

<생명 서식이 가능한 외계 행성 탐색>

생명의 지속적 서식이 가능한 외계 행성 400만개

01

글 | 홍승수 _ 서울대학교 물리·천문학부 교수 sshong@astro.snu.ac.kr

니콜라우스 코페르니쿠스의 이름 뒤에 늘 혁명이란 단어가 붙어 다닌다. 그의 '천체의 회전에 관하여'가 인류의 우주관에 대변혁을 불러왔기 때문일 것이다. 프톨레마이오스 이후 1천500년 동안이나 인류 사고의 기본 틀을 굳건히 지배해 오던 지구 중심의 우주관을 태양 중심의 것으로 대체해야만 했던 당시의 지성들은 얼마나 깊은 허탈감에 빠져 있었을까. 하지만 인류는 이 허탈의 경험을 통하여 비로소 자연 앞에 겸허해 질 수 있었다. 철저한 겸허는 한 사람의 마음에 용기의 싹을 틔운다. 오늘 우리가 "외계생명체는 과연 존재할 수 있을까"라고 물을 수 있게 된 것도, 사실 철저한 겸허에서 비롯된 진정한 용기의 소산일 것이다.

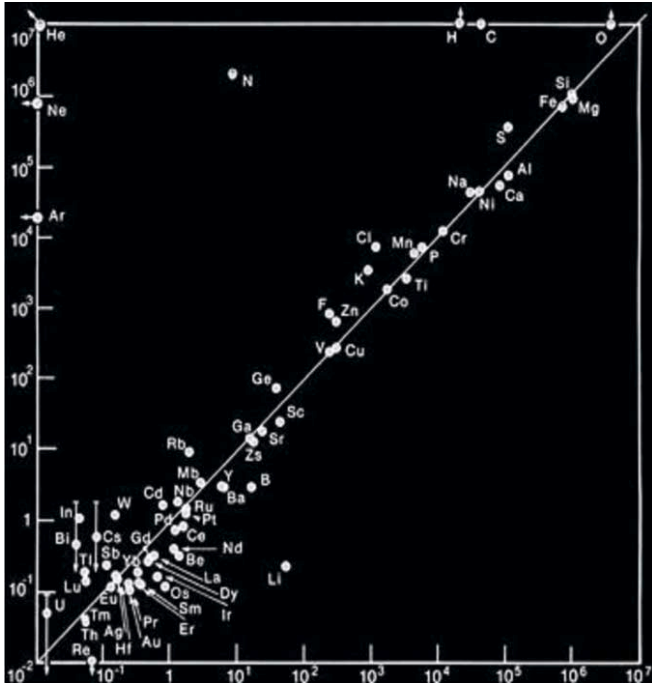
인류사의 중요한 혁명들이 현재 진행형인 것처럼 코페르니쿠스 혁명 또한 그러하다. 코페르니쿠스 혁명이 완성되는 날 지구인들이 모두 우주 시민으로 다시 태어나게 될 터이므로, 인간 존재의 우주적 보편성을 인정할 용기의 소유자라면 위에 던져진 질문에 대하여 '존재할 수 있다'는 힘찬 긍정의 답을 기대할 것이다. 필자 역시 그런 이들 중의 한 사람으로서, 이 짧은 글에서 외계 생명체의 존재 가능성을 대강 따져보고자 한다. '과학과 기술'이 특집으로 다루는 주제의 '외계 생명체'란 지구 생명체와 전혀 다른 속성의 존재를 의미하지는 않을 것이다. 만약 그렇다면 넓게 열린 물을 앞에서 우리는 한치도 움직일 수가 없다. 그래서 이 글에서는 외계 생명체를 지구 생명체와 같이 자가 복제 능력을 갖추고 다윈 진화를 경험하는 존재로 제한하겠다. 태양계 46억 년의 긴 역사에서 행성 지구에는 아주 일찍부터 생명이 발현될 수 있는 여건이 마련돼 있었다. 그리고 태어난 생명체들이 진화의 여정을 계속 밟아 가며 절멸의 위기들을 넘길 수 있도록, 지난 삼십 수억 년 동안 지구의 생태 환경은 안정적 상태를 유지해 왔다. 이러한 여건을 갖춘 행성체들이

우리은하 안에 몇 개나 존재할지 가늠할 수 있다면, 외계 생명체에 대한 우리의 기대치도 그만큼 높아질 것이다.

