

# 우주과학에 있어서의 분자 생물학의 과제

화학적 진화론을 중심으로

연세대학교 이공대학

교수 김 은 수

青天有月來幾時  
我今停杯一問之  
人攀明月不可得  
月行却與人相隨

李太白 (701—762)

把酒問月

푸른하늘에 달이 생긴것은 언제런가  
내이제 술잔을 들고 한마디 물어본다.  
사람이 밝은 달을 찾아 올라가지 못하지만  
달은 땅위의 사람을 따라가네.

절세의 시인 「리타이퍼」는 달을 가장 다정한 벗으로 생각하고 술을 들때 마다 같이 한잔 나누지 못하는 아쉬운 감회를 시에 읊었다. 이 시는 친구인 달을 찾아가서 친히 한잔 나누지 못하는 데 달은 항상 땅위의 시인을 찾아 주는 우정(?)을 노래한것이다.

「리타이퍼」가 달 방문을 체념 하고 숨진지 1197년 만에 세사람의 미국인은 아폴로 11호로 그가 그리던 달에 갔다.

## 《우주과학(Space Science)의 개시》

시인이 간 이땅위에 쓰련의 「스푸트니크」(1957)를 발단으로 바야흐로 우주과학이 막을 올렸다. 우주과학은 인간의 20세기 현대의 지혜를 총동원 해서 결정(結晶)되는 지식 체계이며 이 발생은 정치적인데 오르기를 다루는 군사적 경쟁에 유대 했으나 그 과제는 근본적으로 두가지에 있다. 그 하나는 「우주의 기원」(Origin of Universe) 이요.

다른 하나는 「생명의 기원(Origin of life)」이다.

## 《생명의 기원》

구약성서의 「창세기」에 의하면 우주와 생명이 에호바(Jehovah)의 힘에 달미암아 6일간에 걸쳐서 창조되었는데 곧 제 1일에 빛이 제 2일에 성진(星辰, Stars)이 제 3일에 지구가 제 4일에 태양과 달이 제 5일에 물고기와 새가 제 6일에 신 자신의 모습에 방불한 사람을 창조 하고 제 7일에 안식 하였다.

경험 과학은 구약의 내용을 그대로 받아 들이지 못하며 우주의 기원에 대해서는 천문학자, 지질학자, 원자핵 물리학자들에 의해서 세밀히 추궁되고 있는데 이는 필자의 전공 영역이 아니다.

생명의 기원에 관한 과학적 난제는 이 연구 대상이 복잡 무비한데, 물리학자 버널(Bernal)은 이렇게 말했다(1949). “...문제의 파악 조차 한 사람의 과학자의 능력을 넘어서나, 그는 유능한 수학자 겸 물리학자 겸 유기화학자 겸 지화학자 겸 생물학자여야 하겠다. 그렇지 않으면 이들의 과학자가 합세하여 이론적이고 실험적인 면에 작업해야 할것이다...”라고.

이럼에도 불구하고 생명의 기원 문제는 최근에 급템포로 진척되고 있는 우주과학의 발전에 따라 과거에 있어 단순히 이론적 또는 공산적이었던 난제가 실험적 실증 단계에 도달했는 것이다.

생명의 기원에 대하여는 몇 세기를 두고 대립해 오던 소위 자연 발생론(自然發生論 Spontaneous Generation Theory=Abiogenesis)과 생물발생론(生物發生論 Biological Generation Theory=Biogenesis)이 있으나 이들은 현대 천문학적 관측, 천체 시료(試料)(달, 화, 금, 성등)의 관측 및 실험 그리고 지외(地外) 생물학적 실

험(Exobiological Experiment) 등의 결과로 이대 럽이 지양(止揚 aufheben)되어 새로운 분자생물 학적 차원에 정립(定立)한다. 이 사실을 좀더 자세히 고찰할 필요가 있다.

오늘날의 최신 천체 망원경의 위력으로 헤아리 는 우주항성(Stars)의 수는 우리의 태양(Sun)을 포함해서  $10^{20}$ 개 이상이 된다.

