

주제 탐구 활동 계획서

학번 및 이름	
관련 과목	생명과학, 지구과학
탐구 주제	외계 생명체의 존재 가능성과 탐사 방법 탐구

1. 탐구 동기

최근에 K2-18b라는 외계 행성에 정말 생명체가 존재할 거라는 기사를 봤다. 예전에도 “이 행성에서 외계생명체가 살고 있을 가능성이 큽니다.” 같은 내용의 글을 꽤 봤는지 처음에는 그냥 어그로일 거라고 생각하고 넘겼다. 근데, 생각보다 기사는 너무 많이 쏟아졌고, 이번에는 정말로 생명체가 존재할 거라고 믿을 만한 강력한 증거를 찾았을 거라는 생각이 들었다. 그러다가 문득 그런 증거를 어떻게 찾았는지, 어떻게 엄청 멀리 떨어져 있는 행성을 찾았는지, 지구의 생명체와 외계 행성의 생명체는 구조부터 다를 텐데 왜 생명체를 찾았다고 하는지와 같은 궁금정이 생겼고 탐구하고 싶어졌다.

2. 탐구 계획(매우 구체적으로 작성)

1. 생명체의 정의 조사

- (1)생명체의 정의와 기본 특성

2.외계 행성에서 생명체가 존재할 수 있는 조건 조사

- (1)행성의 환경적 특성

- (2)항성 및 행성계의 특성

3.멀리 떨어진 외계행성 탐사 방법 조사

- (1)통과 관측법

- (2)도플러 효과

- (3)미세 중력 렌즈 효과

4.인류의 외계 생명체 찾기 시도

- (1)화성

- (2)위성

4.외계 생명체 발견의 의미와 영향 조사

- (1)외계 생명체의 발견이 인류에게 미칠 영향

- (2)외계 생명체 발견을 위해 우리 인류가 앞으로 해야할 것

주제 탐구 활동 보고서

탐구 주제	외계 생명체의 존재 가능성과 탐사 방법 탐구		
학번 및 이름		지도 교사	
탐구 내용 및 결과			

<탐구 결과>

1. 생명체의 정의

생명체는 일반적으로 에너지와 물질을 바탕으로 생명활동을 수행하는 물질대사, 외부 자극에 반응하는 반응성, 체온이나 혈당처럼 내부 상태를 일정하게 유지하려는 항상성, 그리고 성장과 생식, 진화와 같은 특징을 가진다고 알려져 있지만 이러한 기준은 모든 생명체에 똑같이 적용되지는 않는다.

예를 들어, 수컷 당나귀와 암컷 말 사이에서 태어난 노새는 생식 능력이 없지만 우리는 노새를 분명한 생명체로 간주한다. 반면에, 바이러스는 성장하지 않고, 숙주세포 바깥에서는 생식을 할 수 없으므로 살이 있다고 할 수 없다. 이러한 예는 생명을 단순히 몇 가지 특징만으로 정의하는 것이 어렵다는 사실을 보여준다.

결국 생명이란 개념은 단일한 기준으로 명확히 규정하기 어려운, 복합적이고 유동적인 특성을 가진다. 그렇기에 우리는 생명의 정의를 고정된 틀로 보기보다는, 다양한 사례와 예외를 포괄할 수 있도록 사회적이고 과학적인 합의가 필요하다.

2. 외계 행성에서 생명체가 존재할 수 있는 조건

(1) 행성의 환경적 특성

생명체가 살 수 있는 외계 행성의 조건에서 가장 우선시되는 것은 그 행성이 암석으로 이루어져야 한다는 것이다. 물론 가스 행성의 대기 상층부에 생명체들이 살고 있을 가능성은 전혀 없는 것은 아니지만, 중력이 매우 크고 딱딱한 표면이 없다는 점을 고려하면 생명체가 있을 가능성은 적은 것으로 받아들여지고 있다.

