한다. 이 양동이는 캔 위에 위치 시키게 된다. 각각의 캔에 온도계를 꼽는다.
3. 탁자 위에 캔 두 개를 올려놓는다. 전구의 빛이 두 캔에 균등하게 조사되도록 방향을 조절한다. 조명은 캔에서 25cm 이상 떨어지면 안 된다. 양동이 하나에 얼음물을 채우고 캔 위에 위치시킨다. 물받이 양동이를 두 캔 아래에 놓는다.
4. 조명을 켜다. 두 온도계의 온도를 관찰하고 기록한다. 2분 후에 다시 온도를 관찰하고 기록한다.
5. 수족관용 호스의 위쪽 끝을 얼음물 속에 넣고 다른 쪽 호스 끝에서 빨아들여서 흡수관 작용이 나타나게 한다. 물이 물받이 양동이로 흘러가도록 한다.
6. 10분 동안 일정한 간격을 두고 두 캔의 온도를 관찰하고 기록한다.



【실험1의 결과 분석】

1. 2분에 1회씩 온도를 관찰하여 표에 기록한다.
2. 표에 기록한 온도 변화를 그래프로 나타낸다.

【평가】

학생들에게 6번에서 수집한 데이터를 나타내는 그래프를 그리게 한다.

【실험1의 심화학습】

얼음물의 흐름을 어떻게 조절할 수 있을까? 호스가 들어 있는 캔 내부의 온도를 일정하게 유지할 수 있는 방법을 찾아본다. 이 캔에 광원을 더 가까이 가져가서 전보다 더 데워지게 해본다. 내부 온도를 전과 같은 수준으로 유지시켜 본다.

【실험2의 절차】

1. 쓰레기 비닐봉지를 학생당 하나씩 배분한다. 긴 소매 셔츠를 입은 학생들에게 한쪽 소매를 걷으라고 한다.
2. 학생들에게 소매를 걷은 팔을 비닐봉지에 넣고 봉지의 전체 길이 방향을 따라 짝 조이도록 감으라고 한다. 비닐봉지 안에서 1~2분 동안 반복해서 주먹을 쥐거나 팔을 흔들라고 한다.(1번과 2번은 비닐장갑으로도 할 수 있다.)
3. 2분 후에 비닐봉지에서 팔을 꺼내고, 꺼낼 때 느껴지는 감각을 관찰하라고 한다. 학생들이 느낀 것에 대해 토의한다. 우주복이 비닐봉지처럼 체열을 보존한다는 것을 학생들에게 이해시킨다. 비닐봉지를 제거했을 때 왜 갑자기 팔이 서늘해지는 것을 느꼈는지에 대해서도 토의한다.(봉지 안의 따뜻한 공기가 방출되었고 땀의 습기가 증발하기 시작했다.)
4. 다른 실험을 위해 학생 지원자를 한 명 선택한다. 수족관용 호스의 중간 부분으로 지원자의 소매를 걷은 팔 주위를 여러 번 감는다.
5. 호스를 통해 얼음물 양동이에서 흡수관 작용이 일어나게 한다. 어떤 느낌인지 지원자로 하여금 학급 전체 학생들에게 설명하도록 한다.

**【실험2의 결과 분석】**

1. 실험 후 느낀점을 돌아가면서 발표하도록 한다.
2. 지구에서 이런 장치가 필요한 작업에는 어떤 것이 있는지 발표하도록 한다.

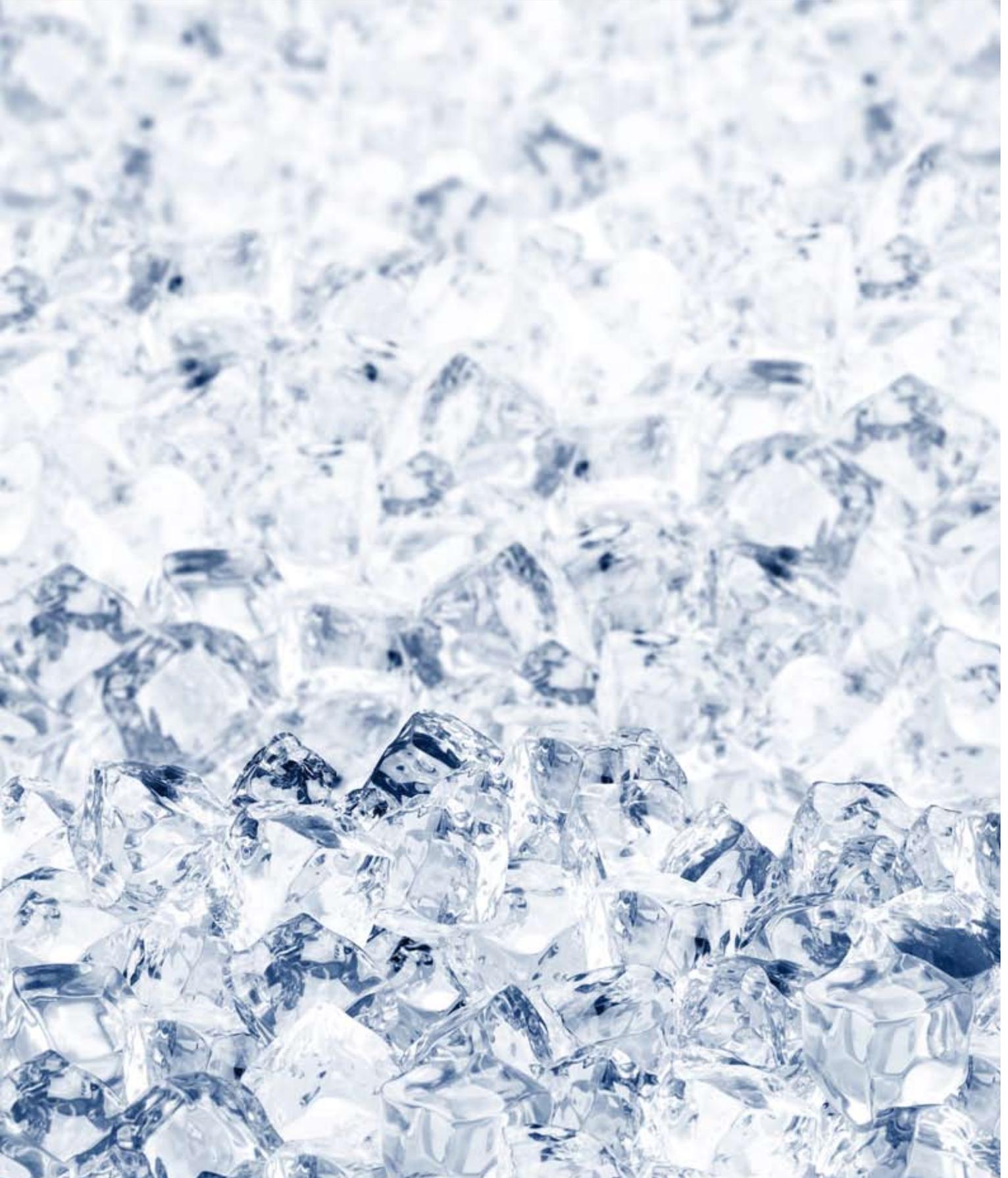
【실험1의 심화학습】

1. 흡수관과 결국에는 바닥이 날 얼음물이 담긴 양동이도 계속해서 작동할 수 있는 액체 냉각용 내피를 어떻게 만들지 토의한다.
2. 지구에서는 액체 냉각용 외피가 어떤 직업에 쓸모가 있을까?
3. 긴 속옷이나 스판덱스® 타이츠로 액체 냉각용 외피를 설계, 제작해 본다.

**지도상 유의점**

1. 학생 두 명 이상이 호스 끝에서 빨아들이는 경우 개인 위생 꼭지를 만든다.
2. 식품 착색제로 물에 색깔을 내게 하여, 흡수관 작용을 유발할 때 물이 잘 보이게 한다.







차갑게 유지하기

학년 반 이름

도전과제

우주 왕복선 선외 활동 우주복의 물 냉각 시스템의 작동 방식을 조사하고 체험해보기



작업 환경의 위험 요소로부터 보호하는 것만이 우주 비행사의 건강과 안위를 위한 충분한 조치는 아닙니다. 우주복 자체에서 형성되는 환경도 고려해야 합니다. 그 중 가장 중요한 환경 조건은 온도입니다. 우주복의 단열재 기술은 우주 환경의 극도로 높고 낮은 온도로부터 우주 비행사를 보호해 주지만, 이 단열재 기술은 비행사의 몸에서 방출되는 열을 우주복 내부에 가둬두는 작용도 합니다. 쉽게 말해 여름에 비닐봉지를 입고 돌아다니는 것과 똑같은 조건입니다. 이 때문에 우주복에는 냉각 시스템을 사용하게 되는 것이죠. 이번에는 우주 왕복선 선외 활동 우주복의 물 냉각 시스템의 작동 방식을 조사하고 체험해보는 활동을 해봅시다.



이것이 필요해요

【실험1】

플라스틱 뚜껑이 달린 커피 캔 두 개, 수족관용 호스 4m, 양동이 두 개, 온도계 두 개, 덕트 테이프, 물(고체 및 액체), 열원(전구와 스탠드), 구멍 뚫는 펀치

【실험2】

양동이 두 개, 수족관용 호스 3m, 물(고체 및 액체), 주방용 쓰레기 비닐봉지(1인 1장)



핵심 단어

- : Extravehicular Mobility Unit의 약자로서 우주 비행사들의 선외 활동 우주복
- : Extravehicular Activity의 약자로서 모선 밖에서 이루어지는 우주 비행사들의 작업



활동 내용

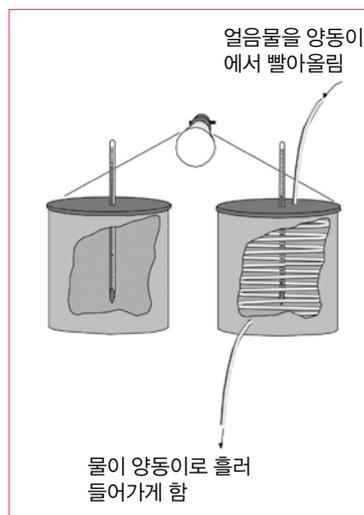
【실험1】

1. 금속 커피 캔의 옆면 바닥 근처에 수족관용 호스가 통과할 수 있을 만한 크기의 구멍 하나를 뚫습니다. 온도계가 꼭 들어맞도록 뚜껑 가운데에 구멍을 하나 더 뚫습니다. 마지막으로, 두 번째 커피 캔의 뚜껑 가운데



데에 또 다른 온도계를 꽂을 구멍을 뚫습니다.

- 수족관용 호스를 느슨하게 감아서 첫 번째 커피 캔 속에 넣습니다. 테이프 조각을 사용하여 호스를 캔 내벽에 고정시키고 호스가 균등하게 퍼지도록 합니다. 호스의 아래쪽 끝은 캔 바닥의 구멍으로 빼내고 위쪽 끝은 뚜껑의 바깥쪽 구멍으로 빼냅니다. 아래쪽 호스는 캔 밑에 있는 물받이 양동이까지 뻗어 있어야 합니다. 호스의 위쪽 끝은 얼음물 양동이의 바닥까지 닿아야 합니다. 이 양동이는 캔 위에 위치시키게 됩니다. 각각의 캔에 온도계를 꽂습니다.
- 탁자 위에 캔 두 개를 올려놓습니다. 전구의 빛이 두 캔에 균등하게 조사되도록 방향을 조절합니다. 조명은 캔에서 25cm 이상 떨어지면 안됩니다. 양동이 하나에 얼음물을 채우고 캔 위에 위치시킵니다. 물받이 양동이를 두 캔 아래에 놓습니다.
- 조명을 켜고, 두 온도계의 온도를 관찰하고 기록합니다. 2분 후에 다시 온도를 관찰하고 기록합니다.
- 수족관용 호스의 위쪽 끝을 얼음물 속에 넣고 다른 쪽 호스 끝에서 빨아들여서 흡수관 작용이 나타나게 합니다. 물이 물받이 양동으로 흘러가도록 합니다.
- 10분 동안 일정한 간격을 두고 두 캔의 온도를 관찰하고 기록합니다.



【실험2】

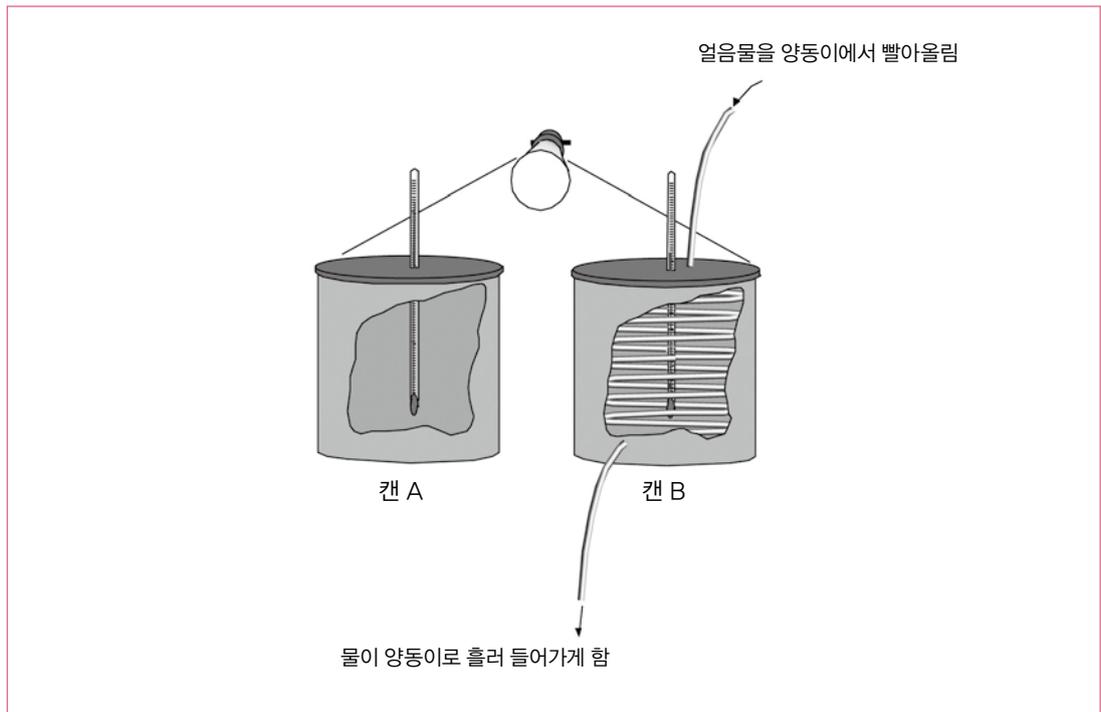
- 쓰레기 비닐봉지를 1인당 한 장씩 준비합니다. 긴 소매 셔츠를 입은 사람이 한쪽 소매를 걷습니다.
- 소매를 걷은 팔을 비닐봉지에 넣고 봉지의 전체 길이 방향을 따라 팍 조이도록 감습니다. 비닐봉지 안에서 1~2분 동안 반복해서 주먹을 쥐거나 팔을 흔듭니다.(1번과 2번은 비닐장갑으로도 가능)
- 2분 후에 비닐봉지에서 팔을 꺼내면서 팔에 느껴지는 감각을 기록합니다. 비닐봉지를 제거했을 때 왜 갑자기 팔이 서늘해지는 것을 느꼈는지에 대해서도 토의합니다.
- 다른 실험을 위해 학생 지원자를 한 명 선택합니다. 수족관용 호스의 중간 부분으로 지원자의 소매를 걷은 팔 주위를 여러 번 감습니다.
- 호스를 통해 얼음물 양동이에서 흡수관 작용이 일어나게 합니다. 어떤 느낌인지 학급 전체 학생들에게 설명합니다.





활동 결과

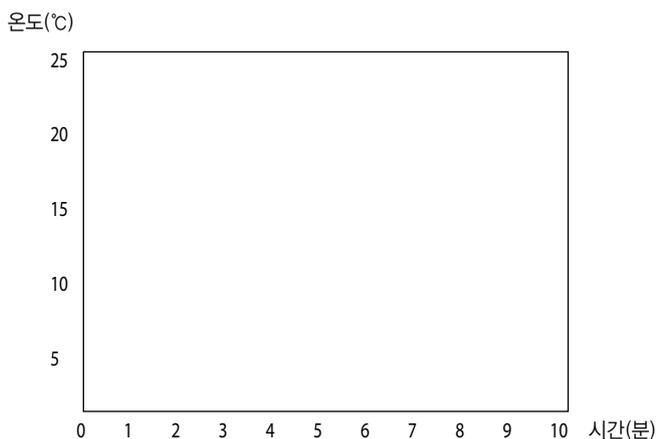
♣ 【실험1】에서 두 캔의 온도를 2분마다 측정하여 기록합니다.



경과한 시간	캔A의 온도(°C)	캔B의 온도(°C)
2분		
4분		
6분		
8분		
10분		



- ♣ 위 실험에서 얻은 데이터를 이용하여 꺾은 선 그래프로 그려보시오.
[캔A]는 파란색으로, [캔B]는 붉은색으로 구분하여 나타냅니다.



생각해요

- ♣ 【실험1】의 결과를 보고 온도 차이가 나는 이유를 설명해 보시오.

- ♣ 【실험2】에서 2분 동안 비닐 봉지를 팔에 감고 있다가 풀렸을 때 어떤 느낌이 들었습니까? 그 이유는 무엇이라고 생각합니까?

- ♣ 【실험2】에서와 같이 지구상에서 액체 냉각용 외피가 사용될만한 작업 환경에는 어떤 것이 있을까요?

- ♣ 다양한 재료를 이용하여 액체 냉각용 외피를 직접 설계하고 만들어 봅시다.



【읽을 거리】

우주왕복선의 선외 활동 우주복(EMU) 입기

왕복선 EMU를 입는 일은 약 15분 내에 완수할 수 있는 비교적 간단한 작업이다. 그러나 EVA를 수행하기 위한 실제 준비 과정은 훨씬 더 오래 걸린다. 우주 비행사들이 왕복선 내에서 작업할 때 101kpa의 압력에서 일반적인 질소와 산소의 혼합물을 들이마시게 된다. 반면, 우주복의 공기는 29.6kpa의 순수한 산소이다. 왕복선 내 압력에서 EMU의 압력으로 압력이 급격히 떨어지면 수중 잠수부들이 가끔 경험하는 쇠약증(공기 색전증)이 일어날 수 있다. 잠수병이라고도 알려져 있는 공기 색전증은 해수면의 압력에서 일반적인 공기 혼합물을 들이마시는 사람이 외부 압력의 급격한 하락에 노출될 때 혈류에 질소 기포가 형성되고 팽창됨으로써 나타난다. 공기 색전증이 심하면 관절 통증, 경련, 마비를 보이고, 점진적인 재가압 치료를 받지 않을 경우 결국 죽음에 이르게 된다. EVA를 수행하려는 비행사들은 공기 색전증이 생기는 것을 방지하기 위해 일정한 시간 동안 순수한 산소를 미리 마신다. 이 시간 동안, 혈류 속의 질소 가스가 순수한 산소로 대체된다.

산소를 미리 마시기 전에 궤도선 내실 전체의 압력이 정상 수치인 101kpa에서 70.3pa로 떨어지고 산소 퍼센티지가 약간 증가한다. 산소를 미리 마시는 작업(프리브리딩)은 EVA를 수행할 비행사들이 산소 공급 장치에 연결된 마스크를 착용할 때 시작된다. 짧은 호스 하나가 이 시간 동안 비행사들이 EVA 준비를 계속할 수 있게 해준다. 내실의 감압 시간과 프리브리딩 시간은 서로 연관성이 있다. 내실 감압이 없다면 프리브리딩 작업을 4시간 이상 지속해야 한다. 우주 공간으로 나가기 최소 24시간 전에 내실 감압이 발생한다면 산소를 미리 마시는 작업을 30분 동안 하는 것이 안전하다.

이제 EVA 비행사들의 용해된 질소 가스의 상당 부분이 제거되었으므로 헬멧을 벗어도 된다. 나중에 이들이 우주복을 입고 헬멧을 밀폐시킬 때는 추가로 30~40분 정도 순수한 산소를 미리 들이마시고, 그 이후에 우주복이 29.6kpa의 작동 압력으로 낮아진다.

EMU를 입는 대부분의 과정은 에어로크 내부에서 진행된다. 에어로크는 궤도선의 중간 데크에 위치한 원통형 방이다. 해치 하나를 열면 중간 데크에서 에어로크로 연결되고, 두 번째 해치를 열면 에어로크에서 가압되지 않은 화물실로 연결된다.

비행사들은 첫 번째 프리브리딩 작업을 한 후 해치로 들어가기 전에 비행사들은 최대흡수복(MAG)을 입는다. MAG는 성인용 기저귀이다.

우주복 기술자가 먼저 액체 냉각 및 환기용 내피를 입고서 우주 왕복선 EMU를 입을 준비를 하고 있다.

다음은 냉각 및 환기용 내피(LCVG)를 입는다. LCVG는 일반적인 긴 속옷 모양이다. 이것은 앞부분에 지퍼가 달린 원피스로, 91.5m의 플라스틱 튜브로 짜여진 신축성 있는 스판덱스 섬유로 만들어졌다. EMU를 모두 입고 나면 냉각과 환기가 중요한 문제가 된다. 체열, 오염된 가스, 땀 등 모든 노폐물이 우주복의 절연층과 압력층에 의해 봉쇄되기 때문에 이를 제거해야만 한다. 우주 비행사들의 온도를 낮추는 일은 튜브로 냉각





된 물을 순환시킴으로써 이루어진다. 물을 냉각시키는 것은 1차 생명 유지 시스템(PLSS)의 기능 중 하나다. 물 냉각을 위한 PLSS 장치와 튜브 시스템은 신체 활동을 위한 냉각 기능을 제공하도록 설계되어 체열을 시간 당 2백만 줄(joule)까지 발생시킨다. LCVG에 부착된 배관이 우주복의 공기에 유통되는 산소와 내뿜어진 이산화탄소를 빨아들여서 PLSS로 보내고, 여기서 이를 정화하여 재순환시킴으로써 우주복을 환기시킨다. 땀 역시 환기 시스템에 의해 우주복에서 빨아들여져서 물 냉각 시스템에서 재활용된다. 흡입구는 우주복의 손과 발 근처에 있다. 배관은 팔과 다리를 따라 LCVG 수로의 뒤로 이어지고 환기 가스는 LCVG 뒤 순환 연결부로 흘러가 몸통부 환기 배관으로 이동된다. 여기서 가스는 LCCGV 다중 물 연결부를 거쳐 PLSS로 돌아간다. PLSS에서 정화된 산소는 헬멧 뒤에 장착된 또 다른 배관을 통해 우주복으로 다시 흘러들어가 비행사의 얼굴 위로 이동하여 순환을 마치게 된다.



EMU 전기 하네스는 HUT에 장착되어 PLSS에 생물학적인 네트워크와 통신망의 네트워크를 제공한다. 생물학적인 네트워크는 비행사의 심장박동수를 모니터링하고 이 정보는 궤도선과의 연결을 통해 지구의 우주 관제소로 무선 전송된다. 음성 통신도 이러한 방식을 통해 전달된다.

그 다음에는 몇 가지 간단한 작업이 이루어진다. 헬멧 내부를 안개방지화합물로 문지른다. 상위 몸통부의 왼쪽 팔에 손목 거울과 작은 27페이지 분량의 나선철 점검목록을 착용한다. 손목 거울은 표시 및 통제 모듈 앞의 손잡이 중 일부가 비행사의 시야각 바깥에 있기 때문에 우주복에 추가되었다. 이 거울을 보면 손잡이의 설정 수치를 읽을 수 있다. 설정 수치는 거울로 읽기 쉽도록 거꾸로 적혀 있다.

이제 해야 할 일은 푸드 바와 물이 채워진 우주복 내부 음료수 가방(IDB)을 HUT 앞부분 안쪽에 넣는 것이다. 이 푸드 바는 과일, 곡물, 땅콩을 압축한 것을 식용 라이스 페이퍼로 싸 음식으로, 윗부분 끝이 헬멧 부근의 비행사 입 근처까지 뻗어 있다. 배가 고프면 비행사는 이 푸드 바를 물어 씹을 조각이 떨어지기 전에 위로 당긴다. 이런 식으로 작은 푸드 바 조각은 다음 번에 먹을 수 있도록 헬멧 안쪽으로 계속 뻗어 있게 된다. 튀어나온 푸드 바를 침이 빠른 속도로 연하게 만들어서 푸드 바가 죽처럼 되어 떼어낼 수 없게 되기 때문에 푸드 바 전체를 한 번에 먹어야 한다. 음료수 가방(IDB)은 푸드 바 바로 위에 놓는다. 두 가지 크기의 가방이 있는데, 에어로크에 들어가기 전 궤도선 주방의 물 공급 장치에서 그중 하나에 물을 채운다. 가장 큰 가방에는 거의 1리터의 물이 들어간다. 플라스틱 튜브와 밸브의 조립체가 헬멧 안쪽으로 뻗어 있어서 비행사가 필요할 때 물을 마실 수 있다. 푸드 바와 음료수 가방 모두 벨크로로 부착되어 있다.

EVA 도중에 비행사들은 작업을 수행하기 위해 조명이 추가로 필요할 수가 있다. 이를 위해 조명 바(헬멧에 장착된 조명 세트) 부착장치가 헬멧 바이저 조립체 위에 놓여 있다. 작은 내장 투광조명이 태양광과 일반 화물실 조명이 닿지 않는 곳을 비춰준다. EVA 조명은 자체 배터리 시스템을 갖추고 있고 자체 배터리와 무선 주파수 트랜스미터가 있는 헬멧 장착형 텔레비전 카메라 시스템으로 확대할 수 있다. 이 카메라의 렌즈 시스템은 우표 크기와 거의 비슷하다. 이 시스템을 통해 궤도선 내부에 남아 있는 비행사들과 지구의 임무 관제소 요원들은 우주 비행사의 눈을 통해 EVA 활동을 지켜볼 수 있다. 복잡한 EVA를 수행할 때에는 활동을 지켜보는 사람들이 향후 작업에 필요한 조언을 할 수도 있다.

그 다음은 통신장치 조립체(CCA) 또는 "스누피 모자"가 EMU 전기 하네스에 연결되어 HUT 위에 떠 있다. CCA 이어폰과 마이크로폰은 섬유 모자에 고정되어 있다. 비행사는 EMU를 입은 후에 이 모자를 머리 위에 쓰고 조정한다.

우주복을 입기 위한 준비 작업이 완료되면, 하위 몸통부 또는 우주복 바지를 입는다. 하위 몸통부는 여러 우주 비행사의 다양한 사이즈에 맞도록 여러 사이즈로 나오며, 부츠, 엉덩이 부분의 연결부, 무릎, 발목, 경질 상위 몸통부에 장착된 링의 반쪽 짝에 연결하기 위한 금속성 몸통 밀폐 마감부로 이루어져 있다. 하위 몸통부의 허리 부분에도 커다란 베어링이 있는데, 이것은 비행사 허리 부분의 이동성을 증진시켜 양 발이 워크스테이션 발 억제부에 고정되어 있을 때 비틀어 움직일 수 있도록 해준다. 하위 몸통부와 상위 몸통부의 연결부는 기존 우주복에 비해 상당한 발전을 보였다. 기존의 연결부는 단단한 링, 압력 주머니의 풀무처럼 생긴 굴곡부, 또는 케이블과 도르래로 지지된 섬유 연결부로 구성되어 있었다. 반면, 왕복선 EMU의 연결부는 구부러질 때 거의 일정한 부피를 유지하였다. 연결부가 구부러지면 굴곡부의 내부 아크(arc)를 따라서 감소되는 부피가 굴곡부의 외부 아크를 따라서 증가되는 부피와 동일하게 균형을 이루었다.

EMU의 상위 절반부를 입기 오래 전에 에어로크의 서비스 및 냉각 공급선(SCU)을 상위 몸통부 앞의 표시 및 통제 모듈 패널에 연결한다. 공급선 내부의 연결 장치 다섯 개는 왕복선 자체로부터 우주복에 냉각수, 산소, 전력을 공급해 준다. 이런 방식으로 1차 생명 유지 시스템에 내장된 소모품들은 긴 프리브리딩 시간 동안 보존된다. 또한 SCU는 선외 활동 중간 중간에 배터리와 소모품을 충전하기 위해 사용되기도 한다.

왕복 궤도선 에어로크의 내부는 직경이 1.6m, 높이가 2.1m밖에 되지 않는다. 우주 비행사 두 명이 선외 활동을 준비한다면 에어로크 내부가 꽉 차게 된다. 모든 상위 몸통부는 보관을 위해, 그리고 EMU를 입고 벗을 때 편리하도록 에어로크 어댑터 플레이트에 장착된다. 어댑터 플레이트는 우주복의 상위 몸통부를 지탱하기 위해 에어로크 벽에 설치된 선반받이다.

하위 몸통부를 입은 상태에서 궤도선이 우주복에 소모품을 제공하면, 우주 비행사들은 상위 몸통부 속으로 꿈틀거리면서 "다이빙"한다. 이를 위해 비행사들은 상위 몸통부의 몸통 밀폐 링 아래를 조종하고 양팔을 위로 뻗어서 다이빙 자세를 취한다. 비행사는 양팔을 우주복 팔에 맞추는 동시에 몸을 뻗어서 상위 몸통부 안으로 미끄러져 들어간다. 상위와 하위의 몸통 밀폐 마감 링 두 개가 맞물리면 두 가지 연결이 완료된다. 첫 번째는 LCVG의 냉각수 튜브와 환기 배관을 1차 생명 유지 시스템에 연결시킨다. 두 번째는 생물의학적 모니터링 센서들을 PLSS에 연결된 EMU 전기 하네스에 연결시킨다. 두 시스템이 켜진 다음, 비행사는 몸통 밀폐 마감 링 두 개를 함께 잠그는데, 이 작업은 보통 궤도선에 남은 다른 비행사의 도움을 받아 완료할 수 있다.

우주복의 상위 절반부에서 가장 중요한 부분은 HUT(경질 상위 몸통부)다. HUT는 열 및 미소 유성체 보호 섬유층 아래에 있는 단단한 유리섬유 외피로, 갑옷의 가슴판 및 등판과 비슷하다. HUT는 등쪽에 1차 생명 유지 시스템과 앞쪽에 표시 및 통제 모듈을 장착하기 위한 단단하고 통제된 표면을 제공해 준다.

과거 아폴로 달 임무 시에는 우주복의 생명 유지 시스템이 별도 품목이었기 때문에 우주복을 입는 과정이 매우 오래 걸렸다. 아폴로 우주복은 발사 시, 착륙 시, 그리고 조종실 압력 보충을 위해 입었기 때문에 HUT를 사용할 수 없었다. 이륙 시와 대기권 재돌입 시의 높은 가속과 감속이 이루어지는 도중에 우주복을 입는다면 너무나 불편했을 것이다. 생명 유지 시스템은 달 착륙선 내부에서 우주복에 장착해야 했다. 그때에는 우주 비행사 두 명이 비좁은 구간에서 작업해 PLSS와 아폴로 우주복 사이의 모든 연결부를 체결하였고, EVA를 준





비하기는 힘들었다. 왕복선 우주복 HUT는 PLSS를 미리 장착하여 이러한 긴 과정을 없었다. 또한 선외 활동을 하는 동안 찢어질 수도 있었던 초기 EMU의 취약했던 노출형 환기 및 생명 유지 호스도 없었다.

마지막으로 입어야 할 EMU 장비는 안경(필요시), 통신장치 조립체(CCA), 편안한 장갑, 조명이 부착되어 있고 TV를 추가로 부착할 수 있는 헬멧과 EVA 장갑이다. 이 장갑 두 개는 손끝 부분이 실리콘 고무로 되어 있어 도구나 다른 물체를 다룰 때 어느 정도의 감도를 제공해 준다. 상위 몸통부 소매의 링에 장갑의 금속 링을 채운다. 장갑의 링에는 베어링이 있어서 회전이 가능하므로 손 부분의 이동성이 증가된다. 헬멧의 연결 링은 몸통 밀폐 마감부에 사용된 링과 비슷하다. 헬멧 내부는 비행사의 머리가 움직일 만큼 넓기 때문에 이 링에는 이동성이 요구되지 않는다. 이 연결 링을 열거나 잠그려면 직사각형 모양의 1~2개의 슬라이드형 손잡이를 오른쪽이나 왼쪽으로 움직인다. 링을 열면 연결 링의 양쪽 절반이 쉽게 분리된다. 링을 닫고 잠그려면 링 하나를 다른 링 안에 O링 밀폐부 쪽으로 어느 정도 민다. 손잡이를 오른쪽으로 움직이면 외부 링 안쪽에서 작은 핀들이 튀어나와 내부 링 주위의 홈으로 파고들어가 두 링을 고정시킨다.

우주복의 모든 개구부에는 잠금 설비가 있어서 개구부를 열려면 최소한 세 번의 동작이 필요하다. 이를 통해 우주복의 연결부가 예기치 않게 열리는 일을 방지한다.

헬멧과 장갑을 입고 나면 이제 우주복은 에어로크의 대기로부터 차폐된다. 비행사들은 궤도선에서 공급되는 산소, 전력, 냉각수를 지원받게 된다. 우주복의 밀폐 수동 점검은 각 우주복을 29.6kpa까지 가압하여 행한다(여기서 "d"는 "differential(차이)"의 뜻으로, 에어로크의 압력보다 더 크다는 것을 의미함). 에어로크 내부는 압력이 70.3kpa 또는 101kpa이다. 우주복의 압력은 추가로 29.6kpa 상승되어 에어로크의 압력보다 높아진다. 압력이 목표 수준에 도달하면 산소 공급이 중단되고 가슴에 장착된 통제 모듈에 디지털 표시가 나타난다.

이 표시를 읽을 때에는 우주 헬멧 내부에 옵션으로 장착되는 프레넬 렌즈를 사용해 숫자를 확대해 볼 수 있다. 우주복의 압력은 약간 누출되는 것이 정상이다. 왕복선 EMU의 최대 허용 누출율은 분당 1.38kpa인데, 이는 우주복이 에어로크 압력으로 떨어지기 전에 점검된다.

우주복의 압력이 상승하면 비행사는 귀와 공동에 불편함을 느낄 수 있다. 그러면 침을 삼키거나 하품을 하거나 헬멧 링 내부 왼쪽에 옵션으로 장착된 스펀지에 코를 눌러 압력의 변화를 채운다. 스펀지에 코를 누를 때 코로 공기를 불어넣으면 귀와 공동의 공기가 압력을 동일하게 해준다.

그 후 몇 분 동안 조종실을 통해 남아 있는 산소/질소 공기가 두 개의 우주복에서 제거되고 순수한 산소로 대체된다. 최종 프리브리딩을 하는 동안 추가 우주복 점검이 이루어진다.

에어로크의 내부 문이 밀폐되고 에어로크 압력 블리드 다운(bleed-down, 점진적 감소)이 시작된다. 에어로크 빗장에 있는 작은 감압 밸브가 우주 바깥으로 열려서 에어로크의 공기가 빠져나간다. 이 과정이 진행되는 동안 EMU의 자체 압력은 자동으로 66.9kpa까지 떨어지고 누출 점검이 이루어진다. 누출 시험의 결과가 나쁘면 에어로크를 재가압하여 EVA 비행사가 우주복의 밀폐를 다시 점검하도록 해야 할 것이다.

에어로크 감압 밸브를 열어서 최종 감압을 시작한다. 그러면 에어로크 외부 해치가 열리고 우주복을 입은 비행사는 화물실 쪽으로 향한다. 안전을 위해 궤도선에 스스로를 묶어서 손잡이를 이용해 움직일 때 떠내려 가는 것을 방지한다. 바로 이때 EMU에서 서비스 및 냉각 공급선을 떼어낸다. 그러면 PLSS가 자체적으로 산소, 냉각수, 전력을 공급하기 시작한다. 우주 비행사는 에어로크 외부 해치를 통해 나가서 EVA를 시작한다.

대기권 밖 공간과 행성체 위의 온도는 다양한 요인의 영향을 받는다. 대기권 밖에서는 물체의 표면이 햇빛을 받는지 여부에 따라, 받는다면 표면과 태양광선의 각도에 따라 표면 온도가 달라지며 행성체 위에서는 주위 대기의 온도, 바람, 주변의 표면물질에 따라서도 온도가 달라진다.

우주복을 설계할 때에는 그 우주복이 사용될 환경의 온도를 고려하는 것이 중요하다. 우주복 내부의 가열 및 냉각 시스템이 온도를 적당하게 유지할 수 있지만 이러한 시스템은 전력으로 작동되기 때문에 재충전하기 전까지 우주복을 사용할 수 있는 시간에 한계가 있다. 우주복 가열/냉각 시스템의 의존성을 줄일 수 있는 한 가지 방법은 적절한 열 속성을 지닌 재료를 사용하여 우주복을 만드는 것이다.