액체 위상의 물

생체 진화 이전 단계에 있었던 물질의 화학 진화가 자가 복제의 기능을 갖춘 분자들을 합성해내기까지 원시 지구의 표면에서는 수 없이 많은 종류의 화학 반응들이 끝없이 반복되는 시행착오를 겪어야 했을 것이다. 그래도 그 수많은 시행착오의 시도들이 무위가 아니었으니, 원시 지구에 화학 반응이 높은 비율로 진행될 수 있는 환경이 조성돼 있었을 터이다. 반응물의 크기는 반응에 참여하는 구성원들의 밀도와 그들의 무작위 속도의 곱에 비례하여 증가한다. 한편 원자와 분자들의 무작위 운동은 온도의 제곱근에 비례하는 속도를 갖는다. 따라서 농도와 온도가 적정 수준 이상으로 유지되는 농밀한 용액에서 생명을 향한 최초의 화학 진화가 진행됐을 것이다. 우리는 이러한 상태의 용액을 '우주 수프'라는 별명으로 부른다. H_2O 가 높은 극성을 띠는 분자이며, 102도나 되는 비교적 넓은 범위의 온도 조건에서 액체 위상으로 존재한다. 그러므로 물이 우주 수프의 국물로서 최적의 선택이다.

이러한 주장이 지나치게 지구 중심적이라고 비난하는 이들이 있다. 우리 자신이 코페르니쿠스 혁명의 완성을 깊이 의식하고 있지만, 지구 중심적 사고에서 완전히 해방될 수는 없는 노릇이다. 왜냐하면 지구 생명이, 현재까지 우주에서 확인된 유일한 예이기 때문이다. 그리고 얼음이 혜성 핵의 주성분일 뿐 아니라, 다양한 환경의 석간 물질에서도 H_2O 분자가 다량으로 검출된다. 그러므로 액체 위상의 물의 존재를 생명의 발현 요건으로 삼는다고 해서 우리 눈치가 지구 중심적 사고에 전적으로 의지하는 것은 아니다.



〈그림 1〉 아엔데 운석의 화학 조성을 태양 대기의 조성과 대비한 그림이다. 횡축과 종축의 눈금이 운석과 태양의 원소별 함량비를 각각 나타낸다. 운석에 결핍된 일부 불활성 원소와 휘발성 원소를 제외한다면 태양과 운석의 화학 조성이 놀랄 만큼 잘 일치한다. 비록 불활성이거나 휘발성이거나 해도 태양의 막강한 중력 때문에 태양의 표면을 이탈할 수 없었을 것이다. 그러나 운석에서는 이러한 성분의 기체가 쉽게 빠져나갈 수 있다. 그러므로 태양계를 구성하는 모든 천체들이 동일한 성간운에서 태어났음을 알 수 있다. 화학 조성의 일치는 외계 행성계에서도 그대로 성립 될 것이다.

항성과 행성계의 태동

태양 이외의 항성들도 주위에 행성계들을 거느리고 있을까? 그리고 그 계를 이루는 행성체들 중에 지구와 같은 고체 행성이 들어 있다고 확신할 수 있는가? 현재까지 외계에서 250여 개의 행성체들이 발견됐지만, 지구형의 고체 행성으로 확인된 예는 단 한 건도 없다. 그들은 모두가 목성형의 거대 기체 행성들이다. 그렇다면 외계 행성은 모두 기체 행성이란 말인가? 그렇지 않을 것이다. 우리가 현재 구사할 수 있는 행성의 검출 방법이 거대 행성의 발견에 유리하기 때문일 것이다. 관측 기술의 한계 때문에 질량이 작은 지구형의 고체 행성들은 검출하기 어렵다. 관측이 우리에게 들려줄 얘기가 없다면, 행성의 형성 기작을 이론적 관점에서 살펴볼 필요가 있다.