이들의 관찰분석 결과에 의하여 알려진 중요한 사실은 우리의 태양(Sun)이 판 태양들(Stars) 보다 다른 점이 없다는 것이다. 판 태양들도 태양계와 마찬가지로 유성(Planet)과 위성(Satellite)을 동반하여 일정한 공전 자전을 하는것이다. 이렇다면 생명의 발상이 우리 태양계의 소속인 지구에만 있어야 할 아무런 특수 이유가 없는 것이 된다. 쉐이플러(Shapley)는 1958년에 우주 내 생명 발생에 관하여 다음과 같은 추산(推算)을 하여 과학계의 흥미를 끌었다.

별(Star)의 조건

별의 수

우주내 별의 총계	$10^{20}$
이 가운데 유성을 거느린것	$10^{17}$
이 가운데 물과 더움이 마련한것	$10^{14}$
이 가운데 공기가 있는것	$10^{11}$
이 가운데 생명이 있는것	$10^8$

곧 광막한 우주안에 지구와 같이 생명을 발생 하는 곳이 1억( $10^8$ )이나 된다는 계산이다. 황(Huang)은 이보다도 관대한 관측을 하여 우주 항성 총수의 5퍼센트 즉  $5 \times 10^{18}$ 는 그 유성계에서 생명체를 발생 하고 있으리라고 했다. (1959)

캘빈(Calvin)은 생명체가 지구의외의 타계에 존재 할 것을 전제로 과학사상의 二次 혁명을 지적 했다. 갈릴레이(galilei)를 중심한 근세 과학자에 의해서 지구가 태양계의 중심이 었던것을 태양 중심으로 바꾸어 지구의 일차 해방을 했고 최근의 우주과학에 의해서 지구가 생명계 발전의 단 한곳이라는 데서 이것을 다원화(多元化)함으로써 지구의 제이차 해방을 하는 것이라고 말한다 (1970).

태양계 내어떤 곳에 지구이외에 생명체가 존재 할것인가? 공기와 물이 전여 결하고 더위와 추위가 격심한 달 나라에 생명이 존재 할수 없다는 이론은 아폴로 11호 이전에 이미 추정 했던

것이나, 과연 달나라에서 가져온 토양에 생물적 존재는 영(Zero)이란것이 확증 되었다. 지구와 이웃인 궤도를 밟고 지구의 1/4의 질량을 가지는 화성(火星, Mars)과 4/5의 질량을 지니는 금성(金星, Venus)이 생명체를 발생 했을까, 이 문제에 대한 확증을 얻기 위해서 미국과 소련은 우주선(spaceship)을 연거퍼 보내서 화성가까히 선회 시키거나 또는 금성등에는 직접 착륙까지 시켜가면서 이 유성의 대기 구성이나 온도, 수 분함량등을 측정하고 있다. 화성의 기압은 불과  $17 \pm 3$  "밀리바"로 지구의 1/70에 불과 하고 그 구성 기체 성분은  $N_2, 8, Co_2, 14, Ar, 1$  용(v)이며  $O_2$ 는 결해됐다. 물( $H_2O$ )은 1cm-atm 정도 밖에 안된다. 화성의 검은 지대(속칭 생물지대)의 평균 기온이  $211 \sim 218^\circ k$  정도 이면  $-53 \sim -62^\circ c$ 로서 이는 대단한 저온이다. 이와같은 환경 적 조건에서도 생명체가 성장 번식 할 것인가? NASA(미국항공우주처)의 모의 화성장치(Simulated Martian Box)에서 양(Young) 등이 지상 미생물을 재료로 실행한 실험 결과는 극히 긍정 적이다.

금성의 경우는 어떤가? 금성은  $Co_2$ 의 안개로 감싸인채 그 표면 온도는  $350^\circ c$  정도로 측정되고 있으며  $Co_2$ 의 구름층의 수분은, 19 마이크로톤의 두께가 된다고 알려졌을 뿐 수분의 입체적 구성은 알려지지 못한채 있다. 금성에 생명체가 존재 할 것인지는 아직 아무도 모른다. 1970년대 후반에 NASA에서는 바이킹(Viking)이란 자동 측정및 생명 탐지기가 실린 우주선을 화성에 착륙시키겠다고 80년대에는 유인위성을 보낼 계획이다. 만일에 태양계 내에 지구이외에도 생명체가 발견 된다면 다른별( $10^{20}$ )들의 계열에 생명체가 발생할 확률은 그만큼 확대 될것이다.