이번 차시에서는 여러 가지 색상, 반사면의 종류에 따라 복사열을 흡수하고 반사하는 정도를 실험해 보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

표면의 색상과 재질이 열흡수와 반사에 미치는 영향을 조사하여 설명할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

플라스틱 뚜껑이 달린 커피 캔 온도계, 스탠드형 백열전등(실내용), 여러 가지 색상의 페인트(흰색, 검은색, 초록색, 노란색 등), 형광, 비닐, 호일, 두꺼운 종이, 시계, 냉장 수단(냉장고, 드라이아이스 또는 얼음물)



이것이 필요해요

1. 사정상 실내에서 실험할 경우 열원으로는 백열전구가 달린 전기스탠드를 이용한다.
2. 차가운 환경 조건을 만들어 실험하는 경우는 냉장고에 두 캔을 넣거나, 얼음물 또는 드라이아이스를 이용해서 실험한다.



핵심 단어

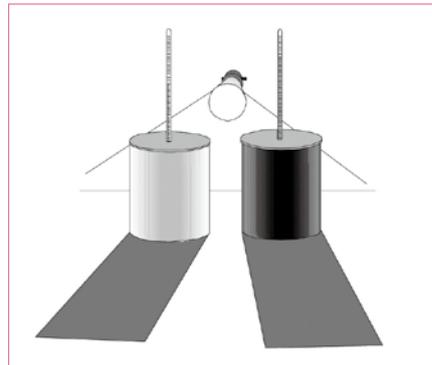
- **반사** : 파동이 다른 두 매질의 경계에서 방향을 바꿔 진행하는 물리 현상으로, 이는 물질의 종류와 표면의 상태에 따라 달라진다.
- **복사열** : 물체에서 방출하는 전자기파를 직접 물체가 흡수하여 열로 변했을 때의 에너지를 말한다. 대류나 전도와 같은 현상을 거치지 않고 열이 직접 전달되었기 때문에 열의 전달이 순간적으로 일어난다.
- **단열** : 물체와 물체 사이에 열이 서로 통하지 않도록 막는 것



활동 내용

【실험 절차】

1. 페인트를 사용해 커피 캔 몇 개를 흰색, 검은색, 초록색, 노란색 등 여러 가지 색으로 칠한다.
2. 플라스틱 뚜껑(열었다 닫을 수 있는 것)에 작은 구멍을 뚫어 온도계 구를 각 캔의 중간 부분쯤까지 삽입한다.
3. 모든 캔이 균등하게 햇빛을 받도록 놓는다. 즉시 각 캔의 최초 온도를 기록한다. 실내에서 실험할 경우, 캔들을 스탠드형 백열전등에 노출시킨다. 모든 캔이 램프에서 동일한 양의 열을 받게 하는 것이 중요하다. 캔의 온도를 분 단위로 측정해 기록한다.
4. 10분 후에 모든 캔을 열원으로부터 제거하고 그 후 10분 동안 온도를 측정하여 기록한다. 이 데이터를 이용하여 그래프를 그린다. 각 캔의 온도 상승과 하락을 그 표면의 색상과 관련지어 본다.
5. 캔을 알루미늄 호일이나 두꺼운 종이나 천으로 싸서 캔의 표면 재료를 바꿔본다. 앞의 실험을 반복해 여러 가지 환경에 가장 적합한 색상과 표면재료 조합을 찾는다.
6. 캔을 매우 차가운 환경으로 만들어 실험을 반복한다. 캔을 냉장고에 넣거나 얼음물이나 드라이아이스가 담긴 수조에 넣는다.
7. 여러 가지 직물, 종이, 포일을 겹겹이 쌓아서 작은 봉투 모양으로 접는다. 온도계를 삽입하고 앞의 실험을 반복해 각 재료가 지니는 열 흡수 및 반사 속성을 살펴본다.



【결과 분석】

1. 모든 종류의 캔이 햇빛을 받도록 했을 때 10분 경과 후 온도는 어떻게 달라지는지 관찰 기록한다.
2. 열원을 제거한 상태에서 10분 경과 후 온도는 어떻게 되었는지 관찰 기록한다.
3. 모든 종류의 캔을 얼음물이나 드라이아이스에 넣고 실험했을 때, 10분 경과 후 온도는 어떻게 달라지는지

관찰 기록한다.

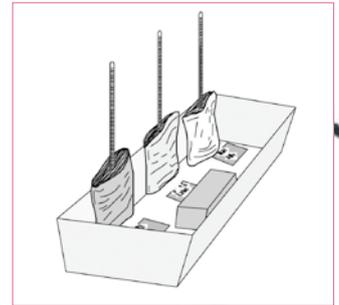
4. 마찬가지로 얼음물이나 드라이아이스를 제거했을 때, 10분 경과 후 온도는 어떻게 되었는지 관찰 기록한다.
5. 서로 다른 재질, 즉, 직물, 종이, 알루미늄 호일 등으로 실험하고, 그 결과를 관찰 기록한다.

【평가】

학생 팀은 차트에 실험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

여러 가지 잉크로 크로마토그래피(색층 분석) 실험을 수행하여 각 잉크가 어떤 색상 요소로 구성되어 있는지 알아본다. 검은색 잉크는 대개 여러 가지 색으로 이루어져 있다. 여러 가지 잉크 염료를 섞는 이유는 더 어두운 검은색(빛을 더 완벽하게 흡수)을 만들기 위함이다. 우주 왕복선의 바닥에는 검은색의 코팅된 타일을 사용하여 우주왕복선이 지구 대기 진입시 발생하는 열을 검은색 코팅막이 흡수시킨 후 타일에서 벗겨져 우주선이 고열에 노출되는 것을 방지한다.



지도상 유의점

1. 실험절차의 1부터 6번까지의 실험과정을 직물, 종이, 호일 등으로 만든 봉투에 온도계를 꽂아 실험하여 비교해본다. 이는 단일 재료의 속성을 알아보기 위함이다.
2. 실내에서 실험할 경우 백열 전구가 모든 칸을 고르게 비추도록 각도에 특별히 신경써서 장치를 꾸민다.





흡수와 반사

학년 반 이름

도전과제

표면의 색상과 재질이 열흡수와 반사에 미치는 영향을 조사하여 설명하기



대기권 바깥 공간과 행성체 위의 온도는 다양한 요인의 영향을 받습니다. 따라서 우주복을 설계할 때에는 그 우주복이 사용될 환경의 온도를 고려하는 것이 매우 중요합니다. 이번 차시에서는 다양한 색상과 재질이 복사열을 흡수하고 반사하는 정도를 실험해 보는 활동을 하게 된다.



이것이 필요해요

플라스틱 뚜껑이 달린 커피 캔, 온도계, 스탠드형 백열전등(실내용,)여러 가지 색상의 페인트(흰색, 검은색, 초록색, 노란색 등), 형광, 비닐호일, 두꺼운 종이, 시계, 냉장 수단(냉장고, 드라이아이스 또는 얼음물)



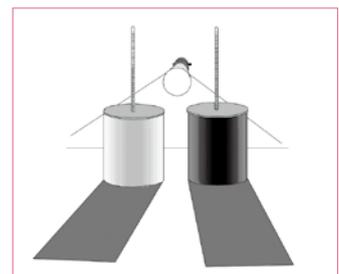
핵심 단어

- **반사** : 파동이 다른 두 매질의 경계에서 방향을 바꿔 진행하는 물리 현상으로, 이는 물질의 [] 와 [] 의 상태에 따라 달라짐.
- **복사열** : 물체에서 방출하는 전자기파를 [] 물체가 흡수하여 열로 변했을 때의 에너지. 대류나 전도와 같은 현상을 거치지 않고 열이 [] 전달되었기 때문에 열의 전달이 순간적으로 일어남.
- **단열** : 물체와 물체 사이에 [] 이 서로 통하지 않도록 막는 것



활동 순서

1. 페인트를 사용해 커피 캔 몇 개를 흰색, 검은색, 초록색, 노란색 등 여러 가지 색으로 칠합니다.
2. 플라스틱 뚜껑(열었다 닫을 수 있는 것)에 작은 구멍을 뚫어 온도계 구를 각 캔의 중간 부분쯤까지 넣습니다.
3. 모든 캔이 균등하게 햇빛을 받도록 놓고, 즉시 각 캔의 최초 온도를 기록합니다. 실내에서 실험할 경우, 스탠드형 백열전등을 이용합니다. 캔

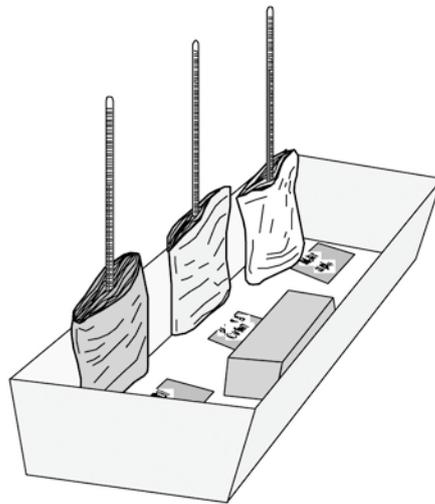


- 의 온도를 분 단위로 측정해 기록합니다.
4. 10분 후에 모든 캔을 열원으로부터 제거하고 그 후 10분 동안 온도를 측정하여 기록합니다. 이 데이터를 이용하여 그래프를 그립니다.
 5. 캔을 알루미늄 호일이나 두꺼운 종이나 천으로 싸서 캔의 표면 재료를 바꿉니다. 앞의 실험을 반복해 여러 가지 환경에 가장 적합한 색상과 표면재료 조합을 찾아봅니다.
 6. 캔을 매우 차가운 환경으로 만들어 실험을 반복합니다. 캔을 냉장고에 넣거나 얼음물이나 드라이아이스가 담긴 수조에 넣습니다.
 7. 여러 가지 직물, 종이, 포일을 겹겹이 쌓아서 작은 봉투 모양으로 접습니다. 온도계를 삽입하고 앞의 실험을 반복해 각 재료가 지니는 열 흡수 및 반사 속성을 살펴봅니다.



활동 결과

- ♣ 다양한 색상의 캔을 10분 동안 햇빛에 놓았을 때 온도의 변화는 어떠한지 표로 나타내어 봅시다.



캔의 색상	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
흰색			
검은색			
초록색			
노란색			

- ♣ 10분 동안 햇빛을 받은 여러 색상의 캔을 그늘로 옮겨 놓고 10분이 다시 경과한 후 온도 변화를 표로 나타내어 봅시다.

캔의 색상	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
흰색			
검은색			
초록색			
노란색			

- ♣ 다양한 색상의 캔을 10분 동안 냉장고 안(얼음물 또는 드라이아이스)에 놓았을 때 온도의 변화는 어떠한지 표로 나타내어 봅시다.

캔의 색상	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
흰색			
검은색			
초록색			
노란색			

- ♣ 냉장고 안에 넣어 두었던 다양한 색상의 캔을 실온에 두고 10분이 경과했을 때 온도의 변화는 어떠한지 표로 나타내어 봅시다.

캔의 색상	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
흰색			
검은색			
초록색			
노란색			

- ♣ 캔의 표면을 알루미늄 호일, 두꺼운 종이, 형겅, 비닐 등으로 감싸고 햇빛에 10분간 놓아 둡니다. 10분 후 온도를 측정하여 기록해 봅시다.

캔의 재질	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
알루미늄 호일			
두꺼운 종이			
형겅			
비닐			



- ♣ 10분 동안 햇빛을 받은 여러 재질의 캔을 그늘로 옮겨 놓고 10분이 다시 경과한 후 온도 변화를 표로 나타내어 봅시다.

캔의 재질	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
알루미늄 호일			
두꺼운 종이			
형겉			
비닐			

- ♣ 캔의 표면을 알루미늄 호일, 두꺼운 종이, 형겉, 비닐 등으로 감싸고 냉장고 안에 10분간 둡니다. 10분 후 온도를 측정하여 기록해 봅시다.

캔의 재질	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
알루미늄 호일			
두꺼운 종이			
형겉			
비닐			

- ♣ 10분간 냉장고 안에 넣어 두었던 여러 재질의 캔을 실온으로 옮겨 놓고 10분이 다시 경과한 후 온도 변화를 표로 나타내어 봅시다.

캔의 재질	처음 온도(°C)	10분 후 온도(°C)	온도 차(°C)
알루미늄 호일			
두꺼운 종이			
형겉			
비닐			



생각해요

- ♣ 위 실험을 통해서 우주복으로 가장 적합한 색상과 재질은 어떤 것인지 쓰고, 왜 그렇게 생각하는지 그 이유도 설명해 봅시다.

- ♣ 우리 주변에서 빛을 흡수하는 검은색과 빛을 반사하는 흰색 등을 이용하는 경우에는 어떤 것이 있는지 예를 들어 설명해 봅시다.



【읽을 거리】

미래의 우주복

현재의 선외 활동용 우주복(EMU) 및 이와 연관된 모든 EVA 시스템들은 다년간에 걸친 연구 개발의 결과이다. 이 장비들은 현재 궤도 작업에 필요한 유용한 도구 역할을 하고 있지만 아직 개발이 모두 끝난 것은 아니다. 여러 가지 개선이 가능하므로, 미래의 우주복은 우주 왕복선 EMU와는 완전히 다른 모습일 수도 있다.

우주복 엔지니어가 마크 III 우주복(Mark III Hard Suit)을 입고 있다.현재의 EMU보다 높은 압력에서 작동하는 우주복처럼 EMU를 개선시킨 모델이 연구되고 있다. 작동 압력이 더 높아질 때의 이점은 EVA를 준비할 때 프리브리딩에 시간을 뺏기지 않는다는 점이다.

고압 작동 우주복을 만들기 위해서는 연결부를 만들고 이것을 우주복에 통합하는 기술이 개선되어야 한다. 섬유와 금속으로 된 우주복과 단단한 외피로 된 우주복이 연구되고 있으며 이러한 우주복에 필요한 기술은 이미 대부분 시험이 완료되었다. 가장 큰 과제 중 하나는 이동성이 월등한 장갑을 만드는 일이다. 이전 형태의 우주복 장갑의 손가락은 높은 작동 압력에서 더욱 더 뻣뻣해져 손가락의 감도가 심각하게 저하된다. 이 문제를 해결하기 위한 연구가 이루어진 결과, 관절부가 금속 밴드로 되어 있고 손바닥 연결부가 있는 고압 장갑이 개발되었다. 이 장갑은 현재의 우주복은 물론, 미래의 우주복과도 함께 사용할 수 있는 가능성을 보여주었지만 아직 할 일이 더 있다.

한 연구진이 장갑 속에 모터와 케이블 시스템 같은 로봇의 원리를 적용해 더 높은 압력에서 악력을 제공하는 방법을 연구했다. 이제까지 이런 시스템은 우주복의 손과 팔에 추가로 장비를 장착해야 하고, 손이 물체에 고정되었을 때 시스템이 "고장 나면 어떻게 하는가?"라는 문제 때문에 성공하지 못했었다.



우주복 엔지니어가 마크 III 우주복(Mark III Hard Suit)을 입고 있다.



우주복 설계의 또 다른 개선 가능성은 궤도에서 우주복을 정비하고 크기를 조정할 수 있도록 하는 일이다. 이 가능성은 허블 우주 망원경을 정비하기 위한 STS-82 임무에서 이미 시험되었다. 우주 왕복선 EMU의 기존 설계 방식에서는 다리와 늘이거나 줄일 때 크기 조절 보형물을 제거하거나 추가해야 했다. 이것은 끈으로 함께 묶는 작업이었기 때문에 시간이 오래 걸렸다. 이 과정을 신속하고 간소화할 수 있도록 연결을 빠르게 분리할 수 있는 크기 조절 보형물이 설계되었다. 이 새로운 시스템은 실 모연결부를 만들고 이것을 우주복에 통합하는 기술이 개선되어야 한다. 섬유와 금속으로 된 우주복과 단단한 외피로 된 우주복이 연구되고 있으며 이러한 우주복에 필요한 기술은 이미 대부분 시험이 완료되었다. 가장 큰 과제 중 하나는 이동성이 월등한 장갑을 만드는 일이다. 이전 형태의 우주복 장갑의 손가락은 높은 작동 압력에서 더욱 더 뻣뻣해져 손가락의 감도가 심각하게 저하된다. 이 문제를 해결하기 위한 연구가 이루어진 결과, 관절부가 금속 밴드로 되어 있고 손바닥 연결부가 있는 고압 장갑이 개발되었다. 이 장갑은 현재의 우주복은 물론, 미래의 우주복과도 함께 사용할 수 있는 가능성을 보여주었지만 아직 할 일이 더 있다.

한 연구진이 장갑 속에 모터와 케이블 시스템 같은 로봇의 원리를 적용해 더 높은 압력에서 악력을 제공하는 방법을 연구했다. 이제까지 이런 시스템은 우주복의 손과 팔에 추가로 장비를 장착해야 하고, 손이 물체에 고정되었을 때 시스템이 "고장 나면 어떻게 하는가?"라는 문제 때문에 성공하지 못했다.

우주복 설계의 또 다른 개선 가능성은 궤도에서 우주복을 정비하고 크기를 조정할 수 있도록 하는 일이다. 이 가능성은 허블 우주 망원경을 정비하기 위한 STS-82 임무에서 이미 시험되었다. 우주 왕복선 EMU의 기존 설계 방식에서는 다리와 늘이거나 줄일 때 크기 조절 보형물을 제거하거나 추가해야 했다. 이것은 끈으로 함께 묶는 작업이었기 때문에 시간이 오래 걸렸다. 이 과정을 신속하고 간소화할 수 있도록 연결을 빠르게 분리할 수 있는 크기 조절 보형물이 설계되었다. 이 새로운 시스템은 실 모양으로 된 신속한 분리기구, 알루미늄 크기조절 링, 조절 제한선으로 구성되었다. 우주에서 우주복을 정비하고 크기를 조절하는 기능은 국제 우주 정거장 작업에서 매우 중요하다. 그곳에서 비행사들은 계속해서 몇 개월 동안 우주에 머무르게 되고, 일상적으로 EVA를 하기 때문이다. 이와 같은 설계상의 개선을 통해 우주복은 대대적으로 재정비하고자 지구로 반환되기 전까지 180일 동안 국제 우주 정거장에서 25회 정도 사용이 가능하다.

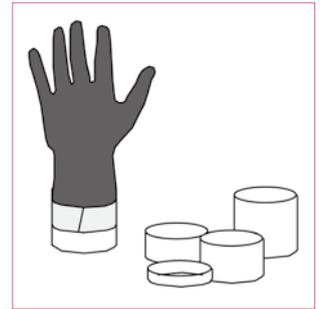
또 다른 개선 사항은 팔에 착용하는 점검목록을 전자 형태로 만드는 것이다. 포켓형 전자수첩과 유사한 이 새로운 시스템을 사용하면 우주 유영을 하는 비행사가 버튼을 터치해 복잡한 시퀀스를 실행시킬 수 있다. 새 작업이 있을 때 점검목록을 쉽게 재프로그래밍할 수도 있다. 또한 외부 카메라에서 TV 영상을 표시하는 기능도 설치할 수 있다.

딱 맞게 만들기

수십 년간 우주복을 개선해왔음에도 우주 비행사들은 여전히 우주복 입는 것을 힘들어한다. 우주복은 그 내부의 압력 때문에 팔, 손, 다리가 움직일 때 저항력이 생기기 때문이다. 따라서 우주 유명 훈련을 하는 우주 비행사들은 지상에서 지구력과 근력 훈련을 함으로써 신체적으로 좋은 상태를 유지해야 한다.

우주인들이 우주복을 입고 활동했을 때 지치게 되는 현상을 다소 줄이는 방법은 우주복을 몸에 딱 맞게 입는 것이다. 우주복의 관절부가 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락 관절, 무릎, 발목 위치에 정확히 맞게 하는 것이 매우 중요하다. 하지만, 우주복을 딱 맞게 만드는 일은 간단한 일이 아니다.

이번 차시에서는 여러 사람들에게 모두 맞도록 우주복의 팔의 길이를 조절하는 측정 절차를 체험해 보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

여러 사람들에게 모두 맞도록 우주복의 팔의 길이를 조절하는 측정 절차를 체험할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

얇은 PVC관(직경 10cm), 톱(가로 커기 톱 또는 쇠톱), 줄자, 테이프, 세탁기 탈수관 호스, 두꺼운 고무장갑, 사포 또는 칼



이렇게 준비해요

안내서에서 사용하는 모든 재료는 대형 공구상가에서 구할 수 있다. 구멍이 없는 얇은 PVC 관을 고른다. PVC 관 300m를 사면 저렴한 가격에 여러 개의 우주복 팔부분을 만들 수 있다.

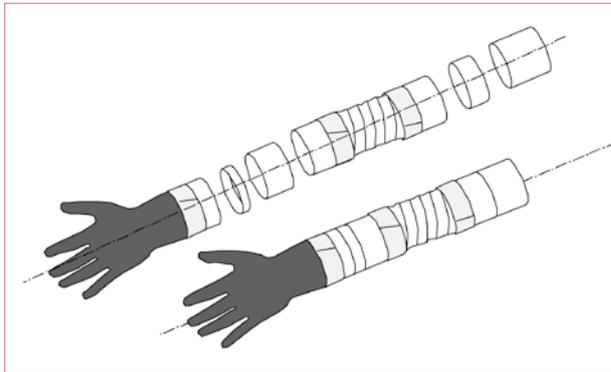




활동 내용

【실험 절차】

1. 톱으로 얇은 PVC 관을 일정한 길이로 잘라서 우주복 팔을 이루는 부분을 여러 개 만든다.(도움말을 보고 PVC 관과 기타 재료를 어디서 구할 수 있는지 참조한다.) PVC 관을 25mm, 50mm, 75mm, 100mm 길이로 각각 두 개씩 자른다. 50mm 길이 구간 세 개를 추가로 자른다.
2. 50mm 구간 두 개와 세탁기 탈수관 호스 25cm 구간을 결합해 우주복 팔꿈치 관절부를 만든다. 호스의 양끝을 각 PVC 관 구간의 끝 부분 위에 끼운다. 이 작업을 완수하는 데 호스 끝 부분을 조금만 이용할 필요가 있다. 덕트 테이프로 호스를 양 구간에 고정시킨다.
3. 장갑 하나의 소매부분을 50mm PVC 관 구간 위에 끼운다. 맞추기가 뻑뻑하겠지만 PVC 관 고리가 손목 위치까지만 닿도록 끼워 넣어본다. 덕트 테이프로 장갑을 PVC 관 고리에 붙일 수 있도록 소매의 남은 부분을 잘라준다.
4. PVC 관 고리, 관절부, 장갑, 측정 테이프, 덕트 테이프를 한 학생 팀에 나눠준다. 학생들에게 자신의 팀원 중 한 명을 우주 비행사로 선택하라고 얘기한다. 학생들의 목표는 그 우주 비행사에게 맞도록 우주복 팔을 만드는 것이다. 학생들은 팔의 길이를 측정하고 우주복 없이 팔의 운동 범위를 파악하는 일에서 시작해야 한다. 팔 운동 범위 데이터 시트에 데이터를 기록한다.
5. 학생들은 구간들을 적절하게 조합해 우주복 팔을 만든다. PVC 고리들을 덕트 테이프로 결합한다.



【결과 분석】

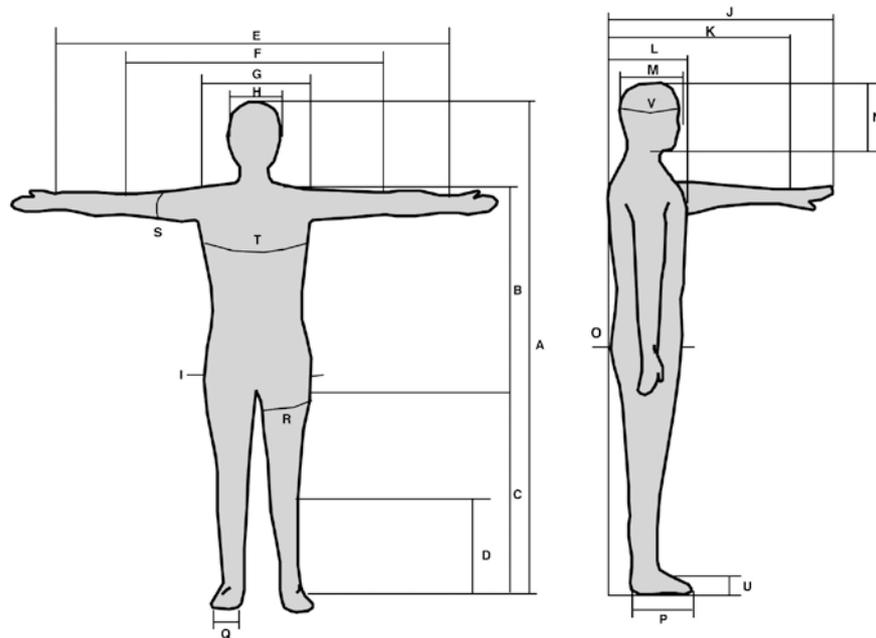
1. 우주복 팔을 완성한 후, 학생들은 "우주 비행사의 팔을 우주복 팔에 넣어서 시험을 해본다. 그리고 이전에 수행한 팔 운동 범위 시험을 반복하면서 우주 비행사에게 우주복 팔이 입기 편한지 물어봄으로써 평가를 한다.
2. 착용감이 편안하지 않거나 운동 범위가 제한될 때에는 사용한 PVC 관의 길이를 변경하여 팔의 길이를 조정해야 한다.
3. 착용감이 편안하고 운동 범위가 양호하다면 제시된 기록 차트에 사이즈를 기록한다.
4. 또 다른 학생이 우주 비행사가 되어 사이즈 조절 과정을 반복해본다.

【평가】

학생 팀은 차트에 실험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. 우주복 구성품을 우주 비행사에게 맞출 때에는 100가지 이상을 측정한다. 학생들과 측정 활동을 하여 각 측정치의 학급 평균을 구한다. 일부 민감한 부위는 치수를 측정하지 않아도 된다.
2. 다음의 치수를 측정하여 표를 만들어서 학급 데이터를 집계해 본다.

**지도상 유의점**

1. 우주 비행사 역할을 한 학생은 긴 소매 셔츠를 입으면 파이프 구간 사이에 피부가 집히는 것을 방지할 수 있다.
2. PVC 관을 자을 때 톱을 사용한다. 한 사람이 톱을 자르고 다른 사람이 PVC 관을 잡아주는 것이 좋다. 톱질을 한 후 PVC 관 구간에 남아 있는 거칠거칠한 조각을 제거할 때 사포나 날카로운 칼을 사용한다.
3. 덕트 테이프 조각은 제거해 각 구간을 결합할 때 다시 사용할 수 있다. 우주복 팔의 모양을 보기 좋게 하려면 회색 테이프 대신 흰색 덕트 테이프를 사용하거나 1인치 넓은 테이프를 사용해도 된다.
4. 실제 우주복을 맞출 때 팔을 측정하는 작업에서는 단순히 팔 길이를 재고 세 개의 평면에 팔을 쭉 뻗어 운동 범위를 재는 것보다 훨씬 더 많은 것을 측정한다. 측정해야 할 기타 항목에는 상완 및 전완 돌레, 손 및 손가락 사이즈, 손가락 관절의 위치, 팔꿈치를 축으로 하는 전완의 운동 등이 있다.





딱 맞게 만들기

학년 반 이름

도전과제

각 개인의 신체에 맞도록 우주복의 팔의 길이를 조절하는 측정 절차 체험해보기



인류는 오랜 기간동안 우주복을 개선해왔음에도 불구하고 우주 비행사들은 여전히 우주복 입는 것을 힘들어합니다. 우주복은 그 내부의 압력 때문에 팔, 손, 다리가 움직일 때 저항력이 생기기 때문이지요. 따라서 우주 유명 훈련을 하는 우주 비행사들은 지상에서 지구력과 근력 훈련을 함으로써 신체적으로 좋은 상태를 유지해야 하는 것입니다. 우주에서 우주복을 입고 활동했을 때, 불편함을 줄이기 위한 방법 중의 하나는 우주복의 관절부가 어깨, 팔꿈치, 손목, 손가락 관절, 무릎, 발목 위치에 정확히 맞도록 입는 것입니다. 이번 시간에는 우리 몸에 꼭 맞도록 우주복의 팔의 길이를 조절하는 측정 절차를 체험해 보는 활동을 해보겠습니다.



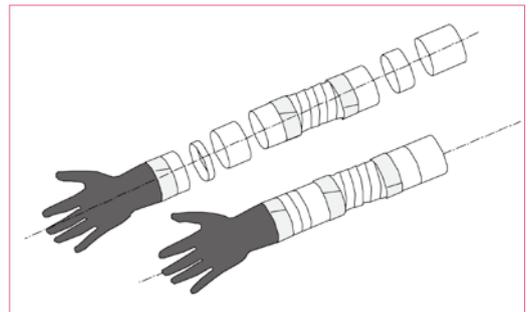
이것이 필요해요

얇은 PVC관(직경 10cm), 톱(가로 커기 톱 또는 쇠톱), 줄자, 테이프, 세탁기 탈수관 호스, 두꺼운 고무장갑, 사포 또는 칼



활동 순서

1. 톱으로 얇은 PVC 관을 일정한 길이로 잘라서 우주복 팔을 이루는 부분을 여러 개 만듭니다. PVC 관을 25mm, 50mm, 75mm, 100mm 길이로 각각 두 개씩 자르는데, 50mm 길이는 세 개를 추가로 자릅니다.
2. 50mm 구간 두 개와 세탁기 탈수관 호스 25cm 구간을 결합해 우주복 팔꿈치 관절부를 만듭니다. 호스의 양끝을 각 PVC 관 구간의 끝 부분 위에 끼웁니다. 이 작업을 완수하는 데 호스 끝 부분을 조금 이용할 필요가 있습니다. 이 때 덕트 테이프로 호스를 양 구간에 고정시킵니다.
3. 장갑 하나의 소매부분을 50mm PVC 관 구간 위에 끼웁니다. 맞추기가 빠빠하겠지만 PVC 관 고리가 손목 위치까지만 닿도록 끼워 넣어봅니다. 덕트 테이프로 장갑을 PVC 관 고리에 붙일 수 있도록 소매의 남은 부분을 잘라냅니다.



- PVC 관 고리, 관절부, 장갑, 측정 테이프, 덕트 테이프를 준비합니다. 그리고 한 명이 우주 비행사 역할을 맡아 그 학생에게 맞도록 우주복 팔을 만들도록 합니다. 먼저 팔의 길이를 측정하고 우주복을 착용하지 않은 상태에서 팔의 운동 범위를 파악하여 팔 운동 범위 데이터 시트에 데이터를 기록합니다.
- 잘라낸 PVC 관들을 적절하게 조합해 우주복 팔을 만듭니다. PVC 고리들을 결합할 때에는 덕트 테이프를 이용합니다.



활동 결과

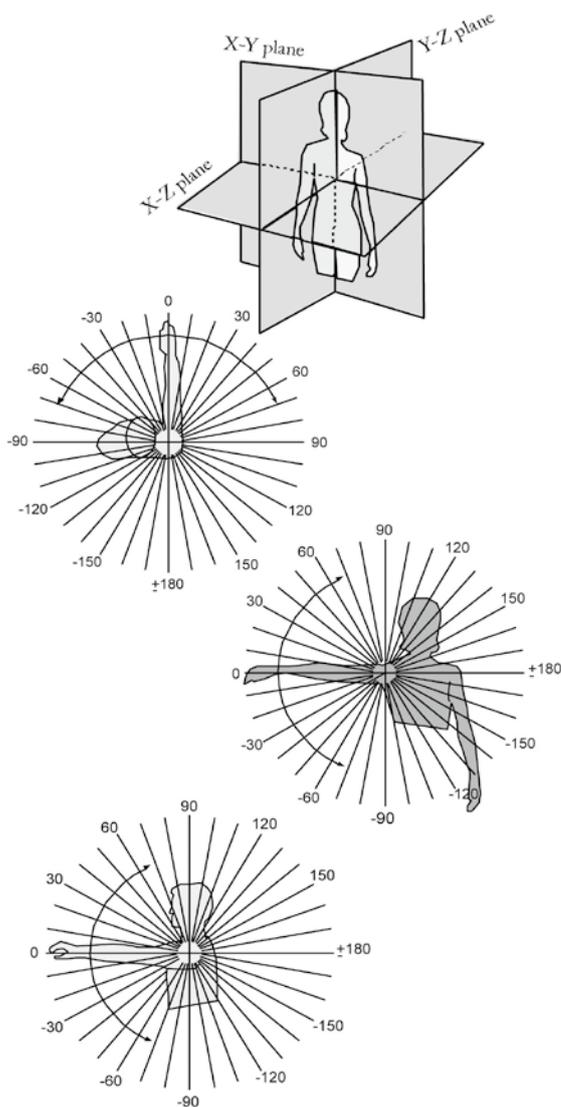
♣ 한 학생을 우주비행사로 선택하여 아래의 팔 운동 범위 데이터 시트에 측정한 수치를 기록합니다.

- 우주비행사 이름 :
- 팔길이(어깨~팔꿈치) :
- 팔길이(팔꿈치~손목) :

- X-Z 평면 운동 범위 :
0~+ :
0~- :

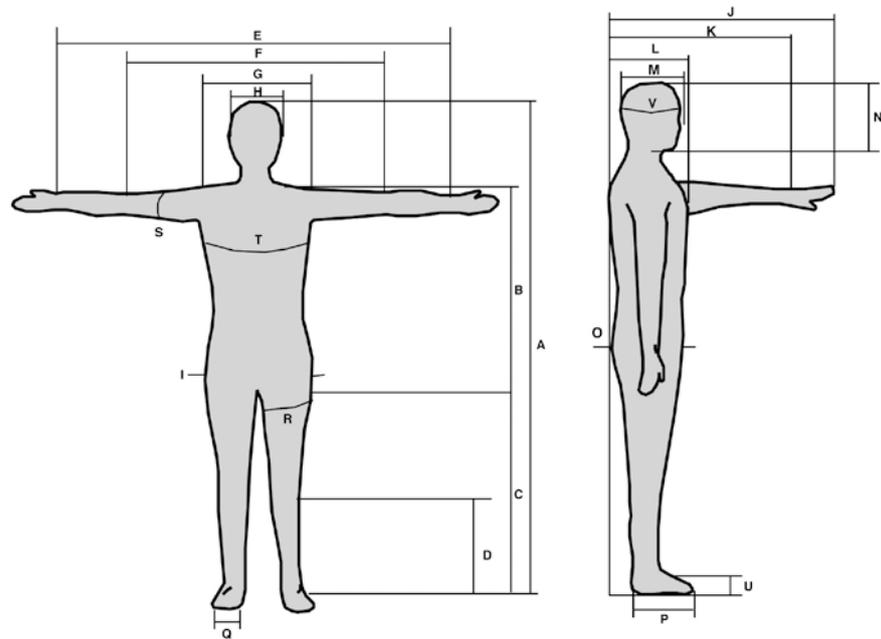
- X-Y 평면 운동 범위 :
0~+ :
0~- :

- X-Z 평면 운동 범위 :
0~+ :
0~- :



♣ 우주복 팔을 완성한 후, 우주 비행사 역할을 맡은 학생은 자신의 팔을 우주복 팔에 넣어서 시험을 해봅니다. 그리고 이전에 수행한 팔 운동 범위 시험을 반복하면서 우주 비행사에게 우주복 팔이 입기 편한지 느낌을 발표합니다.

♣ 아래 그림을 참고하여 우주 비행사의 다양한 신체 사이즈를 측정하여 아래 빈 칸에 기록하고, 평균값을 구해봅니다.(여기서 우주 비행사란 우리 학급 학생들을 의미합니다.)



학생 이름 / 측정 부위								평균값
a								
b								
c								
d								
e								
f								
g								



h								
i								
j								
k								
l								
m								
n								
o								
p								
q								
r								
s								
t								
u								
v								



생각해요

♣ 우주 비행사에게 딱 맞는 우주복을 제작하기 위해서는 어떤 점에 주의해야 할까요?

♣ 이 시간에 만든 우주복을 입어본 후에 앞으로의 개선점은 어떤 것이라고 생각하였습니까?