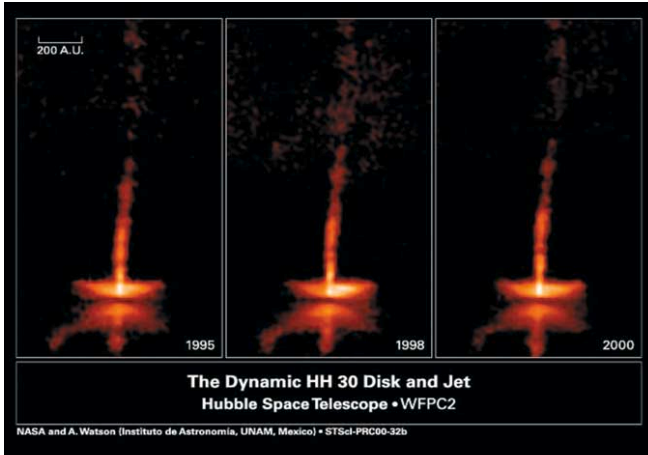
태양계를 이루는 행성들의 공전과 자전의 방향은 모두 일치한다. 그뿐 아니라 아엔데 운석의 화학 조성이 태양과 거의 완전히 일치한다는 사실로 미루어 태양계를 구성하는 모든 천체들이 단 하나의 회전 성간운에서 태어났음을 확인할 수 있다(그림 1 참조).

회전하던 성간운이 자체 중력으로 수축을 시작하면 회전 속도가 빨라진다. 마치 스케이트 선수가 넓게 벌렸던 두 팔을 몸에 가까이 가져오면 더욱 빨리 돌 수 있듯이, 성간운도 중력 수축을 겪으면서 덩치가 줄 터이므로 회전 속도는 빨리 증가하여 회전축에 수직인 방향으로의 원심력이 강해진다. 따라서 원심력이 중력의 일부를 상쇄하므로, 축 방향으로 비해서 적도 방향으로의 수축이 더디게 진행된다. 회전축 방향으로의 수축이 원심력의 방해로 전혀 받지 않기 때문이다. 처음에 구형으로 시작한 성간운이라 하더라도 수축이 진행됨에 따라 점차 얇은 회전 원반체로 변해갈 것이다. 회전축이 지나가는 원반의 중앙부에서는 밀도의 증가가 원반의 여타 부분에 비하여 훨씬 더 빠르게 이루어진다.

중력 수축에 걸리는 시간이 밀도의 제곱근에 반비례하기 때문에, 원시 태양계 성운의 원반 한복판에 원시 태양이 제일 먼저 태어난다. 그리고 원시 태양 주위에 티끌과 기체의 회전 원반체가 자리를 잡는다. 한편 온도가 높은 회전 원반의 안쪽 지역에서는 Si, Ca, Fe 등을 주성분으로 하는 내화성 광물질의 미세 고체 입자가, 그리고 온도가 낮은 외곽 지역에서는 C, N, O와 H 성분의 휘발성 얼음 알갱이들이 응결된다. 얼음의 분수령이라 불리는 그 경계 지대가 우리 태양계에서는 지금의 소행성대쯤에 있었다고 추정된다. 이렇게 응결한 미세 고체 입자들이 서로 엉겨 붙어서 km 정도의 크기로 된 것을 두고 우리는 미행성이라 부른다. 미행성들이 다시 충돌 병합하여 10³km 규모에 이른 천체가 원시 행성이다.

성간 물질에는 휘발성 원소가 내화성에 비하여 약 20배 정도 더 많다. 이러한 사정은 태양계가 태어난 회전 성간운에서도 마찬가지였을 것이다. 그 까닭에 원시 태양계 성운에는 얼음의 분수령을 경계로 응결핵들의 개수 밀도에 불연속이 생긴다. 분수령 안쪽에서 지구 정도의 질량을 갖는 고체 원시 행성이 만들어지는 동안에, 바깥쪽에서는 지구 질량의 10배에 이르는 원시 고체 행성들이 태동한다. 이렇게 태어난 원시 고체 행성은 자신의 막강한 중력으로 주위에 있던 H와 He 기체를 끌어 모아 지구의 수백 또는 수천 배에 이르는 거대 기체 행성으로 급속히 성장한다. 그렇지만 회전 원반체의 분수령에서 아주 멀리 떨어진 외곽부에서는 밀도가 분수령 근처보다 현저하게 낮기 때문에 거대 기체 행성으로 성장해갈 충분한 시간이 없다.