《화학적 진화론》

이상에서 논의된 바는 세포 이상의 구조를 한 생물체의 존재 여부를 말하는 것이다. 그러나 NASA 요원을 위시한 현대 우주생물학도는 보다 근본적으로 분자 수준의 생명물질의 출현 여부를 조사하는 소위 분자생물학도로서 활약을 계속한다. 이에 대한 이론과 실제에 대해서 고찰하는 것이 본 논문의 목적이다.

### 《분자생물학의 이론적 근거》

다윈(Charles Darwin)의 진화학설(1859)은 지구상 생물권의 포괄(Unity)을 가능케 하는 것이다. 다윈에 의하면 고등 형태의 생물이 하등 형태의 생물에서 장구한 시일을 두고 이 지구상에서 진화되었다는 것이다. 지질화학적 탐구 결과는 지구가 태양에서 분리 생성된 것이 47억년 전이며 화학학자들에 의하면 최초의 생물적 흔적이 30억년 전에 열보이는 것이다. 지구상의 생명체가 지구의 어떤 발상지에서 아포(芽胞 Germ)의 상태로서 옮겨져 왔을지도 모른다는 아레니우스(Arrhenius, 1906)의 의문은 오늘날의 우주과학적 결과에서 즉각으로 해소된다. 우리가 아는 한의 생명체의 어떤 것이라도 강력한 우주선, 자외선 및 방사선의 벨트를 산채로 통과하지 못하여 설혹이 벨트를 통과했다. 해도 가날 뿐 생명의 씨를 내포한 어떤 운석(隕石 Meteorite)도 지구를 감싼 10km의 대기와의 마찰에서 일어나는 수천도의 고온을 견디어 내지 못할 것이다. 따라서 지구상의 모든 형태의 생단물(生萬物)은 지구가 불덩어리에서 냉각되어 가는 어떤 단계에서 출현되었어야 한다. 다시 말하면 지상생명은 지구탄생후(47억년전) 최초의 생명체가 화석에서 발견되는(30억년전) 약 17억년 간에 일어나는 장구한 화학적 진화과정에서 발생한 것이다. 이와 같은 진화론적 견해를 다윈의 생물적 진화론(Biologicl Evolution)에 대해서 화학적 진화론(chemical Evolution)이라고 말한다.

화학적 진화론은 생물적 진화론의 전개곡선(展開曲線)을 원점으로의연장(Extrapolation)이며 이의 방법론은 동일한 것이다.

다윈주의(Darwinism)의 생물적 대상에 대해서 화학물질이, 자연선택설(Natural Selection)에 대해서 분자선택설(Molecular selection Theory)가 진화의 기구(Evolutionary Mechanism)로 되는 것이다. 물리학자 틴달(Tyndall, 1871)은 일찍이 이연관에 대해서 다음과 같이 진술했다. “다윈은 생명의 밑바닥에 일종의 원시 형태의 아포(Primordial germ)를 설정했다. 이것을 토대로 그는 지상의形形色색의 생단물을 연역했다. 그의 이론이 참된 것이라면 그것은 아

포에서 끝나지 않는다. 즉 인간의 추리와 상상은 그가 설정한 아포의 영역을 넘어 생명체의 근원적 발생으로 다름질 할 것이다. 이는 곧 현존생명을 이 유성(지구)의 역사적 발전 경로에 결부하는 지성의 욕구이다. 우리는 가장 요원한 조상들을 알고져 한다. 생명은 결국 물질의 이질적 표현인가 또는 지구상의 어떤 단계에서 물리화학적 법칙과는 차원을 달리 하는 어떤 독립적인 원리가 홀연히 주어졌는가?”

다윈의 생물적 진화론은 이리하여 논리적으로 다른 하나의 진화론 곧 화학적진화론을 유도하게 했으니, 이 후자는 생명의 지구상 또는 다른 천체상의 기원을 해명할 연구의 방법론으로 되었다.