【읽을 거리】

마이크로중력이 인체에 미치는 영향

지구 궤도에서 경험할 수 있는 마이크로중력은 인체에 여러 가지 영향을 끼친다. 그중 하나는 척추가 길어지는 현상인데, 정상 중력(1G)에서는 척추의 뼈들이 서로 가까이 붙어 있으면서도 충격을 흡수하는 고무 성질의 디스크로 분리되어 유지된다. 반면, 중력의 방향이 인지되지 않는 우주에서는 디스크들이 약간 팽창하여 지구에 똑바로 서 있을 때보다 척추 뼈들이 약간 더 멀리 이동한다. 이렇게 척추가 길어지면 비행사의 키가 더 커져 우주복 팔의 관절부가 맞지 않게 된다. 따라서 우주 비행사들이 우주복을 맞출 때에는 마이크로중력에서 척추가 길어지는 것을 감안해야 한다. 일반적으로 우주 비행사가 우주에 가면 키가 2~3cm 더 커진다. NASA의 아폴로호 임무 때처럼 수많은 비용과 시간을 투자해 우주 비행사들에게 꼭 맞는 우주복을 만들었던 과정을 거치지 않기 위해 지금은 부품을 교체할 수 있는 우주복을 사용한다. 상위 몸통부와 하위 몸통부가 여러 사이즈로 나오지만 팔과 다리 길이를 맞추는 일은 여전히 쉽지 않다. NASA는 크기 조절 보형물을 만들어 이 같은 왕복선 EMU의 문제를 해결했다. 이 보형물을 팔과 다리의 억제층에 추가하거나 제거하여 몸에 딱 맞출 수 있었다. 보형물은 길이가 다양한 직물 링으로, 팔과 다리 내부에 묶여 있다. 보형물들을 적절하게 선택해 조합하면 우주복을 가장 잘 맞게 조절할 수 있다.



신체 사이즈 범위 측정치

1989년 인간-시스템 통합 표준(Man-Systems Integration Standards),
NASA-STD-3000에 기반

범주	항 목	최소(cm)	최대(cm)
A	신장*	162.1	187.7
B	몸통 수직 길이	64.3	74.4
C	가랑이 높이	74.4	91.9
D	무릎 높이	32.3	38.9
E	손목 사이 거리	131.6	167.1
F	팔꿈치 사이 거리	85.9	106.2
G	가슴 너비	27.9	36.6
H	머리 너비	12.7	16.5
I	엉덩이 너비	32.3	38.9
J	팔 길이	80.5	94.2
K	어깨 손목 길이	62.2	73.7
L	가슴 두께	21.3	27.7
M	머리 두께	18.3	21.6
N	턱 끝에서 머리 꼭대기	21.8	24.4
O	엉덩이 두께	24.1	29.2
P	발 직선길이	21.1	27.4
Q	발 너비	8.9	10.7
R	넓적다리둘레†	52.1	67.1
S	이두근둘레(수축 시)	27.4	36.8
T	가슴둘레	89.2	109.7
U	발등	NA	8.3
V	머리둘레	55.5	60.2

* 신장은 마이크로중력에서 머무는 첫 3~4일 동안 약 3퍼센트 커진다. 거의 모든 변화가 척추에 나타나기 때문에 몸통 수직 길이와 같은 기타 수치는 이에 비례하여 증가한다.

† 궤도에 진입한 후 첫 날 동안은 유체가 상위 몸통으로 이동하기 때문에 넓적다리둘레가 현저히 줄어든다.



일반적으로 우주선 선외 활동(EVA)은 한 번에 약 7시간 동안 지속된다. 이 시간 동안 우주 비행사는 여러 가지 활동을 하는데, 그 중에는 에너지가 아주 많이 필요한 활동도 있다. 우주복은 우주 비행사가 임무를 달성할 수 있도록 호흡과 우주복 가압에 필요한 산소를 꾸준히 안정적으로 공급해야 한다.

지구 궤도에서 사용되는 왕복선의 우주복은 실제로는 무게가 나가지 않지만, 그래도 산소 탱크는 가벼운 물질로 만들어야 한다.

이번 차시에서는 우주선 선외활동에 필요한 산소의 양을 짐작해보기 위하여, 한 사람이 다양한 활동을 할 때 필요한 산소량을 측정해 보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

한 사람이 다양한 활동을 할 때 필요한 산소량을 측정할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

2L들이 음료수 병, 비닐관 1m(공구상가나 수족관 상점에서 구입), 유성펜, 종이띠, 200mL 비커, 셀로판 테이프, 물, 큰 단지 또는 수족관



이렇게 준비해요

[음료수 병에 눈금 표시하기]

- 2L들이 음료수 병에 100mL의 물을 넣고, 병을 뒤집어 옆면에 펜으로 부피를 표시한다.
- 이 과정을 반복하여 병에 물이 가득찰 때까지 부피를 측정하여 기록한다.





핵심 단어

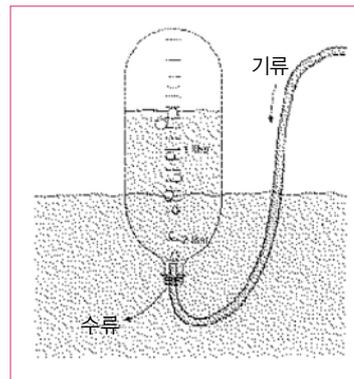
- **호흡** : 산소를 들이마시고 이산화탄소를 내보내는 가스교환을 통하여 생물들이 유기물을 분해하여 생활에 필요한 에너지를 만드는 작용을 말한다.
- **파스칼** : 압력의 단위이다. 1pa은 1m²의 넓이에 1N의 힘이 가해질 때의 압력을 의미한다. 기호는 Pa를 쓴다.



활동 내용

【실험을 위한 준비】

1. 2L 음료수 병에 100mL 간격으로 눈금을 표시한다.
2. 비닐관의 한쪽 끝 둘레에 종이띠를 말아서 종이 꼭지를 만들고 작은 테이프 띠를 사용해서 꼭지를 고정시킨다. 장치를 사용하는 사람이 바뀔 때마다 새 꼭지를 만든다.
3. 큰 단지나 수족관에 물을 일부 채운다. 병에 물을 채우고 수족관 속에 뒤집어 넣는다. 한 손으로 병 입구를 잡아서 병을 지탱한다.
4. 공기 호스를 병 입구 안으로 넣는다. 튜브의 다른 쪽 끝에 꼭지를 붙이고 학생 한 명을 시켜서 튜브 사이로 숨을 평상시처럼 내뿜게 한다.
5. 물이 병 밖으로 밀려나오면 병 옆면에 표시한 눈금을 보고 병 안에 갇힌 공기의 부피를 읽는다.



【실험 절차 - 호흡에 필요한 공기의 양 측정】

1. 지원 학생을 몇 명 신청 받아서 평상시 호흡에 필요한 공기의 양을 측정한다. 먼저 쉬고 있는 학생들부터 시작한다. 튜브에 새로운 꼭지를 붙인 후, 한 학생을 시켜서 공기를 평상시처럼 들이마시고 내쉬게 한다.
2. 호흡을 10번 실시하고, 병 속 공기의 양을 측정하여 이 양을 호흡수로 나누어 이 수치를 데이터 표의 "실 때" 칸에 기록한다. 시험하는 데 걸린 시간도 측정해 기록한다.
3. "실 때" 호흡할 때 필요한 양을 기록한 후, 병에 다시 물을 채우고 모든 학생이 1~2분 동안 작은 바벨을 들어올리는 등의 적당한 활동을 하게 한다.
4. 운동을 한 후 필요한 공기량 측정 작업을 반복해 데이터 표의 "적당한 운동" 칸에 수치를 기록한다.
5. 이번에는 학생들이 제자리 뛰기를 1~2분 동안 하게 한 후, 앞에서 한 측정을 반복한다. 그 결과를 "힘든 운동" 칸에 기록한다.

【결과 분석】

1. 보통의 "학생 우주 비행사"가 7시간 동안 우주 유영을 하면서 적당한 활동에서 힘든 활동까지 수행할 때 공기가 얼마나 많이 필요할지 계산하는 방법을 토의하고, 수집한 자료를 통해 답을 계산해 본다. 숨을 한 번 쉴 때마다 들이마시는 공기의 양이 달라질 뿐만 아니라 그 호흡 비율이 운동에 따라서도 달라진다는 것을 학생들에게 이해시킨다.
2. 일반적인 공기 혼합물 대신 순수한 산소를 사용한다면 호흡량이 어떻게 될지 판단해서 계산해 본다.

【평가】

학생 팀은 차트에 실험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. 왕복선의 우주복에 달린 1, 2차 산소 공급 장치에 실리는 산소의 실제 부피를 구한다. 산소는 표준 상태에서 1m^3 당 1.327kg 의 질량을 지닌다.(1, 2차 산소 시스템에는 총 1.74kg 의 산소가 실려 있다. 이 수치를 1.327 로 나눠 m^3 당 산소의 부피를 구한다. 이 부피가 작아 보이겠지만 산소가 재활용된다는 것을 기억하도록 한다.)
- ☞ 1차 생명 유지 시스템(PLSS)의 산소는 네 개의 산소탱크에 들어 있다. 탱크 두 개는 1차 산소 공급에 사용되고, 다른 두 개는 비상시 2차 공급에 사용된다. 1차 탱크 두 개의 부피는 각각 $3,980\text{cm}^3$ 이다. 여기에는 총 0.55kg 의 산소가 $5,860.5\text{kpa}$ 의 압력으로 보관되어 있다. 이 산소는 우주복 사이로 순환할 때 이산화탄소, 냄새, 습기를 제거하는 순환시스템을 통과한다. 2차 산소 탱크 두 개의 부피는 $1,460\text{cm}^3$ 이고, 여기에는 총 1.19kg 의 산소가 $41,368.5\text{kpa}$ 의 압력으로 보관되어 있다. 2차 산소 탱크에서 공급되는 산소는 보존되거나 재활용되지 않기 때문에 이 산소로는 약 30분 동안만 활동할 수 있다.

**지도상 유의점**

1. 숨을 한 번 쉴 때마다 들이마시는 공기의 양은 어떤 운동을 했느냐에 따라, 또는 각 사람에 따라 달라질 수도 있지만, 주변 상황에 따라서도 달라질 수 있다. 일반적인 공기에는 산소가 20% 포함되어 있다.
2. 비닐관에 숨을 불어 넣을 때 새로운 학생이 실험할 때마다 튜브 꼭지는 새 것으로 교체하도록 한다.





O² - 얼마나 많이?

학년 반 이름

도전과제



한 사람이 다양한 활동을 할 때 필요한 산소량 측정하기

일반적으로 우주선 선외 활동(EVA)은 한 번에 약 7시간 동안 지속됩니다. 이 시간 동안 우주 비행사는 여러 가지 활동을 하는데, 그 중에는 에너지가 아주 많이 필요한 활동도 있습니다. 우주복은 우주 비행사가 임무를 달성할 수 있도록 호흡과 우주복 가압에 필요한 산소를 꾸준히 안정적으로 공급해야 합니다.

지구 궤도에서 사용되는 왕복선 우주복은 실제로는 무게가 나가지 않지만, 그래도 산소 탱크는 가벼운 물질로 만들어야 합니다.

이번 시간에는 우주선 선외활동에 필요한 산소의 양을 알아보기 위하여, 한 사람이 다양한 활동을 할 때 필요한 각각의 산소량을 측정해 보는 활동을 하겠습니다.



이것이 필요해요

2L들이 음료수 병, 비닐관 1m(공구상가나 수족관 상점에서 구입), 유성펜, 종이띠, 200mL 비커, 셀로판 테이프, 물, 큰 단지 또는 수족관



핵심 단어

- **호흡** : 를 들이마시고 를 내보내는 가스교환을 통하여 생물들이 유기물을 분해하여 생활에 필요한 에너지를 만드는 작용을 말함.
- **파스칼** : 의 단위. 1pa은 1m²의 넓이에 1N의 힘이 가해질 때의 압력을 의미한다. 기호는 를 씀.



활동 순서

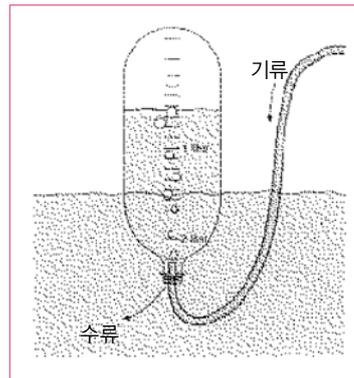
1. 2리터 음료수 병에 100mL 간격으로 눈금을 표시합니다.
2. 비닐관의 한쪽 끝 둘레에 종이띠를 말아서 종이 꼭지를 만들고 작은 테이프 띠를 사용해서 꼭지를 고정시킵니다. 장치를 사용하는 사람이 바뀔 때마다 새 꼭지를 만듭니다.
3. 큰 단지나 수족관에 물을 일부 채웁니다. 병에 물을 채우고 수족관 속에 뒤집어 넣습니다. 한 손으로 병





입구를 잡아서 병을 지탱합니다.

4. 공기 호스를 병 입구 안으로 넣습니다. 튜브의 다른 쪽 끝에 꼭지를 붙이고 학생 한 명을 시켜서 튜브 사이로 숨을 평상시처럼 내뿜게 합니다.
5. 물이 병 밖으로 밀려나오면 병 옆면에 표시한 눈금을 보고 병 안에 갇힌 공기의 부피를 읽습니다.
6. 지원 학생을 몇 명 신청 받아서 평상시 호흡에 필요한 공기의 양을 측정하는데 먼저 쉬고 있는 학생들부터 시작합니다. 튜브에 새로운 꼭지를 붙인 후, 한 학생을 시켜서 공기를 평상시처럼 들이마시고 내쉬게 합니다.
7. 호흡을 10번 실시하고, 병 속 공기의 양을 측정하여 이 양을 호흡수로 나누어 이 수치를 데이터 표의 "실 때" 칸에 기록합니다. 실험하는데 걸린 시간도 측정해 기록합니다.
8. "실 때" 호흡할 때 필요한 양을 기록한 후, 병에 다시 물을 채우고 모든 학생이 1~2분 동안 작은 바벨 들어올리는 등의 적당한 활동을 하게 합니다.
9. 운동을 한 후 필요한 공기량 측정 작업을 반복해 데이터 표의 "적당한 운동" 칸에 수치를 기록합니다.
10. 이번에는 학생들이 제자리 뛰기를 1~2분 동안 하게 한 후, 앞에서 한 측정을 반복한다. 그 결과를 "힘든 운동" 칸에 기록합니다.



활동 결과

♣ 다음과 같은 활동을 각각 수행한 후에 비닐관을 통해 10번 호흡을 하고 난 후 유리병 속의 공기의 양을 측정합니다.

- ① 실 때
- ② 적당한 운동 - 2분 동안 작은 바벨 들어올리기
- ③ 힘든 운동 - 2분 동안 제자리 뛰기

학생이름	공기의 양(mL)		
	실 때	적당한 운동	힘든 운동





생각해요

- ♣ 보통의 "학생 우주 비행사"가 7시간 동안 우주 유영을 하면서 적당한 활동에서 힘든 활동까지 수행할 때 공기가 얼마나 많이 필요할지 계산하는 방법을 토의하고, 수집한 자료를 통해 답을 계산해 봅니다.

- ♣ 다음에서 주어진 힌트를 이용하여 우주 왕복선의 우주복에 달린 1, 2차 산소 공급 장치에 실리는 산소의 실제 부피를 구해봅시다.

힌트

1. 산소는 표준 상태에서 1m³당 1.327kg의 질량을 지닌다.(1, 2차 산소 시스템에는 총 1.74 kg의 산소가 실려 있다. 이 수치를 1.327로 나눠 m³당 산소의 부피를 구한다. 이 부피가 작아 보이겠지만 산소가 재활용된다는 것을 기억하도록 한다.)
2. 1차 생명 유지 시스템(PLSS)의 산소는 네 개의 산소탱크에 들어 있다. 탱크 두 개는 1차 산소 공급에 사용되고, 다른 두 개는 비상시 2차 공급에 사용된다. 1차 탱크 두 개의 부피는 각각 3,980cm³이다. 여기에는 총 0.55kg의 산소가 5,860.5kpa의 압력으로 보관되어 있다. 이 산소는 우주복 사이로 순환할 때 이산화탄소, 냄새, 습기를 제거하는 순환시스템을 통과한다. 2차 산소 탱크 두 개의 부피는 1,460cm³이고, 여기에는 총 1.19kg의 산소가 41,368.5kpa의 압력으로 보관되어 있다. 2차 산소 탱크에서 공급되는 산소는 보존되거나 재활용되지 않기 때문에 이 산소로는 약 30분 동안만 활동할 수 있다.



【읽을 거리】

1, 2차 생명유지 시스템

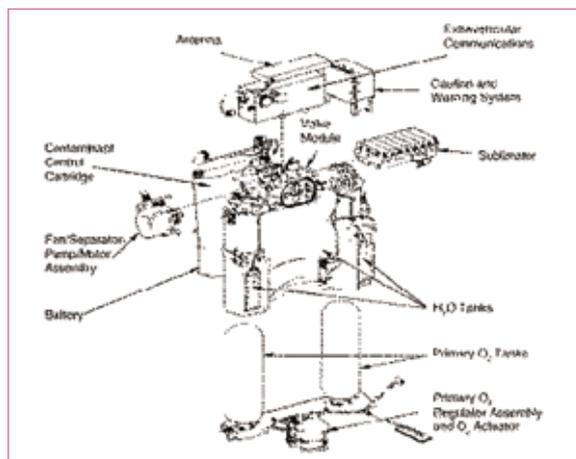
우주 비행사들은 아폴로 월면보행을 하면서 휴대용 생명 유지 시스템이 장착된 우주복을 입고 처음으로 우주에서 자유로운 활동을 했다. 그 당시까지는 이를 제외한 모든 선외활동이 산소를 공급하고 비행사가 표류하지 않게 해주는 생명줄을 우주선에 묶은 채 이루어졌다. 이 때는 우주선에서 생명줄의 길이만큼만 움직일 수 있었기 때문에 제약이 많았다. 하지만 달에서는 생명줄 때문에 방해받지 않았고, 그 이후의 임무에서는 루나 로버를 착륙선에서 10km 떨어진 곳까지 운전하고 갈 수 있었다.

우주 왕복선 비행사들은 우주의 마이크로 중력에서 선외 활동을 수행하기 때문에 아폴로 달 우주 비행사들보다 훨씬 더 자유롭다. 선외 활동이 왕복선의 화물실이나 그 주위에서 중점적으로 이루어질 때에는 생명줄을 사용하지만 이 생명줄은 단지 안전을 위한 것이지 생명 유지에 필요한 것을 공급해주지는 않는다.

선외 활동을 수행하는 왕복선 우주 비행사들이 자유롭게 활동할 수 있었던 것은 등에 장착된 1차 생명 유지 시스템이 있었기 때문이다. 아폴로 시스템에서 진보된 형태인 1차 생명 유지 시스템은 7시간이나 지속되는 선외 활동에 필요한 생명유지장치, 음성통신장치, 생물학적인 원격측정장치를 제공한다. 1차 생명 유지 시스템은 80cm×58.4cm×17.5cm 크기 안에 생우주 비행사들은 아폴로 월면보행을 하면서 휴대용 생명 유지 시스템이 장착된 우주복을 입고 처음으로 우주에서 자유로운 활동을 했다. 그 당시까지는 이를 제외한 모든 선외활동이 산소를 공급하고 비행사가 표류하지 않게 해주는 생명줄을 우주선에 묶은 채 이루어졌다. 이 때는 우주선에서 생명줄의 길이만큼만 움직일 수 있었기 때문에 제약이 많았다. 하지만 달에서는 생명줄 때문에 방해받지 않았고, 그 이후의 임무에서는 루나 로버를 착륙선에서 10km 떨어진 곳까지 운전하고 갈 수 있었다.

우주 왕복선 비행사들은 우주의 마이크로 중력에서 선외 활동을 수행하기 때문에 아폴로 달 우주 비행사들보다 훨씬 더 자유롭다. 선외 활동이 왕복선의 화물실이나 그 주위에서 중점적으로 이루어질 때에는 생명줄을 사용하지만 이 생명줄은 단지 안전을 위한 것이지 생명 유지에 필요한 것을 공급해주지는 않는다.

선외 활동을 수행하는 왕복선 우주 비행사들이 자유롭게 활동할 수 있었던 것은 등에 장착된 1차 생명 유지 시스템이 있었기 때문이다. 아폴로 시스템에서 진보된 형태인 1차 생명 유지 시스템



〈1차 생명유지 시스템〉

은 7시간이나 지속되는 선외 활동에 필요한 생명유지장치, 음성통신장치, 생물의학적 원격측정장치를 제공한다. 1차 생명 유지 시스템은 80cm×58.4cm×17.5cm 크기 안에 생명 유지에 필요한 다섯 가지 주요 요소가 담겨 있다. 산소-환기, 응축, 급수, 액체 이송, 1차 산소 회로가 그것이다.

산소-환기 회로는 폐쇄 루프 시스템이다. 산소는 1차 산소 회로나 비상시 사용하기 위해 1차 생명 유지 시스템 밑에 추가되는 2차 산소팩에서 시스템으로 공급된다. 순환되는 산소는 경질 상위 몸통부에 내장된 관을 통해 우주복으로 들어간다. 배관을 통해 우주 헬멧 뒤쪽으로 산소가 운반되고, 여기서 머리 위로 향해 헬멧 앞쪽의 내부를 따라 아래로 운반된다. 산소는 헬멧 안으로 운반되기 전에 충분히 데워져서 바이저가 흐려지는 것을 방지한다.

산소가 헬멧에서 나와 우주복의 다른 부분으로 이동할 때에는 비행사의 호흡에서 발생한 이산화탄소와 습기를 함께 가져간다. 땀에서 발생하는 더 많은 습기와 육체 활동에서 발생하는 열, 그리고 극소량의 오염물질들도 산소가 액체 냉각 및 환기용 내피에 내장된 배관으로 빨려 들어갈 때 함께 운반된다. 약 20,000rpm으로 돌아 가는 원심 송풍기는 오염된 산소를 분당 약 0.17m³의



주 비행사 조 테너가 STS-82 임무 도중 허블 우주 망원경에서 작업을 하고 있다. 그의 왼쪽 어깨 위에 지구의 만곡부와 태양이 보인다.

속도로 1차 생명유지 시스템에 돌려보내고, 여기서 이 산소는 오염물질 제어 카트리지를 통과한다.

이산화탄소와 극소량의 오염물질은 카트리지의 리튬 산화물과 활성탄층에서 걸러지면 이 기체류가 열 교환기와 승화기를 통과해 습기를 제거한다. 열 교환기와 승화기는 액체 냉각 및 환기용 내피의 튜브를 통과하는 물을 냉각시키기도 한다. 기체류의 습기는 열 교환기와 승화기 내에서 응축된다.

상대적으로 건조한 기체(13℃로 냉각된 기체)는 이산화탄소 센서를 통과해 우주복 전체로 재순환된다. 1차 생명유지 시스템의 공급 및 조절 시스템에서 산소가 필요한 만큼 추가된다. 우주복의 송풍기가 고장 나는 경우에는 우주복 안의 퍼지 밸브를 연다. 이 밸브는 개방 루프 퍼지 모드를 작동시켜 1, 2차 산소팩 모두로부터 산소가 전달된다. 이 모드에서는 수분과 이산화탄소로 가득한 기체가 오염물질 제어 카트리지에 도달하기 전에 우주복 밖으로 버려진다.

산소-환기 회로의 부산물 중 하나는 수분이다. 땀과 호흡에서 발생하는 수분은 승화기에서 응축됨으로써 산소공급장치에서 회수되어 응축 회로를 통해 이동된다(응축 회로가 운반하는 또 다른 물질인 소량의 산소는 가스 분리기에서 분리되어 산소-환기 시스템으로 회수됨). 그러면 이 수분은 공급수 회로의 물 저장 탱크로



전달되고, 최종적으로 승화기에서 사용하기 위한 물을 공급하는 데 추가된다. 이와 같은 방식으로, 1차 생명 유지 시스템은 물이 탱크로만 공급되는 경우보다 더 오랫동안 우주복을 냉각 상태로 유지할 수 있다.

공급수 및 액체 이송 회로의 기능은 우주 비행사의 온도를 낮추는 것이다. 공급수 회로는 1차 산소 회로에서 나오는 산소의 압력을 이용해 물을 저장 탱크(총 4.57kg의 물을 보관하는 탱크 세 개)에서 열 교환기와 승화기 안 철판 두 개의 내표면 사이의 공간으로 이동시킨다. 철판 중 하나의 외면은 우주의 진공에 직접 노출되어 있다. 이 철판은 침투성이 있어서 물이 기공을 통해 증발할 때 철판의 온도가 물의 어는점 이하로 떨어진다. 그리고 침투성 철판 내부에 아직 남아 있는 물이 얼면서 기공을 막게 된다. 그런 다음 공급수 회로에서 열 교환기와 승화기로 흐르는 흐름이 멈춘다.

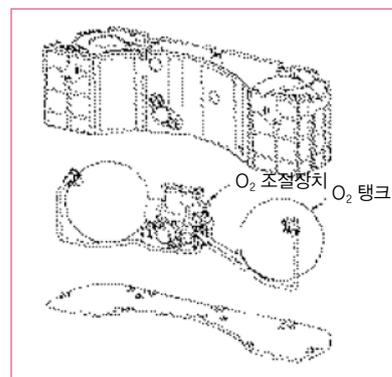
철판 중 다른 하나의 반대 면에는 2차실이 있는데, 액체 이송 회로에서 온 물이 이곳을 통과한다. 액체 이송 회로는 폐쇄 루프 시스템으로, 액체 냉각 및 환기용 내피의 플라스틱 튜브에 연결되어 있다. 이 회로 속의 물은 펌프로 흘러 보내져서 체열을 흡수한다. 데워진 물이 열 교환기와 승화기로 지나갈 때 열은 알루미늄 벽을 통해 침투성 벽으로 된 방으로 전달된다. 이 벽의 기공에서 형성된 얼음이 열에 의해 바로 기체로 승화되어 기공을 통해 우주로 나가게 된다. 이런 방식으로 액체 이송 회로의 물을 냉각해 액체 냉각 및 환기용 내피로 돌려보낸다. 승화기의 냉각률은 우주 비행사의 작업량에 따라 결정된다. 작업량이 많을수록 더 많은 열이 물 루프로 방출되어 얼음이 더 빨리 승화되고 더 많은 열이 시스템에서 제거된다.

1차 생명 유지 시스템의 마지막 요소는 1차 산소 회로다. 탱크 두 개에 들어 있는 산소는 총 0.54kg이고 그 압력은 5,860.5kpa로, 일반적인 7시간 EVA에 충분한 양이다. 이 회로의 산소는 우주복을 가압하고 호흡하는 데 사용된다.

이 회로의 조절장치 두 개가 압력을 가용 수준인 103.4kpa과 29.6kpa로 낮춘다. 103.4kpa의 조절장치에서 나온 산소는 물 탱크를 가압하고 29.6kpa의 조절장치에서 나온 산소는 환기 회로로 흘러간다.

선외 활동을 하는 우주 비행사의 안전을 위해 2차 산소팩을 1차 생명유지 시스템 아래에 부착한다. 이 시스템의 작은 탱크 두 개에는 1.2kg의 산소가 41,368.5kpa의 압력으로 들어 있다. 이 2차 산소팩은 퍼지 밸브를 작동함으로써 개방 루프 모드에서 사용하거나 1차 시스템이 23.79kpa로 떨어지는 경우 보조 시스템으로 사용할 수 있다. 우주복 내부의 산소 압력이 23.79kpa 아래로 내려가면 자동으로 공급이 이루어진다.

표시 및 통제 모듈 퍼지 밸브가 열리면 사용된 산소 오염물질과 채집된 수분이 우주복에서 우주로 직접 배출된다. 이 모드에서는 산소가 보존되거나 재활용되지 않기 때문에 2차 산소팩에 들어 있는 대량의 산소가 단 30분 만에 소비된다. 그래도 이 30분은 비행사가 궤도선의 본선으로 돌아오기에는 충분한 시간이다.



2차 산소팩

1 단원 소개

인류는 태양계를 계속 탐험하고 있으며, 지구와 가장 가까운 이웃인 달에 최초로 연구 기지를 세울 계획입니다. 달기지 건설은 화성 유인 우주 비행을 준비하기 위한 전 단계입니다. 지구에서 멀리 떨어진 곳에 기지를 세울 때 필요한 기술은 많이 있지만 화성에 전초지를 세우기 위해서는 이러한 기술의 우수성과 신뢰성을 입증해야 합니다. 달은 이러한 기술을 시험하고 검증할 수 있는 이상적인 시험대가 됩니다. 지구에서 달까지는 3일 밖에 걸리지 않지만 화성까지는 현재 로켓 기술을 이용해서 6개월 이상이 소요되거나 또는 그보다 더 길어질 수도 있습니다.

달이나 기타 모든 장소에 기지를 세워 관리할 때 생기는 주된 문제 중 하나는 자원의 보급에 있습니다. 공기, 물, 식량 같은 자원을 지구에서 운반해갈 수는 있으나 비용이 상당히 발생합니다. 화성의 경우 그 비용은 어마어마할 것입니다. 자원을 재활용하는 것이 바로 이 문제의 해결책입니다.

본 단원은 중학교 학생들이 달과 태양계 내 다른 행성에 거주지를 세워 어떻게 유지하는지에 관한 문제를 탐구하고 답을 찾는 출발점입니다. 여기서는 특히 물 재활용의 필요성에 초점을 맞추었습니다. 사람에게서는 하루에 3~4.5L 정도의 물이 필요합니다. 음식 준비, 개인 위생, 화장실 사용, 빨래 등을 포함하여 사람은 실제로 하루에 20L 이상의 물을 사용합니다. 6개월 동안 네 명이 비행하는 경우 필요한 물의 양은 14,600L나 됩니다. 사용한 물을 버리는 일은 있을 수도 없습니다. 물은 재순환이 가능하기 때문에 여러 번 사용함으로써 지구에서 필요한 다른 물품을 운반할 귀중한 공간을 절약할 수 있습니다.

본 단원은 달, 지구 물 순환, 물 재활용을 다루는 광범위한 주제에 관한 정보를 제시하는 배경 부분으로 시작해 물 재활용에 관한 몇 가지 기본적인 교실 활동을 제시합니다. 이러한 활동을 통해 학생들은 폐수 제한 관리 및 재활용 설계 도전과제를 준비하게 되며, 소규모로 구성된 학생 팀은 달에서 물을 재활용하는 순환 시스템을 설계하여 시험하는 과제에 도전하게 됩니다.

2 주제 안내

순	주 제	대상학년	소요시간
1	여과를 이용한 물의 재활용	중 1~2학년	60분
2	증류를 이용한 물의 재활용	중 1~2학년	60분
3	강제분리를 이용한 물의 재활용	중 1~2학년	60분
4	침전을 이용한 물의 재활용	중 1~2학년	60분
5	생물학적 처리를 이용한 물의 재활용	중 1~2학년	60분
6	물 재활용 시스템의 설계	중 1~2학년	180분

3 지도상 유의점

인류는 달에 최초로 영구 기지를 세울 계획이다. 본 단원은 달 기지에서 필요한 여러 가지 자원 중에서 특히 물의 재활용 시스템 설계를 도전 과제로 하여 5차시에 걸쳐 달, 지구의 물 순환, 물 재활용 방법 등을 다루는 광범위한 주제에 관한 정보와 다양한 활동을 제시한다. 그리고, 마지막 6차시에는 각 팀별로 달 기지에서 영구적으로 사용할 수 있는 물 재활용 시스템을 완성하게 된다.

각 차시별 다양한 재료를 투입하여, 최후에 학생들이 창의적으로 물 재활용 시스템을 설계할 수 있도록 안내하며, 포스터나 프레젠테이션 준비 및 발표 등을 통하여 개발한 시스템을 설명하고 홍보할 수 있게 한다.

4 배경 지식

:: 지구와는 다른 새로운 세계 - 달

지구에서 살고 있는 우리들은 일상의 많은 것들을 당연하게 생각한다. 우주 비행사들이 달에 도착하면 이곳 지구에 있는 것과 같은 집을 짓게 될 것이다. 그러나 달의 환경은 다르다. 즉, 새로운 작업 방식이 필요한 새로운 세계이다.

지구는 커다란 금속으로 된 핵이 안에서 움직여 강력한 자기장을 형성하는 행성이다. 지구 표면은 토양과 물로 이루어진 얇은 판으로 덮여 있고, 21%가 산소로 이루어진 두꺼운 대기가 이 표면을 둘러싸고 있다. 지구는 태양과 떨어져 있기 때문에 적절한 온도를 유지하며 그 축이 기울어져 있어 계절이 형성된다. 가스, 물, 광물 및 에너지가 순환하면서 표면이 계속해서 회복되고, 생명체로 가득하며 수백 만 개에 달하는 종 및 그들을 뒷받침하는 환경과 상호 작용한다.

달은 지구와 가깝고 지구처럼 태양 주위를 공전하지만 지구와는 공통점이 거의 없다. 달도 지구처럼 암석으로 구성되어 있지만, 그 중심은 사실상 죽은 상태라고 볼 수 있다.

달에는 감지할 만한 자기장이 없고, 이따금씩 월진이 일어나지만 그 강도는 활동이 진행 중인 지구 내부에서 지속적으로 일어나는 약한 진동과 같은 수준이다.

달 표면은 표토라고 하는 분쇄된 암석으로 덮여 있는데, 이것은 진한 회색 토양과 비슷하지만 지구에서처럼 토양을 비옥하게 하는 유기물은 없다.

아폴로 15호 비행사 데이비드 스콧이 해들리 열구 근처의 표본 채집 지점을 기록하고 있다. 가루 같은 표토가 표면을 덮고 있고, 스콧의 우주복 다리에 붙어 있는 모습이 보인다. 달에는 물과 공기가 거의 없고, 계절도 없다. 각각 약 14일 지속되는 낮과 밤 동안에 표면이 가열되고 냉각되는 것이 주요 순환이다. 중력의 크기도 다르다. 지구 중력의 6분의 1밖에 되지 않는다.



달 표면에 반사된 햇빛을 통해 우주에서 가장 가까운 이웃을 볼 수 있다. 이것은 지구에서만 보이는 달의 측면이다.



아폴로 15호 비행사 데이비드 스콧이 해들리 열구 근처의 표본 채집 지점을 기록하고 있다. 가루 같은 표토가 표면을 덮고 있고, 스콧의 우주복 다리에 붙어 있는 모습이 보인다.

50년 전부터 많은 나라의 과학자와 공학자들이 달로 우주선을 보내고 있다. 각국은 달 표면을 근접 촬영하여 지구에서는 볼 수 없는 뒷면을 측량하고, 충격 착륙 또는 연착륙을 통해 달 표면의 견고성과 조성을 시험해왔다. 1969년부터 1972년까지 미국 우주 비행사 승무원 여섯 명이 달 앞면에 착륙해 382kg의 암석과 표토를 자세히 연구하기 위해 가져왔다. 1970년대에는 소련의 로봇 우주선 여섯 대가 달에 착륙했다.

이 우주선 중 세 대에는 달 표면 표본(총 326g의 표토)을 갖고 지구로 자동으로 귀환하는 작은 탑재형 로켓이 있었다. 채집된 달 암석과 표토는 달 전체 표면의 약 4~5% 지질에 해당한다.

아폴로 왕복 비행 세 건을 포함해 로봇 우주선의 달 비행은 60건 이상 성공했다. 그리고 지구에서 발견된 100개 이상의 운석은 달에서

발사된 것으로 보고 있다.

우리가 달에 대해 알고 있는 것은 무엇인가? 달에는 생명 유지에 필요한 기본 원소(공기, 물, 식량)가 없다는 사실은 충분히 알고 있다.

따라서 장기적인 달 비행에는 이러한 생명 유지 요소를 제공하는 시스템이 포함되어야 한다. 우리가 알고 있는 달과 관련해 이러한 생명 유지 시스템을 설계하는 데 도움이 되는 사실에는 어떤 것이 있을까?

:: 달의 환경

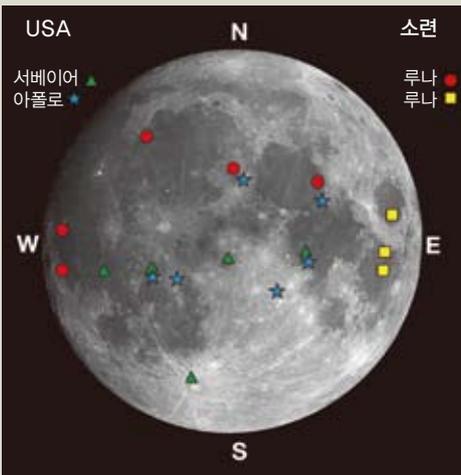
달은 지구의 자연 위성이다. 달은 직경이 3,476km인 구체(지구 직경의 약 4분의 1)로, 달의 총 질량인 7.349×10^{22} kg은 지구 총 질량의 약 100분의 1에 해당한다.