회전 원반체의 출현과 행성의 생성은, 별의 형성 과정에서 볼 수 있는 아주 자연스러운 현상이다. 각종 광물 결정들의 온도에 따른 응결 순서를 성간운의 화학 조성에 비추어 보면, 지구형과 목성형



〈그림 2〉 허블-아로의 천체 30에서 허블우주망원경이 관측한 원시 행성계 원반의 모습이다. 중심 면이 어두운 것은 고밀도의 티끌 층이 원시별에서 나오는 가시광을 흡수하기 때문이다. 티끌 층의 상하 부분이 밝게 빛나는 것은 티끌에 의해 산란된 중심 별빛이 우리 눈에 들어오기 때문이다. 쌍극 분출류가 5년밖에 안되는 짧은 기간에 상당한 변화를 겪었다.

행성들이 보여주는 구성 성분의 차이뿐 아니라 이들의 위치와 질량 분포의 이원적 특성도 쉽게 이해할 수 있다. 그리고 태양 행성계를 이루는 행성체들은 중심에서 밖으로 나갈수록 질량이 증가하다가 다시 감소하는 추세를 보인다. 행성 질량의 중심 거리에 따른 변화도 회전 원반에서 일어나는 물리·화학적 변화의 자연스러운 결과일 것이다. 그러므로 거대 기체 행성이 이미 발견된 별들 주위에, 아직 관측이 꼭 집어내지는 못했지만, 지구형의 고체 행성들이 자리할 확률은 매우 높다. 다만 질량이 목성형에 비하여 워낙 작기 때문에, 그들이 주는 중력 섭동이 중심별의 시선 속도에 검출될 만한 수준의 변화를 이끌어내지 못할 뿐이다. 앞으로 중력 렌즈 현상을 이용한 우주선 관측이 수행된다면 지구형 행성의 발견도 시간문제일 것이다.

회전 원반체 ‘프로플리드’의 발견

우리는 앞에서 회전 성간운의 중력 수축의 결과물로서 회전 원반체를 이해할 수 있었다. 그렇다고 회전 원반체의 존재를 이론연구의 산물로만 생각한다면 그건 큰 오해다. 최근에 허블 우주 망원경이 기체와 티끌로 구성된 회전 원반체를 별 탄생 지역에서 여럿을 발견했기 때문이다. 이러한 회전 원반체를 원시 행성계 원반을 의미하는 ‘proto-planetary disk’를 줄여서 만든 ‘PROPLYD’라는 별칭으로 부른다. 그 중의 한 예가 〈그림 2〉다. 중심 면에 길게 뻗은 검은 띠가 매우 인상적이며, 원반에 수직하게 쌍방으로 분출되는 제트의 모양에서 시간에 따른 변화를 감지할 수 있을 것이다.