물질을 생물과 무생물로 구분하는 것은 상식인이 가령 사람과 돌을 구별 하는 극단한 사물의 구분에서 보는 바와 같은 편법인데, 사실상 생명체라 해도 약동하는 사람에서 정지 상태의 산호 또는 결정형의 바이러스 알맹이에 이르는 일련의 생명 계열이 있고 무생물이라 해도 효소나 홀몬 분자와 같이 활성을 지니는 물질에서 헬륨 같은 비활성 기체가 나열한다. 가성소다(NaOH)는 강한 알카리 이며 염산(HCl)은 강한 산이다. 이들 극단 물질 사이에 무수한 물질군 즉 약알카리, 중성, 약산 등이 계열을 지어 존재 한다.

인제 “수소이온농도”란 개념을 도입하여 일견 이질적인 물질군을 포괄 하듯이 생명체와 일원적인 통일을 기할수 있는 것이다. 이러한 화학적 진화론은 생명의 기원에 이르는데 3계단의 비약을 이루었다고 생각된다. 즉 무기물에서 유기물로, 유기물에서 생활물질로, 생활물질에서 세포로 진전했다.

47억년 전에 지구가 생성 할때 지구는 원소 주기표에 보는 90여개의 무기 원소뿐이 었으나 이들의 화합으로 이루어지는 몇몇 활성이 강한 물질로서 생활물질의 근원이되는 분자들은 대체로 환원 형태의 것들이 었다.

곧 탄소(C)는 메탄(CH<sub>4</sub>)으로 질소(N)는 암모니아(NH<sub>3</sub>)로, 산소(O)는 물(H<sub>2</sub>O)로 존재 했다. 이들 활성 물질이 물리적이에너지로 중합해서 유기물질인 아미노산, 핵산단원체, 지방산 등

으로 되고 이들은 또 다시 비양적 합성으로 단백질, 핵산, 탄수화물, 지방 등의 생활 물질을 이루고 이어서 자동촉매(Au-tocatalysis) 작용에 의해서 고도로 결합발전한 세포가 되었다.

《화학적진화론의 발전사(發展史)》

세계 문화사, 성서의 기록은 물론이며 현세의 상식층의 대부분이 자연 발생론적 생명의 기원을 주장 신봉 하고 있다. 서력 기원전 6 세기의 철인 아낙시만델 (Anaximander)은 동물은 바다 밑 진흙에서 사람은 물고기의 배속에서 창조됐다고 했으며 기원전 4 세기의 아리스토텔(Aristotle)은 그자연 철학서 형이상학(Metaphysica)에 이 자연발생론을 확고 부동 하게 만들어 10 여세기 동안 구라파 지식층의 신조로 하였다. 근세 문예부흥을 거쳐 19 세기 후반에 이르기 까지 미생물에 한해서는 자연 발생론이 지배적이였다는 사실은 린네(Linn'e) 뉴턴(Newton), 데카르트(Decarte), 하비(Harvey), 니이담(Needham) 등의 최대 학자들이 이를 신봉했다는데서 알수있다. 고대 힌두(Hindu)의 기록도 예외가 될 수 없었다. “리그베다”(Rig Veda)는 생명이 몇몇의 원소의 결합해서 창시 됐다는데 대해서 “아탈바베다”(Atharva Veda)는 대양(大洋 Ocean)이 만생물의 요람이라고 했다. 중국 고대 철학의 집약인 역경(易經)은 음양(---)의 두개의 생기(Vital force)에 의해서 하늘(乾, ☰)과 땅(坤, ☷), 불(離, ☲)과 물(坎, ☵), 산(艮, ☶)과 못(兌, ☱) ‘우뢰(震, ☳)와 바람(巽, ☴) 등이 창조되고 다시 이들의 상관에서 천지 만물은 물론 인생만사의 갈등 까지 조성된다는 것이니 이는 확실히 생기론에 기반을 둔 자연발생론적 생명관이다.