질량과 직경이 작기 때문에 달의 표면 중력은 지구의 약 6분의 1에 불과하다. 지구 중력 때문에 낙하하는 물체는 9.8% 가속도가 붙는다. 달에서는 중력에 의한 가속도가 1.6%이다. 지구에서 스프링 저울로 측정한 체중이 100kg인 사람이 달에서는 약 16kg에 불과할 것이다. 무게와 질량 모두 측정단위가 kg이지만 질량을 무게로 혼동해서는 안 된다. 무게는 중력에 따라 좌우되는 반면, 질량은 사람 안에 들어 있는 전체 물질의 양이다.

달의 낮은 중력은 달 표면에 구조물을 세우는 일에도 영향을 준다.

달에서는 구조물을 훨씬 높게 세울 수 있다.

달은 363,300~405,500km 범위의 가변 거리를 두고 지구를 돈다. 궤도가 약간 기울어져 있어 달이 지구의 지평선 위에 나타나는 고도에서 약간의 계절적 변화가 나타난다. 달은 항성을 기준점으로 이용해 27.32일마다 한 번씩 회전한다.



미국과 소련의 달 연착륙 로봇 비행 및 유인 비행 지점

달은 지구를 도는 동시에 자전도 한다. 자전 주기도 27.32일이다. 즉, 달의 자전과 공전은 주기가 같기 때문에 달은 한쪽 면만 계속해서 지구를 향하게 된다.

달의 자전과 공전이 동시에 일어나는 것은 지구와 달의 인력이 서로에게 작용하여 생긴 조력 때문이다. 지구에서는 바다의 상승과 하강으로 조수를 쉽게 볼 수 있는데 지각에서도 이보다 낮은 높이의 조수가 일어난다. 달의 지각에도 조수가 나타나며, 수십억 년에 걸친 달의 조수로 인해 달의 자전 속도를 점차 느려지게 만든 항력 효과가 만들어졌다. 이 때문에 지구에서 달의 앞면만 보이고 뒷면은 볼 수 없게 되었다.

달이 지구 궤도에 있는 위치에 따라 지구에서 보이는 달 앞면의 밝은 면적과 어두운 면적이 주기적으로 달라진다. 달의 절반은 항상 햇빛이 비친다. 한 시점에서 밝은 면과 어두운 면이 보이는 양은 지구, 달, 태양의 상대적 위치에 따라 결정된다. 이렇게 달라지는 명암이 달의 위상이며 이것은 29.53일 주기로 반복된다.

달 위상의 장점 중 하나는 달 표면에 비치는 햇빛의 각도가 달라지면서 그림자가 생겨 표면의 특징을 알아보기가 쉽다는 것이다. 보름일 때 지구에서 보는 달은 그림자의 밝고 어두운 부분이 약간 섞여 있는 것처럼 보인다. 부분적으로 밝은 위상일 때에는 이 그림이 크게 달라진다.

아폴로 11호 승무원들이 달 뒷면을 비행할 때 찍은 달 크레이터 308번(다이달로스)달의 밤과 낮을 구분짓는 선에서 가장 가까운 그림자 때문에 수많은 분지, 고지, 크레이터의 상세한 모습을 선명하게 볼 수 있다.

달 앞면은 황량하지만 근사한 곳이다. 전에 달의 바다였다고 생각되는 넓은 부분은 실제로는 거대한 분지이다. 달의 바다는 30억 년 전 소행성이 충돌하여 표면이 폭발해 나간 것이다. 이 충돌에 이어 용해된 현무암이 분출해 넘치면서 분지가 평평해졌고, 분지 표면이 냉각되면서 짙은 색으로 변했다. 분지 주변은 장석 광물이 풍부한 밝은 색상의 사장암으로 구성된 울퉁불퉁한 고지이다. 달에는 각력암이라고 하는 암석 유형도 있다. 각력암은 달 표면이 충격을 받아 암석 일부가 용해되었다가 다시 융합될 때 형성된 것이다.

전체 달 표면은 운석, 혜성, 소행성과 충돌하여 생긴 수백만 개의 크고 작은 크레이터가 점점이 새겨져 있다. 가장 최근에 생긴 크레이터는 가장자리가 예리하고, 오래된 크레이터는 계속해서 쏟아지는 우주 암석이 표면에 덮이면서 가장자리가 닳았다.

수십 억 년 동안 달은 우주를 떠도는 암석에 부딪혔고, 그 때마다 표면이 분쇄되고 용해되면서 파편이 둥글게 튀는 모양과 긴 줄무늬로 확산되었다. 아폴로 유인 우주선 착륙 전에 과학자들은 달이 깊은 먼지로 덮여 있어서 착륙하는 우주선이 빠져들어갈 것을 걱정했다. 그러나, 미국과 소

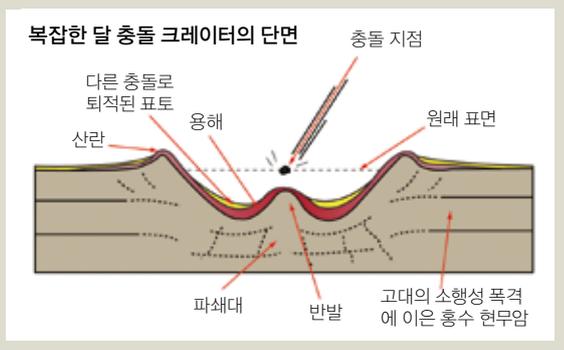


밝은 면과 어두운 면을 가르는 명암 경계선 근처의 그림자로 달 표면 지형도를 명확히 알 수 있다.



아폴로 11호 승무원들이 달 뒷면을 비행할 때 찍은 달 크레이터 308번(다이달로스)

련의 로봇 우주선은 달에 성공적으로 착륙해 표면에 빠지지 않고 그대로 있었다. 먼지가 많긴 했지만 달 표면이 단단해서 우주선을 지탱할 수 있었다.



달 표면을 덮고 있는 “먼지”는 실제로 달 표토로서 먼지, 모래, 분쇄된 암석의 두꺼운 층으로 구성된 가는 모래 같은 물질이다. 이 표토는 주로 세 가지 화성 광물(올리빈, 휘석, 사장석)로 이루어져 있고 침정석, 아말콜라이트(아폴로 11호 승무원 암스트롱, 알드린, 콜린즈의 이름을 딴 산화 티타늄), 규토, 철, 티탄 철광이 포함되어 있다. 분쇄된 암석과 광물 외에도 표토에는 암재집괴암이라고 하는 광물도 있다. 암재집괴암은 충돌 시 발생한 용해와 냉각에 의해 결합된, 가장자리가 빠

죽빠죽한 유리 같은 입자이다. 달 표면은 대부분 깊이가 2m에서 크게는 30m에 이르는 표토로 덮여 있다. 실제 달의 기반암은 가파른 크레이터 벽에서만 볼 수 있다.

달 대기의 주요 성분은 헬륨, 네온, 수소, 아르곤이다. 달에서 온도가 극심하지 않은 두 곳은 북극과 남극이다. 달은 지구만큼 기울어져 있지 않기 때문에 극 지역의 온도 차이가 적다. 크레이터 바닥은 계속 그늘이 지기 때문에 차가운 상태가 지속되고 높은 지역은 햇빛을 계속 받게 된다.

지구는 강력한 자기장이 있어 우주 방사물 입자를 대부분 차단하지만 달은 태양 입자와 은하계의 우주 광선을 그대로 받는다. 아폴로 우주 비행사들은 우주 방사선이 비교적 적은 기간에 달에 갔으며, 짧은 체류 기간에 방사선의 영향을 거의 받지 않았다. 앞으로는 달 비행 기간이 훨씬 길어지므로 방사선 보호 장치를 통해 우주 비행사들의 건강을 보호해야 할 것이다.

:: 푸른 행성 지구

우주에서 보는 지구의 모습은 정말 근사하다. 표면의 약 4분의 3이 물로 덮여 있다. 다행히도 태양과 정확한 거리를 두고 있어서 지구는 물이 동시에 세 가지 상태, 즉 고체, 액체, 기체 상태로 존재할 수 있는 온도를 갖추고 있다.

:: 살아있는 물

지구 전체의 물에 비하면 작지만 물은 생명체에게 가장 중요하다. 모든 생명체에는 물이 함유되어 있다. 예를 들어 인간은 약 70%의 물로 구성되며 그 대부분이 세포벽 안에 있다. 물은 영양소와 산소를 몸 전체에 운반하고 노폐물을 소변, 땀, 호흡, 배설물을 통해 내보낸다. 물은 음식 소화 및 체온 조절에도 일조한다.

사람은 매일 마시고 먹는 활동을 통해 약 2.4L의 물을 교환한다. 건강을 유지하려면 오염되지 않은 물을 먹어야 한다. 그러나 인체에서 배출되는 물에는 많은 요소와 화합물이 들어 있어서 물에서 제거한 후에 다시 사용해야 한다.

지구에서의 물 정화는 사람이 처음 등장하기 오래 전부터 일어나던 자연스러운 과정이다. 많

은 사람이 도시에 모여 살고 농업 및 산업 활동이 활발해지면서 인위적인 물 정화 방법(재순환)이 필요하게 되었다.

:: 물의 순환

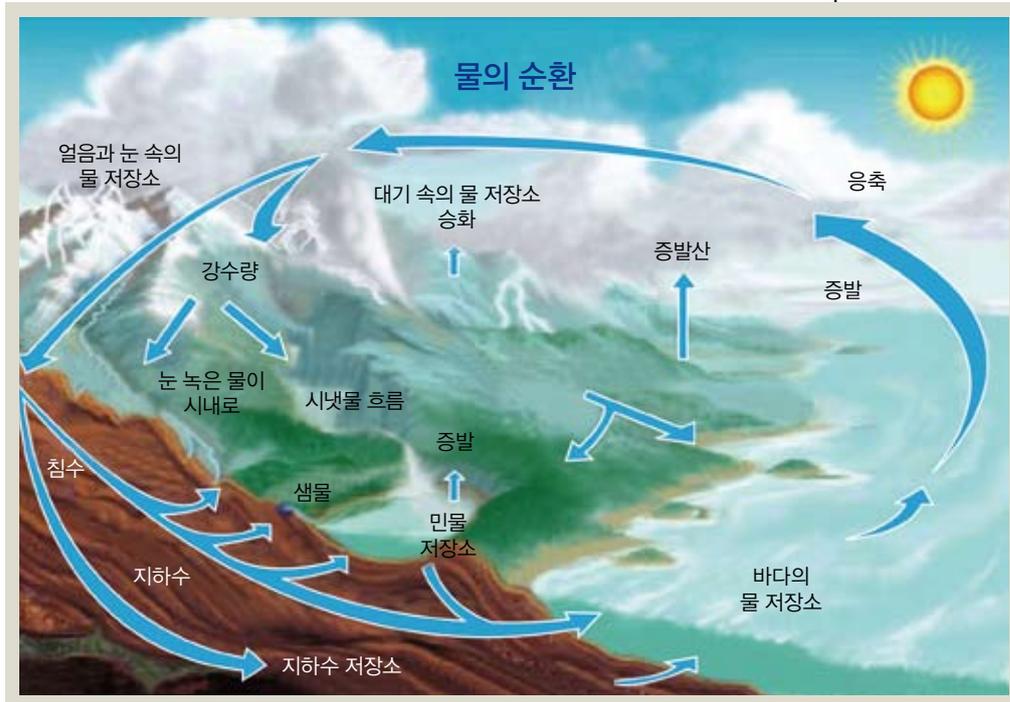
물의 순환은 행성 지구가 갖고 있는 기적 중 하나다. 물의 순환은 태양이 지구에 전달하는 에너지로 시작된다. 태양은 지구 온도를 적정하게 만들어 그 표면 액체의 대부분을 물로 유지시킨다.

낮 시간이 나타나는 지구의 지역에서는 태양열이 표면과 그 위 공기를 데워 상승 기류가 생성된다. 밤 시간이 나타나는 지역은 시원하고 어두워 하강 기류가 생성된다. 지구의 자전 때문에 지구의 모든 지역에서 받는 빛과 열의 양이 주기적으로 달라져 지구 전체의 물이 움직이게 된다.

물의 순환은 연속성을 띠는데, 태양열을 제외하면 실제로 시작도 끝도 없다. 계속해서 물은 바다에서 대기, 육지로, 다시 바다로 순환한다.

앞서 언급한 바와 같이 바다에는 지구에 존재하는 물의 약 97%가 저장되어 있다. 많은 유기체가 바다에서 살고 있지만 바닷물은 사람과 대부분의 육지 생물이 먹기에 부적합하다.

태양열이 바다 표면을 데우면 물의 증발 과정이 가속화되고, 물 분자가 대기로 빠져나간다. 열 흐름에 따라 물분자는 하늘로 올라가 그곳에서 냉각되기 시작해 공기 중에서 자연스럽게 발견되는 미립자로 응축된다. 작은 물방울이 생겨 모이면서 지구 전체에 퍼져 있는 희끄무레한 커다란 구름이 된다. 기류를 타고 구름이 육지 위를 다니다가 물방울이 커져 무거워지면 기류가 감당하지 못해 비(온도가 낮을 때는 눈)가 되어 떨어진다.



빗방울이 지구의 딱딱한 표면에 떨어지면 튀게 된다. 일부는 토양에 흡수되어 커다란 물 저장 체계에 흡수되고, 일부는 식물의 뿌리로 흡수되고, 나머지는 시내와 강으로 흐르거나 호수에 들어가 잠시 그곳에 저장된다. 눈은 지구의 딱딱한 표면에 쌓이며 양이 매우 많을 경우에는 압축되

출처 : 미국 지질조사국

어 또 다른 임시 저장소인 빙하가 된다. 이처럼 여러 날, 여러 해 또는 수천 년이 지나면서 점차 물은 바다로 돌아가 순환이 계속된다.

:: 물의 재활용

지구의 물 순환은 물을 재생할 수 있는 방법을 잘 보여준다. 물은 순환 중에 다양한 화학적, 생물학적, 광물학적 오염물을 흡수하며 이러한 오염물의 대부분을 자연스럽게 쉽게 제거한다. 예를 들어 증발을 통해 물은 기체로 변하고 소금 같은 오염물이 남게 된다. 나중에 이 증발된 물이 응축되어 비나 눈으로 다시 땅으로 떨어진다. 땅으로 스며드는 물은 작은 구멍이 많은 바위를 천천히 통과하거나, 육지 식물에 흡수되어 순수한 물을 대기로 발산하면서 불순물이 걸러진다. 수생 식물도 불순물을 흡수해 물을 깨끗하게 만든다.

물의 순환은 재생, 즉 새롭게 탄생하는 것으로 설명할 수 있다. 그러나, 아쉽게도 사람이 지상에서 하는 활동 때문에 물을 재생하기가 매우 어렵다. 많은 사람들이 비교적 좁은 면적에 살고 있어서 지구의 물 재생 능력에 부담을 준다. 농업, 에너지 생산, 산업 공정, 운송 수단, 일상생활을 통해 광범위한 인공 화학 물질을 포함한 농축된 양의 폐수가 유입되어 환경에 더 큰 부담을 주고 있다.

지구에서 이용할 수 있는 전체 물의 약 1퍼센트만 먹을 수 있기 때문에 사람은 충분한 양의 물 공급을 유지하려면 대량의 물 처리 시스템에 의지해야 한다. 물 처리 시스템에는 일반적으로 오수를 처리하는 시스템과 폐수를 음료수로 정화하는 시스템, 이렇게 두 가지 유형이 있다. 인적 폐수는 오수 처리 시설로 최대한 정화된다. 이러한 폐수에서 고체 구성요소를 수거해 처리한 후, 매립지나 기타 제품에 넣는다. 한 가지 이상의 처리 기술을 사용한 다음, 이러한 폐수에서 나오는 물을 유출수로 배출한다(예: 커다란 호수나 바다, 강 또는 땅).

두 번째 유형의 폐수 처리 시스템에서는 환경에서 들어온 물(유입수)을 한 가지 이상의 기술로 정화하여 먹는 물로 만드는 것이다. 가능하면 가장 깨끗한 유입수를 사용해 처리량을 최소화하는 것이 유리하다. 그러므로 오수 처리 시설의 배출물과 음용수 처리 시설의 유입물은 최대한 서로 멀리 떨어져 있다.

우주 여행에서는 독특한 물 처리 방법이 필요하다. 국제 우주정거장과 미래의 달 기지는 지구에 비하면 아주 작은 세계이다. 그 자원은 극도로 제한적일 뿐만 아니라 비용도 굉장히 비싸다. 이러한 환경에서 폐수는 폐수가 아니라 오히려 귀중한 자원이 된다. 국제 우주 정거장이나 달 기지 폐수 처리 시스템의 유출수는 승무원과 환경시스템을 지탱하는 음용수 유입수가 된다.

물 재활용 시스템(유출수와 유입수)을 설계할 때 물의 오염물을 제거할 수 있는 다양한 기술을 조사하는 것이 도움이 된다.

물 재활용을 위한 처리 방법은 조건에 따라 결정된다. 예를 들어 마실 물을 만드는 방법은 비음용수의 수원 조건에 따라 결정되는데, 가령 수원의 염도가 높을 경우(바닷물) 일종의 증류 시스템이 많이 사용된다. 증류란 물이 기체로 증발하는 속도를 높이는 물리적 과정이다. 이 과정에서 소금이 많은 물을 가열해 물이 기체로 변하면 소금이 남는다. 그런 다음 수증기를 응축 장치로



보내 증기가 냉각되면서 다시 액체로 바뀐다. 상당히 개선된 액체가 수집된다. 그러나 열로 증류할 수 있는 것이 액체만 있는 것은 아니다. 암모니아 같은 오염물도 증류 과정을 통과할 수 있다. 따라서 화학적 또는 생물학적 처리가 포함되는 추가 과정이 필요할 수 있다.

증류 과정에서 재미있는 부분 중 하나가 물을 증류할 때 필요한 온도에 압력이 영향을 끼칠 수 있다는 점이다. 물은 주위 압력이 낮으면 저온에서도 끓는다. 예를 들어 해수면에서는 물이 100℃에서 끓지만 에베레스트 산 정상에서는 끓는점이 약 69℃로 내려간다. 이 현상을 이용해 압력을 낮춘 밀폐실에서 증류 과정의 속도를 높일 수 있다.

배낭여행을 하는 하이커들은 작은 수동 펌프로 작동되는 물 여과 장치를 휴대해 다닌다. 이러한 여과 장치에는 아주 작은 구멍이 있어서 산 속 시냇물의 유해한 미생물을 제거하도록 설계되었다.

우물이나 강에서 물을 길는 사람들은 다양한 오염물을 다루는 다중 여과장치와 화학 및 생물학적 처리 방법을 활용해 음용수를 만든다.

반면 인적 폐수는 다양한 시스템과 방법을 이용해 처리한다. 가정용 오수 정화 시스템은 폐수를 모아 커다란 여과상을 통해 땅으로 침투시키는 대형 탱크로 구성된다. 물이 점차 지하수면에 도달하지만 처음보다 훨씬 깨끗한 상태이다. 오수 정화 탱크의 물을 정기적으로 퍼내어 쌓여 있는 고형물을 제거해야 한다.

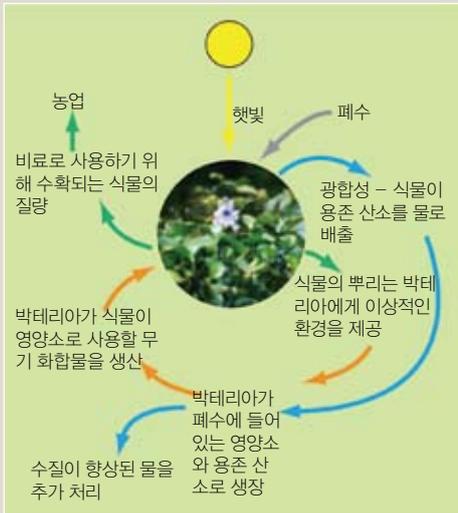
도시의 오수 처리 시설은 대량의 폐수를 처리해야 한다. 이러한 시스템은 매우 복잡하지만 보통 3단계로 폐수를 처리한다. 첫 번째 처리 단계로 들어가기 전에 망으로 자갈, 플라스틱, 캔 등의 커다란 고형물을 차단해 폐수에서 걸러낸다. 1단계에서 그리스나 기름은 맨 위에 뜨고 좀 더 무거운 유기 고형물은 바다에 가라앉는 침전 탱크를 이용해 오수에서 다양한 종류의 고형물과 액체가 분리된다. 가라앉았거나 떠 있는 물질은 제거되고 나머지 액체는 2차 처리를 거치게 된다.

2차 처리에서는 호기성 생물학적 공정을 이용해 오수를 처리한다. 즉, 박테리아와 원생동물(폐수에 자연스럽게 발생)이 산소가 있으면 다양한 유기 화합물을 이산화탄소와 물로 분해한다.

3차 처리에서는 1, 2차 처리를 거친 물에 염소나 기타 화학약품을 첨가해 소독한 후 다양한 필터를 통과시켜 박테리아와 기타 미생물을 죽인 다음 최대한 깨끗하게 만든 후에 환경으로 다시 배출한다.

박테리아와 원생동물을 이용한 생물학적 폐수 처리 외에도 일부 시스템에서는 수생 식물이 사용된다. 부레옥잠과 물상주 같은 식물은 2차 처리 탱크에서 재배되기도 한다. 이러한 식물은 광합성을 통해 용존 산소를 물로 내보내고 뿌리는 박테리아가 잘 자라는 데 이상적인 환경을 제공한다. 이렇게 공생 시스템이 생성된다. 박테리아는 물속의 화학 오염물을 처리하고 식물 성장에 필요한 영양소인 화합물을 만든다. 며칠 단위로 식물의 일부분을 수확해 말린 후 퇴비로 쓴다.

이것은 폐수에서 오염물을 제거할 때 사용되는 몇 가지 폐수 처리 전략일 뿐이다. 해당 조건에 따라 사용할 기술이 결정되는 경우가 많다. 국제 우주 정거장에서는 고도로 전문화된 물 처리 시스템 중 하나가 사용된다.



수생 식물이 포함되는 1차 처리

:: 국제 우주 정거장의 물

초기 지구 탐험가와 달리 우주를 탐험하는 비행사들은 생명을 유지하기 위한 물을 찾는 일에 의존할 수 없었다. 머큐리 및 제미니 비행에 필요한 물은 캡슐 내부의 저장 탱크에 실어 운반했다. 아폴로 달 비행에서는 산소와 수소가 결합된 연료 전지를 원자로에 담아 우주선 동력에 필요한 전기를 생산했는데 이 과정의 부산물로 음용수가 나왔다. 우주 왕복선에도 이와 비슷한 시스템이 사용된다.

다른 우주선과 마찬가지로 국제 우주 정거장(ISS)은 승무원의 생명을 유지시키고 우주 정거장에 필요한 환경 조건을 유지할 때 물에 의존한다. 물은 마시고, 음식을 준비하며 씻고 청결을 유지하는 데 필요하다. ISS는 영구 정거장이므로 물이 지속적으로 필요하다. 접을 수 있는 커다란 자루에 담긴 물을 우주 왕복선과 러시아 프로그레스 우주선이 궤도로 싣고 오는데, 이 작업에는 비용이 매우 많이 든다.

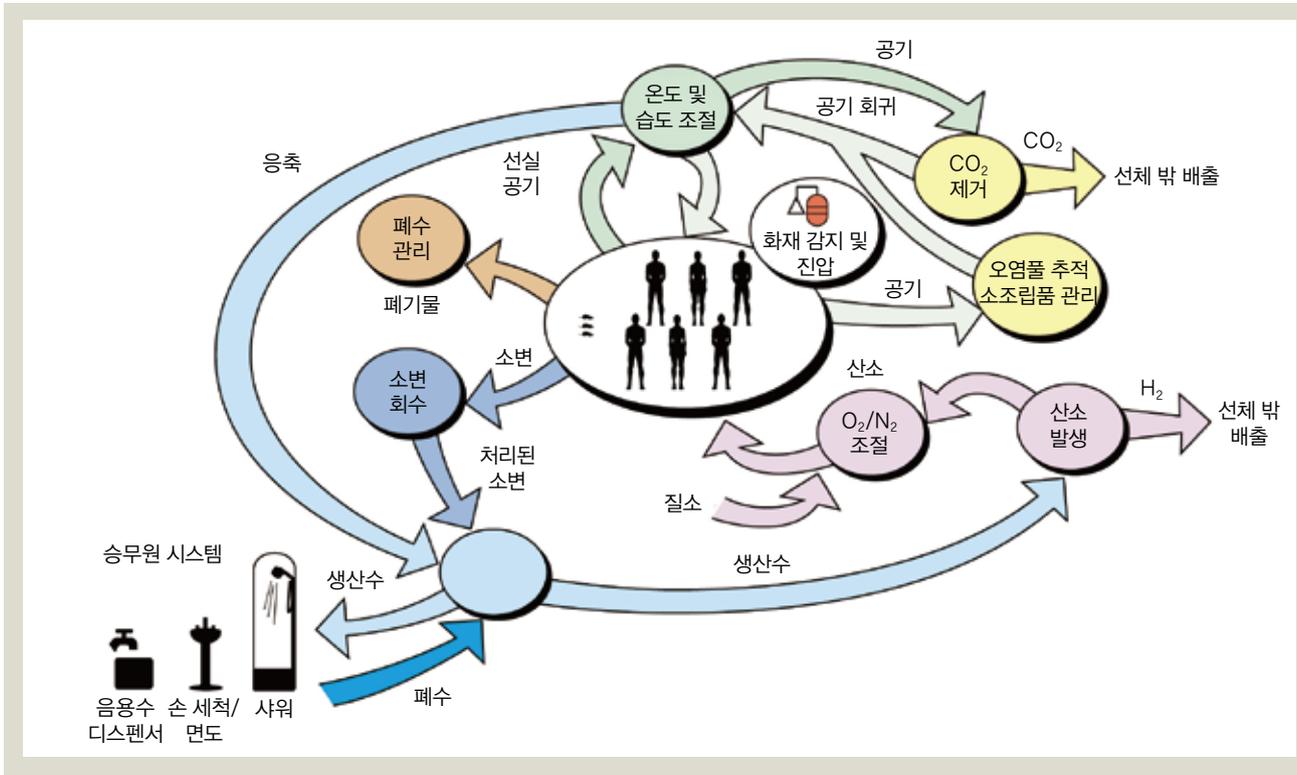
지구에서는 아무 것도 아닌 물 1L를 발사하는 데 드는 비용이 약 22,000달러가 된다. ISS에 있는 비행사 여섯 명을 위해 연간 6,800L 정도의 물을 1억 5천만 달러의 비용을 들여 발사한다. 이 문제를 해결하기 위해서는 그곳에 있는 물을 다시 사용할 수 있도록 재활용해야 하는 것이다.

국제 우주 정거장에는 수집하여 재활용할 수 있는 폐수가 많이 나온다. 주요 폐수는 다음과 같다.

- 소변
- 승무원 호흡으로 인하여 생긴 물
- 연구용 동물
- 식물의 작용으로 생기는 발산과 “사용된” 영양소 용액
- 세척(위생 및 식품 세척)
- 땀

ISS 폐수를 처리할 때에는 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS)이라고 하는 복잡한 다기능 시스템이 사용된다. 냉장고 세 대 크기인 ECLSS는 다음과 같은 다양한 환경 관리 기능을 수행한다.

- 신진대사에 필요한 산소 제공
- 마실 물, 음식 준비, 위생용 음용수 제공
- 우주선내 공기에서 일산화탄소 제거
- 우주선내 공기에서 미립자와 미생물 여과
- 우주선내 공기에서 휘발성 유기 미량 기체 제거
- 우주선내 공기를 모니터링하여 질소, 산소, 이산화탄소, 메탄, 수소, 수증기의 부분적인 압력 조절
- 우주선내의 전체 압력 유지
- 우주선내 온도와 습도 유지
- 우주선내 공기를 연결된 모듈 사이로 분배



국제 우주 정거장의 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS). 파란색 살표는 1차 폐수 처리 흐름을 나타낸다. 초록색 화살표는 대기에서 물을 재확보하는 것을 나타낸다.

ECLSS의 물 회수 시스템은 소변 처리 장치와 물 처리 장치로 구성된다. 모아둔 승무원과 실험실 동물의 소변은 소변의 물 증발 속도를 높이는 저압 증류 과정을 거친다.(물 재활용의 측면에서 전체 쥐 72마리의 소변 생성량은 사람 한 명에게서 나오는 양에 해당한다.) 진공은 소변에서 물이 증발하는 속도를 높여준다. 증발된 물을 모아 추가 처리를 하면 화학 물질과 미립자 오염물이 남는다.

소변 처리 장치에는 증발하는 소변을 원심 분리하는 회전 셀이 있다. 이 장치를 사용하면 소변에서 기포, 섬유를 쉽게 분리할 수 있다. 지구에서는 비슷한 시스템이 중력을 이용해 소변을 필터에 걸러 대형 고형물을 제거하는데, 이때 기포가 맨 위로 올라간다. 그러나 ISS의 마이크로중력 환경에서는 다른 방법이 필요하다. 회전 증류 셀은 원심 가속을 통해 인위적인 중력을 만들어낸다. 기포가 셀 중앙으로 이동하면 소변이 밖으로 빠르게 배출된다. 회전 셀의 효과는 세탁기가 회전할 때 회전 드럼 벽에 있는 구멍으로 물만 빠져나가고 옷은 그대로 남는 경우와 아주 비슷하다.

소변 처리 장치에서 나온 생산수가 다른 ISS에서 발생된 폐수에 더해진다. 다른 폐수 공급원에도 처리 전 물에서 분리해야 하는 다양한 물질과 기포가 있으므로 동일한 회전 셀 과정을 거쳐 전체 폐수를 여과해야 한다.

그런 다음 전체 폐수는 일련의 여과장치를 거쳐 물 처리 장치로 보내져 추가로 정화된다. 미립자 필터를 통과한 후에는 다섯 개의 연속 여과장치를 통과한다.

첫 번째 여과장치인 활성탄(AC)은 폐수에서 더 큰 유기 화합물을 제거한다. 나머지 여과장치 네 개는 서로 다른 이온 교환 수지(IRN)로, 무기 이온(전하를 띤 원자)과 소형 유기 분자를 제거한다.

그 다음 폐수 처리 단계인 휘발성 제거 장치(VRA)에서 나머지 모든 유기 화합물이 제거된다. 이 장치는 백금 촉매를 입힌 구체로 채운 상.bed)이다. 유기물은 산소가 있는 고온에서 CO₂로 산화된다. 추가 이온 교환 수지로 물의 pH를 중성(7pH)으로 되돌린다. 물은 마지막으로 요오드를 입힌 이온 수지가 들어 있는 미생물 역행 방지판(MCV)을 통과한다. 요오드가 물에 녹으면서 물 저장 탱크 내에서 미생물의 성장을 제한하는 살생물제 역할을 한다.

물 처리의 마지막 단계는 전기 전도 센서를 이용해 물의 순도를 확인하는 일이다. 순도가 좋지 않으면 물을 시스템에 다시 통과시켜 더 처리한다. 순도 시험을 통과한 물은 승무원이 사용할 수 있도록 저장 탱크로 보내진다.

ISS의 물 회수 시스템은 폐수에 들어 있는 물의 평균 93%를 회수 할 수 있다. 소변 구성요소의 약 15%는 버려야 할 고염도 액체로서 시스템에서 보관한다.

이러한 소변 손실은 대기 응축 및 소변 이외 폐수를 100% 가까이 회수함으로써 상쇄된다. 물 회수를 통해 승무원 작업을 지원하기 위해 우주로 발사해야 할 물의 양을 크게 줄일 수 있다. 이렇게 절약되는 발사 질량은 다른 ISS 작업을 지원하는 데 사용할 수 있다.

:: 달에 맞는 물 재활용 시스템 개발시 고려사항

나중에 달에서 물이 발견되든, 발견되지 않은 상관없이 미래의 달 기지에는 물 재활용 시스템이 필요할 것이다. 맨 처음 물을 가져가는 일과 간헐적으로 물을 보충하는 일을 제외하고, 달의 폐수 재활용 시스템은 최대한 폐쇄회로 방식이어야 한다. 이 시스템은 사용된 물의 다음 세 가지 주요 공급원을 식수 상태로 되돌릴 수 있어야 한다.

1. 소변 - 사람이나 동물의 신장을 통해 분비되는 소변에는 요소, 질소가 많이 포함된 화합물, 용존 소금, 유기 화합물 등 세포의 생명 작용으로 생성되는 수많은 폐성 화합물이 들어 있다. 소변의 약 95%는 물이다.
2. 대기 응축물 - 호흡을 통해 공기로 직접 배출되는 수분과, 땀에서 나와 달기지 대기로 증발되는 물
3. 위생용 물 - 개인 위생(샤워, 손 씻기, 양치질, 빨래, 설거지)과 음식 준비

사용된 물 공급원이 하나 더 있을 가능성이 있다. 배설물을 제거하기 위해 변기에서 흘러보내는 물이 그것이다. 이 공급원의 물 처리가 매우 어렵기 때문에 대안을 찾고 있는 중이다.

ISS에서 사용되는 것과 비슷한 물을 쓰지 않는 변기가 있다. ISS에서는 소변과 대변을 별도의 용기에 모아서 소변은 물 회수 시스템으로 보내고, 대변은 다공성 자루에 담아 진공으로 건조시킨다. 대변 자루를 정기적으로 비우고 정거장에 도킹되어 있는 로봇 공급 우주선에 다른 ISS 폐수와 함께 둔다. 공급 우주선이 지구로 돌아갈 때 대변 폐수가 대기권 재돌입 시 분해된다.

달에서 대변을 폐기하는 일은 ISS에서보다 더 어려울 것이다. 대기권에 재돌입할 때 폐기하는 일

이 불가능하다. 새로운 대안에는 건조 과정을 통해 대변을 안정화하는 작업이 포함될 것이다. 이 시나리오에서는 건조된 고형물은 저장되고 추출된 물은 물 회수 시스템에 들어갈 유입수가 될 것이다.

세 가지 주요 인적 폐수는 물 재활용 시스템 설계자들에게 상당히 어려운 정화 과제를 안겨 준다. 세 가지 폐수가 합쳐지면 폐수에 다음과 같은 오염물이 더해진다.

:: 염류(나트륨과 염화 이온)

염류는 소변의 주요 구성요소이다. 사람은 삼투압 조절(유기체의 물 함유량 유지 과정)을 위해 소변으로 잉여 염분을 배출한다. 염분과 염분이 삼투압 조절에 끼치는 영향 때문에 사람이 소금 물이나 소변을 마실 수 없는 것이다.

이러한 폐수의 원인이 되는 나머지 물질과 달리 염류는 생물학적인 처리 과정을 거쳐 제거할 수 없다. 증류나 여과(고압을 이용해 액체를 아주 작은 구멍이 있는 필터를 통과시키는 것)로 폐수에서 염분이 분리되지만, 두 방법 모두 외부 에너지(예 : 지구에서 증발을 발생시키는 태양)가 필요하다.

:: 유기물

유기물은 물의 풍미(맛, 색, 냄새)에 영향을 준다. 어떤 유기 화합물은 맛이 좋지 않고 어떤 것은 좋다(예: 설탕). 일반적으로 물속의 유기물 함유량은 낮아야 한다.

그렇지 않으면 음용수 저장 탱크에 박테리아가 증식해 질병이 퍼지거나 악취가 나거나 좋지 않은 맛이 날 수 있다. 유기물은 생물 반응 장치에서 미생물로 분해하여 처리할 수 있다.

이 처리 방법에서는 유기 화합물이 일산화탄소로 변한다(사람이 호흡할 때 유기물을 연소시켜 CO₂를 배출하는 것도 이와 같은 방식임).

유기물을 처리하는 다른 방법에는, 자외선 복사와 티타늄 이산화물 촉매를 사용하는 화학적 전환과 활성탄 같은 물질로 유기 미립자를 흡수하는 방법이 있다.

유기물은 세 가지 주요 수원에서 발견되지만 조성과 농도는 다르다.

대기 응축물에는 휘발성 유기 화합물이 적게 들어 있다. 소변에는 요소(아래 암모니아 참조) 이외의 유기물은 비교적 적게 들어 있지만 호르몬과 잔여 약물 같은 생물 활성 물질이 소량 들어 있을 수 있다. 위생용 물에는 인체에서 행구어진 유기물과 세정 시 사용한 계면활성제(비누)가 상당량 들어 있다.