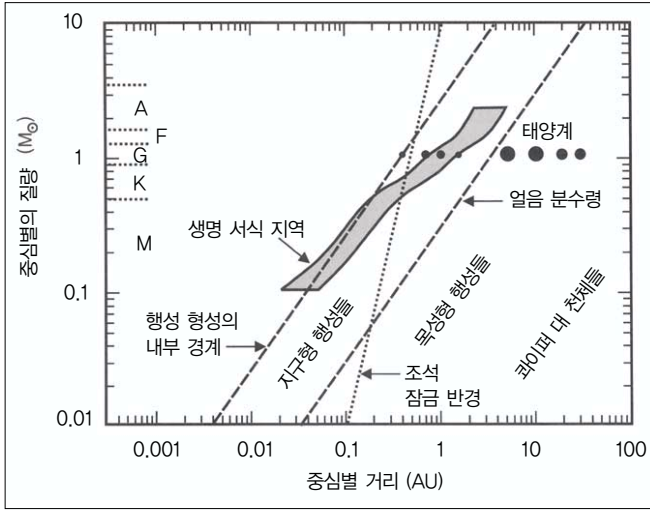
회전 성간운이 중력 수축하는 동안 고체 입자들이 기체 분자보다 더 빨리 중심 면으로 떨어진다. 티끌들에게는 원시별과 프로플리드가 자아내는 중력과 기체 분자와의 충돌에서 생기는 저항력이 동시에 작용한다. 그런데 티끌이 겪는 중력의 세기는 티끌의 질량, 즉 부피에 비례해서 증가하는데 저항력은 티끌의 단면적에 비례할 터이므로, 반경이 큰 입자일수록 저항력에 대하여 중력의 영향이 상대적 우위를 차지한다. 그러므로 기체보다는 티끌이, 티끌 중에서도 반경이 큰 고체 입자일수록 프로플리드의 중심 면에 빨리 내려앉는다. 바로 이 까닭에 원반체의 중심 면에서 많은 수의 미행성들이 급속하게 만들어질 수 있다. 〈그림 2〉의 중심 면이 검게 보이는 것도, 중심 면에 형성된 고밀도의 티끌 층이 원시 항성에서 방출되는 가시광을 거의 전량 흡수하기 때문이다. 흡수된 가시광의 복사 에너지가 티끌을 가열할 터이므로, 적외선 영역에서는 이 층이 오히려 밝게 빛을 발할 것이다. 그리고 이 층에서는 현재 미행성과 원시 행성체들이 많이 만들어지고 있다.

신생 항성 주위에서 티끌이 밀집해 있는 프로플리드를 발견함으로써 태양계의 현실에 기초한 행성계의 형성에 관한 우리의 이론 모형이 태양 이외의 별에도 그대로 적용된다는 확신을 갖게 됐다. 태양 이외의 별들 주위에서 아직 지구형 고체 행성의 존재가 관측으로 검증되지 않았지만, 이러한 확신을 통해서 우리는 지구형 행성의 존재를 의심할 수 없는 실체로 받아들인다. 그렇다면 생명이 발현하고 서식할 수 있는 행성들이 우리은하 안에 도대체 몇이나 있을지 궁금하다.

생명 서식 가능 지역 0.71~1.42AU

중심별의 질량에 따라 생명이 서식할 수 있는 지역의 범위가 어떻게 변하는지 조사하기 위하여 질량과 중심 거리를 양축으로 하는 대수 평면상에 각종 경계선들을 그려 넣었다. 〈그림 3〉의 황축 눈금이 천문단위[AU]로 켄 중심별에서부터의 거리를 나타내고, 종축에는 태양 질량을 단위로 한 주계열별의 질량을 표기했다.

이 그림에 굵은 파선이 두 개가 그어져 있다. 이 중에서 오른쪽 것이 얼음 분수령의 위치를 보여준다. 행성계 안에서 완전 흑체의 온도는 중심별에서 멀어질수록 거리의 제곱근에 반비례하여 감소한다. 중심별의 광도를 안다면 온도의 구체적 값을 계산할 수 있다. 광도는 질량에서 바로 계산된다. H₂O, NH₃, CH₄로 대표되는 얼음 종들의 평균 응결 온도가 대략 170K이다. 오른쪽 굵은 파선이 온도가 170K인 지역을 따라가는 얼음의 분수령을 나타낸다. 분수령을