파스텔(Pasteur)의 실험미생물학의 승리(1864)는 이들 생기론자——자연발생론자 에게 결정적 타격을 주었다. 그는 열균한 배양기에 외부 미생물의 오염을 막는다면 그 위에 미생물이 발생하지 않는다고 결론했다. 이는 곧 무균 처리(無菌處理)의 기술적 발전이 되었고 이 기술이 양조 식료품, 의약품 산업에의 양향은 헤아릴 수가 없다.

파스텔의 이러한 무균처리 기술의 승리를 생물 발생론으로 확대하여 “생물은 생물에서만 기원한다.” 역으로 “무생물은 생물을 발생 발전하지 못한다.”라고 한 후세학자들에 의해서 화학적진화론과 모순점을 나타내게 된 것은 파스텔의 본 의가 아닌 비극이 었다.

파스텔과 거의 같은 시대에 활약한 다윈은 생물적 진화론만이 아니고 화학적 진화론에 대해서도 언급 한바있다. 그는 생물적 진화론의 발표만으로도 그당시 학계와 사회에서 가혹한 비판을 받던 참이라, 이 이상 그의 과학은 진전하지 않았다. 해도 그는 틀림없이 화학적 진화론의 시조(Father) 마저 된셈이다.

화학적진화론의 거보(巨步)는 소련의 학술원의원 생화학자인 오파린(Oparin)에 의해서 내딛었다(1924). 그는 “생명의 기원”이란 저서 중에 생명은 물질의 오랜 기간의 진화 곧 분자선택(Molecular Selection)에 맡겨 남아 지상에 기원했다는 이론은 전개했다. 영국의 홀데인(Haldane 1928)은 오파린의 이론에 가담해서 구체적으로 생명이 지구상에 나타날 조건을 상세히 검토했다. 자외선이 물과, 암모니아와 탄산가스 등의 혼합물에 작용 한다면 단백질, 당류등 여러가지 유기화합물이 생성 될것이며, 이들이 따가운 국궁물(hot soup)로 한곳에 농축하면 생명의 기원이 될기반이 이루어진다고 보았다. 런던대학교 수 버널(Bernal, 1951)은 “생명의 물리적기초”란 논문에서 이와 같은 분자생물학적 화학진화에 의한 생명체 기원을 역설하고 핵산단위체도 합성물의 하나일 것이라고 했다.

《화학 진화의 시발점》

생명의 기원 문제를 고려하는 물질적 시발점은 우주계에 있어서의 원소에 분포라 하겠다. 천체 관측치는 우리 은하계(Galaxy)에 편만한 다량 원소로서 수소(H), 헬륨(He), 산소(O), 질소(N) 및 탄소(C)의 순으로 되어있다. 헬륨을 제외한 나머지의 원소들은 정녕 생물체 구성의 기본이 되는 것이다.

지구 탄생 초기의 원시대기(primary atmosphere)의 주요한 구성 성분은 수소(H<sub>2</sub>) 수증기

(H<sub>2</sub>O), 암모니아(NH<sub>3</sub>) 및 메탄(CH<sub>4</sub>) 등의 환원 형태의 기체들로 된 것이 특징이다. 대량의 수소와 탄소, 수소와 질소, 수소와 산소간의 화학 반응에서 평형상수가 엄청나게 큰 실증에서 이들 C, N, O 등의 원소는 수소와 결합된 환원형으로 원시 대기층에 존재했을 것이다. 25°C에 있어서의 평형상수치(K)는 각 반응에 있어서 다음과 같다.

반 응	K <sub>25°C</sub>
C + 2H <sub>2</sub> → CH <sub>4</sub>	8 × 10 <sup>8</sup>
N <sub>2</sub> + 3/2 H <sub>2</sub> → 2NH <sub>3</sub>	7 × 10 <sup>5</sup>
H <sub>2</sub> + 1/2 O <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> O	4 × 10 <sup>41</sup>

현재의 지구상의 대기는 원시대기의 구성과는 판이한 제 2 차적 대기(Secondary atmosphere)이다. 오늘날의 대기에서는 수소(H)를 위시하여 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar) 등의 기체가 극소량밖에 존재하지 않고 대량의 유리 산소(O<sub>2</sub>)와 질소(N<sub>2</sub>) 분자가 주성분이다. 이 유리 산소(Free Oxygen)은 원시적 대기에서 발견되지 못한 것인데, 이의 발생은 두가지 근원에서 온 것이다.