:: 미생물

미생물도 맛, 색, 냄새에 영향을 끼치는 문제이기는 하지만, 보다 중요한 사실은 이것이 질병의 원인이 될 수 있다는 점이다. 일부 원생동물은 위장 장애를 야기할 수 있다.

요로 감염이 있는 경우가 아니라면 인체에서 배출되는 소변에는 미생물이 없으며 위생용 물에 들어 있는 미생물은 비교적 적은 수준이다.

물론 사람의 피부와 내장에는 다양한 미생물이 소량 있을 수 있다.

대기 응축물에는 미생물이 거의 없지만 우주선 내부에 있는 일반 식물로 오염될 수는 있다.

:: 암모니아

암모니아는 폐수에서 흔히 발견되는 비교적 독특한 화합물이다. 동물은 잉여 질소를 암모니아로 배출하며, 사람은 소변으로 요소(기본적으로 서로 결합되어 있지만 소변이 인체 밖으로 배출되면 바로 분리되는 두 개의 암모니아 분자) 형태의 암모니아를 배출한다. 암모니아는 휘발성이기 때문에 독특할 뿐만 아니라, 생물학적으로 활성 상태이다. 암모니아는 휘발성이기 때문에 증류 과정을 통과할 수 있고, 후기 처리 단계에 사용되는 특정 박테리아는 암모니아를 질산염으로 산화시켜 에너지를 얻을 수 있다. 일부 박테리아는 암모니아를 질산염으로 변환시켜 에너지를 얻을 수 있다. 이러한 박테리아를 처리에 사용해 폐수에서 암모니아 형태를 제거할 수 있다.



Moon water
recycling system





물을 정화시키는 방법에는 미립자, 이끼, 미생물 등을 이용하는 방법과 폐수에 녹아있는 일부 화학 물질을 제거해주는 필터를 이용하는 방법 등이 있다. 이 차시에서는 학생 팀이 여과재로 사용할 수 있는 재료를 직접 수집하고, 이를 이용하여 표준화된 방식으로 측정된 폐수의 양을 정화할 수 있는 지에 도전하는 활동이다.



학습 목표

수질 검사를 통해 다양한 여과재의 효과를 측정하여 모의 폐수의 수질을 개선할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

커피 필터 바스켓(팀별 1개), 바스켓에 끼울 종이로 된 커피 필터 10개, 500mL 비커 두 개, 소형 깔때기, 모의 폐수, 모의 폐수를 담은 플라스틱 우유병(내용물을 비우고 세척한 것), 물 시험용 키트, 시험할 다양한 후보 여과재, 접시저울 또는 전자저울



이렇게 준비해요

【모의 폐수 만들기】

- ① 수돗물 600mL를 실린더나 플라스크에 넣는다.
- ② 물이 든 실린더나 플라스크에 성분을 추가한다.
가정용 암모니아 세정제 - 30mL, 베이킹 소다 - 2g
가는 소금 - 1g, 흰색 식초 - 2mL, 베이비 샴푸 - 6mL
- ③ 실린더나 플라스크 내용물을 살살 섞는다. 세게 젓거나 흔들면 계면활성제의 거품이 일어난다. 거품이 생기면 거품이 가라앉을 때까지 용액을 그대로 둔다.
- ④ 수돗물을 조심스럽게 넣어 폐수의 양을 1리터로 만든다.

【물 시험용 키트】

물 시험용 키트로는 pH 시험 키트, 암모니아 수질 측정기 키트, 전도 측정기, 용존 산소 측정기 또는 시험 키트 등이 있다.





핵심 단어

- **여과** : 액체와 고체가 혼합된 물질을 입자의 크기 차이를 이용해 분리하는 방법이다.
- **활성탄** : 흡착성이 강하고, 대부분의 구성 물질이 탄소질로 된 물질로, 흡착제로 기체나 습기를 흡수시키는데, 또는 탈색제로 사용된다.
- **규조토** : 규조의 유해로 만들어진 연질의 암석과 토양을 말한다.



활동 내용

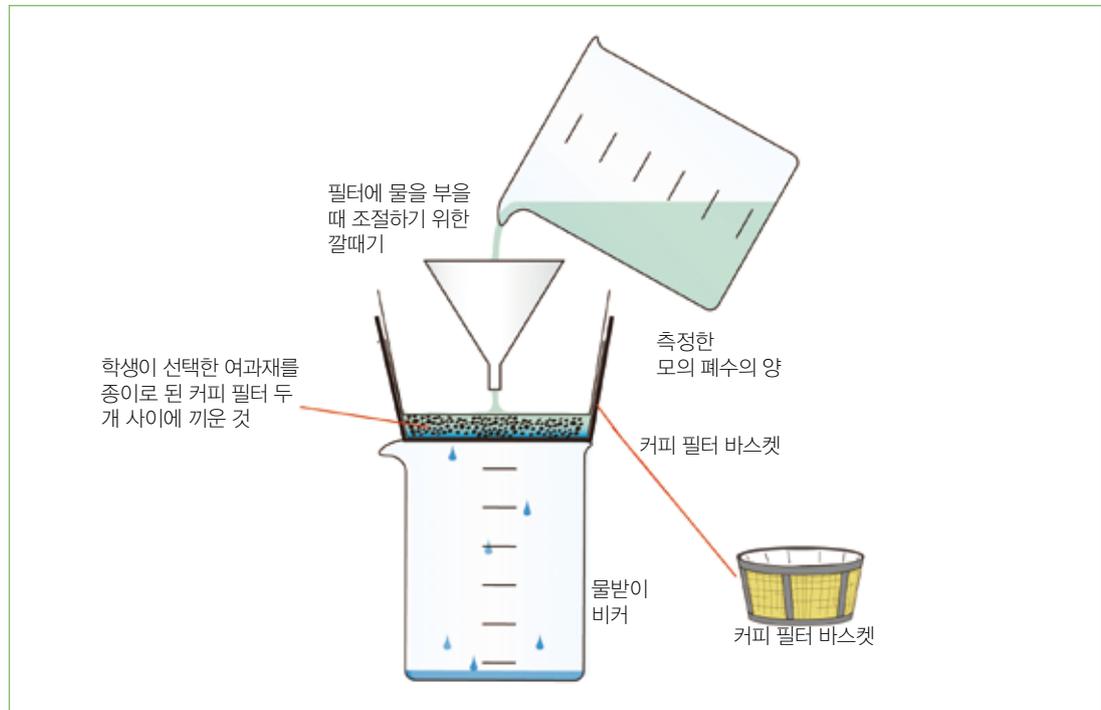
【실험 준비】

1. 학생 팀당 모의 폐수 1L를 준비한다.
2. 학생들과 173페이지에 나오는 수질 검사 절차를 검토한다.
3. 학생 팀에 커피 필터 바스켓과 바스켓에 끼울 커피 필터 10개를 나눠준다.

【실험 방법】

1. 종이로 된 커피 필터 두 개를 커피 필터 바스켓에 끼운다. 수돗물 250mL를 바스켓으로 흘려 필터를 적시고 흘러나오는 물은 버린다.
2. [실험 1] : 모의 폐수 250mL를 깔때기로 천천히 붓는다. 173페이지 검사 절차에 따라 실험 자료를 수집하고 결과를 기록한다.
3. [실험 2] : 새 종이 필터를 커피 필터 바스켓에 끼워 시험할 여과재 층의 깊이가 1cm가 되도록 고르게 펴준다.
여과재에 두 번째 종이 필터를 덮는다. 종이와 여과재를 조심해서 제거한 후 총 질량을 측정하고 그 결과를 기록한다. 필터를 바스켓에 다시 넣고 여과재의 깊이가 1cm 되도록 고르게 편다. 수돗물 250mL를 바스켓에 천천히 붓고 아래의 비커에 모인 물을 버린다. 실험 1에서 한 것과 같이 모의 폐수 250mL를 필터에 붓고 물을 검사한다. 결과를 기록한다. 종이와 여과재를 제거하여 그 질량을 측정한 후 남아 있는 물의 양을 확인하고 그 결과를 기록한다.
4. [실험 3] : 다양한 여과재를 이용해 [실험 2] 단계를 반복하고 결과를 기록한다.





【결과 분석】

1. 차트를 만들어 각 시험에서 나온 결과를 표시한다.
2. 토의를 실시하여 각 팀의 결과를 서로 공유한다. 동일한 여과재로 실험한 팀의 데이터를 표로 만들어 평균을 낸다.

【추가 실험】

게시한 결과를 토대로 각 팀은 다중 여과 시스템을 설계, 실험한다(필터 설치 방법은 전과 같지만 종이 필터, 여과재, 종이 필터, 여과재, 종이 필터 등의 순서로 필터를 쌓음). 그리고 결과를 발표한다.

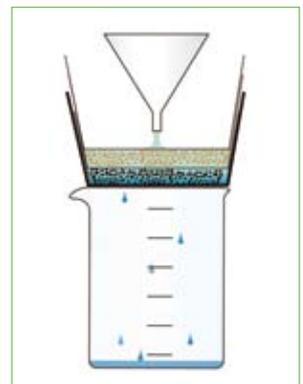
【생각해보기】

Q : 종이 필터 두 장을 사용하는 이유와 물을 깔때기로 천천히 붓는 이유는?

A : 커피 필터 바스켓에는 양쪽 측면과 바닥에 망 구멍이 있다. 깔때기에 물을 천천히 부으면 물이 바스켓 측면으로 이동해 여과재를 벗어나 흐르지 않게 된다. 맨 위에 있는 종이 필터는 물을 붓는 힘에 의해 여과재에 구멍이 생기지 않도록 해주어 물이 여과되지 않고 직접 통과되는 일을 방지한다.

Q : 종이 필터만 별도로 실험한 이유는?

A : 이는 필터 종이가 모의 폐수에 영향을 줄 경우를 대비하는 예방조치이



다. 종이를 별도로 실험하는 것은 데이터 비교를 위한 기준이 된다.

Q : 달에서는 어떤 여과재를 사용할 수 있을까?

A : 달 표면은 수십억 년에 걸쳐 소행성 및 운석과 충돌해 형성된 두꺼운 암석 가루 층으로 덮여 있다. 이 층을 표토라고 하는데, 주로 달 표면 전체에서 발견되는 화강암에서 나온 것이다. 아주 오랜 세월 동안 이루어진 운석 충돌로 화강암이 분쇄되어 표토가 퇴적되었다. 아폴로 우주 비행사들이 가져온 달 표토 표본으로 표토는 짙은 회색 분말과 예리한 작은 암석 조각이 섞여 있다는 것이 밝혀졌다. 표토는 구멍이 매우 많아 양이 적어도 표면적은 넓다.

Q : 시험한 여과재 중 달에서 가장 효과적일 것으로 생각되는 것은?

A : (개별 응답) 학생들은 폐수의 여러 측면을 정화하는 여과재의 효과와 더불어 여과재의 질량도 생각해야 한다. 여과재를 달에서 찾을 수 없다면 달로 가져가야 할 것이다. 이럴 경우 운송 비용 때문에 질량이 적게 나가는 재료가 좋겠다.

【평가】

학생 팀은 차트에 시험 데이터를 표시한다.

【심화 학습】

1. 각 여과재 시험에는 1cm의 여과재 층이 사용되었다. 층이 두꺼울수록 좋지 않을까? 학생들에게 각 여과재 최적의 두께를 확인할 수 있는 연구 계획을 준비하게 한다.
2. 시험에 쓸 연못물을 몇 리터 준비한다. 연못물을 만질 때에는 주의해야 한다. 보안경을 써야 하고 만진 후에는 손을 씻는다. 연못물은 냄새가 날 수 있다. 다양한 여과재가 냄새에 효과가 있을까? 처리하지 않은 연못물과 처리한 연못물을 비교한다.
3. 입체 현미경이 있는 경우 학생들에게 여과재 입자 표면의 질감과 구멍을 보고 설명하게 한다. 여과재의 물리적 관찰 결과와 물 정화 효과를 비교한다.

【물 재순환 시스템 설계 도전과제 참고 사항】

여과된 물의 분석 결과만으로 특정 여과재가 가장 효과적이라는 결론을 내리기 쉽다. 지구에서 작동되도록 만든 시스템이라면 맞을 수 있지만 달에서는 다른 여과재가 더 효과적일 수도 있다. 달 시스템에 필요한 질문은 여과재를 교체하기 전까지 몇 번이나 사용할 수 있는가에 관한 것이다. 고성능 필터를 한 번만 사용하고 교체해야 한다면 문제가 된다.

필터를 계속 교체하는 데 사용되는 시간 외에도 지구에서 계속해서 다시 공급하는 운반 및 비용 문제도 있다. 팀에서 물 재활용 시스템 설계 도전과제에 사용할 여과 형태를 찾을 때 사용할 재료의 수명 주기를 잘 고려해야 한다. 장기적인 효과를 확인할 수 있도록 재료를 여러 번 시험해야 할 것이다. 폐수 비용을 절감하기 위해 재료 재생 방법(예: 열을 이용해 부착된 오염물 제거)도 고려해야 한다.





지도상 유의점

1. 학생들에게 사용할 여과재를 직접 조사하게 한다. 각 팀은 실험에 사용할 한두 개의 여과재를 찾아야 한다. 수족관과 수영장 매장 그리고 상수도 처리 시설 직원에게서 여과재로 사용할 재료에 관한 자문을 들 수 있다. 이러한 사업체에서 사용되는 상업용 재료로는 활성탄, 제올라이트, 다공성 자갈, 규조토 등이 있다. 원예 관련업체에서 입자 크기가 다양한 모래와 자갈 및 화산암 조각을 구할 수 있다. 화강암은 천 자루에 넣고 망치로 찢어 모래로 만들 수 있다.
2. 사용한 여과재는 나중에 정원에 뿌려 재활용할 수 있다.

Moon water
recycling system





여과를 통한 물의 재활용

학년 반 이름

도전과제

수질 검사를 통해 다양한 여과재의 효과를 측정하여 모의 폐수의 수질을 개선하기



여과를 통해 수질을 개선하여 물을 재활용하는 방법에는 어떤 것이 있을까요? 또한 여과를 통해 개선된 수질은 여과 전과 비교했을 때, 어느 정도 효과가 있을까요?



이것이 필요해요

커피 필터 바스켓(팀별 1개), 바스켓에 끼울 종이로 된 커피 필터 10개, 500mL 비커 두 개, 소형 깔때기, 모의 폐수, 모의 폐수를 담은 플라스틱 우유병(내용물을 비우고 세척한 것), 물 시험용 키트, 시험할 다양한 후보 여과재, 접시저울 또는 전자 저울



핵심 단어

- **여과** : 액체와 고체가 혼합된 물질을 의 크기 차이를 이용해 분리하는 방법
- **활성탄** : 흡착성이 강하고, 대부분의 구성 물질이 질로 된 물질로, 흡착제로 기체나 습기를 흡수시키는데, 또는 탈색제로 사용
- : 구조의 유해로 만들어진 연질의 암석과 토양



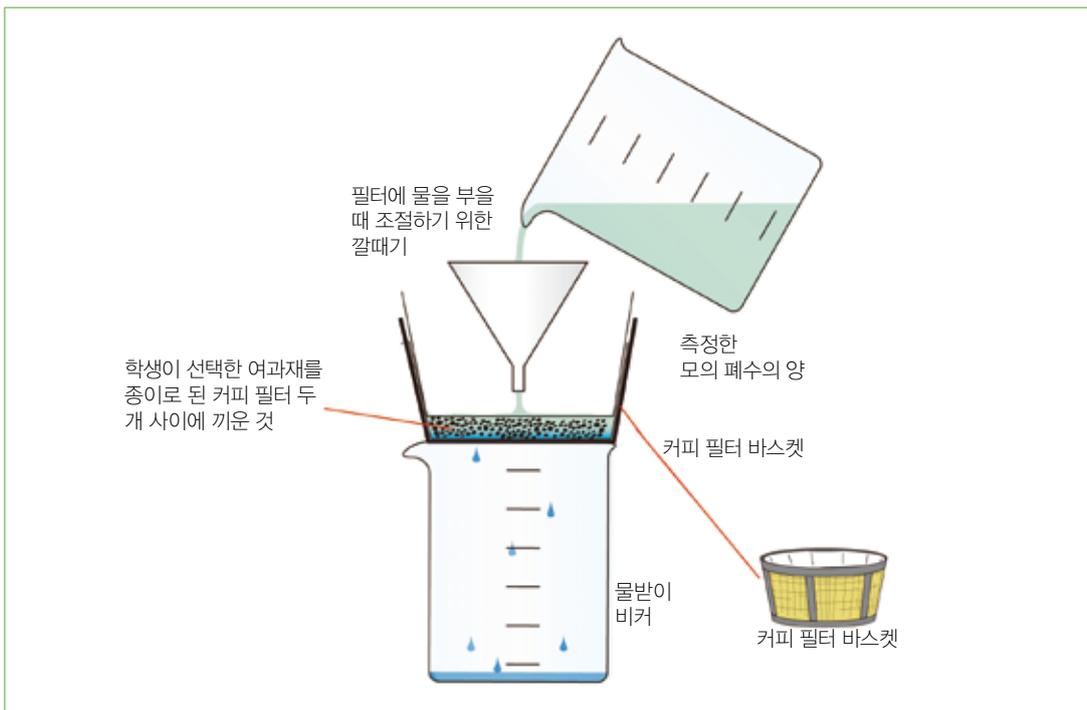
활동 순서

1. 학생 팀당 모의 폐수 1L를 준비합니다.
 - ① 수돗물 600mL를 실린더나 플라스크에 넣습니다.
 - ② 물이 든 실린더나 플라스크에 성분을 추가합니다.
가정용 암모니아 세정제 - 30mL, 베이킹 소다 - 2g
가는 소금 - 1g, 흰색 식초 - 2mL, 베이비 샴푸 - 6mL
 - ③ 실린더나 플라스크 내용물을 살살 섞습니다. 세게 젓거나 흔들면 계면활성제의 거품이 일어납니다. 거품이 생기면 거품이 가라앉을 때까지 용액을 그대로 둡니다.
 - ④ 수돗물을 조심스럽게 넣어 폐수의 양을 1L로 만듭니다.



Moon water recycling system

2. 종이로 된 커피 필터 두 개를 커피 필터 바스켓에 끼웁니다. 수돗물 250mL를 바스켓으로 흘려 필터를 적십니다. 물을 버립니다.
3. [실험 1] : 모의 폐수 250mL를 깔때기로 천천히 붓습니다. 173페이지 검사 절차에 따라 실험 자료를 수집하고 결과를 기록합니다.
4. [실험 2] : 새 종이 필터를 커피 필터 바스켓에 끼워 시험할 여과재 층의 깊이가 1cm가 되도록 고르게 펴줍니다. 여과재에 두 번째 종이 필터를 덮습니다. 종이와 여과재를 조심해서 제거한 후 총 질량을 측정하고 그 결과를 기록합니다. 필터를 바스켓에 다시 넣고 여과재의 깊이가 1cm 되도록 고르게 펴줍니다. 수돗물 250mL를 바스켓에 천천히 붓고 아래의 비커에 모인 물을 버립니다. 실험 1에서 한 것과 같이 모의 폐수 250mL를 필터에 붓고 물을 검사합니다. 결과를 기록합니다. 종이와 여과재를 제거하여 그 질량을 측정 후 남아 있는 물의 양을 확인하고 그 결과를 기록합니다.
5. [실험 3] : 다양한 여과재를 이용해 [실험 2] 단계를 반복하고 그 결과를 기록합니다.





활동 결과

♣ 실험 1과 실험 2를 실시하고, 그 결과를 아래 표에 기록합니다.

	폐수의 양(ml)	걸러진 액체의 양(ml)	실험 전 필터 및 여과제의 총질량(g)	실험 후 필터 및 여과제의 총질량(g)
실험 1				
실험 2				

♣ 다양한 여과재를 이용해서 실험 3을 실시하고, 그 결과를 아래 표에 기록합니다.

여과제의 종류	폐수의 양(ml)	걸러진 액체의 양(ml)	실험 전 필터 및 여과제의 총질량(g)	실험 후 필터 및 여과제의 총질량(g)



생각해요

♣ 실험으로 알아낸 결과를 바탕으로 다중 여과시스템을 설계하여 설명하고, 그림으로 나타냅니다.





【읽을 거리】

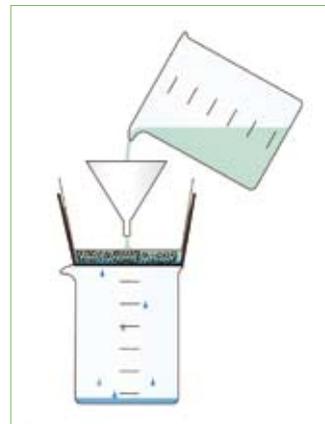
여과를 이용한 물의 재활용

물을 재활용 방법에는 미립자, 이끼, 미생물을 이용하거나 폐수에 녹아 있는 일부 화학물질을 제거할 수 있는 필터에 의한 여과 시스템을 사용한다. 필터는 그 조직의 미세망의 구멍 크기보다 큰 입자를 걸러낸다. 그리고 램 불편모충 같은 원생동물을 차단하기 위해서는 직경이 약 1/1000mm 이하의 구멍이 있는 다공성 세라믹을 사용할 수 있다.

어떤 필터의 소재는 특정 화학 물질에 대하여 친화력이 있기 때문에 그 효과를 이용할 수 있다. 어떤 필터는 공극사이의 표면적이 매우 넓어 유기물과 기타 화합물을 차단할 수 있기 때문에 효과적인 것도 있다. 활성 탄소는 표면적이 넓은 필터의 좋은 예이다. 분말 활성 탄소 1g은 구성 알갱이의 표면적은 약 500m²가 된다.

제올라이트 같은 소재로 만들면 특정한 한 가지 크기의 분자만 차단하고 다른 것은 통과시키는 특성을 가진 필터도 효과적이다. 제올라이트는 규소, 알루미늄, 산소로 만들어진 결정이다. 이 결정은 규토(해변 모래, SiO₂)와 알루미늄(산화알루미늄, Al₂O₃) 층이 교대로 구성되어 있어 육면체와 사면체 같은 다양한 기하학 형태에 사용할 수 있다. 제올라이트는 딱딱한 스폰지 같은 균일한 구조를 갖고 있으나 구멍이 매우 작다(예: 0.1~1.2nm(십억만 분의 1미터에 해당하는 길이 단위)). 이런 특성 때문에 이러한 무기 결정을 분자체라고 부르기도 하며 원자 크기의 알갱이들을 여과할 수 있는 역할을 하기도 한다.

여과용 재료는 특정 오염물에 따라 다를 수 있으므로 오수 처리에는 다중 여과상을 사용하는 경우가 많다. 재활용할 물은 한 번에 하나씩 다양한 필터를 통과하며 각 필터마다 특정 기능을 담당한다.



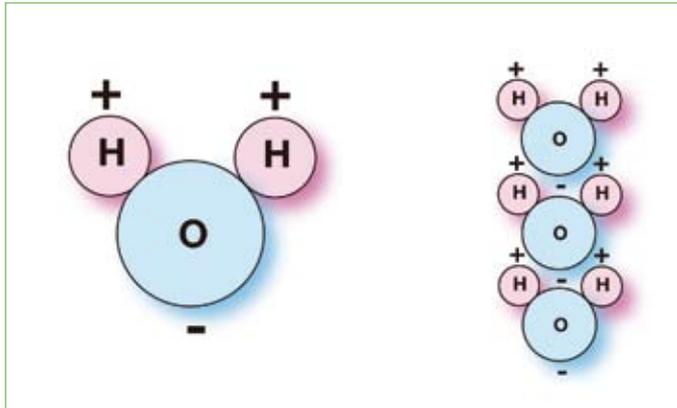
기적의 분자-물

수소 원자 두 개와 산소 원자 한 개가 결합해 물 분자를 이룬다는 것은 누구나 알고 있다. 이 결합은 유명한 H₂O 공식으로 표현된다. 양전하를 띠고 있는 수소 원자 두 개가 음전하를 지닌 산소 원자 양쪽에 배열되어 있다. 도식으로 보면 물 분자는 미키 마우스 머리 모양과 비슷하다. 이 배열은 놀라운 의미를 갖고 있다.

각각의 물 분자는 작은 자석 역할을 한다. 분자의 한쪽 측면은 양전하를, 반대쪽은 음전하를 띤다. 따라서 한 분자의 양극 쪽은 다른 분자의 음극 쪽을 당긴다. 이 때문에 두 분자가 결합되어 물이 점착성을 갖게 된다.

수소 개의 물 분자가 서로 끌어당겨 물방울이 형성된다. 물방울은 모든 분자의 전하가 물방울의 중심을 향해 서로를 당기기 때문에 모양이 원형이 된다.

H₂O

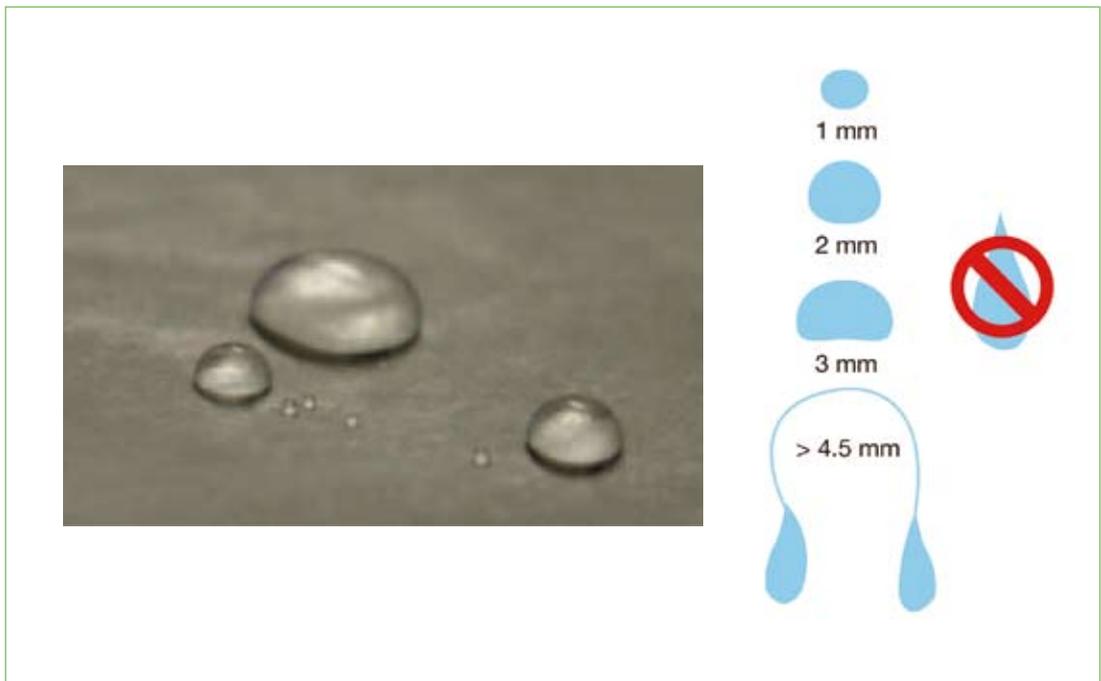


수소와 산소 분자의 배열이 양극 분자를 형성한다. 즉, 물 분자는 측면에 양극과 음극이 있어서 다른 물 분자의 반대쪽 극성을 끌어당길 수 있다.

중력 때문에 평평한 표면 위에 있는 큰 물방울은 가장자리는 원형을 유지하고 중간은 약간 올라간 상태이지만 납작하게 퍼지기 쉽다. 직경 2mm 이상의 물방울(빗방울)이 떨어질 때 공기 흐름에 의해 모양이 변한다. 물 분자들은 서로 달라붙으려는 점착성 때문에 물방울은 하나가 된다. 그러나 직경이 커지면 물방울 아래쪽 가장자리가 받는 압력 때문에 모양이 일그러 들면서 두 개의 방울로 나뉜다. 눈물방울 모양은 실제로 햄버거 빵 모양에 더 가깝다.

표면 장력에 의한 효과는 기름종이에 다양한 크기의 물방울을 올려놓고 보면 쉽게 관찰할 수 있다. 가장 작은 방울은 원형에 매우 가까우며 큰 방울은 약간 납작해진다.

표본을 회전시켜 지구 중력보다 큰 “인공 중력”을 만드는 장치인 원심 분리기에서는 물방울이 납작해진다. 반면 국제 우주 정거장은 지구 궤도를 돌고 있으며 이는 국제적인 협력으로 개발된 연구 실험 시설이다. 이 실험실에서는 자유낙하 환경에서조차도 아주 큰 물방울은 거의 완벽에 가까운 형태의 움직이는 구형을 이룬다.



Moon water recycling system





증류는 서로 다른 끓는점을 이용해 혼합물을 물리적으로 분리하는 과정이다. 이 활동에서는 가열 증류와 진공 증류 등의 방법을 이용하여 폐수에서 순수한 물을 분리해내는 실험을 하게 된다.

학습 목표

증류를 통해 다양한 물을 재활용하는 방법을 조사할 수 있다.

 해당 학년 중학교 1 ~ 2학년

 소요 시간 60분

이것이 필요해요

둥근 플라스크, 단단한 고무 마개, 구멍 한 개짜리 고무 마개, 링 스탠드와 고정 장치, ㄱ자 유리관, 글리세린 또는 액체비누, 행주 또는 장갑, 물, 식용 색소, 가는 소금, 약수저, 열원(분젠 가스 버너 또는 프로판 토치), 설거지통, 보안경

이렇게 준비해요

ㄱ자 유리관을 직접 만들 때에는 보안경과 장갑을 착용하고, 토치나 분젠 가스 버너로 유리관을 가열한다. 그리고, 유리관이 부드러워져 구부러질 때까지 돌려가며 가열한다.

한참 가열하다가 양손에 조금씩 힘을 주어 'ㄱ'자 모양이 되도록 서서히 구부린다. 이 때, 구부린 바깥쪽과 안쪽이 균일하게 열을 받아 둥근 관의 형태를 유지하도록 한다. 끝으로 만든 유리관을 핀셋 등으로 집어서 석면 철망이나 유리판 위에 놓고 식힌다.

핵심 단어

- 증류 : 끓는점의 차이를 이용하여 액체 상태의 혼합물을 분리하는 방법이다.
- 응축 : 기체가 액체로 변화하는 현상을 말한다.
- 감압증류 : 낮은 압력에서는 물질의 끓는점이 내려가는 현상을 이용하여 시행하는 분리법이다.

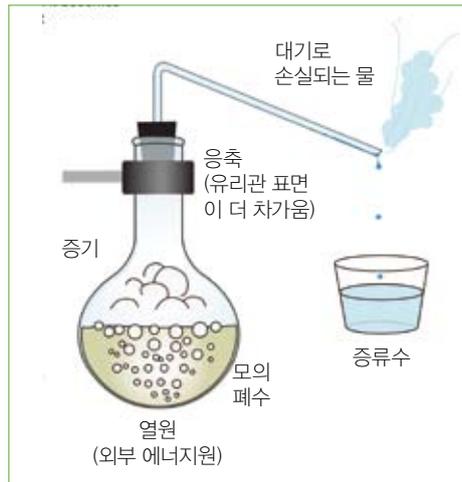




활동 내용

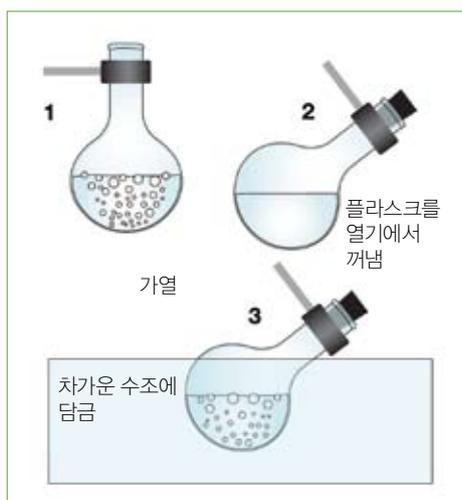
【가열 증류】

1. 아래 그림과 같이 가열용 플라스크를 준비해 가열 증류 과정을 시연한다. 먼저 T자 유리관을 구멍 하나짜리 고무 마개에 살짝 끼운다. 글리세린이나 액체비누를 조금 바르면 유리관이 매끄럽게 들어간다. 유리관이 깨질 경우에 대비해 유리관을 천으로 감싸 손을 보호하고 보안경을 쓰는 것이 좋다.
2. 수돗물을 플라스크에 절반까지 채운다. 식용 색소 몇 방울과 약수저로 소금 1스푼을 넣는다. 플라스크를 흔들어 오염물을 섞는다.
3. 플라스크 입구를 막고 그 위에 링 스탠드를 끼운다. 고무 마개가 끼워진 구부러진 유리관을 플라스크 입구에 넣고 유리관 밑에 컵을 놓아 응축된 물을 받는다.
4. 플라스크를 가열해 물을 끓인다.
5. 실험 과정에서 관찰한 내용을 기록한다. 플라스크 안의 물 모양과 끓기 시작할 때 어떤 일이 발생하는지 설명한다.
6. 냉각되어 컵에 모아진 응축수의 특성을 설명한다.



【감압 증류 시연하기】

1. 다음 그림들과 같이 플라스크를 설치한다. 플라스크에 담긴 물을 가열해 끓인다. 물이 어떻게 되는지 관찰한다.
2. 물이 보글보글 끓기 시작하면 플라스크를 꺼낸다. 끓지 않을 때까지 잠시 기다렸다가 고무마개로 플라스크를 즉시 밀폐한다.
3. 플라스크를 아주 차가운 물 속에 재빨리 담근다. 플라스크 안에 있는 물이 어떻게 되는지 관찰한다.
4. 학생들에게 달에서 감압 증류 시스템을 사용할 가능성이 있는지, 그리고 그 사용 방법에 대한 생각을 물어본다.



【생각해보기】

Q : 차가운 물에 담갔을 때 밀폐된 플라스크 안의 물이 다시 끓기 시작한 이유는 무엇인가?

A : 끓고 있는 동안 플라스크 속 물 위에 있는 공기가 가열되었다. 플라스크를 밀폐한 후에도 이 공기는 계속

뜨거웠다. 플라스크를 차가운 물에 넣었을 때 플라스크 내부의 공기 주머니가 냉각되었다. 공기가 냉각될 때 수축하면서 부분적인 진공 상태가 되었다. 플라스크 내부의 낮은 기압 때문에 다시 끓기 시작했다.

Q : 증류는 그 밖에도 어디에서 응용되고 있는가?

A : 증류는 중요한 물리적 과정이다. 휘발유와 등유 같은 석유 제품은 증류를 통해 원유에서 분류된다. 많은 알코올 음료는 증류 제품이고 향수와 다양한 화학 제품은 증류로 가공된다.

Q : 응축기의 효율을 높일 수 있는 방법은?

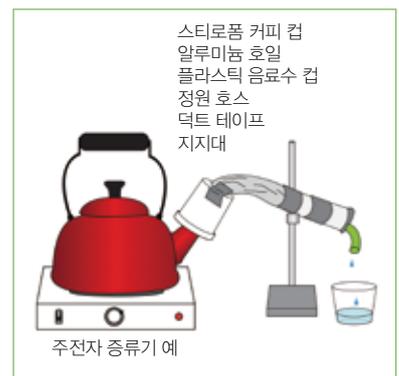
A : 응축기 효과가 좋으려면 응축할 증기가 들어갈 내부 표면이 넓고 차갑게 유지되어야 한다. 응축기의관이 길고, 내부 직경이 크며, 응축기의 관 주위에 차가운 수조가 있으면 효율이 향상된다.

【평가】

학생들에게 시연 중에 관찰한 내용을 기록할 일지를 만들게 한다. 향후 연구를 위한 질문과 달에서 사용할 수 있는 물 재활용 시스템에 관한 기본적인 생각을 적게 한다.

【심화 학습】

1. 진공 펌프와 진공 실험기를 이용할 수 있을 때에는 감압 증류를 쉽게 시연할 수 있다. 진공 실험기 안에 물 한 컵을 놓고 공기를 뺀다. 압력이 충분히 떨어지면 물이 끓는다. 진공 실험기에서 끓는 물을 즉시 꺼내고 학생에게 손가락으로 물이 실온인지 확인해 보라고 한다. 진공 실험기에 만들어진 증기를 수집하는 방법에 대해 이야기한다.
2. 학생들에게 성능이 좋은 주전자 증류기를 만들어보게 한다. 주둥이 마개가 없는(또는 마개 제거) 오래된 주전자를 준비한다. 학생들에게 주둥이에 부착할 수 있는 응축 장치를 설계하게 한다. 응축기를 주전자에 물리적으로 부착하면 안 된다. 알루미늄 포일, 바닥을 제거한 플라스틱 컵, 플라스틱 우유병, 호스, 기타 조각 재료를 가지고 응축기에 사용할 관을 만들 수 있다. 가스 레인지로 물을 가열한다. 동일한 주전자로 다양한 설계를 시험할 수 있다. 주전자에서 끓는 물로 만들어진 증기가 부력 때문에 주둥이에서 나와 위로 올라간다. 증기에 있는 물을 재빨리 획득하는 효율적인 응축기를 만드는 것이 목적이다. 각 응축기가 증기로 물 10ml를 응축하는 속도를 비교한다.