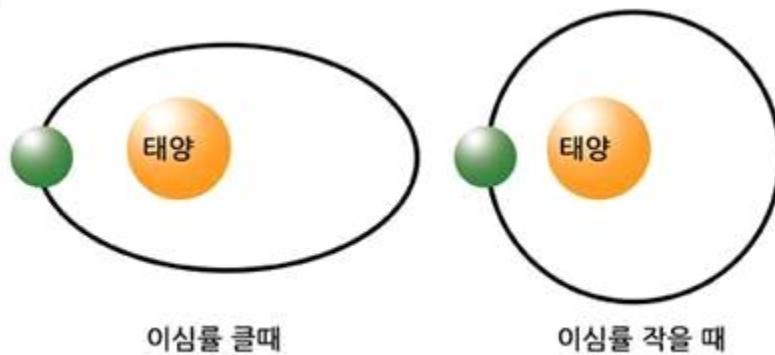
또한, 생명체 존재에 중요한 것은 액체 상태로 물이 존재해야 한다는 것이다. 물은 어떠한 성질을 가졌기에 생명체를 찾을 때 물을 찾을까? 물 분자는 분자 안에서 전기가 한쪽으로 치우쳐져 있는 극성 분자로서, 산소 원자는 부분적으로 음전하를 띠고 수소 원자는 부분적으로 양전하를 띤다. 이러한 극성 때문에 물은 다양한 이온성 및 극성 물질을 용해시키는 데 매우 효과적이며, 이는 유기 분자들이 서로 상호 작용하고 결합하는 데 필요한 환경을 제공한다. 또한, 물 분자 간의 수소 결합은 물의 표면 장력을 높여 특정 유기 분자들이 물 표면에 모이도록 도와 반응이 일어날 확률을 높인다. 그래서 지구 밖 행성에서 생명체를 찾기 위해 무엇보다 그 행성에 물이 있나 없나를 따지는 것이다.

그리고 대기를 유지하지 못할 만큼 질량이 너무 작아서는 안된다. 질량이 작으면 중력도 작으므로 탈출 속도가 작아져 대기를 안정적으로 표면에 붙잡아 두기 어렵다. 대기가 없는 행성은 원시적 생화학 작용에 필요한 물질이 부족하며, 지표면에는 단열 효과 및 열전달이 거의 발생하지 않고, 방사선과 운석으로부터 보호받을 수 없으며 기압이 낮아지므로 물이 액체 상태로 존재하기 어렵다. 한 마디로, 생명체가 탄생해 진화할 만큼 오래가기 위해서는 행성이 일정 크기 이상 되어야 한다.

자기장은 태양풍과 우주 방사선을 막아 생명체가 생존할 수 있는 환경을 제공한다. 화성도 한때는 표면의 20%가 바다로 덮여 있었다고 예측되고 있다. 하지만, 어떠한 이유로 인해서 화성의 자기장이 사라진 후 화성의 대기가 강한 태양풍에 의해서 날아갔고, 이로 인해 기압이 낮아져 화성의 바다도 완전히 말라버려 생명체의 씨앗이 소멸하였다. 이처럼 자기장이 존재하지 않으면 대기와 액체 상태의 물이 존재하기

어려우므로 자기장이 없는 곳은 생명체를 기대하기 어렵다.