그 하나는 대기 상층에서 받는 강한 자외선 에너지에 의한 물(H<sub>2</sub>O)의 광전리(光電離)〈photo-dissociation〉—이 결과 산물인 무거운 산소는 대기속에 머무르고 가벼운 수소(H<sub>2</sub>)는 우주간으로 산포되었다. 다른 하나는 초록 식물의 진화로 인한 광합성작용(光合成作用)〈photosynthesis〉이 결과로 탄산가스는 물과 화합하여 탄수화물로 고정되고 물속의 산소는 유리된다.

화학 진화 단계에서 엽록소(葉綠素)〈chlorophyll〉의 출현은 획기적인 것이다. 이 분자의 출현으로 말미암아 생물의 영양방식이 타가영양(他家營養)〈Hetero-trophy〉에서 자가영양(自家營養)〈antotrophy〉으로 되고 자가영양 물질이 풍성해짐에 따라 이에 부생, 기생하는 타가 영양체가 진화했다. 엽록소의 화학 진화사 과정에서의 동장은 분자 선택설(molecular selection theory)의 적합한 내용이 될 것이다. 원시 대기층 내부에 자외선에 의한 물의 광전리 작용에서 유리 산소가 집결한 다음(위에서 언급하였음)에 방전(Electric discharge)에 의해서 산소(O<sub>2</sub>)는 그의

엘로트로프(allotrope)인 오존(O<sub>3</sub>)을 형성한다. 대기 상층에 오존 층이 덮이면 태양에서 발산하는 자외선이 여기서 흡수되며 지표면에서 사용될 합성 에너지는 차단된다. 그 때까지 진행해 오던 화학 진화 과정의 온갖 활성 분자(아마 미생물도) 중에 자외선 에너지의 도움없이 엽록소를 가지거나 또는 단 방법으로 적절한 자가영양을 할 수 있는 것 만이 분자 선택을 받아 적자 생존(適者生存)〈survival for the fittest〉하게 되었다.

### 〈원시 분자 합성 에너지〉

원시 지구(primitive earth)에서 분자 합성에 이용된 중요한 에너지 원은 4 가지 즉 태양에서 오는 자외선, 방전, 이온화 방사선 및 지각 및 화산 활동에서 일어나는 열이다. 태양 광선이 발산하는 광 에너지는 광대하나 원시대기 속의 H<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> 등에 흡수될 파장이 2000Å 이하의 자외선은 극소 부분이다. 그런데 이 자외선의 흡수에서 이들 분자는 광전리를 일으키거나 합성물을 형성하는데 이들은 2000Å 이상의 장 파장의 광 에너지를 흡수하므로 광 에너지 이용은 확대된다.

벼락이나 코로나(corona) 방전에서 생기는 에너지는 비교적 지표면 가까운데서 일어나며 그 이용도가 큰 것이다.

이때 생성된 화합물이 비와 더불어 원시 태양(Primitive Ocean)에 떨어져 농축된다. 우주선(Cosmic ray)은 대기와 부딪쳐 이온화 방사선을 불러 일으키고 우라늄(U), 토리움(Th), 포타슘(K) 등의 동위원소중엔 핵 붕괴에 의한 고 에너지의 방사선을 방출한다. 이와같은 에너지의 일부가 대기층이나 원시 대양내의 합성작용에 이용될 수 있었다.

국부적 현상이기는 하지만 화산활동에서 오는 높은 열이 화산 주변의 대기, 대양내에서의 합성에 이용됐을 것으로 본다.

### 〈달 토양 성분의 분석〉

이상은 우주간의 대기 관측에서 연역한 화학 진화론적 전망이지만 이와같은 추리(推理)는 달

나라 비행에서 가져온 달 토양의 분석에서 역역히 입증된다. 아폴로 11 호로 가져온 암석의 주요 원소 성분은 지각의 것과 대동소이한 점이 특징되어야 한다. 다음표는 이들 원소의 분석량을 지각(Earth Crust)의 값과 비교한 것이다.