【물 재순환 시스템 설계 도전과제 참고 사항】

학생 팀은 달에 있는 잠재적 열원을 조사해야 한다. 태양 에너지가 당연히 있겠지만 그 외의 열원도 있을 수 있다. 태양 에너지는 낮 동안에 강렬하지만 밤에는 어떻게 될까? 태양 에너지가 주요 열원이라면 달 기지는 어

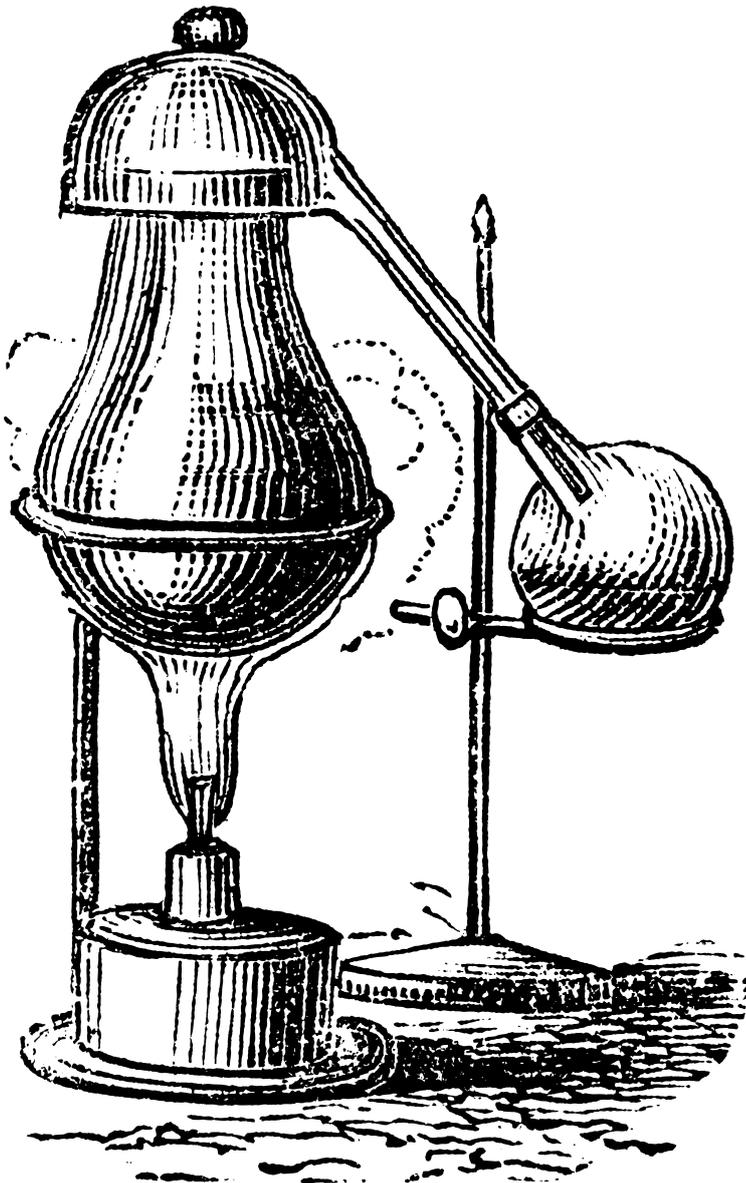
디에 있어야 할까? 또 다른 열원을 사용해야 할 경우에는 감압 시스템을 결합해 끓는 속도를 높일 수 있을까?



지도상 유의점

항상 적절한 실험실 안전 절차에 따라야 한다.

- ① 보안경을 착용한다.
- ② 유리관을 만지고 모양을 만들 때 손을 보호한다.
- ③ 증류수를 마시지 않는다.(교실에서 실험 중 오염될 가능성이 있음)





증류를 이용한 물의 재활용

학년 반 이름

도전과제

증류를 통해 다양한 폐수를 정화시켜 재활용하는 방법을 실험하기



증류는 물을 재활용하는 또 하나의 방법입니다. 가열 증류와 진공 증류의 두 가지 방법으로 실험하여 폐수가 어느 정도 정화될 수 있는지 알아보십시오.



이것이 필요해요

둥근 플라스크, 단단한 고무 마개, 구멍 한 개짜리 고무 마개, 링 스탠드와 고정 장치, ㄱ자 유리관, 글리세린 또는 액체비누, 행주 또는 장갑, 물, 식용 색소, 가는 소금, 약수저, 열원(분전 가스 버너 또는 프로판 토치), 설거지통, 보안경



핵심 단어

- 증류 : 의 차이를 이용하여 액체 상태의 혼합물을 분리하는 방법
- 응축 : 기체가 로 변화하는 현상
- 감압증류 : 낮은 에서는 물질의 끓는점이 내려가는 현상을 이용하여 시행하는 분리법



활동 순서

【가열 증류 실험】

1. 아래 그림과 같이 가열용 플라스크를 준비해 가열 증류 과정을 실험합니다. 먼저 ㄱ자 유리관을 구멍 하나짜리 고무마개에 살짝 끼웁니다. 이 때 글리세린이나 액체비누를 조금 바르면 유리관이 매끄럽게 들어갑니다. 유리관이 깨질 경우에 대비해 유리관을 천으로 감싸 손을 보호하고 보안경을 쓰는 것이 좋습니다.
2. 수돗물을 플라스크에 절반까지 채웁니다. 식용 색소 몇 방울과 약수저로 소금 1스푼을 넣습니다. 플라스크를 흔들어 오염물을 섞습니다.

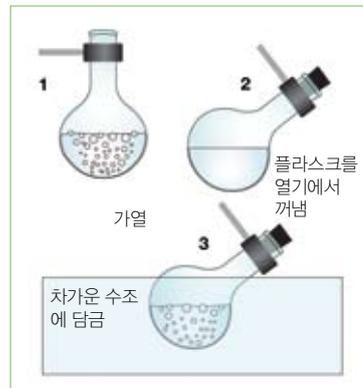


Moon water recycling system

3. 플라스크 입구를 막고 그 위에 링 스탠드를 끼웁니다. 고무마개가 끼워진 구부러진 유리관을 플라스크 입구에 넣고 유리관 밑에 컵을 놓아 응축된 물을 받습니다.
4. 플라스크를 가열해 물을 끓입니다.
5. 실험 과정에서 관찰한 내용을 기록합니다. 플라스크 안의 물 모양과 끓기 시작할 때 어떤 일이 발생하는지 설명합니다.
6. 냉각되어 컵에 모아진 응축수의 특성을 설명합니다.

【가열 증류 실험】

1. 오른쪽 그림과 같이 플라스크를 설치합니다. 플라스크에 담긴 물을 가열해 끓입니다. 물이 어떻게 되는지 관찰합니다.
2. 물이 보글보글 끓기 시작하면 플라스크를 꺼냅니다. 끓지 않을 때까지 잠시 기다렸다가 고무마개로 플라스크를 즉시 밀폐합니다.
3. 플라스크를 아주 차가운 물속에 재빨리 담급니다. 플라스크 안에 있는 물이 어떻게 되는지 관찰합니다.



【진공 실험장치 실험】

1. 실온 상태의 물을 한 컵 준비하고 온도를 측정합니다.
2. 진공 실험 장치 안에 물 한 컵을 놓고 공기를 뺍니다.
3. 진공 실험 장치에서 끓는 물을 즉시 꺼내고 온도계를 넣어 물의 온도를 측정합니다.



활동 결과

♣ 위의 설명과 같이 가열 증류를 실험하고 관찰한 내용을 기록합니다.

	관찰한 내용
플라스크 안의 물의 끓는 모습	
컵에 모아진 응축수의 특성	

♣ 위의 설명과 같이 감압 증류를 실험하고 관찰한 내용을 기록합니다.

관찰 관점	관찰한 내용
플라스크 안에서 관찰한 모습	
달에서는 어떤 진공 증류 시스템을 사용할 수 있을까?	

♣ 진공 실험 장치로 실험하고 물음에 답하십시오.

① 진공 실험기 안에 넣기 전에 물의 온도는 몇 도입니까?

② 진공 실험기 안의 공기를 빼고 물이 끓기 시작하면 컵을 즉시 빼내고 물의 온도를 측정합니다.
몇 도입니까?

③ 이 실험으로 알 수 있는 사실은 무엇입니까?



생각해요

♣ 각 팀별로 주전자 증류기를 만듭니다. 그리고, 주전자 마개에 부착할 수 있는 응축기를 설계하여 그 구조를 설명하고, 그림으로 나타냅니다.

• 응축기의 구조 :



Moon water recycling system



- 응축기의 설계도(나머지 부분을 그려 완성하시오.)



♣ 달 기지에 건설할 물 재활용 시스템과 관련지어 생각해보기

① 태양 에너지가 주요 열원일 때는 달 기지를 어디에 건설해야 할까요?

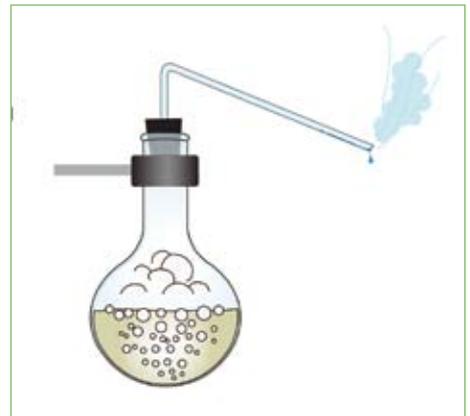
② 달 기지에서 다른 열원을 사용해야 할 경우, 저압 시스템을 결합하여 끓는 속도를 높여 물을 증류시킬 수 있을까요?



【읽을 거리】

증류란?

증류는 혼합물을 물리적으로 분리하는 과정이다. 용기 안에 두 가지 이상의 액체가 서로 혼합되어 있거나 액체와 고체가 혼합되어 있을 때 증류를 이용해 분리할 수 있다. 일반적으로 증류 과정은 용기 바닥을 가열하는 것으로 시작된다. 액체마다 끓는 온도가 다른데, 끓는점이 가장 낮은 액체가 먼저 끓거나 증발한다. 예를 들어 정상적인 조건에서 물은 100℃(212oF)에 끓는다. 세정에 사용되는 이소프로필 알코올은 끓는점이 82.3℃(180.1oF)이다. 물이 이소프로필 알코올로 오염된 경우에는 증류를 이용해 분리할 수 있다. 혼합물을 82.3℃~100℃ 사이로 가열하면 이소프로필 알코올은 증발하고 순수한 물만 남을 것이다. 증류할 때 증기는 혼합물 위의 공간에 모여 응축기를 통과한다.



일반적으로 응축기는 코일이 달린 관 모양을 하고 있으며, 저온에서 보관한다. 증기가 응축기를 통과할 때 냉각되어 원래 상태, 즉, 이 경우는 순수한 이소프로필 알코올로 응축된다.

소금물은 물과 소금, 즉 염화나트륨(NaCl)의 혼합물이다. 물과 혼합된 소금은 나트륨과 염화물 이온으로 분해된다. 소금물이 끓으면 응축액에서 순수한 물이 생성되고 남아 있는 나트륨과 염화물 이온은 다시 결합해 소금 결정이 된다. 소금물을 증류하는 것을 흔히 탈염이라고 한다.

소금물을 가열하려면 외부 에너지원이 필요하므로 플래시 증류라고 하는 과정이 크게 줄어들 수 있다. 주로 해안 지역에 위치하는 탈염 시설에서는 저열 및 저압을 결합한 방식으로 소금물을 재빨리 끓여 증기를 만든다. 대기압이 낮아도 물의 끓는점이 내려간다. 플래시 증류 시설은 100℃(212oF)보다 훨씬 낮은 온도로 물이 가열되는 커다란 진공실이다. 물이 낮은 온도에서 끓고 생성된 증기가 응축되어 모이면 음용수로 사용된다.

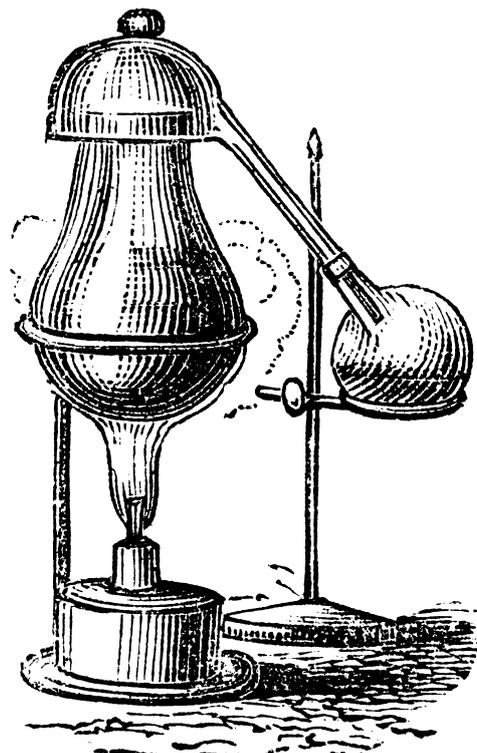
증류 속도를 높이는 방법으로 다른 하나는 주위 공기의 습도를 낮추는 것이다. 주위 공기에 들어 있는 증기를 바로 추출하여 액체로 응축하면 공기의 용량이 커져 더 많은 수증기를 받을 수 있게 된다. 따라서 증류 속도가 증가한다.

증류는 다양한 부문에서 응용되고 있다. 원유에서 휘발유와 기타 부산물을 분리할 때 사용되며, 특정 음료, 향수, 기름 생산에도 사용된다. 대형 선박과 잠수함에서 탈염 시설을 이용해 필요한 물을 공급하며 원자력에서는 생산된 잉여 열을 이용해 해수를 처리한다.



물의 특성

물의 특성	자료	주요 특성
밀도	1cm ³ 당 1g 또는 1mm당 1g, 4℃	밀도는 100℃에서 1cm ³ 당 0.95865g으로 떨어진다. 물이 얼면 밀도가 1cm ³ 당 0.9167g이 된다.
무게	1리터당 1kg (지구에서)	같은 1kg인 질량과 혼동하지 않도록 한다. 무게는 중력 환경에 따라 달라진다. 달에서 물 1L의 무게는 166g이 될 것이다.
빙점	0℃	물은 고체에서 바로 기체로 바뀔 수 있다(승화).
끓는점	100℃	끓는점은 고도가 높을수록 낮다. 해수면 4,270m에서는 끓는점이 86℃로 떨어진다.
Ph	7	물은 포함된 불순물에 따라 산성도 될 수 있고 염기성도 될 수 있다. 예를 들어 빗물은 대기에서 흡수된 이산화탄소(CO ₂) 때문에 약한 산성이다.
설명	액체, 고체 또는 기체 - 무미, 무취, 무색	물에 색, 맛, 냄새가 있다면 이러한 특성은 물에 들어 있는 불순물이나 유기 화합물이 그 원인이다. 물은 축열량이 크다.





지구에서는 중력이 있기 때문에 폐수를 필터에 통과시킬 수 있다. 마이크로 중력 상태에 있는 우주에서는 이런 일이 가능할까? 이번 차시에서는 학생들이 폐수에서 불순물을 강제 분리를 통해 분리해내는 방법을 조사하여 직접 실험해보고, 달 기지의 독특한 환경에서 사용할 수 있는 강제 분리 시스템을 고안해내는 활동을 하게 된다.



학습 목표

강제 분리 과정을 통해 다양한 물을 재활용하는 방법을 조사할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

깔때기 2개, 깔때기에 사용할 여과지, 학생들이 선택한 여과재(활성탄, 제올라이트, 모래 등), 큰 유리병 또는 2리터들이 음료수병 병에 끼울 구멍 두 개짜리 고무마개, 500mL 이상 비커 1개, 고무마개에 끼울 유리 또는 플라스틱 실험실용 관, 관에 끼울 수축관 공기 공급용 호스 또는 실험실 호스, 수축관 공기 펌프 또는 소형 수동 펌프(예: 풍선 펌프), 모의 폐수, 깨끗한 플라스틱 병에 담은 삼푸, 철사(베일링 또는 단심 구리), 짧은 빨랫줄 조각 또는 무거운 코드, BB탄 총알 또는 작은 자갈



이렇게 준비해요

모의폐수는 1차시에 나와있는 내용을 참고한다.(쪽) 그리고, 각기 다른 직경의 관을 연결할 수 있는 중간 연결 장치는 철물점에서 구입할 수 있다.



핵심 단어

- **원심력** : 원운동을 하고 있는 물체에 나타나는 관성력이다. 구심력과 크기가 같고 방향은 반대이며, 원의 중심에서 멀어지려는 방향으로 작용한다.
- **원심분리기** : 보통 모터를 이용하여 축을 중심으로 물질을 회전시켜서 원심력을 가하는 장치이다. 주로 혼합물을 그 밀도에 따라 분리해내는 도구로 사용된다.





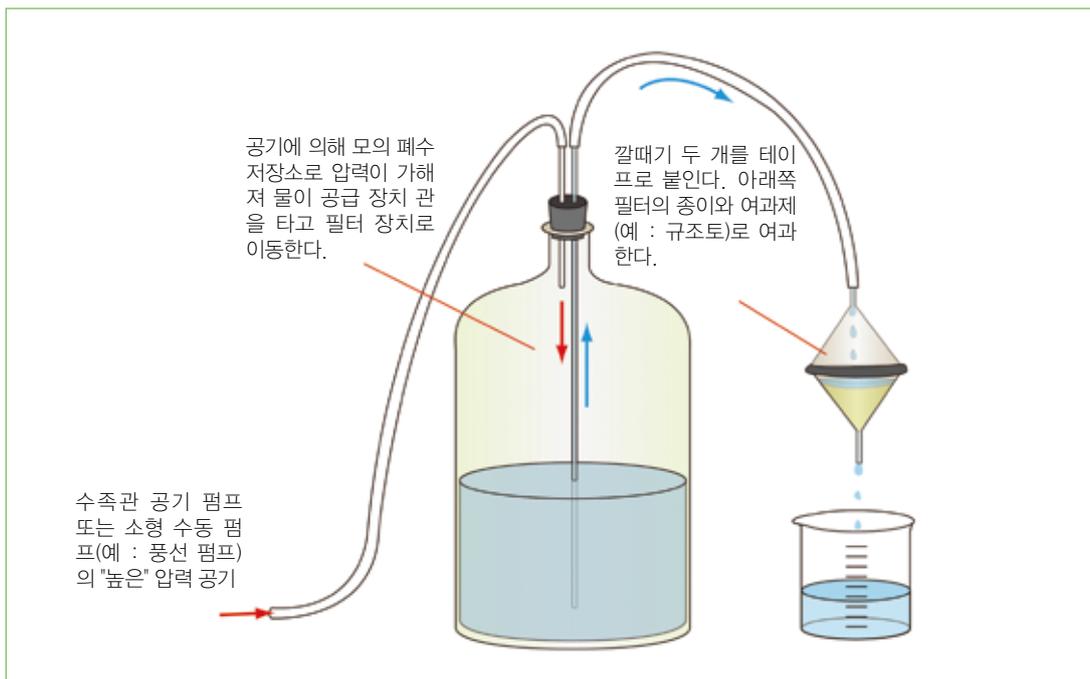
- **뉴턴의 제1운동법칙** : 관성의 법칙이라고도 불린다. 모든 물체의 질량중심은 그 상태를 바꿀만한 힘이 강제로 주어지지 않는 한, 정지 상태를 유지하거나 일정한 운동을 하여 진행 방향으로 계속 움직이는 상태를 유지하려는 성질이 있다는 법칙이다.



활동 내용

【압력 필터】

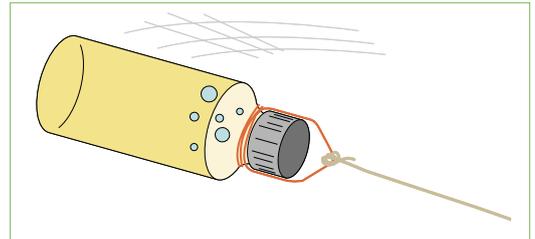
1. 종이 필터가 있는 깔때기를 준비한다. 일반적으로 종이 깔때기 필터는 원형이다. 필터를 반으로 두 번 접어 V자형을 만든다. 필터에 수돗물을 묻혀 필터 콘에 끼운다. 접은 부분 하나를 펴서 콘을 넓힌다.
2. 필터 종이에 선택한 여과재를 채운다. 이때 깔때기를 반드시 세워야 한다.
3. 첫 번째 깔때기에 두 번째 깔때기를 뒤집어 붙여 테이프로 잇는다. 공기가 새지 않도록 두 가장자리를 잘 밀폐한다. 이제 필터를 폐수 처리에 사용할 준비가 되었다.
4. 유리병이나 2리터들이 플라스틱 음료수병을 가지고 미리 처리한 폐수 통을 아래 그림과 같이 설치한다. 액체비누나 글리세린 같은 윤활제를 사용하면 관이 고무 마개에 잘 끼워진다. 관을 끼울 때 천이나 장갑으로 손을 보호한다.
5. 폐수통의 위쪽 깔때기 자루까지 관 출구에 호스를 연결한다. 테이프로 호스를 필터에 붙여도 된다. 호스를 단단히 고정한다.



6. 다른 호스를 짧은 관에 연결한다. 이것은 압력 라인이다. 이 호스의 반대쪽 끝을 수족관 공기 펌프나 소형 수동 펌프에 연결한다.
7. 폐수통에 모의 폐수를 일부분만 채운다. 물받이 비커를 필터 장치의 아래쪽 깔때기 출구 밑에 놓는다.
8. 공기 펌프를 켜거나 수동 펌프를 이용해 폐수통에 직접 공기를 넣는다. 펌프에서 나온 가압 공기가 폐수통의 폐수에 어떤 영향을 미치는지 관찰한다. 공기 압력에 의해 폐수가 긴 관을 타고 올라가 필터로 이동한다. 깔때기가 잘 밀폐되면 여과재 위의 공간에 압력이 형성되어 물이 빨려 들어간다. 이 압력은 중력에 의해 물이 여과재를 통과하는데 도움을 준다.

【원심분리기 시연하기】

1. BB탄 총알 또는 소형 자갈 열 개 정도를 깨끗한 샴푸 병에 넣는다. 병 마개를 밀폐한다.
2. 병 입구에 철사를 감아 뚜껑에 걸 고리를 만든다. 이 고리에 끈을 단다.
3. 병을 살살 흔들어서 기포를 만들고 BB탄 총알이나 작은 자갈이 샴푸에 퍼지게 한다.
4. 병을 테이블 위에 놓고 중력 환경에서 자갈과 기포가 어떻게 되는지 관찰하고 관찰 내용을 기록한다.
5. 국제 우주 정거장 같은 마이크로중력 환경에서는 어떻게 될지 토의한다. 중력이 지구의 6분의 1인 달에서 끈의 끝을 잡고 병을 돌리면 어떻게 될까?
6. 병의 내용물을 다시 젖고 끈을 잡은 상태에서 두 번 돌린다. 돌리기를 중단하고 다시 재빨리 관찰한다. 어떻게 되었는가?



【생각해보기】

Q : 병에 압력이 가해질 때 폐수가 긴 관을 타고 올라간 이유는 무엇인가?

A : 폐수통에 더해진 공기가 모든 방향으로 압력을 가한다. 모의 폐수 표면에 압력을 가해 아래로 향하는 힘이 만들어지지만 폐수는 병 안에 갇혀 있다. 물에 꽂은 긴 관이 폐수의 출구가 되어 폐수가 관을 타고 올라가 필터로 간다.

Q : 원심 분리기가 응용된 것들로 또 어떤 것이 있는가?

A : 원심 분리기는 다양한 산업 분야에서 다양한 밀도의 재료를 분리하는 용도로 사용된다. 실험실에서는 혈액 표본을 분리하고 세포 표본을 농축할 때 원심 분리기를 사용한다. NASA에서는 원심 분리기를 사용해 우주 비행사들이 우주 발사 시 경험하는 고중력 가속을 만들며, 많은 요리사들은 탈수기를 사용한다. 즉, 원심 가속을 이용해 물에 젖은 채소에서 물기를 없앤다.

【평가】

자신이 만든 여과 장치의 각 단계를 적는다. 과학적 용어와 개념을 정확하게 사용해야 한다. 포함시킨 재료는 쉽게 구할 수 있고 논리적으로 설계되어야 한다. 계획 도식을 포함시킨다.

【심화 학습】

깔때기 필터 장치(압력 폐수통이 없는 것)를 하나 더 설치한다. 수직 공급 라인에 물을 붓고 중력만 있는 시스템의 처리 속도 및 압력과 중력 시스템의 처리 속도를 비교한다. 정확하게 비교할 수 있도록 두 시스템의 수직 수주 높이를 갖게 한다.

【물 재순환 시스템 설계 도전과제 참고 사항】

1. 달의 중력 구동식 폐수 필터는 지구의 것보다 커야 같은 결과가 나올 것이다.
2. 분리/여과에 필요한 힘을 발생시킬 때 사용할 수 있는 에너지원은? 지구에서는 전기 에너지를 이용해 펌프를 작동시키는데 달 기지의 전기 에너지가 제한될 경우에는 어떻게 할까? 달 기지의 독특한 환경을 이용해 여과/분리 시스템을 작동시킬 때 사용할 수 있는 대안을 생각해본다. 달 기지는 우주 진공으로 둘러싸여 있다는 것을 기억해야 한다.



NASA 에임스 연구 센터에 있는 20G 우주인 훈련용 원심 훈련기 (왼쪽에 있는 사람에게 주목)



지도상 유의점

항상 적절한 실험실 안전 절차에 따라야 한다.

- ① 보안경을 착용한다.
- ② 유리관을 만지고 모양을 만들 때 손이 다치지 않도록 한다.
- ③ 필터와 여과재를 적절한 방법으로 폐기한다.
- ④ 여과된 물을 마시지 않는다.



강제분리를 이용한 물의 재활용

학년 반 이름

도전과제

강제분리법을 이용해 다양한 폐수를 정화시켜 재활용하는 방법을 실험하기



지구에서는 중력에 의해 폐수를 필터에 통과시킬 수 있는 힘이 작용합니다. 중력이 약한 달에서는 이러한 일이 가능할까요? 어떻게 하면 달에서도 물이 필터를 통해 정화되게 만들 수 있을까요?



이것이 필요해요

깔때기 2개, 깔때기에 사용할 여과지, 학생들이 선택한 여과재(활성탄, 제올라이트, 모래 등), 큰 유리병 또는 2리터들이 음료수병 병에 끼울 구멍 두 개짜리 고무마개, 500ml 이상 비커 1개, 고무마개에 끼울 유리 또는 플라스틱 실험실용 관, 관에 끼울 수족관 공기 공급용 호스 또는 실험실 호스, 수족관 공기 펌프 또는 소형 수동 펌프(예: 풍선 펌프), 모의 폐수, 깨끗한 플라스틱 병에 담은 샴푸, 철사(베일링 또는 단심 구리), 짧은 빨랫줄 조각 또는 무거운 코드, BB탄 총알 또는 작은 자갈



핵심 단어

- **원심력** : 을 하고 있는 물체에 나타나는 관성력. 구심력과 크기가 같고 방향은 반대이며, 원의 중심에서 멀어지려는 방향으로 작용함
- **원심분리기** : 보통 모터를 이용하여 축을 중심으로 물질을 회전시켜서 원심력을 가하는 장치. 주로 혼합물을 그 에 따라 분리해내는 도구로 사용됨.
- **뉴턴의 제1운동법칙** : 의 법칙이라고도 불리며 모든 물체의 질량중심은 그 상태를 바꿀만한 힘이 강제로 주어지지 않는 한, 정지 상태를 유지하거나 일정한 운동을 하여 진행 방향으로 계속 움직이는 상태를 유지하려는 성질이 있다는 법칙



활동 순서

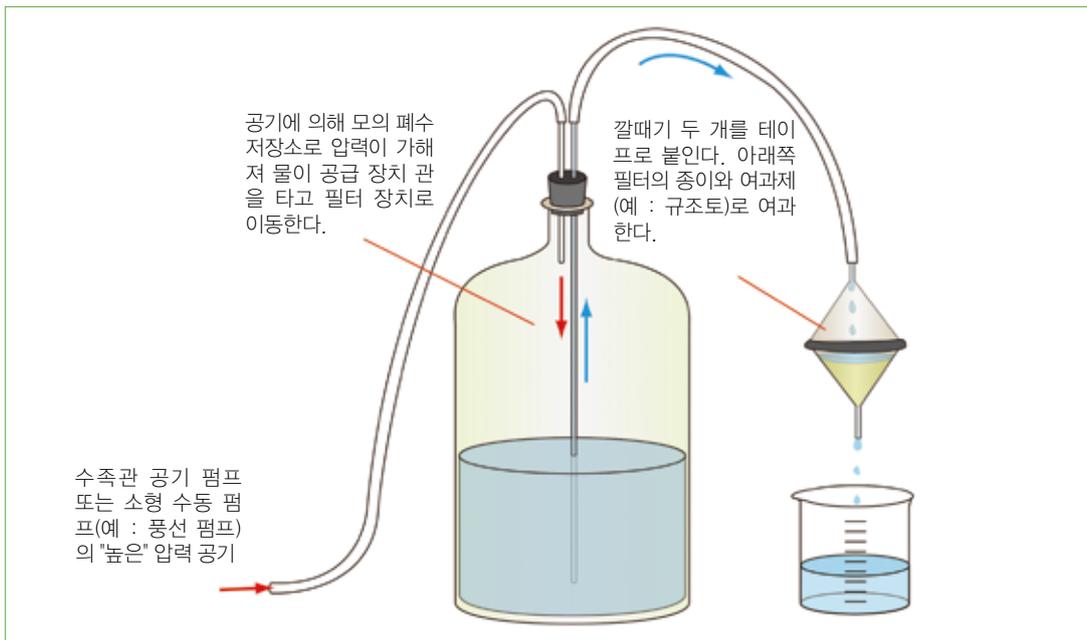
【압력 필터】

1. 종이 필터가 있는 깔때기를 준비합니다. 필터를 반으로 두 번 접어 V자형을 만듭니다. 필터에 수돗물을 묻혀 필터 콘에 끼웁니다. 접은 부분 하나를 펴서 콘을 넓힙니다.



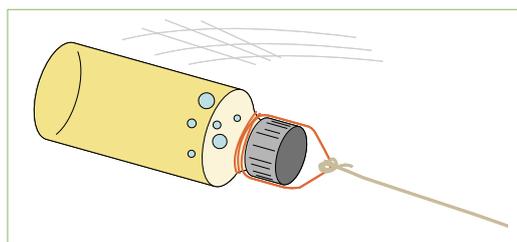
Moon water recycling system

2. 필터 종이에 선택한 여과재를 채웁니다. 이때 깔때기를 반드시 세워야 합니다.
3. 첫 번째 깔때기에 두 번째 깔때기를 뒤집어 붙여 테이프로 연결합니다. 공기가 새지 않도록 두 가장자리를 잘 밀폐합니다.
4. 유리병이나 2리터들이 플라스틱 음료수병을 가지고 미리 처리한 폐수 통을 아래 그림과 같이 설치합니다. 액체비누나 글리세린 같은 윤활제를 사용하면 관이 고무 마개에 잘 끼워집니다. 관을 끼울 때 천이나 장갑으로 손을 보호합니다.
5. 폐수 통 위쪽 깔때기 자루까지 관 출구에 호스를 연결합니다. 테이프로 호스를 필터에 붙여야 할 수도 있습니다. 호스를 단단히 고정합니다.
6. 다른 호스를 짧은 관에 연결하고, 이 호스의 반대쪽 끝을 수족관 공기 펌프나 소형 수동 펌프에 연결합니다.
7. 폐수 통에 모의 폐수를 일부분만 채웁니다. 물받이 비커를 필터 장치의 아래쪽 깔때기 출구 밑에 놓습니다.
8. 공기 펌프를 켜거나 수동 펌프를 이용해 폐수 통에 직접 공기를 넣습니다. 펌프에서 나온 가압 공기가 폐수 통의 폐수에 어떤 영향을 미치는지 관찰합니다.



【원심분리기 시연하기】

1. BB탄 총알 또는 소형 자갈 열 개 정도를 깨끗한 삼푸 병에 넣고 병 마개를 밀폐합니다.
2. 병 입구에 철사를 감아 뚜껑에 걸 고리를 만들어 끈을 겁니다.
3. 병을 살살 흔들며 기포를 만들고 BB탄 총알이나



작은 자갈이 샴푸에 퍼지게 합니다.

4. 병을 테이블 위에 놓고 중력 환경에서 자갈과 기포가 어떻게 되는지 관찰하고 관찰 내용을 기록합니다.
5. 국제 우주 정거장 같은 마이크로중력 환경에서는 어떻게 될지 토의합니다. 중력이 지구의 6분의 1인 달에서 끈의 끝을 잡고 병을 돌리면 어떻게 될까요?
6. 병의 내용물을 다시 젖고 끈을 잡은 상태에서 두 번 돌리다가 돌리기를 중단하고 다시 재빨리 관찰합니다.



활동 결과

♣ 압력 필터를 이용한 폐수 정화 실험 장치를 이용해 실험하고 관찰한 내용을 기록해 봅시다.

① 공기 펌프나 수동 펌프를 이용하여 큰 유리병에 공기를 압력을 가하면 어떤 현상이 일어납니까?

② 큰 유리병에 압력이 가해질 때 폐수가 긴 관을 타고 올라간 이유는 무엇입니까?

③ 달 기지와 같은 마이크로 중력 상황에서 이런 가압 폐수 정화 장치가 필요한 이유는 무엇입니까?

♣ 원심분리장치를 실험하고 관찰한 내용을 기록합니다.

① 이와 같은 원심분리장치가 응용된 것들은 어떤 것들이 있습니까?

② 이 실험을 국제 우주 정거장과 같은 마이크로 중력 환경에서 했다면 어떻게 될까요?



생각해요

♣ 달 기지에 건설할 물 재활용 시스템과 관련지어 생각해봅시다.

- 지구에서는 전기 에너지를 이용하여 분리 여과 시스템을 작동시킵니다. 만일 달 기지에서 전기 에너지가 제한적으로 사용되는 상황이라면 어떻게 이 시스템을 작동시킬 수 있는지 적절한 대안을 제시하여 봅시다.





【읽을 거리】

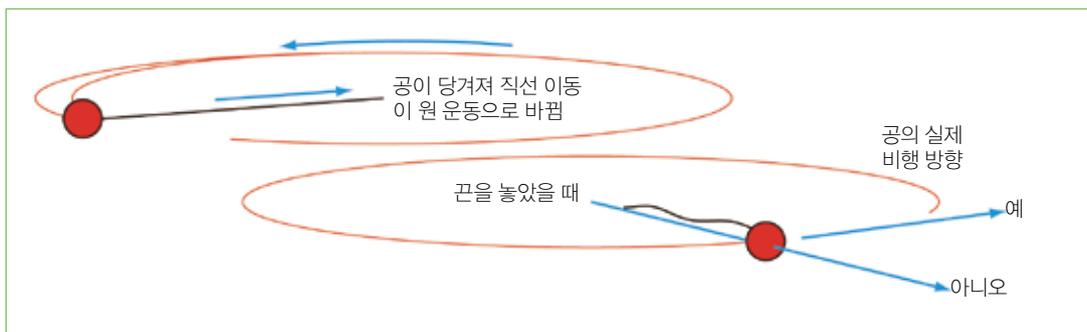
강제 분리법

지구에서는 중력에 따라 폐수를 필터에 통과시킬 수 있는 힘이 작용한다. 폐수는 필터로 번져 중력에 의해 내려가며 아래로 이동한다. 달 기지에서도 물이 아래로 흘러 필터를 통과하지만 달의 중력이 낮아 그 속도가 상당히 느리다. 시간이 충분히 주어진다면 물이 다음 단계로 이동할 수 있지만 속도가 너무 느려서 달 승무원들의 필요를 충족시키지는 못할 것이다.

이 과정의 투과 속도를 높이는 한 가지 방법은 압력 장치를 사용하는 것이다. 이 방법은 강제로 폐수를 필터에 통과시키는 것으로서, 필터를 셀 안에 넣고 압력을 조금 높이면 중력만 작용할 때보다 빠른 속도로 물이 필터를 통과하게 된다.