(그림 3) 주계열별 주위의 생명 서식 가능 지역. 중축의 눈금이 태양 질량(M_{\odot})의 단위로 표기한 중심별의 질량을 나타낸다. 각 질량에 대응하는 별의 분광형을 영문자 대문자로 표기해 놓았다. 황축의 눈금은 중심별로부터의 거리를 천문단위[AU]로 잰 값이다. 왼쪽 굵은 파선이 행성 형성의 내부 한계다. 중심별에 이보다 더 가까운 지역에서는 별의 조석력 때문에 행성이 만들어질 수 없다. 오른쪽 굵은 선이 얼음 분수령의 위치를 나타낸다. 그 내부에서는 H_2O , NH_3 , CH_4 등이 고체 위상으로 존재할 수 없다. 그러므로 목성형의 거대 기체 행성들은 분수령의 오른쪽 지역에 자리하고, 지구형의 왜소 고체 행성들의 형성 장소는 분수령의 왼쪽이다. 점선으로 표시한 선이 조석 잠금이 일어나는 최대 거리를 나타낸다. 이 선의 내부에서는 태양에 의한 강력한 조석력이 행성의 자전을 방해하여 자전과 공전의 주기가 일치하게 된다. 따라서 점선 내부에서는 행성의 늘 일정한 면이 중심별을 향한 채 궤도 운동을 하게 되므로 행성의 표면 온도가 낮과 밤 쪽에서 커다란 차이를 보일 것이다. 빗금 친 부분이 생명의 서식이 가능한 지역(Habitable Zone)이다.

경계로 내부에는 지구형 행성이, 외부에는 목성형 행성이 자리한다. 왼쪽에 그려진 굵은 파선은 행성이 생성될 수 있는 중심 거리의 하한값을 나타낸다. 이 경계보다 중심별에 가까운 지역에서는 중심별에 의한 조석력이 너무 강해서 행성들이 만들어질 수 없다. 비록 이 지역 바깥에서 만들어진 행성이라 하더라도 내부로 들어오면 파괴되고 만다. 그러므로 지구형 행성이 태동할 지역은 두 개의 굵은 파선 내부로 제한된다.

점선이 조석력과 관련된 또 하나의 경계 지역을 보여준다. 중심별에 가까이 갈수록 행성은 중심별에 의한 조석력의 영향을 점점 세계 받게 된다. 그리하여 어떤 한계 거리에 오면 조석력이 행성의 자전을 방해하여 자전 주기가 공전 주기와 같게 된다. 동주기 회전 상황에서 행성은 늘 같은 면을 중심별에 향하게 한 채 궤도 운동을 한다. 이러한 상황을 두고 조석 잠금이라 부르는데, 점선이 조석 잠금이 시작되는 한계 거리를 나타낸다. 조석 잠금 내부에 들어오는 행성들은 별을 향한 낮쪽과 그 반대 밤쪽의 온도에 격심한 차이가 있게 마련이다. 즉, 행성 표면의 한쪽 반구에는 생명이 서식하기에 온도가 너무 높고 그 반대쪽 반구는 너무 낮을 가능성이 있다. 그러

므로 조석 잠금 경계 내부에서는 생명 서식 지역을 기대하기 어렵다. 그렇지만 조석 잠금의 문제는 대기층을 갖고 있는 행성들에게는 그리 심각한 것이 아니다. 왜냐 하면 대기의 흐름이 낮과 밤의 온도차를 줄여 줄 수 있기 때문이다.

이제 H_2O 가 액체 위상의 물로 존재할 지역을 찾을 차례다. 지구 상에서 위도가 $+60^\circ$ 보다 높거나 -60° 보다 낮은 지역에서는 원활한 생명 현상을 기대하기 어렵다. 적도 지방은 온도가 너무 높기 때문에 물을 용매로 하는 생명들에게는 쾌적한 환경을 제공하지 못한다. 생명이 활동하기에 열악한 환경은 위도 $\pm 60^\circ$ 선의 위나 아래 지역에서도 마찬가지다. 적도 지방의 단위 면적에 떨어지는 태양의 복사 에너지 양을 1로 잡는다면, 위도가 $\pm 60^\circ$ 인 지역에서는 그 양의 1/2로 줄어든다. 그러므로 지구를 현재 위치에서 태양으로부터 $1/\sqrt{2}$ AU되는 곳 안으로 옮겨놓는다면 지구 표면의 거의 전역이 현재 적도 지방의 상황으로 변해갈 것이다. $\sqrt{2}$ AU 바깥으로 내댈면 현재 지구의 극지방 상황으로 접근할 것이다. 그러므로 태양과 같은 G2형 별 주위에서는 생명 서식 가능 지역이 0.71AU에서 1.42AU까지로 제한된다. HZ의 내·외방 한계의 구체적 값은 중심별 광도의 제공근에 비례하는 식으로 변할 것이다. 그러나 외방 한계의 거리가 내방의 그것의 항시 2배다. 이런 방식으로 추적한 HZ가 (그림 3)에서 빗금으로 표시한 띠다. 이 띠가 대수 좌표 면에서는 일정한 폭을 보이지만, HZ의 실제 폭은 광도의 제공근에 비례해서 넓어질 것이다. 금성과 화성이 HZ의 내·외방 한계에서 각각 안과 밖으로 살짝 벗어난 위치에 자리한다. 지구 역시 내방 한계에서 그리 멀리 떨어져 있는 것은 아니다.