주요 원소명	지각(%)	달 암석(%)
O	46.5	37.4-41.1
Si	28.0	18.7-20.7
Al	8.0	5.1- 6.9
Fe	5.0	13.6-16.2
Ca	3.5	4.3- 5.0
Na	3.0	0.26-0.41
K	2.5	0.09-0.14
Mg	2.2	4.3- 5.0
Ti	0.5	4.3- 5.9
H	0.2	.....

달나라 토양 시료에 생물(단세포이상)적 존재는 발견되지 못했다. 그러나 아미노산의 수종이 검출된 것, 그리고 현재 격렬한 논의 대상이기는 하나 포피린(porphyrin)의 미량이 형광 분석기에 나타난다는 사실이 화학 진화론을 입증하여 과학도의 작업 가설(作業假說)을 충족하게 하여 만족스럽다. 즉 생물은 존재하지 않아도 유기물이 무기물을 재료로 하고 자연적 에너지 원을 이용하여 합성된다는 사실이다. 이들이 화학 진화과정의 단계가 발전함에 따라 장차 달나라에도 세포 이상의 생명체가 생겨날 것인가? 이에 대한 대답은 시간을 소비할 필요도 없이 부정(NO)이다. 달은 지구의 중력의 1/6 정도이며 이미 생명이 필요한 대기와 물을 우주간에 놓쳐 버렸다 따라서 우리가 지상에서 보는 바와 같은 생명체가 진화할 리가 만무하다.

<화학 진화의 실험적 증명>

지상 실험실에서 모의 환경(Sinalated Environ Ment)을 마련하고 원시 대기 및 에너지를 이용하여 생명체의 기본 구성 물질 또는 활성 분자를 합성하는 분자 생물학적 노력은 1950 년대에서 부터 시작되고 현재는 우주과학의 역센자극을 받아 더욱 활발하게 되었다. 다음에 주요

한 실험실과 학자 및 업적의 개요를 필자가 수년간 일한 NASA Ames Research Institute 내의 지의 생물학부(地外 生物學部, Exobiology Division)에서 하고 본 바의 것을, 간단히 설명하려 한다.

1951 년에 켈빈(M. Calvin)은 버클리 대학(Berkeley Univ) 싸이클로트론 속에서 물(H<sub>2</sub>O)과 탄산가스(CO<sub>2</sub>)의 혼합물을 쪼이고 나서 상당량의 개미산(Formic acid)과 포름알데하이드(Formaldehyde)를 얻는데 성공하였다. 이는 유기물을 무기물에서 인공적으로 합성하였다는 점에서 획기적 의의가 있다. 허지만 우주과학의 각광없이 독일 쾨팅겐 대학의 벨러(Wöhler)는 이미 1829 년에 노소를 암모늄 싸이나이드(NH<sub>4</sub>CN)를 재료로 합성하여 전세계에 충동을 주었던 것이다

1953 년에 시카고대학의 학생, 밀라(S. Miller)는 CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub> 등을 방전처리하여 몇 종의 아미노산을 합성하였다. 그 뒤 실험에서 알려졌다. 그러나 아미노산 형성에는 환원 상태의 시료가 절대 불가결이며 산화 상태에서 아미노산은 만들어지지 않는다는 결론이 나왔다. 이 사실은 또 원시 대기가 지구의 현 단계의 대기와 달리 환원적인 것이었다는 것을 말한다.

1960 년에 푸르티다 대학의 폭스(S. Fox)는 CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O (수증기형태) 등의 혼합기체를 약 1000°c로 가열된 알루미늄을 내포한 바이카(Vycor)관속에 통과시켰다. 이 처리 산물에 물을 흡수시켜 14 개의 아미노산들을 얻었다. 그는 한결 음 더 나아가 이들 아미노산의 중합을 산성 아미노산과 과인산(polyphosphoricacids)의 부가로서 저온(100-200°c) 처리하여 실험했다. 이들 중합한 단백질(polypeptide)을 푸로테인노이드(proteinoid)라고 불렀는데 18 개의 아미노산을 재료로 하여 160°c의 처리로서 분자량 3600, 190°c에서 분자량 8600에 달하는 푸로테인노이드를 만들었다. 가열된 푸로테인노이드의 농축용액을 식히면 무수한 탄력있는 알맹이로 용액속에 직경이 1.5-3 마이크론의 크기로 분산한다.