폐수가 강제로 필터를 통과하게 하는 또 다른 방법은 탭과 같은 장치를 만드는 것이다. 수도물 급수탑은 물 저장 탱크를 지상에서 몇 미터 높은 곳에 두어 수도 배관 라인에 압력을 만들어준다. 수압은 1m당 약 10kPa씩 증가한다. 1kPa는 제곱인치당 약 68g에 해당한다. 물기둥 바닥의 폐수는 위에 있는 전체 물기둥의 무게 때문에 압력을 받게 된다. 즉, 중력에 의해 물의 무게가 누적되기 때문에 물기둥에 압력이 생긴다.

힘을 이용해 폐수를 재활용하는 세 번째 방법은 국제 우주 정거장에 탑재된 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS)에서 이미 사용되고 있다. 원심 분리기를 이용해 폐수에서 가스와 미립자를 분리한다. 이 시스템은

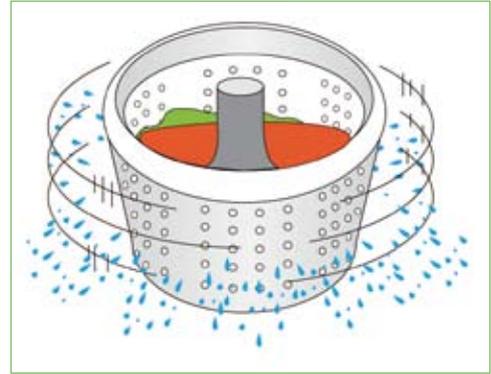


로 들어가는 폐수가 회전하면서 무거운 입자는 원심 분리기에서 빠르게 나가고 기포는 중심으로 이동한다. 원심 분리기의 작동 원리는 원심 가속이다. 원심 가속과 원심력은 다른 용어이다. 원심력은 자동차가 급회전할 때 차를 타고 있던 사람들이 느끼는 것이다.

사람의 몸은 자동차 문 밖으로 곧장 날려갈 것처럼 반대 방향의 압력을 느낀다. 원심 가속을 이해하는 가장 좋은 방법은 공 같은 물체를 끈 끝에 묶어 공중에서 빙빙 돌리는 것이다. 공을 돌리는 사람은 바깥쪽으로 향하는 힘을 느끼지만 그 힘은 존재하지 않는다. 밖으로 향하는 힘이 존재한다면 끈을 놓으면 공이 사람에게서 곧장 밖으로 날아가겠지만 공은 그렇게 되지 않는다. 공을 놓는 순간에 움직이던 방향으로 직선을 그리며 이

동한다. 공은 원의 접선 방향으로 멀리 날아간다.

그렇다면 공을 돌리는 사람이 실제로 느끼는 것은 무엇인가? 공은 움직이는 동안 직선으로 이동하려고 한다. 공은 뉴턴의 제1운동 법칙을 따르고 있다. 이 법칙은 움직이는 물체는 외부의 힘이 작용하지 않는 한 직선으로 이동한다는 것이다. 끈 때문에 공이 직선으로 이동하지 못하는 것이다. 끈 때문에 공이 직선으로 이동하지 못하는 것이다. 공을 돌리는 사람이 계속해서 당기고 있기 때문에 불균형력이 생겨 공의 방향이 계속 달라지는 것이다. 공이 이렇게 당기는 힘에 저항하는 것, 즉 공의 관성을 사람이 원심력으로 느끼는 것이다. 회전세탁조도 마찬가지로 원리이다. 원심력 때문에 세탁기의 물은 세탁조 중앙에서 바깥으로 이동할 것이다. 바로 이 현상이 세탁기에서 일어나는 것이다. 세탁조는 물을 세탁조 벽으로 빨리 밀어내고 물은 작은 구멍을 통해 빠져나가 배수가 된다.



세탁기 원심분리기(회전세탁조)

Moon water recycling system



침전을 통한 물의 재활용



침전은 폐수 속에 들어있는 입자들이 중력에 의해 가라앉는 현상을 이용한 폐수 정화법이다. 이번 차시에서는 학생들이 흙탕물을 만들어 1차 오수 처리 기술인 침전방법을 실험하고, 침전 속도를 높이기 위해서는 어떤 방법이 있는지 알아보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

흙탕물을 만들어 시간 경과에 따른 침전 효과를 관찰하고 백반을 이용해 침전 속도를 높이는 실험을 할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

(학생 팀당)

정원 흙 150mL, 수돗물 2L, 1리터들이 유리 비커 또는 투명한 유리병(1L 이상) 2개, 백반 20g, 유리 막대 2개, 미터 자, 플라스틱 “섹키(secchi)” 프로브, 타이머 또는 분침이 있는 시계, 보안경, 청소 도구, 손전등



이렇게 준비해요

[섹키 프로브 만들기]

해양학자와 육수학자(육지수를 연구하는 과학자)는 섹키 디스크라고 하는 장치를 사용해 물의 투명도를 측정한다. 흰색과 검은색 4분원이 교대로 있는 이 원반을 물속에 넣고 원반 패턴이 보이지 않을 때 깊이를 측정한다. 이 활동에서는 개조한 섹키 디스크를 사용할 것이다. 세제 용기에서 너비 2.5cm, 길이 15cm의 흰색 플라스틱 조각을 잘라낸다. 물에 지워지지 않는 검은색 마커로 플라스틱 조각 아래쪽 끝에 검은색과 흰색 패턴(오른쪽 그림)이 교대하는 원을 그린다.



핵심 단어

- **침전** : 일반적으로 액체 속에 존재하는 작은 고체가 액체 바닥에 가라앉아 쌓이는 것을 말한다.
- **투명도 측정** : 세키판(secchi disc)이라고 하는 투명도판으로 측정한다. 이것은 하얗게 칠한 지름 30cm의 원반이며, 이것을 물 속에 가라앉혀 육안으로 볼 수 없게 되는 깊이를 투명도로 한다.



활동 내용

【침 전】

1. 백반을 사용하는 침전 실험과 사용하지 않는 실험 결과를 기록할 표 두 개를 만든다. 가운데 옆에는 섹키 프로브 데이터를 기록하고, 오른쪽 옆에는 정해진 시간 간격으로 관찰한 내용을 기록한다.
2. 정원 흙 75mL를 1L들이 유리 비커나 투명한 커다란 병 두 개에 각각 담고, 각 병에 수돗물 1L씩 넣는다. 두 병을 똑같이 저어 흙덩어리가 분해되어 물속에 침전물이 퍼지게 한다.
3. 비커 하나에 백반 20g을 넣는다. 백반을 넣은 비커를 알 수 있도록 표시한다.
4. 두 비커를 5분 동안 살살 젓는다. 모두 저은 후에는 비커를 건드리지 않도록 주의한다.
5. 젓기 작업을 완료하는 즉시 물의 상태를 관찰한다. 뒤에 조명을 두고 비커 두 개를 관찰하는데 램프나 손전등을 사용하여 관찰해도 된다.
6. 각 비커마다 다른 테이블을 사용하여 각 비커의 관찰 내용을 1단계에서 만든 표에 기록한다. 가운데 옆에는 섹키 프로브 데이터를 기록하고, 오른쪽 옆에는 관찰 내용을 기록한다.
7. 섹키 프로브를 사용하여 각 비커 물의 최초(0분) 투명도(탁도라고도 함)를 측정한다. 프로브 조각(정면 바닥에 원이 있음)을 비커 앞쪽으로 아주 살짝 반만 넣는다. 프로브 조각을 비커의 반대쪽으로 아주 느리게 옮겨 프로브 조각 바닥에 있는 원이 보이지 않을 때 정지한다. 자를 이용해 원이 사라지기 전까지 비커 벽에서 프로브 조각이 이동한 거리를 센티미터 단위로 측정한다. 각 표의 가운데 옆에 측정치를 기록하고 오른쪽 옆에 관찰한 내용을 기술한다.
8. 5분 간격으로 각 비커의 물 상태를 관찰한다. 물의 색상과 선명도 변화를 평가하고 표에 측정치를 기록한다.
9. 비커를 하룻밤 그대로 두고 다음 날 관찰 내용을 기록한다.
10. 학생들에게 데이터를 그래프로 그리고 관찰 내용을 한 문단으로 요약해 적어 보게 한다. 학생들에게 더 많은 양의 물을 다루는 과정을 계산할 수 있는 방법도 적게 한다.



원이 더이상 보이지 않는 지점에 있는 섹키 프로브

【생각해보기】

Q : 미립자가 더 빨리 가라앉은 비커는 어느 것인가?

A : 백반을 넣은 비커가 같은 시간 동안 더 빨리 투명해졌다. 따라서 가라앉은 속도가 더 빨랐다는 것을 알 수 있다. 백반은 겔 형태의 끈적한 물질을 이루어 미립자가 달라붙게 된다. 달라붙은 미립자의 질량이 증가할 수록 바닥에 가라앉는 속도가 빨라진다.

Q : 가운데 투명한 물(떠 있는 부스러기와 바닥에 쌓인 침전물 사이)은 오수 처리 시스템에서 그 다음 단계로 어떻게 전달할 수 있을까?

A : (각 학생의 응답) 빨대를 사용하면 될 것이다. 망으로 된 국자를 사용해 떠오른 부스러기를 제거한 후 물을 비커에 살살 부어도 된다. 이때 바닥 침전물이 쉽게 퍼질 수 있다.

【평가】

관찰 내용, 결론, 더 많은 물을 다루는 과정을 계산하는 방법을 검토한다.

【심화 학습】

1. 학생들에게 디지털 카메라로 촬영한 데이터를 수집하게 한다. 물의 색상과 탁도를 정확하게 찍으려면 조명을 어떻게 설치해야 할까? 학생들에게 전체 관찰 시간 30분을 30초 단위로 사진을 찍게 한다. 사진을 컴퓨터 슬라이드 또는 영화 프로그램으로 불러와 침전 속도의 저속도로 촬영한 영화를 만든다.
2. 학생들에게 인터넷에서 백반 대신 사용하여 오수 처리 시스템의 침전 속도를 높일 수 있는 다른 화학 물질을 찾아보게 한다.

【물 재순환 시스템 설계 도전과제 참고 사항】

1. 달에서는 침전 시스템이 달의 낮은 중력 때문에 어느 정도 방해로 받게 되겠지만 백반 같은 화학 첨가제로 침전 속도를 높일 수 있을 것이다. 백반 같은 응집성 화학 물질을 사용하기로 계획할 경우 반복 사용할 화학 물질을 효과적으로 재활용하는 방법은 어떤 것이 있을까? 침전을 촉진할 때 사용할 수 있는 원소와 화합물이 달에는 있을까?
2. 이 실험 활동을 통해 백반의 응집성이 물 속 미립자를 제거하는 효과를 보여주지만 일반적으로 폐수에 들어 있는 오염물은 용해되어 있는 물질이다. 백반의 응집성으로 이러한 물질이 제거될까? 달 기지에서 실제로 생성될 폐수에 미립자가 들어 있을까?
3. 응집성 화학 물질을 사용하는 대신 국제 우주 정거장 ECLSS에서는 원심 분리기를 이용해 폐수에서 미립자와 기체를 분리하는 속도를 높인다. 이런 시스템이 달에서도 효과가 있을까? 동력은 어디에서 얻을까?



지도상 유의점

항상 적절한 실험실 안전 절차에 따라 안전하게 실험하도록 한다.

- ① 보안경을 착용한다.
- ② 비커를 만진 후에는 손을 깨끗이 씻는다.
- ③ 휴과 시험용수를 적절한 방법으로 폐기하도록 한다.





침전을 통한 물의 재활용

학년 반 이름

도전과제

침전을 이용해 다양한 폐수를 정화시켜 재활용하는 방법을 실험하기



물을 재활용하는 방법 중에서 침전은 중력으로 입자를 가라앉혀 불순물을 분리하는 방법입니다. 침전으로 폐수를 정화시키는 실험을 해보고, 중력이 약한 달에서는 어떻게 하면 침전 속도를 높일 수 있을지 생각해 봅시다.



이것이 필요해요

정원 흙 150mL, 수돗물 2L, 1L들이 유리 비커 또는 투명한 유리병(1L 이상) 2개, 백반 20g, 유리 막대 2개, 미터 자, 플라스틱 "섹키(secchi)" 프로브, 타이머 또는 분침이 있는 시계, 보안경, 청소 도구, 손전등



핵심 단어

- **침전** : 일반적으로 속에 존재하는 작은 고체가 액체 바닥에 가라앉아 쌓이는 것을 말한다.
- **측정** : 설키판(secchi disc)이라고 하는 투명도판으로 측정한다. 이것은 하얗게 칠한 지름 30cm의 원판이며, 이것을 물 속에 가라앉혀 육안으로 볼 수 없게 되는 깊이를 로 한다.



활동 순서

【침 전】

1. 정원 흙 75mL를 1L들이 유리 비커나 투명한 커다란 병 두 개에 각각 담고, 각 병에 수돗물 1L씩 넣습니다. 두 병을 똑같이 저어 흩덩어리가 분해되어 물속에 침전물이 퍼지게 합니다.
2. 비커 하나에 백반 20g을 넣고, 표시를 합니다.
3. 두 비커를 5분 동안 살살 젓습니다. 모두 저은 후에는 비커를 건드리지 않도록 합니다.
4. 젓기 작업을 완료하는 즉시 물의 상태를 관찰합니다. 뒤에 조명을 두고 비커 두 개를 관찰하는데 램프나 손전등을 사용하여 관찰합니다.
5. 각 비커마다 다른 테이블을 사용하여 각 비커의 관찰 내용을 1단계에서 만든 표



원이 더이상 보이지 않는 지형에 있는 설키 프로브



에 기록합니다.

6. 색키 프로브를 사용하여 각 비커 물의 최초(0분) 투명도(탁도라고도 함)를 측정합니다. 프로브 조각(정면 바닥에 원이 있음)을 비커 앞쪽으로 아주 살짝 반만 넣는다. 프로브 조각을 비커의 반대쪽으로 아주 느리게 옮겨 프로브 조각 바닥에 있는 원이 보이지 않을 때 정지합니다. 자를 이용해 원이 사라지기 전까지 비커 벽에서 프로브 조각이 이동한 거리를 센티미터 단위로 측정합니다.
7. 5분 간격으로 각 비커의 물 상태를 관찰하여 기록합니다.
8. 비커를 하룻밤 그대로 두고 다음 날 관찰 한 내용을 기록합니다.



활동 결과

♣ 침전을 이용한 폐수 정화 실험을 실시하고, 그 결과를 아래 표에 기록하시오.

〈백반을 사용하지 않은 것〉

시간	투명도(cm)	
0분		
5분		
10분		
15분		
20분		
25분		
30분		
35분		

〈백반을 사용한 것〉

시간	투명도(cm)	관찰한 내용
0분		
5분		
10분		
15분		
20분		
25분		
30분		
35분		



생각해요

- ① 미립자가 더 빨리 가라앉은 비커는 어느 것인가?
- ② 가운데 있는 투명한 물은 오수 처리 시스템에서 어떻게 다음 단계로 전달할 수 있을까?
- ③ 달에는 백반과 같은 응집성 화학 물질이 있을까?



【읽을 거리】

침전법

행성의 하나인 지구 표면을 덮고 있는 암석의 90% 이상은 퇴적암이다. 물은 지구 표면을 계속 변화시킬 수 있는 강력한 힘을 가지고 있다. 바위가 풍화되고 침식되면서 생긴 자갈, 모래 및 미세한 입자는 강물에 의해 호수와 바다로 운반된다. 물의 속도가 감소하면 입자의 운반 능력도 떨어지고 이때 침전이 시작된다. 커다란 자갈이 먼저 가라앉고 모래 크기의 입자가 가라앉은 다음, 진흙 크기의 입자가 가라앉는데 각 입자의 침전 속도는 알갱이의 질량과 표면적 사이의 비율과 관련되어 있다. 직경이 큰 입자는 질량 대 표면적 비율이 그보다 작은 입자보다 커서 더 빨리 가라앉는다.

입자마다 가라앉는 속도가 달라 호수나 바다 바닥에 입자가 퇴적될 때 계층 효과가 나타난다. 아주 오랜 세월이 지나면 침전물이 역암, 사암, 이판암 같은 바위 층에 결합되어 굳는다.

물을 재활용할 때 침전은 매우 유용한 과정이다. 입자를 가라앉히면 매우 더럽고 거의 불투명했던 물이 투명한 물로 바뀐다(불순물과 박테리아가 녹아 있을 가능성이 있으므로 식수로 사용하기에는 안전하지 않을 수도 있다). 조약돌, 자갈, 미사, 점토는 바닥에 층을 이루며 가라앉고 나뭇가지, 나뭇잎, 플라스틱 등과 같은 뜨거운 부양성 물질은 수면으로 떠오른다. 침전물과 물위에 떠있는 부스러기는 제거할 수 있기 때문에 남은 물을 쉽게 처리할 수 있다.

침전은 느리게 일어나는 과정이다. 입자가 모두 가라앉는 데는 여러 날이 걸릴 수 있다. 오수 처리 시설은 물에 백반을 첨가하고 화학 약품이 녹도록 물을 흔들어 이 과정을 단축할 수 있다. 백반은 수산화알루미늄 황산칼륨($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$)이다. 지저분한 물에 용해된 백반은 겔 형태의 수산화알루미늄은 침전물에 포함된 아주 미세한 혼탁한 미립자를 잡는다. 미립자는 뭉치면서 바닥에 가라앉는다. 수돗물의 여과 과정에서는 백반을 첨가하면 침전 과정이 빨라져 같은 시간에 많은 양의 물을 처리할 수 있다.



Moon water recycling system





이번 차시에서는 식물의 증산 작용을 이용하거나 박테리아 활동 등을 통해서 물 속의 오염 물질을 제거해보는 활동을 하게 된다.



학습 목표

학생들은 생물학적 정수 필터를 사용하는 방법을 통하여 모의 폐수의 수질을 개선할 수 있다.



해당 학년 중학교 1 ~ 2학년



소요 시간 60분



이것이 필요해요

【실험1 - 생물 반응기】

소형 분수 펌프, 펌프를 고정할 큰 비커 또는 병, 펌프에 끼울 플라스틱 관, 2L들이 플라스틱 음료수병, 링 스탠드, 수족관 자갈, 음료수병 입구를 덮을 망 고무줄, 모의 폐수, 질화 세균(수족관 매장에서 생물학적 수족관 세정제로 판매), 암모니아 수질 측정기(수족관 매장에서 판매)

【실험2 - 증산】

뚜껑이 있는 약 3~4(리터 → L)들이 밀폐형 플라스틱 용기(반찬통), 소형 플라스틱 용기 또는 유리 용기 2개, 비닐 랩, 식물 화분 2개, 화분용 흙, 실이나 끈, 실험1에서 처리한 물, 수돗물



핵심 단어

- **질화세균** : 호기적으로 암모니아를 산화하여 아질산으로, 아질산을 산화하여 질산으로 하는 토양세균을 말한다.
- **증산작용** : 잎의 뒷면에 있는 기공을 통해 물이 기체상태로 식물체 밖으로 빠져나가는 작용을 말한다.





활동 내용

【실험1 - 생물 반응기】

1. 모의 폐수를 준비한다.(쪽 참고)
2. 2L 음료수병 바닥을 잘라 여과 시스템을 설치한다. 망사나 스타킹을 병 주둥이에 덮고 고무줄로 고정한다. 잘라낸 가장자리에서 약 3cm 되는 부분에 호스가 플라스틱 병의 벽을 통과할 정도의 구멍을 만든다.
3. 비커를 스탠드에 끼우고 분수 펌프를 놓는다. 비커에 호스를 끼운다. 음료수병을 뒤집어 고리에 넣는다. 비커 가장자리에서 약 5cm 위에 오도록 고리 위치를 조절한다.
4. 치수를 재고 관을 잘라 병 구멍에 열린 쪽 끝을 끼운다. 관이 병 안으로 약 5cm 들어가야 한다. 관을 스탠드에 고정한다.
5. 자갈을 씻은 후 음료수병에 넣는다.
6. 암모니아 수질 측정기로 모의 폐수의 암모니아 수준을 검사하고 결과를 기록한다.
7. 펌프를 작동시키고 3일 동안 놓아둔다. 암모니아 수준을 다시 검사하고 결과를 기록한다.
8. 질화 세균 두 방울을 용액에 넣는다. 이후 며칠 동안 암모니아 수준을 검사하고 결과를 기록한다.



【실험2 - 증산】

1. 화분용 흙을 사용해 화분에 심은 식물 두 개를 각각 작은 용기(배수 구멍이 없는)에 넣는다.
2. 수돗물의 암모니아를 검사한다. 결과를 기록한다.
3. 각 식물에 물을 준다. 하나는 수돗물을 주고 하나는 생물 반응 장치 활동(실험1)에서 처리된 폐수를 준다.
4. 화분 주위에 비닐 랩을 씌워 흙을 덮고 용기를 밀폐한다. 식물이 다치지 않게 주의한다.
5. 준비한 식물을 각각 커다란 플라스틱 용기에 넣고 뚜껑을 닫아 공기를 밀폐한다. 각 용기에 “수돗물” 또는 “처리된 폐수”라고 표시한다.
6. 증산이 일어나 바닥에 물이 모이면 용기를 열어 별도의 깨끗한 시험용 관에 붓는다. 암모니아를 다시 검사하고 결과를 적는다.
7. 수집한 암모니아 데이터를 그래프로 만들어 최초 폐수부터 시작해 암모니아 수준 변화를 비교한다.



【생각해보기】

Q : 밀폐된 용기 안에 너무 오래 두면 식물이 어떻게 될까?

A : 발산된 물이 토양으로 다시 들어가 식물이 뿌리로 다시 흡수되는 일반적인 실내 재배용 유리 용기와 달리

밀폐된 식물은 물을 다시 받지 못한다. 물이 용기 바닥에 고인다. 밀폐된 용기 안에 식물을 너무 오래 두면 토양의 수분이 점차 고갈되어 식물이 죽게 된다.

Q : 생물 반응 장치 실험에서 자갈은 어떤 역할을 하는가?

A : 물이 흐르는 자갈 표면에서 박테리아가 성장해 암모니아를 제거한다. 자갈은 공기 공간도 만들어 산소가 물 속에 확산될 수 있다. 질화 세균은 호기성(즉, 산소가 필요한) 세균이기 때문에 산소가 중요하다.

Q : 물이 생물 반응 장치와 식물 시스템을 통과해 흐를 때 소금 같은 다른 오염물은 어떻게 되는가?

A : 나트륨이나 염화물은 박테리아가 분해하지 못하므로 생물 반응 장치를 통과한다. 염분 일부는 식물이 흡수할 수 있는데, 이 때문에 식물의 종류와 염분의 농도에 따라 식물 성장에 문제가 야기될 수도 있다.

【평가】

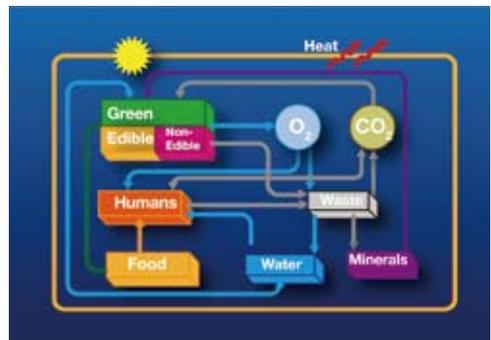
학생들에게 수집한 암모니아 데이터를 그래프로 그리고 두 실험에서 관찰한 내용을 적게 한다. 학생들에게 이러한 두 과정을 달의 물 재활용 시스템에 사용할 수 있는지에 대한 생각을 요약하게 한다. 실험 데이터를 근거로 답을 작성해야 한다.

【심화 학습】

수경 시스템과 식물 성장을 위해 영양이 풍부한 물을 유지할 수 있는 방법에 대해 알아본다. 식물 뿌리가 썩으면 유기 물질과 영양소가 배출된다는 점을 잊지 않도록 한다.

【물 재순환 시스템 설계 도전과제 참고 사항】

1. 지구에서처럼 달에서 음식을 재배하려면 많은 양의 물이 필요하다. 증산은 물 재활용 시스템에 꼭 필요한 부분이다. 지구에서는 증산된 물이 지구의 물 순환에 들어가 지구의 다른 부분으로 이동한다. 달에서는 물방울 하나하나가 중요하므로 모두 회수해야 한다.
2. 식물은 생명 유지에 필요한 많은 장점(식량 생산, CO₂ 제거, 산소 생산, 물 재순환)을 갖고 있지만 이 시스템의 전체 비용을 잘 고려해야 한다. 천연 자원인 햇빛이 사용될까, 아니면 인공 빛을 만들 전기가 필요할까? 식물은 누가 돌보고 이 작업에는 얼마나 많은 시간이 필요할까?
3. 생물학적 과정은 수명이 제한적인 흡수제나 촉진제 대신에 살아있는 세포가 자체적인 촉진제(효소)를 생산한다는 점에서 물리적 또는 화학적 과정보다 재생산적이라는 장점이 있다. 미생물은 오염물을 분해할 때 에너지를 필요로 하지 않지만 실제로는 이러한 분자 안에 있는 에너지를 소비하는 것이다. 생물학적 처리는 에너지와 소모품이 덜 들지만 변환 속도가 물리적 처리보다 느린 것이 단점이다. 속도가 느리다는 것은 동량의 재료를 처리할 때 더 큰 시스템이 있어야 한다는 것을 의미하므로 생물학적 시스템은 규모가 더 커질 수 밖에 없다.



사람과 자원의 상호 관계는 달에서의 재활용 전략에 필요한 여러 가지 기회를 제공한다.



지도상 유의점

모의 폐수는 손으로 만져도 안전하긴 하지만 항상 적절한 실험실 안전 절차에 따라 실험해야 한다.

- 보안경을 착용한다.
- 폐수를 만진 후에는 손을 씻는다.
- 자갈을 적절한 방법으로 폐기한다.
- 생물학적으로 여과한 물을 마시지 않는다. (이 활동에서는 소독 약품을 사용하지 않음).



생물학적 처리를 통한 물의 재활용

학년 반 이름

도전과제

생물학적 처리법을 이용한 폐수 정화 실험을 통해 모의 폐수의 수질을 개선하기



이번 차시에서는 식물의 증산 작용을 이용하거나 박테리아 활동 등을 통해서 물 속의 오염 물질을 제거해보는 활동을 해보게 됩니다.



이것이 필요해요

【실험1 - 생물 반응기】

소형 분수 펌프, 펌프를 고정할 큰 비커 또는 병, 링 스탠드, 펌프에 끼울 플라스틱 관, 2L들이 플라스틱 음료수병, 음료수병 입구를 덮을 망 고무줄, 모의 폐수, 수족관 자갈, 질화 세균(수족관 매장에서 생물학적 수족관 세정제로 판매), 암모니아 수질 측정기(수족관 매장에서 판매)

【실험2 - 증산】

뚜껑이 있는 약 3~4리터들이 밀폐형 플라스틱 용기(반찬통), 소형 플라스틱 용기 또는 유리 용기 2개, 실험1에서 처리한 물, 비닐 랩, 식물 화분 2개, 화분용 흙, 실이나 끈, 수돗물



핵심 단어

- **질화세균** : 호기적으로 암모니아를 산화하여 아질산으로, 아질산을 산화하여 으로 만드는 토양세균을 말한다.
- **증산작용** : 잎의 뒷면에 있는 을 통해 물이 기체상태로 식물체 밖으로 빠져나가는 작용을 말한다.



활동 순서

【실험1 - 생물 반응기】

1. 모의 폐수를 준비합니다.(쪽 참고)
2. 2L 음료수병 바닥을 잘라 여과 시스템을 설치합니다. 망사나 스타킹을 병 주둥이에 덮고 고무줄로 고정합니다. 잘라낸 가장자리에서 약 3cm 되는 부분에 호스가 플라스틱 병의 벽을 통과할 정도의 구멍을 만들



니다.

3. 비커를 스탠드에 끼우고 분수 펌프를 놓고, 비커에 호스를 끼웁니다. 음료수병을 뒤집어 고리에 넣습니다. 비커 가장자리에서 약 5cm 위에 오도록 고리 위치를 조절합니다.
4. 치수를 재고 관을 잘라 병 구멍에 열린 쪽 끝을 끼웁니다. 관이 병 안으로 약 5cm 들어가야 합니다. 다 되었으면 관을 스탠드에 고정시킵니다.
5. 자갈을 씻은 후 음료수병에 넣습니다.
6. 암모니아 수질 측정기로 모의 폐수의 암모니아 수준을 검사하고 결과를 기록합니다.
7. 펌프를 작동시키고 3일 동안 놓아둔 후 암모니아 수준을 다시 검사하고 결과를 기록합니다.
8. 질화 세균 두 방울을 용액에 넣습니다. 이후 며칠 동안 암모니아 수준을 검사하고 결과를 기록합니다.

【실험2 - 증산】

1. 화분용 흙을 사용해 화분에 심은 식물 두 개를 각각 작은 용기(배수 구멍이 없는)에 넣습니다.
2. 수돗물의 암모니아를 검사하고 그 결과를 기록합니다.
3. 각 식물에 물을 줍니다. 하나는 수돗물을 주고 하나는 생물 반응 장치 활동(실험1)에서 처리된 폐수를 줍니다.
4. 화분 주위에 비닐 랩을 씌워 흙을 덮고 용기를 밀폐하는데, 이 때, 식물이 다치지 않게 주의합니다.
5. 준비한 식물을 각각 커다란 플라스틱 용기에 넣고 뚜껑을 닫아 공기를 밀폐합니다. 각 용기에 “수돗물” 또는 “처리된 폐수”라고 표시합니다.
6. 증산이 일어나 바닥에 물이 모이면 용기를 열어 별도의 깨끗한 시험용 관에 붓습니다. 그리고, 암모니아를 다시 검사하고 결과를 기록합니다.
7. 수집한 암모니아 데이터를 그래프로 만들어 최초 폐수부터 시작해 암모니아 수준 변화를 비교해 봅니다.





활동 결과

- ♣ 실험 1과 2를 통해 걸러진 폐수에 암모니아 수질 측정기를 이용하여 암모니아 수준을 측정하고, 그 결과를 아래 표에 기록하시오.

실험 내용		암모니아 수준과 관찰한 내용	
실험1	실험 내용		
	펌프 작동시키고 3일 후		
	질화세균 처리 후	1일 후	
		2일 후	
3일 후			
실험2	식물 증산으로 수집한 물		

- ① 실험 1과 실험 2에서 얻은 데이터로 그래프를 그리고, 최초 폐수부터 시작해 암모니아 수준의 변화를 비교 설명하시오.

- ② 밀폐된 용기 안에 식물을 너무 오래 두면 식물은 어떻게 될까요?



【읽을 거리】

식물을 이용한 물 재활용법

식물과 미생물의 공동 작용은 지구의 물을 정화하는데 중요한 역할을 한다. 우주에서도 물 재활용에 사용되는 생물학적 필터 역할을 할 수 있을 것이다. 몇 가지 중요한 생물학적 과정을 고려해야 한다. 첫 번째 과정은 식물의 증산이다. 식물은 나뭇잎에 있는 작은 구멍(기문)에서 물을 내보내면서 냉각 작용을 한다.

케네디 우주 센터 과학자들이 우주의 수경 정원을 본 뜬 지상 정원에 있는 챔버에서 식용 식물 성장 연구를



Moon water recycling system

실시하고 있다. 학생들과 어른들은 식물에서 증산작용을 하면서 공기 중에 배출하는 물의 양을 듣게 되면 놀란다. 다 자란 떡갈나무는 6월부터 10월까지 약 125t의 물을 나뭇잎에서 증산하며, 옥수수 나무 한 그루는 한 철에 약 200L를 증산할 수 있다. 그렇다면 이 과정은 물 재활용에 어떻게 적용할까? 식물을 폐쇄 용기(예 : 우주나 달기지)에서 재배할 경우 증산된 물은 공기 중에서 다시 응결시킬 수 있다. 이 대기 중에서 응결된 물은 바로 먹을 수 없지만 간단히 처리하여 마실 수 있는 물의 표준에 맞출 수 있다.



케네디 우주 센터 과학자들이 우주의 수경 정원을 본뜬 지상 정원에 있는 챔버에서 식용 식물 성장 연구를 실시하고 있다.

증산되지 않는 물도 식물의 뿌리로 걸러지므로 부분적으로 정화되거나 생물학적으로 여과할 수 있다. 식물은 물속의 특정 "오염물"을 제거할 수 있다. 그것들은 식물 생장에 도움이 되는 영양소이기 때문이다. 그리고 식물 뿌리와 관련되는 미생물 수가 많으면 물속의 유기 오염물을 분해할 수 있다. 따라서 식물의 뿌리는 훌륭한 생물 반응 장치이다. 소변처럼 염도가 높은 폐수를 정화시킬 때 식물을 사용하는 경우 문제가 생긴다. 중요한 점은 대부분의 식용 식물은 염분에 견디지 못한다는 데 있다. 염분에 강한 식물을 재배할 수는 있지만 식용과 재활용의 두 가지 장점을 모두 살릴 수는 없다. 또 다른 문제는 폐수에 있는 유해 미생물이 음식에 옮겨진다는 것이다. 폐수를 식용으로 재배하는 식물에 사용하려면 먹을 수 있는 부분이 폐수와 접촉하지 않아야 하며, 먹기 전에 충분히 요리해야 한다.

국제 우주 정거장의 물

수생 식물이 포함되는 1차 처리 초기 지구 탐험가와 달리 우주를 탐험하는 비행사들은 생명을 유지하기 위한 물을 찾는 일에 의존할 수 없다. 머큐리 및 제미니 비행에 필요한 물은 캡슐 내부의 저장 탱크에 실어 운반했다. 아폴로 달 비행에서는 산소와 수소가 결합된 연료 전지를 원자로에 담아 우주선 동력에 필요한 전기를 생산했는데 이 과정의 부산물로 음용수가 나왔다. 우주 왕복선에도 이와 비슷한 시스템이 사용된다.

다른 우주선과 마찬가지로 국제 우주 정거장(ISS)은 승무원의 생명을 유지시키고, 우주 정거장에 필요한 환경 조건을 유지시키기 위해 물의 성질을 이용한다. 물은 마시고, 음식을 준비하며, 씻고, 몸의 청결을 유지하는 데 필요하다. ISS는 영구 정거장이므로 물이 지속적으로 필요하다.

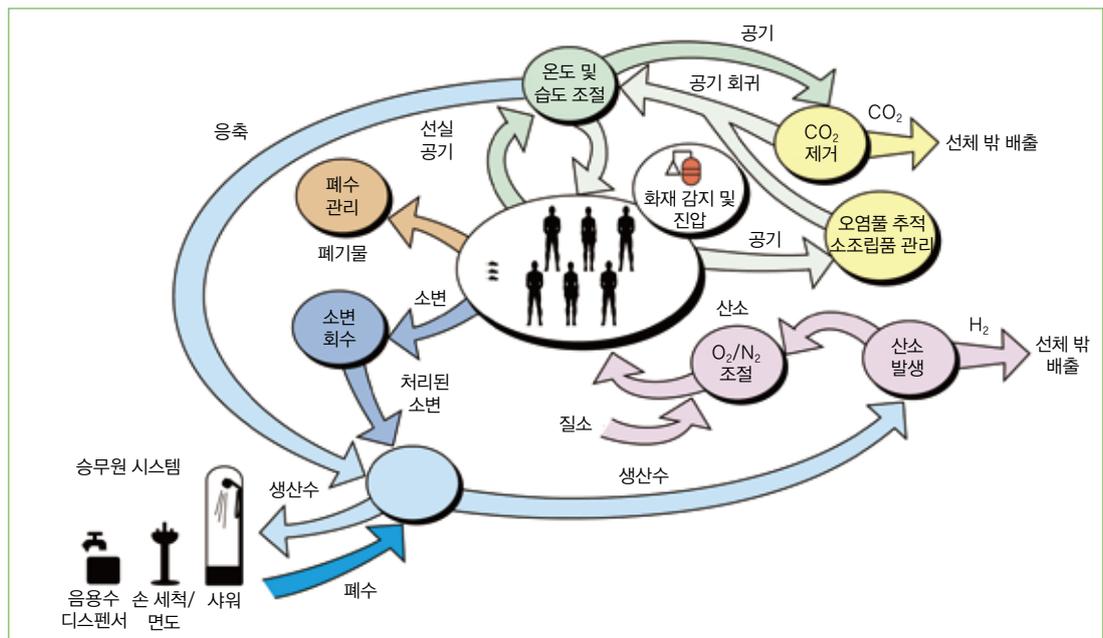


수생 식물이 포함되는 1차 처리

접을 수 있는 커다란 자루에 담긴 물을 우주 왕복선과 러시아 프로그레스 우주선이 궤도로 싣고 오는데, 이 작업에는 엄청난 비용이 든다. 지구에서는 아무 것도 아닌 물 1L를 발사하는 데 드는 비용이 약 22,000달러가 된다. ISS에 있는 비행사 여섯 명을 위해 연간 6,800L 정도의 물을 1억 5천만 달러의 비용을 들여 우주 정거장으로 옮겨온다. 비용을 최소화 하기 위한 확실한 최선의 방법은 그곳에 있는 물을 다시 사용할 수 있도록 재활용하는 것이다.