0.95~1.01AU에서 생명의 지속적 서식 가능

우리가 생명의 발현과 서식의 조건을 따지는 배경에는 우리와의 교신이 가능할 정도로 고도의 기술 문명을 이룬 지성체가 숨어 있다. 그러므로 생물의 단순 발현만이 우리의 문제가 아닌 것이다. 발현된 생물이 지성체로 진화하려면 십억 년 단위의 긴 시간이 필요할 것이다. 그런데 별들도 이 정도의 세월이 흐르면 내부 구조가 변화하고 동시에 광도에도 큰 폭으로 변한다. 태양이 태어날 당시의 광도는 현재 값의 65% 수준이었다. 그러므로 최초의 생명이 지구에 태어나던 시절의 HZ는 앞에서 얘기한 0.71~1.42AU를 $(0.65)^{1/2}$ 배로 축소한 0.56~1.13AU 지역이었을 것이다. 그러므로 생명 서식의 조건을 지속적으로 유지할 수 있는 행성의 위치는 0.71~1.13AU로 더욱 제한된다.

지구에서 일어나는 탄소-규소의 순환 과정이 대기 중에 CO₂의 양을 조절하여 지구의 표면 온도를 적정 수준에 붙잡아 두는 안전 밸브의 구실을 한다. 온도가 너무 오랜 동안 적정 수준 이하에서 머물게 되면 H₂O가 고체 위상의 얼음으로 변하여 CO₂를 붙잡아 들 액체 위상의 물이 사라진다. 이에 따라 대기의 CO₂ 양이 증가하면서 기온이 다시 상승할 것이다. 그러나 얼음이 지구 표면을 적정 수준 이상으로 덮어버리면 입사하는 태양빛의 대부분을 반사하여 지표의 온도가 하강하는 '백색 재양'의 위험에 빠진다. 지구의 온도가 오랜 동안 적정 수준 이상에 머물게 되면 대기 중에 수증기의 양이 증가할 것이다. 고온의 상황에서는 암석에 갇혀 있던 CO₂마저 방출되어 온실 효과를 부추기고, 그 결과로 액체 위상의 물이 활발히 증발하므로 대기 중에 CO₂ 양은 더욱 증가한다. 이러한 악순환의 고비를 '습윤 온실 효과'라 부른다. 백색 재양에 의하여 지구 전체가 눈덩이로 변할 수 있었던 거리가 1.01AU인 것으로 알려졌다. 한편 습윤 온실 효과는 0.95AU의 거리에서 작동하기 시작한다. 그러므로 태양계의 경우 CHZ는 0.95AU에서 1.01AU에 이르는 폭이 0.06AU인 매우 좁은 지역이다.

우리 은하에 생명 서식이 가능한 행성 400만개

생명의 서식이 가능한 행성들의 개수를 헤아려 보자. 우리 은하의 별들이 이루는 총질량이 6.4 x 10¹⁰ M_☉ 인데 별의 평균 질량이 0.4 M_☉이므로, 모두 1.6 x 10¹¹개의 별들이 우리 은하에 들어 있는 셈이다. 별들의 분광형에 따른 HZ의 폭과 주계열 수명 등을 고려할 때 G형별이 우리 목적에 가장 잘 부합하는 조건을 제공한다. 그런데 전체별들 중에서 G형이 차지하는 비율이 약 10%다. 한편 지구형 행성이 만들어지려면 고체 입자의 형성이 선결 과제이며, 고체 입자는 중원소만의 덩어리라 해도 과언이 아니므로, 금속 함량이 적은 성족 II보다 성족 I에 우리의 관심을 제한할 필요가 있다. 성족 I이 약 60%를 차지한다. 별들을 관측해 보면 대개의 경우 쌍성계나 다중성계를 이루고 있다. 쌍성계에서는 프로플리드가 역학적으로 안정한 구조를 오랜 동안 유지하기 어려울 것이다. 쌍성계와 다중성계를 제외하고 남은 단독별이 차지하는 비율이 30%다. 이렇게 해서 2.9 x 10⁶개가 남았다.