(2) 항성 및 행성계의 특성

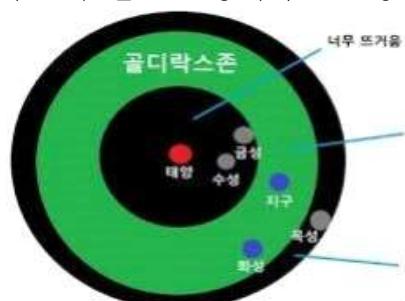


공전과 안정성은 행성 거주가능성에 영향을 미친다. 궤도이심률은 행성이 항성에서 가장 가까울 때와 가장 멀 때의 차이이다. 다음 그림과 같이 이심률이 클수록 태양과 행성 사이의 거리가 커지므로 행성 표면 온도 변화량은 커진다. 지구의 이심률은 0.02이하로 거의 원에 가까우며, 수성 제외 태양계의 다른 행성들도 거의 원에 가까운 궤도로 태양을 둔다. 그러나 발견된 외계 행성들 중 90퍼센트가 태양계 내 어떤 행성보다도 큰 이심률을 가지고 있었으며, 이심률 값의 평균은 0.25였다. 이는 생명체 생존에 얼마나 치명적일지는 불분명하지만 생명체가 살 가능성을 막는 요인이 될 수 있다.

달이 지구를 공전하면서 언제나 같은 면만을 보이는 것처럼, 어떤 행성들도 항성을 도는 공전 주기와 자전 주기가 일치해 한쪽 면만이 항성을 향하게 되는 경우가 있다. 이러한 상태를 조석 고정이라고 한다. 이런 행성에서는 한쪽 반구는 영원한 낮, 반대쪽 반구는 영원한 밤이 지속된다. 이런 환경은 온도 차이가 극심하기 때문에, 생명체가 존재하기에 적합하지 않을 수 있다. 물론 행성에 대기가 존재한다면, 온실 효과를 통해 낮 쪽에서 받은 열 일부가 밤 쪽으로 이동할 수 있다. 하지만 대기가 충분히 두껍지 않다면, 이 열의 이동만으로는 극한의 온도 차이를 극복하기 어려워 생명체가 안정적으로 서식하기에는 불리할 수 있다. 이러한 조석 고정 행성에서 생명체가 존재할 수 있는 가장 유력한 곳은 낮과 밤의 경계선, 즉 터미네이터 존(Terminator Zones)이라고 불리는 지역이다. 이 얇은 경계선은 빛이 비치는 밝은 면과 영하의 추위가 있는 어두운 면 사이의 완충지대여서 비교적 온도가 일정하게 유지되어 액체 상태의 물이 존재할 수 있으며, 그로 인해 생명체가 서식할 수 있는 환경이 조성될 수도 있다.

한 항성 주위에 형성되어 있는 행성계에서 어떤 행성에 생명체가 발생할 조건이 되기 위해서는 모항성에서 적당한 거리만큼 떨어져 있어야 한다. 천문학에서 행성이 항성으로부터 너무 가깝지도 멀지도 않아 액체 상태의 물이 존재할 수 있는 영역을 골디락스 존이라고 한다. 당연히 골디락스 존에 있더라도 생명체가 있을 거라고 보장할 수는 없다.

모항성이 안정적 이어야 한다. 모든 별들은 광도가 변하는데, 그 변화하는 정도는 별에 따라 다르다. 대부분의 별들은 상대적으로 광도가 일정하지만 일부 변광성들은 밝기가 큰 폭으로 바뀐다. 이러한 급격한



밝기 변화는 특정 온도 범위에 적응되어 있는 생물들은 극심한 온도 변화를 견디기 어렵게 하며, 동시에

감마선과 엑스선을 함께 방출하기 때문에 생명체에게 치명적이다. 천체의 대기는 이런 유해한 광선의

효과를 줄여 주지만, 대기 탈출 등으로 변광성 주위 행성의 대기는 고주파 에너지에 의해 대기를 잃었을

가능성이 크다.

3. 멀리 떨어진 외계행성 탐사 방법 조사

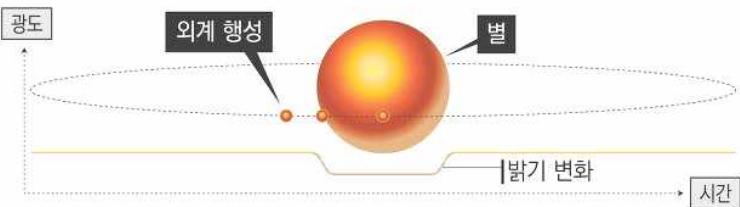
행성은 스스로 빛을 내지 않기 때문에 행성을 찾으려면 간접적인 방법을 이용해야 한다. 그 방법 중에는 통과관측법(Transit Method), 시선속도법(Radial Velocity Method), 미세 중력 렌즈 효과(Microlensing) 등이 있다.