국제 우주 정거장에는 수집하여 재활용할 수 있는 폐수가 많이 나온다. 주요 폐수는 다음과 같다.

- 소변
- 승무원 호흡으로 인하여 생긴 물
- 땀
- 식물의 작용으로 생기는 발산과 "사용된" 영양소 용액
- 세척(위생 및 식품 세척)
- 연구용 동물



국제 우주 정거장의 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS). 파란색 살표는 1차 폐수 처리 흐름을 나타낸다. 초록색 화살표는 대기에서 물을 재활용하는 것을 나타낸다.

ISS 폐수를 처리할 때에는 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS)이라고 하는 복잡한 다기능 시스템이 사용된다. 냉장고 세 대 크기인 ECLSS는 다음과 같은 다양한 환경 관리 기능을 수행한다.

- 신진대사에 필요한 산소 제공
- 마실 물, 음식 준비, 위생용 음용수 제공
- 선실 공기에서 일산화탄소 제거
- 선실 공기에서 미립자와 미생물 여과
- 선실 공기에서 휘발성 유기 미량 기체 제거



Moon water recycling system



- 선실 공기를 모니터링하여 질소, 산소, 이산화탄소, 메탄, 수소, 수증기의 부분적인 압력 조절
- 선실의 전체 압력 유지
- 선실 온도와 습도 유지
- 선실 공기를 연결된 모듈 사이로 분배

ECLSS의 물 회수 시스템은 소변 처리 장치와 물 처리 장치로 구성된다. 모아둔 승무원과 실험실 동물(있는 경우)의 소변은 소변의 물 증발 속도를 높이는 저압(진공) 증류 과정을 거친다.(물 재활용의 측면에서 전체 쥐 72마리의 소변 생성량은 사람 한 명에게서 나오는 양에 해당한다.) 진공 상태에서는 소변에서 물이 증발하는 속도를 높여준다. 증발된 물을 모아 추가 처리를 하면 화학 물질과 미립자 오염물이 남는다.

소변 처리 장치에는 증발하는 소변을 원심 분리하는 회전 셀이 있다. 이 장치를 사용하면 소변에서 기포, 섬유 등을 쉽게 분리할 수 있다. 지구에서는 비슷한 시스템이 중력을 이용해 소변을 필터에 걸러 대형 고형물을 제거하는데, 이때 기포가 맨 위로 올라간다.

그러나 ISS의 마이크로중력 환경에서는 다른 방법이 필요하다. 회전 증류 셀은 원심 가속을 통해 인위적인 중력을 만들어낸다. 기포가 셀 중앙으로 이동하면 소변이 밖으로 빠르게 배출된다. 회전 셀의 효과는 세탁기가 회전할 때 회전 드럼 벽에 있는 구멍으로 물만 빠져나가고 옷은 그대로 남는 경우와 아주 비슷하다.

소변 처리 장치에서 나온 생산수가 다른 ISS 기능에서 발생한 폐수에 더해진다. 다른 폐수 공급원에도 처리 전 물에서 분리해야 하는 다양한 물질과 기포가 있으므로 동일한 회전 셀 과정을 거쳐 전체 폐수를 여과해야 한다. 그런 다음 전체 폐수는 일련의 여과장치를 거쳐 물 처리 장치로 보내져 추가로 정화된다. 미립자 필터(기본적으로 미세한 망)를 통과한 후에는 다섯 개의 연속 여과상을 통과한다.

첫 번째 여과상인 활성탄(AC)은 폐수에서 더 큰 유기 화합물을 제거한다. 나머지 여과상 네 개는 서로 다른 이온 교환 수지(IRN)로, 무기 이온(전하를 띤 원자)과 소형 유기 분자를 제거한다.

그 다음 폐수 처리 단계인 휘발성 제거 장치(VRA)에서 나머지 모든 유기 화합물이 제거된다.

이 장치는 백금 촉매를 입힌 구체로 채운 상(bed)이다. 유기물은 산소가 있는 고온에서 CO₂로 산화되며 추가 이온 교환 수지로 물의 pH를 중성(7pH)으로 되돌린다. 물은 끝으로 요오드를 입힌 이온 수지가 들어 있는 미생물 역행 방지판(MCV)을 통과한다. 요오드가 물에 녹으면서 물 탱크 내에서 미생물의 성장을 제한하는 살생물제 역할을 한다.

물 처리의 마지막 단계는 전기 전도 센서를 이용해 물의 순도를 확인하는 일이다. 순도가 좋지 않으면 물을 시스템에 다시 통과시켜 더 처리한다. 순도 시험을 통과한 물은 승무원이 사용할 수 있도록 저장 탱크로 보내진다.

ISS의 물 회수 시스템은 폐수에 들어 있는 물의 평균 93퍼센트를 회수할 수 있다. 소변 구성요소의 약 15%는 버려야 할 고염도 액체로서 시스템에서 보관한다. 이러한 소변 손실은 대기 응축 및 소변 이외 폐수를 100% 가까이 회수함으로써 상쇄된다.

물 회수를 통해 승무원 작업을 지원하기 위해 우주로 발사해야 할 물의 양을 크게 줄일 수 있다. 이렇게 절약되는 발사 질량은 다른 ISS 작업을 지원하는 데 사용할 수 있다.



물 재활용 시스템의 설계



달에서의 물 재활용 시스템의 설계라는 도전과제는 학생들이 이전 활동에서 얻은 지식과 성과의 결과물이다. 이 도전 과제는 자금 자족이 가능한 미래의 달 기지를 현실화할 때 도움이 될 수 있는 실용적인 물 재활용 시스템을 함께 만들 수 있는 기회가 된다.

소그룹으로 구성된 학생 팀이 네 단계로 작업하면서 같은 물질을 이용해 달 기지에서 나오는 폐수와 같은 성분의 모의 폐수를 만든다. 학생 팀은 기본 실험 절차를 이용해 모의 폐수의 특성을 즉시 분석하고 이 폐수를 재활용할 수 있는 순환 시스템을 만든다. 각 팀은 동일한 실험 방법으로 정화된 물을 검사하고 그 결과를 처음 실험과 비교해 자신이 만든 재활용 시스템의 효과를 확인한다. 마지막으로 각 팀의 결과를 발표한다.

달에서의 물 재활용은 지구에서 가져온 물로 시작될 것이다. 물 재활용 시스템은 유지관리가 간편하며 재사용하기 어려운 물질은 거의 없도록 해야 한다. 언젠가는 햇빛이 차단된 깊은 크레이터에서 얼어 있는 물이 발견될지도 모른다. 아무리 많은 양의 물이 발견된다 하더라도 물 재활용은 달 환경에 영향을 줄 쓰레기 문제를 방지하기 위해서라도 꼭 필요하다.

이번 차시에서 학생들은 이전 5차시에 걸쳐 얻은 지식을 이용해 미래의 달 기지에서 사용할 수 있는 완벽한 물 재활용 시스템을 설계하는 활동을 하게 된다.

학습 목표

팀을 구성하여 미래의 달 기지에서 사용할 수 있는 완벽한 물 재활용 시스템을 설계할 수 있다.

 해당 학년 중학교 1 ~ 2학년

 소요 시간 120분

1단계 : 모의 폐수 만들기

이것이 필요해요

깨끗한 1L의 눈금 실린더 또는 플라스크, 유리막대, 50~100mL 들이 소형 눈금 실린더, 접시저울 또는 전자저울, 필터 종이, 보안경, 가정용 암모니아 세정제(무향, 무색), 흰색 증류 식초, 베이킹 소다, 가는 소금, 베이비 샴푸





배경 지식

달 기지의 폐수는 여러 공급원에서 나온 물로 구성될 것이다. 가장 분명한 공급원은 승무원 소변일 것이며, 승무원들은 발한과 호흡을 통해 물을 생성하고 이 물이 공기 중에서 응축될 것이다.

그리고 폐수는 음식 준비, 설거지, 빨래, 목욕, 손 씻기, 양치질 등 개인 위생 용수에서도 나올 것이다.

폐수에는 섬유와 계면활성제(비누, 세정제) 같은 다양한 입자와 암모니아, 염화나트륨, 중산탄염 같은 다양한 화학물질이 포함될 것이다. 폐수에는 승무원에게서 씻겨 나오거나 물 포집 시스템에서 성장하는 박테리아와 기타 미생물도 포함될 것이다.

이 활동에서 사용될 폐수에 들어 있는 화학 물질은 실제 달 기지 폐수의 특정 요소를 그대로 흉내 낸 것이다.

예를 들면 암모니아 세정제는 소변에 있는 암모니아(요소)를 흉내 낸 것이고, 흰색 식초는 대기 응축물과 위생 용수에 있는 휘발성 유기물(아세트산)을 흉내 낸 것이다.

가는 소금과 베이킹 소다는 소변의 염분과 중산탄염을, 베이비 샴푸는 세정제의 유기 물질(계면활성제)을 흉내 낸 것이다.



활동 내용

【모의 폐수 만들기】

1. 수돗물 600mL를 실린더나 플라스크에 넣는다.

2. 물이 든 실린더나 플라스크에 성분을 추가한다.

- 가정용 암모니아 세정제 - 30mL
- 베이킹 소다 - 2g
- 가는 소금 - 1g
- 흰색 식초 - 2mL
- 베이비 샴푸 - 6mL

건조한 화학물질을 측정할 때에는 저울에 필터 종이를 놓는다. 저울 눈금을 0으로 맞춰 종이 질량을 제외시킨 후 화학 물질을 측정한다. 종이를 잡고 말면 화학 물질을 실린더나 플라스크에 쉽게 넣을 수 있다.

3. 실린더나 플라스크 내용물을 살살 섞는다. 세게 젓거나 흔들면 계면활성제의 거품이 일어난다. 거품이 생기면 거품이 가라앉을 때까지 용액을 그대로 둔다.

4. 수돗물을 조심스럽게 넣어 폐수의 양을 1L로 만든다.



지도상 유의점

1. 모의 폐수를 만져도 안전하지만 항상 적절한 실험실 안전 절차에 따라야 한다.
 - 보안경을 착용한다.
 - 화학물질을 다룰 때는 장갑을 착용한다.
 - 폐수를 만진 후에는 손을 씻는다.
 - 폐수를 마시지 않는다.
 - 모든 물 시험 키트의 안전 지침을 따른다.
2. 여러 팀이 활동을 진행할 경우 필요한 모의 폐수의 리터수에 맞게 재료를 준비한다. 대형 플라스틱 통이나 세척한 플라스틱 음료수병 또는 우유병에 옮겨 담을 수 있다. 옮겨 담을 때 거품이 생기지 않도록 주의하며, 거품이 생긴 경우에는 가라앉힌 후에 분석해야 한다는 점을 유념하도록 한다.

2단계 : 아날로그 폐수 실험하기



이것이 필요해요

(팀당)

pH 측정 키트, 암모니아 수질 측정기 키트, 전도 측정기, 용존 산소 측정기 또는 시험 키트



배경 지식

음용수의 수질에 영향을 주는 요인은 다양하다. 학생들이 수질을 평가할 때 실시할 첫 번째 실험은 pH 검사이다.

pH는 일반 액체의 산성과 알칼리성을 측정하는 전형적인 검사이다. pH 종이를 액체에 담가 종이 색상을 색상표와 비교한다. 순수한 물은 중성이어서 종이 색상에 영향을 주지 않는다. 액체에 산성 물질이 들어 있으면 종이 색상이 빨간색으로 변한다. 알칼리성 물은 파란색으로 변한다. 음용수의 최적 pH 범위는 6.5 ~ 8.5이다. pH가 6.5 미만이면 쓴 금속맛이 나고, pH가 8.5 이상이면 비눗물처럼 미끄럽고 쓴맛이 난다. 아날로그 폐수의 pH 범위는 약 9.5가 될 것이다.

암모니아는 폐수에 녹아있는 주요 이온이다. 암모니아는 간단한 비색시험(색상이 변하는 종이 또는 첨가액 사용)으로 직접 측정할 수 있다.

수족관 시험 키트는 암모니아에 민감한 물고기를 고려해 1 ~ 10mg/L 범위로 암모니아 수준을 측정하도

록 설계되었다. 모의 폐수 아날로그의 예상 암모니아 수준은 300 ~ 400mg/L이다. 수족관 암모니아 수질 측정을 실시할 수 있으려면 감지 시스템의 적정 범위로 폐수를 희석해야 한다. 그 방법은 다음 절차에 나온다.

NASA 우주선 암모니아 오수 노출 가이드라인(SWEG)은 1mg/L이다. 이 수준은 사람이 흡수한 암모니아의 독성이 아니라 냄새 한계 1.5mg/L를 기준으로 한다. NASA는 이 한계 밑으로 표준을 정해 승무원의 물 섭취를 제한할 수 있는 모든 요소가 음용수에 들어가지 않게 한다.

맛 한계는 약 35mg/L이므로 암모니아 수준이 1.5mg/L보다 높으면 단 기간은 참을 수 있다. 특히 건조 음료 혼합물(예 : NASA에서 만든 유명한 Tang)처럼 물에 무엇을 첨가해 맛과 냄새를 가릴 수 있는 경우에는 더욱 그렇다.

전기 전도는 물속의 염분과 영양소 같은 불순물의 양을 측정할 때 유용한 척도이다. 액체의 전도를 검사할 때에는 액체에 담근 전극에 전류를 흘려 전위(전압)를 측정한다. 염분의 나트륨과 염화물 이온 같은 이온농도가 크면 전위가 크다. 다시 말해 소금물은 민물보다 성능이 더 좋은 전도체이다. 염분이 많을수록 전도성이 크다.

전도성 측정은 상용 전도성 측정기보다 훨씬 단순하다. 이 측정기는 지멘스로 전도성을 표시하는데 지멘스(S)는 볼트당 1암페어(V/A)에 해당하는 전도력을 말한다. 모의 폐수의 전도성은 나트륨 수준이 높아(약 1g/l) 약 5000 μ S/cm(센티미터당 백만분의 1지멘스)가 되어야 한다. 음용수의 나트륨 수준은 200 ~ 300mg/L보다 낮아야 한다. 따라서 처리된 물은 전도성을 3 ~ 4배(< 2000 μ S/cm)로 낮춰야 한다.

생물학적 산소 요구량, 즉, BOD는 수질이 좋은 음용수의 중요한 속성 중 하나이다. 즉, 유기 물질이 없어야 한다. 유기 물질의 전체 양은 물 표본의 BOD를 기준으로 추정할 수 있다.

BOD (단위 ppm)	수질
1-2	매우 좋음 유기성 폐수가 적음
3-5	좋음 - 적당히 깨끗함
6-9+	나쁨 - 약간 오염되었음 박테리아 활동으로 유기 물질이 상당량 존재함
100+	매우 나쁨 - 상당히 오염되었음 유기성 폐수가 위험 수준까지 함유되어 있음



이 방법은 미생물의 유기 물질 분해 능력을 기준으로 한다. 하수와 음식 쓰레기 같은 유기 물질이 물에 있으면 미생물이 이 쓰레기를 분해한다. 그 과정에서 미생물이 산소를 소비한다. 유기 물질이 많은 물은 BOD가 높다(미생물은 유기 물질을 분해하기 위해 더 많은 용존 산소를 소비). 따라서 소비되는 산소량(물속에 있는 용존 산소의 수준 변화로 알 수 있음)을 폐수의 유기 물질 제거 척도로 사용할 수 있다.

용존 산소(DO)는 비교적 저렴한 시험 키트나 학교과학 교재 카탈로그에 나오는 용존 산소 측정기를 이용해 측정할 수 있다. 소형 DO 센서는 수질 모니터링 실험실에서 흔히 사용되는 도구로, 이 도전과제의 재료 부분에 나오는 곳에서 빌려 사용할 수 있다.



활동 내용

【폐수 검사】

설계 도전과제 도입부에 제시된 안전 절차를 계속해서 따른다.

모의 폐수 검사 절차는 시험 키트와 측정기에 따라 결정된다. 키트와 측정기에 있는 지침을 따라야 한다.

1. 각 검사 결과를 기록할 데이터 표를 만든다. 표에 메모 및 관찰 내용을 기록할 공간을 만든다.
2. 폐수의 pH는 검사 키트 패키지 지침을 따른다.
3. 암모니아 검사는 폐수를 검사 키트의 암모니아 검사 키트 범위에 들게 희석해야 한다. 모의 폐수 10mL를 추출해 1,000mL의 비커에 넣는다. 비커에 수돗물 490mL를 넣는다. 이렇게 하면 폐수가 희석되어 암모니아 함유량이 암모니아 검사 키트의 시험 한계 범위 내에 들게 된다. 검사 키트지침에 따라 폐수의 암모니아 수준을 검사한다. 검사 결과에 50을 곱하면 모의 폐수의 암모니아 함유량이 나온다.
4. 측정기와 함께 제공되는 지침에 따라 폐수의 전도성을 검사한다.
5. DO 키트와 함께 제공되는 지침에 따라 폐수의 용존 산소량을 검사한다. DO 측정기를 빌린 경우에는 측정기와 함께 제공된 절차를 따른다. BOD 시험은 다음 단계를 따른다.
 - 뚜껑이 있는 깨끗한 이유식 병 두 개를 준비한다. 병 하나에 수돗물을 가득 채운다(비교군). 두 번째 병에는 모의 폐수를 가득 채운다. 두 병의 물의 양이 동일해야 한다.
 - 각 병에 정원 흙 1/4티스푼을 넣어 물과 섞는다. 흙에는 다양한 미생물이 많이 들어 있을 것이다. 물속에 유기 물질이 들어있을 경우 미생물이 소화하여 용존 산소를 소모하기 시작할 것이다.
 - DO 측정기나 검사 키트를 사용해 두 병의 물속 DO 함유량을 검사하고 데이터를 기록한다.
 - 두 병의 뚜껑을 꼭 닫고 온도가 일정한 어두운 장소에 닷새 동안 둔다. 어두운 장소가 없을 때는 병을 알루미늄 포일로 쓴다.
 - 5일 후 두 병의 DO를 한 번 더 측정한다.
병을 열 때 보안경과 장갑을 끼고 뚜껑을 천으로 덮는다. 가능성은 낮지만 생물 활동을 통해 발생한 기체로 인해 병 속에 압력이 높아졌을 수 있다.
 - 5일의 DO에서 0일의 용존 산소 농도를 빼 BOD를 계산한다. 그러면 mg/L 단위로 BOD가 나온다.



지도상 유의점

1. pH 및 암모니아 시험 키트는 수족관 매장이나 학교 과학 교재 카탈로그를 통해 구입할 수 있다. 키트에는 다양한 시험 용품이 들어 있으며, 가장 적합한 키트는 포장을 확인한다. 전도성 및 용존 산소 측정기는 매우 고가일 수 있다. 학교 과학 교재 카탈로그에서 구할 수 있는 pH 및 암모니아 시험 키트에 들어 있는 측정기는 약간 저렴하다.
2. 이러한 키트처럼 팀끼리 서로 같이 사용해도 된다. 과학 실험실에 있는 데이터 로거와 자료 수집기에 알맞은 전도 및 용존 산소를 구입해도 좋다. 측정기를 저렴하게 구할 수 있는 방법은 지역 수질 모니터링 실험실에 연락하는 것이다. 상수도업체에는 측정기가 있을 것이다. 천연 자원 기관이나 고등학교 및 대학의 환경과학 프로그램에도 장비가 있으며, 이 장비와 함께 전문가의 지원을 받게 될 것이다.

3단계 : 달기지의 물 재활용 순환 시스템



이것이 필요해요

모의 폐수(1단계서 만든 것) 설계 팀이 선택한 기타 재료



배경 지식

NASA는 팀 단위로 우주를 탐험한다. 수십, 수백 또는 수천 명의 과학자, 공학자, 기술자, 의사, 관리자, 우주 비행사들이 함께 노력을 기울여 우주 환경의 수많은 문제를 해결한다. 달 비행, 우주 왕복선 비행, 국제 우주 정거장이 NASA 팀의 노력의 예이다.

달 전초지를 세우는 도전과제는 시스템 접근방법을 통해 해결하게 될 것이다. 달에서 우주 비행사들은 대기, 방사선 보호, 음식, 우주복, 물 등이 필요할 것이다. NASA의 각 팀(공무원, 계약업체, 연구 대학)은 특정 도전 과제를 담당하게 된다. 달의 물 재활용 시스템 개발팀은 장기적인 달 거주에 필요한 물, 공기 및 기타자원을 만들거나 이용하는 방법을 모색하고 있다.

일반적으로 하나의 팀은 팀 리더(또는 프로젝트 관리자) 및 예상되는 어려움과 예상치 못한 어려움을 해결하는 전문가 그룹으로 구성된다. 팀의 첫 번째 단계는 문제와 그 구성요소를 확인하고 문제 해결 방법에 관한 아이디어를 모으는 것이다. 그 다음에는 샘플을 만들어 시험하고 그 성능을 평가한다. 샘플이 성공적인 시스템은 더 높은 NASA 관리진에 제시하여 전체 목표(즉, 달 전초지) 달성 계획에 잘 부합되는지를 평가하게 된다. 이 활동의 과제는 달 전초지의 물 재활용 시스템 원형을 설계, 제작, 시험 및 평가하는 것이다. 원형 시스템은 국제 우주 정거장의 환경 제어 및 생명 유지 시스템(ECLSS) 같은 소형 캐비닛에 맞을 필요는 없다. 문제는

이 활동의 첫 번째 단계에서 만든 모의 폐수를 정화하는 일련의 효과적인 단계를 만드는 데 있다. 학생 팀이 이 과제를 시작할 때 첫 단계는 팀원의 역할을 정하는 것이다. 그런 다음 문제를 확인하고, 브레인 스토밍을 통해 해야 할 일을 정하며, 전략(1차, 2차에 사용할 정수 기술 등)을 정비해 재료를 수집하고 단계를 만들어 시험을 시작하게 된다. 물 정화를 마친 후에는 정화된 물을 동일한 방식으로 검사하고 보고서를 작성한다(4단계).



활동 내용

1. 최대 여섯 명의 학생으로 구성된 설계팀을 만든다. 학생 팀은 지역 대학, 보건 부서, 정부 천연 또는 환경 자원 부서 등의 외부 멘토를 채용하여 지도와 지원을 받을 수 있다.
2. 달 전초지에서 사용할 물 재활용 원형 시스템을 만든다. 이 시스템은 모의 폐수(이 활동 1단계에서 만든 것)를 받아 사람이 먹기에 적합하도록 재활용할 수 있어야 한다. 중요사항: 학생 팀이 원형 시스템을 만들게 되므로 위험할 수 있는 소독 약품을 사용하지 않는다. 정화된 물을 마시지 않는다. 이 활동 2단계에 나오는 절차를 이용해 물 표본을 시험한다.
3. 팀 회의를 통해 도전과제에 대해 이야기를 나누고 시스템 제작 시 사용할 수 있는 기술을 제안하면서 설계 과정을 시작한다. 회의 첫 번째 단계는 팀원의 역할을 정하는 것이다. 팀 역할은 다음과 같다.

팀원	팀역할
프로젝트 관리자	<ul style="list-style-type: none"> • 회의 실시 • 설계 및 프로젝트 일정 관리 감독 및 팀 안전 확인
수석 과학자	<ul style="list-style-type: none"> • 정화 과정연구 • 에너지 요건 및 공급원 확인 • 데이터 수집 및 기록
수석 공학자	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 제작 감독 • 제작 과정 관리 • 시스템 구성요소의 개선 가능성 평가 • 재료 자원 책임자
재료 확보	<ul style="list-style-type: none"> • 도구 확보 • 다양한 재료의 안전 주의사항 숙지 후 팀에 전달
최고 재무 책임자	<ul style="list-style-type: none"> • 예산 계획 • 재료 비용 추적 • 실제 달 시스템의 비용 예측
홍보 책임자	<ul style="list-style-type: none"> • CS와 함께 데이터 차트 작성 • 팀 시스템 발표 설계 • 언론 매체 문의 연락 담당



이것은 미국 환경 보호국에서 제공하는 도시 물 처리 과정을 단계별로 나타낸 그림이다. 사람이 먹기에 적합하도록 물을 정화하는 단계가 나온다. 원수가 빗물과 깨끗한 호수로 표시되어 있으므로 이 작업은 비교적 간단하다. 달에서는 원수에 기지의 폐수가 포함될 것이다.

4. 다음을 완료한다.

- ① 시스템 설계
- ② 구성요소 조립
- ③ 모의 폐수 사전 검사
- ④ 모의 폐수 재활용
- ⑤ 재활용된 모의 폐수 검사
- ⑥ 시스템의 요약 보고서 작성
- ⑦ 교실에서 발표할 비주얼 보고서 제작

4단계 : 평가 및 보고



이것이 필요해요

재활용된 폐수(이 활동 3단계에서), 시험 도구(2단계 참조), 포스터보드와 마커 또는 프레젠테이션 소프트웨어 및 LCD 프로젝터



배경 지식

설계 기술 과정은 시스템 제작보다 훨씬 더 큰 작업이다. 이 과정에는 원하는 결과가 나올 때까지 실시되는 시험, 평가, 재설계, 재시험, 평가 등이 포함된다. NASA의 설계 기술 과정에도 팀들이 진행 상황 보고하고 서로 다른 시스템이 서로 상호작용하는 방법에 관한 다른 팀의 질문에 답하는 회의와 요약 보고가 포함된다.



지도상 유의점

설계 도전과제 도입부에 제시된 안전 절차를 계속해서 따른다.

1. 폐수 재활용 과정에 따라 이 활동 2단계에서 사용된 것과 동일한 시험도구 및 절차를 사용해 표본을 검사한다. 모든 데이터를 꼼꼼하게 기록해야 한다.
2. 팀은 재활용 과정에서 관찰한 것도 기록해야 한다. 물이 각 단계를 통과하는 데 걸린 시간은 얼마인가? 물이 손실된 단계가 있었는가?(예: 여과재에 흡수, 증발 등)
3. 팀에 시스템과 그 성능을 설명하는 포스터 또는 전자프레젠테이션을 만들게 한다.
4. 모든 팀이 각자의 결과를 발표하는 학급 요약보고시간을 마련한다. 외부 멘토들을 발표 시간에 초대한다. 각 팀이 서로의 질문에 답한다.



평가

각 팀에서 제작한 포스터나 프레젠테이션을 검토한다. 팀의 결과를 비교하고 정화된 물의 수질과 시스템의 효율로 순위를 매긴다.



심화 학습

1. 다른 학급의 물 재활용 시스템 설계 도전과제를 요약 보고하는 시간을 마련한다.
2. 학교에서 과학 박람회를 개최할 경우 각 팀들은 박람회 방문객들을 위해 시스템을 설치하고 시연하게 한다.

달의 물 재활용 시스템 설계 도전과제

팀명 : _____

〈 모의 폐수 검사 〉

물의 양 : _____ ml
 pH : _____
 암모니아 : _____ mg/l
 전도율 : _____ μ s/cm
 BOD : _____ g/m
 관찰 내용/메모 :

〈 재활용된 폐수 시험 〉

물의 양(잔량) : _____ ml
 pH : _____
 암모니아 : _____ mg/l
 전도율 : _____ μ s/cm
 BOD : _____ g/m
 관찰 내용/메모 :



물 재활용 시스템의 설계

[사전 검사지]

학년 반 이름

1. 식물이 기공을 통해 공기 중으로 물을 내보내는 과정을 무엇이라고 합니까?()
① 광합성 ② 증산 ③ 증류 ④ 수확
2. 지구 시간으로 달의 일출부터 일몰까지 걸리는 시간은 대략 얼마입니까?()
① 24시간 ② 48시간 ③ 7일 ④ 14일
3. 물 분자는 어떤 원소로 이루어져 있습니까?()
① 헬륨과 산소 ② 나트륨과 염소
③ 산소와 수소 ④ 탄소와 산소
4. 미래의 달 기지에서는 물이 어떤 방식으로 사용될까요?()
① 세탁, 세정 ② 음료 ③ 요리 ④ 모두
5. 달에서 물을 재활용하는 것이 왜 중요하다고 생각합니까?()
① 달의 물은 마시기에 부적합하다.
② 지구에서 물을 가져오는 비용이 너무 많이 소요된다.
③ 달에는 폐수를 처리할 장소가 없다.
④ 폐수를 지구로 다시 가져와야 한다.
6. 물 1L를 우주 정거장으로 발사하는 데 드는 비용은 대략 얼마 정도가 든다고 생각합니까?()
① 25만원 ② 250만원 ③ 2,500만원 ④ 25,000만원
7. 증류는 물이 어떻게 되는 과정입니까?()
① 응축 ② 동결 ③ 증기로 변화 ④ 증산

Moon water recycling system



8. 달의 중력은 지구의 1/6이다. 몸무게가 54kg인 사람이 달에서는 몇 kg 일까요?()
① 82kg ② 27kg ③ 41kg ④ 9kg
9. 다음 중 어느 에너지를 달에서 사용할 수 있겠습니까?()
① 핵 에너지 ② 태양 에너지 ③ 화석 연료 ④ 화학 에너지
10. 달 기지에서 식물을 재배할 때 얻는 장점은 무엇일까요?()
① 음식의 원료 ② 이산화탄소를 산소로 바꿔줌 ③ 폐수의 오염물을 흡수함 ④ 모두
11. 증류를 통한 방법으로는 가장 제거되기 힘든 물질은 무엇이라고 생각합니까?()
① 소금 ② 유기화합물(탄소 함유) ③ 암모니아 ④ 세제
12. 달에 있는 움푹패인 크레이터는 무엇 때문에 생성되었습니까?()
① 운석 충돌 ② 화산 폭발 ③ 지금은 말라버린 호수들 ④ 침식
13. 다음 중 달 기지에 있는 폐수에 포함될 가능성이 없는 물질은 어느 것입니까?()
① 석유 ② 암모니아 ③ 소금 ④ 세제
14. 다음 중 증류 속도를 증가시키지 않는 것은 어느 것입니까?()
① 낮은 압력 ② 열 ③ 밝은 빛 ④ 낮은 습도
15. 응축이 하는 일은 무엇입니까?()
① 물을 증기로 바꾼다. ② 식물에서 나오는 물을 다시 대기로 돌려보낸다.
③ 수증기를 다시 물로 바꾼다. ④ 물을 여과하여 깨끗하게 만든다.



16. ISS는 무엇의 약자입니까?()

- ① 우주 과학 협회 ② 국제 우주 정거장
- ③ 관성 우주 조사 ④ 국제 우주 왕복선

17. 다음 중 폐수 침전물을 여과해 제거할 수 있는 재료는 어느 것이라고 생각합니까?()

- ① 모래 ② 소금 ③ 세제 ④ 모두

18. 다음 물의 순환과정을 나타낸 것입니다. 이 중에서 빠진 단어는 무엇입니까?()

증발 - 응축 - _____ - 유거수* - 증발

- ① 증류 ② 증산 ③ 흡수 ④ 강수

(참고) 유거수* : 지표면을 흐르는 빗물

19. 달에 대기가 부족하다는 사실은 다음 중 어떤 물 재활용 방법에 도움이 됩니까?()

- ① 침전 ② 증발 ③ 증류 ④ 증발과 증류 모두

20. 정수 처리 과정에서 살균은 어떤 과정을 말합니까?()

- ① 입자를 걸러낸다. ② 소변을 제거한다.
- ③ 박테리아를 죽인다. ④ 비누와 세제를 제거한다.

[사전 검사 정답]

1. ② 2. ④ 3. ③ 4. ④ 5. ② 6. ③ 7. ③ 8. ④ 9. ② 10. ④
11. ③ 12. ① 13. ① 14. ③ 15. ③ 16. ② 17. ① 18. ④ 19. ③ 20. ③



물 재활용 시스템의 설계 [사후 검사지]

학년 반 이름



1. 달의 중력은 지구의 1/6입니다. 몸무게가 54kg인 사람이 달에서는 몇 kg이 됩니까? ()

- ① 9kg ② 34kg ③ 68kg ④ 27kg

2. 식물이 공기 중으로 물을 내보내는 과정을 무엇이라고 합니까? ()

- ① 광합성 ② 증류 ③ 탈수 ④ 증산

3. 다음 중 달에서 발견되지 않는 지형은 어느 것입니까? ()

- ① 고대 강 수로 ② 크레이터
③ 용암으로 덮인 분지 ④ 산

4. 달 표면을 덮고 있는 것은 어느 것입니까? ()

- ① 얼음 ② 먼지 ③ 매끈한 암석 ④ 자갈

5. 다음 중 달에서 사용할 수 있는 에너지원은 무엇입니까? ()

- ① 핵 에너지 ② 화학 에너지 ③ 태양 에너지 ④ 바람 에너지

6. 물 10L를 우주 정거장으로 발사할 때 드는 비용은 대략 얼마나 됩니까? ()

- ① 250만원 ② 2,500만원 ③ 25,000만원 ④ 250,000만원

7. 증류는 물이 어떻게 되는 과정을 말하는 용어입니까? ()

- ① 응결 ② 증기로 변화 ③ 응고 ④ 동결

8. 다음 중 달 기지에서 식물을 재배할 때 얻는 장점에 해당하는 것은 어느 것입니까? ()

- ① 음식의 원료 ② 물을 새로 만든다.
③ 승무원을 방사선으로부터 보호한다. ④ 없음



9. 지구 시간으로 달의 한 달은 얼마입니까? ()
 ① 1일 ② 15일 ③ 29일 ④ 32일
10. 정수 처리 과정에서 살균은 어떤 과정을 말하는 것입니까? ()
 ① 침전물 제거 ② 암모니아 제거 ③ 물 맛 개선 ④ 박테리아를 죽임
11. 증류법을 통해서는 가장 제거되기 힘든 화합물은 무엇입니까? ()
 ① 세제 ② 유기화합물(탄소 함유) ③ 암모니아 ④ 소금
12. 달에 있는 커다란 그릇 모양의 크레이터는 무엇 때문에 생성되었습니까? ()
 ① 운석 충돌 ② 화산 폭발
 ③ 지금은 말라버린 호수들 ④ 침식
13. 물 재활용 과정에서 손실되는 물이 없다면 몇 번이나 재활용할 수 있겠습니까? ()
 ① 두 번 ② 다섯 번 ③ 열 번 ④ 제한 없음
14. 다음 중에서 증류 속도를 높일 수 있는 조건은 무엇입니까? ()
 ① 낮은 습도 ② 열 ③ 낮은 압력 ④ 모두
15. 과학자들은 달에서 물을 찾고 있다. 어디에서 찾을 수 있다고 생각합니까? ()
 ① 극 지방의 깊은 크레이터 안 ② 묻혀 있는 호수 바닥
 ③ 지하 강 ④ 얼어 있는 연못
16. 다음 중 음용하기 위해 재활용될 수 있는 폐수에 해당하는 것은 무엇입니까? ()
 ① 소변 ② 세척에 사용된 물 ③ 요리에 사용된 물 ④ 모두



17. 오수에 백반 같은 화학물질을 첨가하면 속도가 빨라집니다. 이런 과정을 무엇이라고 합니까? ()

- ① 소독 ② 침전 ③ 부유 ④ 모두

18. 다음 물의 순환 순서에서 빠진 용어는 어느 것입니까? ()

증발 - _____ - 응결 - 유거수* - 증발

- ① 증류 ② 증산 ③ 응축 ④ 강수

(참고) 유거수* : 지표면을 흐르는 빗물

19. 달에 대기가 부족하다는 점은 다음 중 어떤 물 재활용 방법에 도움이 되겠습니까? ()

- ① 증류 ② 응축 ③ 응결 ④ 소독

20. 미생물을 사용할 때 폐수에서 가장 제거되기 힘든 화합물은 무엇입니까? ()

- ① 소금 ② 유기(탄소) 화합물 ③ 암모니아 ④ 세제

[사후 검사 정답]

1. ① 2. ④ 3. ① 4. ② 5. ③ 6. ③ 7. ② 8. ① 9. ③ 10. ④
11. ③ 12. ① 13. ④ 14. ④ 15. ① 16. ④ 17. ② 18. ③ 19. ① 20. ①







발행일 | 2011년 7월

발행처 | 한국항공우주연구원

주 소 | 대전광역시 유성구 과학로 115(어은동 45번지)

전화번호 | 042. 860. 2114, 팩스 042. 860. 2004

홈페이지 | www.kari.re.kr