우리는 앞에서 지구형 행성이 태어날 지역을 얼음의 분수령 안으로 제한하였다. 이 경우 충분한 양의 물을 기대하기 어려울 것이다. 왜냐 하면 암석 결정에 수화물의 형태로 존재하는 H₂O 분자가 지구에 물을 공급할 수 있는 유일한 자원이기 때문이다. 그리고 탄

소를 제외한 모든 중원소들의 총합에 대한 탄소의 함량비가 얼음의 분수령 안에서 급격히 감소한다. 그러므로 태양계 형성 초기에 혜성 핵들이 원시 행성체에 충돌하면서 행성 지구에 부족했던 물과 산소를 공급했다고 판단된다. 한편 오에트 구름에서부터 혜성의 핵들이 내행성계로 들어오려면 지나가는 별들에서 비롯된 중력 섭동이 필요하다. 신생 성단에서 이러한 여건은 비교적 별들의 밀도가 높은 내부에서 구현되기 쉽다. 따라서 우리는 2.9x10⁶에 추가 인자로 0.5를 더 곱해서 우리의 관심을 1.4x10⁶개의 별로 제한하기로 한다.

목성의 궤도 장반경이 5.2AU인데 이 궤도 안에 지구형의 고체 행성이 모두 4개 들어 있다. 그러므로 CHZ에 행성이 자리할 확률은 4 x (0.06/5.2)이다. 그런데 이 값을 전부 다 받아들이기에는 무리가 따른다. 왜냐 하면 외계에서 발견된 목성형의 거대 기체 행성들 중 상당 부분이 얼음 분수령의 안쪽에서 발견되기 때문이다. 원시 행성체의 이주 현상이 매우 활발했던 것으로 추정된다. 태양계 원시 성운은 이주가 활발하지 않았던 프로플리드였다. 행성의 이주를 고려해서 앞에서 얻은 수에 0.06을 추가로 보정한다. 그래서 생명의 지속적 서식이 가능했던 행성들은 우리 은하 안에,

$$\frac{6.4 \times 10^{10} M_{\text{sun}}}{0.4 M_{\text{sun}}} \times 0.1 \times 0.6 \times 0.3 \times 0.5 \times \frac{0.06}{5.2} \times 4 \times 0.06 = 4 \times 10^6,$$

총 400만 개가 들어 있을 것으로 예상된다. 그러니까 평균적으로 별 4만 개마다 하나꼴로 기대할 수 있으며 그 총수는 400만 개에 이를 것이란 결론이다.

옛적부터 인류가 '하늘에 새겨진 무늬, 천문'에 연연했던 것은 하늘에서 '사람의 무늬, 인문' 즉 삶의 의미를 찾기 위함에서였을 것이다. 오늘날 우리가 외계 생명체에 연연하는 것도 지구 문명의 미래를 걱정하기 때문일 것이다. 핵전쟁의 위험과 악화 일로에 있는 지구 환경의 현실이 우리로 하여금 하늘에 눈을 돌리게 했다. 앞에서 도출한 400만 개의 숫자적 정확성이 중요한 건 아니다. 정말 중요한 건 삼십 수억 년을 이어온 지구 생명의 실질적 회귀성이라 하겠다. 생명의 서식이 지속적으로 이루어질 수 있었던 지구가 그만큼 귀한 존재임을 지구인 모두가 인식하게 된다면, 지구의 생태 환경을 보존하는 일에 너나없이 나설 것이다. 이것이 외계 행성체의 존재를 물어야 하는 근본 이유다. ㉔



글쓴이는 State University of New York at Albany에서 PhD, 한국천문학회 회장을 역임했다.