(1) 통과 관측법

통과 관측법은 외계 행성이 중심별 주위를 공전하다가 우연히 별 앞을 지나갈 때, 그 별빛의 일부를 가려 일시적으로 밝기가 감소하는 식 현상을 이용해 외계 행성을 탐지하는 방법이다. 대부분의 경우 이러한 밝기 변화만으로도 외계 행성의 존재를 확인할 수 있지만, 몇 가지 한계도 존재한다.

이 방법은 행성의 공전 궤도가 지구에서의 관측 방향과 정렬되어 있어야만 관찰할 수 있으며, 적색거성과 같이 크기가 매우 큰 별의 경우, 행성의 통과로 인한 광도 변화가 너무 작아 감지하기 어려운 경우도 있다. 이러한 한계에도 불구하고 외계 행성 대부분은 이 방법으로 발견되었다.

통과 관측법의 원리

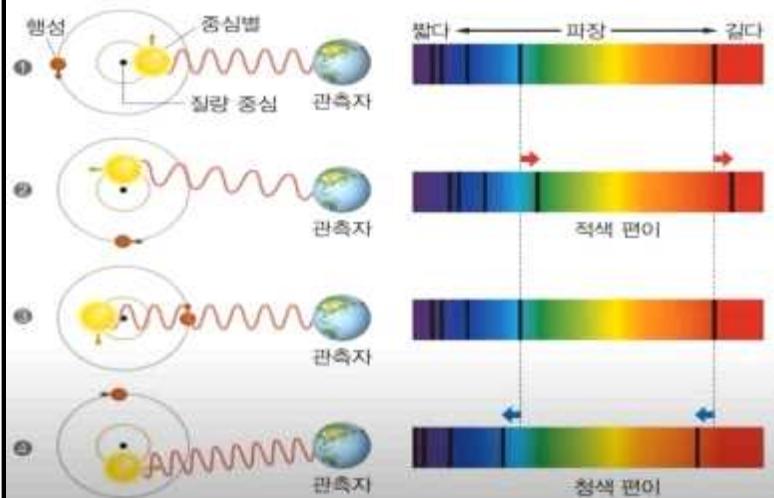


행성이 별 앞을 지나갈 때 밝기가 살짝 줄어드는 원리를 이용하는 천체 관측법이다.

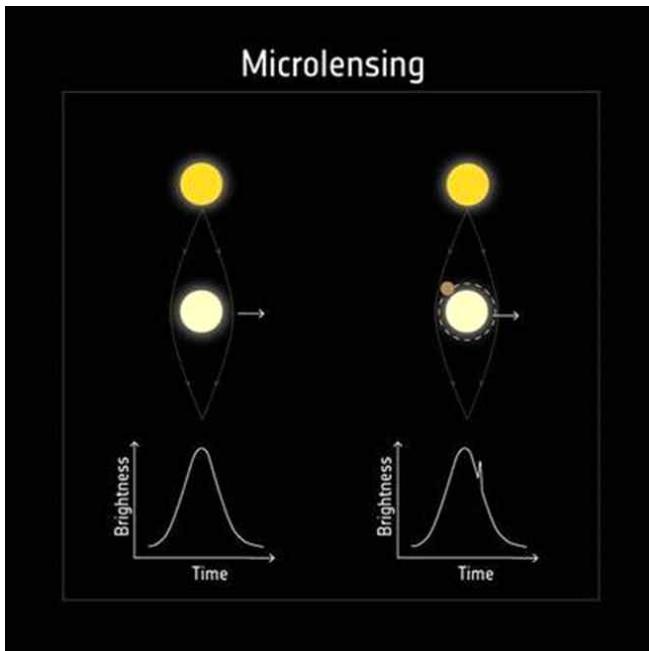
케플러 우주망원경이 이 방법으로 수천개 별을 찾았다.

트랜짓(통과)이 일어나는 동안 중심별의 스펙트럼 변화를 분석하면 외계 행성 대기의 성분이나 대기의 두께를 파악할 수 있다. 또한, 행성이 별 앞을 통과하는 데 걸리는 시간을 측정하면 공전 속도를 알 수 있고, 여기에 케플러 제 3법칙을 적용하면 행성의 공전 궤도 반지름, 즉 중심별과 행성 사이의 거리를 계산할 수 있다.

(2) 시선속도법



물체가 멀어질 때, 파장이 길어지고 주파수는 낮아지는 현상인 적색편이(redshift)와 물체가 멀어질 때, 파장이 짧아지고 주파수가 높아지는 현상인 청색편이(blueshift)를 이용하여 외계 행성을 찾아내는 시선속도법이 있다. 행성을 지닌 별은 행성의 중력에 영향을 받아 작게 움직이는데, 이로 인해 관측 대상이 지구에 가까워지거나 멀어지면서 도플러 효과에 의한 적색/청색편이가 일어난다. 이를 이용해 별빛의 스펙트럼을 분석하여 행성의 존재를 확인하고 측정할 수 있다. 행성의 질량이 클 때(행성의 질량이 작을 때), 별의 공전궤도 반경이 작을 때(행성의 공전궤도가 작을 때) 별의 공전 속도가 빨라지므로 편이량(파장 변화)이 커진다. 편이량이 커지면 정보를 빠르게 얻을 수 있고, 궤도와 질량 계산에 유리해져서 외계행성 분석이 쉬워진다. 단점으로는 행성의 궤도면이 시선방향과 수직이면 안된다는 것이 있으며 케플러 법칙을 이용하면 행성의 질량을 알아낼 수 있다.



(3) 미세 중력 렌즈 효과

미세 중력 렌즈 효과는 두 별이 같은 시선방향에 있을 때 뒤 쪽에 있는 천체에서 오는 빛이 앞쪽에 있는 별의

중력에 의해 미세하게 굴절되는 현상이다. 이 현상을 이용하여 외계 행성을 찾을 수 있다. 위 그림에서 두 그래프는 중심별 뒤쪽의 배경별에서 나오는 별의 밝기를 나타낸 것이다. 오른쪽 그래프는 왼쪽 그래프와 달리 밝기가 잠깐 증가했다가 감소하는 부분이 있는데, 밝기가 증가했다가 줄어드는 부분이 나타난 이유는 행성의 미세한 중력이 일부 빛을 모아주기 때문이다. 이런 밝기 변화로 외계 행성이 있다는 것을 알 수 있다. 미세 중력 렌즈 효과를 이용한 관측법은 시선방향과 공전 궤도면이 수직이라도 관측 가능하다는 장점이 있으며, 질량이 작고 공전주기가 긴 행성을 탐사할 때 유리하다. 그러나 주기적인 관측은 불가능해서 이 방법으로 발견된 행성 수는 적다.

4. 인류의 외계 생명체 찾기 시도

(1) 화성

1976년 미국의 NASA(미항공우주국)는 화성에 바이킹호를 보내어 생명체를 탐사했다. 바이킹호의 카메라를 통해 생물이나 생명의 흔적을 찾아보았지만 찾을 수 없었다. 그러나 NASA는 화성의 토양 속에 미생물이 존재할 수 있다는 가능성을 가지고 생명 현상의 특성을 이용한 실험을 하였다. 만약 화성 토양에 생명체가 있다면, 생명체는 물질대사를 할 것이다.

가설 : 화성 토양에 물질대사를 하는 생명체가 있을 것이다.



1. 동화작용 실험

화성 토양이 들어 있는 실험 용기에 방사성 기체인 $^{14}\text{CO}_2$ 를 넣고 흡열 반응인 동화작용을 위해 빛을 비춘다. 그리고 시간이 지난 뒤, 실험 결과에 영향이 없도록 반응하지 않은 방사성 기체를 제거하고 용기를 가열하여 화성 토양을 가열한다. 방사능 계측기의 변화를 측정한 결과, 방사능 계측기에는 변화가 없었다. 광합성을 하는 생명체가 존재했다면 ^{14}C 를 포함한 유기물이 합성되고, 이것을 가열했을 때 방사성 기체가 발생했을 것이다. 즉, 동화작용을 하는 생명체가 없다.

2. 이화작용 실험

①

화성 토양을 넣은 용기에 방사성 동위원소 ^{14}C 를 포함한 영양분 용액을 첨가한다. 그 결과, 방사능 계측기에 아무런 변화도 일어나지 않았다. 만약 생명체가 이화 작용을 했다면 이 영양분 용액이 분해되어 ^{14}C 를 포함하는 기체가 생성되어 방사선을 내뿜었을 것이다. 그러나 방사능 계측기에 아무런 변화도 일어나지 않았다. 영양분을 섭취하고 대사하면서 방사성 이산화탄소를 방출하는 생명체가 없다.

② 용기 안 화성 토양에 방사성 동위원소를 포함하지 않는 영양분 용액을 넣고, 내부의 기체 조성 변화를 기체 분석기로 확인한다. 그 결과, 기체의 조성에 변화가 없었다. 즉, 화성 토양에 호흡이나 대사작용을 하는 생명체가 없다.

결론 : 화성 토양에는 생명체가 존재하지 않는다.

모두 실험 결과에 변화가 있긴 했지만, 신뢰하기엔 너무 미약한 수준이었고, 다른 요인에 의한 결과일 수 있다고 해석되면서 결정적인 증거가 없다고 결론이 내려졌다.

(2) 위성

태양계 내 지구 이외의 천체에서 생명체가 존재할 것이라고 여겨지는 곳에는 목성의 위성 유로파, 토성의 위성 엔셀라두스 등이 있다.

토성의 위성 엔셀라두스는 얼음 아래에 액체 상태의 바다를 품고 있으며, 물기둥 속에서 물, 메탄, 암모니아, 수소 등의 성분이 발견되어 생명체 존재 가능성이 큰 천체로 주목받고 있다. 2018년에 카시니 탐사선은 그 물기둥에서 복잡한 구조의 유기물을 검출했으며, 이는 지구 생명체 형성과 유사한 조건임을 시사한다. 이에 따라 과학계는 직접 탐사를 위한 차세대 미션들을 준비하고 있다. 예정된 탐사로는 물기둥을 분석하는 '엔셀라두스 오비터', 얼음을 녹여 내부 바다로 진입하는 '크라이오봇', 착륙해 샘플을 분석하는 '랜더' 등이 있다.

목성의 위성 유로파는 표면은 얼음으로 덮여 있지만, 그 아래에는 열수분출공이 있는 지하 바다가 존재할 가능성이 높다. 그리고 표면의 얼음 협곡은 아래층의 대류 현상에 의해 만들어진 것이기에, 바다 아래에 유기물이 형성되었다면 이 협곡에서 다량의 유기화합물을 찾을 가능성이 크다고 한다. 또한, 지하 바다에 생명체의 필수 요소로 꼽히는 탄소가 들어있을 가능성을 보여주는 연구 결과가 나왔다. 이러한 점에서 유로파는 생명체 존재 가능성이 큰 천체로 주목받고 있다. 이 위성을 탐사하기 위해 유로파 클리퍼와 같은 탐사선을 보낼 예정이었다. 그런데 돈줄을 쥐고 있는 미국 의회에서 NASA가 요구한 유로파 탐사 예산의 10배, 1억 7500만 달러를 쥐어주었다! 그 대신 유로파 "착륙"을 포함하도록 못박고 있다. 상황이 이렇게 되자