이 들 푸로테인노이드의 펩타이드 결합수는 적외선 분석에서, 단백질 분해 효소의 처리로서 그리고 가수분해 처리에서 증명된다. 이리하여 폭

스는 화학진화 산물을 한층 고도로 조직된 단계에 실현했다.

1963년에 오로(J. Oro)는 텍사스의 휴스턴 대학에서 원시 유성(proto planets)의 모형을 만들고 다량의 원시 대기 또는 그의 이차산물 가령 HCHO, HCN, NH<sub>2</sub>OH 등의 원시 에너지 처리를 하여 Glycine, 베일린(Valine) 베타 알라닌( $\beta$ -alanine), 라이신(Lysine) 등의 아미노산을 생성하게 하고 한편 알카리 토금속의 산화물 수산화물등을 촉매로 하여 글리세르알데하이드(glyceraldehyde)와 아세트 알데하이드(acetaldehyde)를 축합하여 디옥시라이보즈(2-deoxyribose)를 합성하였다.

캘리포니아의 NASA 연구소(Ames Research Institute, Zxobiology Division)에서는 상기한 대학 연구실의 소규모적 연구를 대규모 종합화하여 한층 더 복잡한 생화학적 분자를 대량 생산케 되었다.

(1) 이온화 방사에 의한 아데닌(Adenine)의 합성

C<sup>14</sup>H<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>OH, 및 H<sub>2</sub>O의 혼합물에 전자조명을 했다. 전자 에너지의 크기는 4.5 Mev, 이 혼합물이 흡수한 에너지 전량은  $7 \times 10^{10}$  ergs/gram 정도였다.

이 처리의 주요 산물은 핵산 염기인 아데닌(Adenine)이었다. 수소(H<sub>2</sub>)의 출현하여 아데닌 생산량이 크게 줄어 드는 결과에서 원시 지구상에 아데닌이 발생한 때는 아마 H<sub>2</sub>가 우주간으로 이산(離散)했을 단계였으리라 추측된다. 아데닌의 합성이 이상의 재료로 이루어 진다면 CH<sub>4</sub>는 산화되어야 할 것이며 H<sub>2</sub>의 첨가는 이를 방해할 것이다.

이 실험에서 아데닌 이외의 다른 핵산 염기, 구아닌(Guanine), 싸이토신(Cytosine), 유아러실(Uracil) 등의 합성을 볼 수 없었던 사실은 흥미 있는 것이다.

분자 회전계의 계산 결과는 탄 염기에 비하여 아데닌의 레조난스 에너지(Resonance Energy)가 최대였으며 이는 원시 지상에서 아데닌이 보다 용이한 합성과 안정성을 띠고 분자 선택됐음을 암시하는데, 사실상 이 염기는 현존 생물의 DNA

와 RNA 등 핵산에 아울러 들어가며 ATP, DPN, TPN, FMN, FAD 등의 활성 분자의 주요성분으로 세포내에 편재하는 것이다.

(2) 방전처리에 의한 아데닌의 합성

CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O 등의 혼합기체에 개량한 밀라(Miller)의 방법에 의하여 150 시간 정도 방전 처리하면 45%의 CH<sub>4</sub>는 유기물질을 합성하였다. 이 산물의 20%가 물에 녹고 나머지는 에텔(Ether)에 추출된다. 이 가수용액 성분을 조사하였더니 주성분이 아데닌이었다.

(3) 광선 조명에 의한 HCHO의 중합과 당류 합성

원시 기체에 방전처리하거나 이온화 방사선의 처리를 하면 다량의 HCHO가 발생하는 것이다. 이 HCHO만을 시료로 써서 자외선이나 Co<sup>60</sup>의 감마선등을 쬐이면 라이보즈(Ribose)와 디옥시라이보즈(Deoxyribose)가 생성되는 것이었다. 이 밖에도 여러 종류의 당분이 크로마토그램에 나타나는데 주성분은 5,6 단당류였다. 이 사실도 현존 생물체에 압도적으로 편만한 5,6 단당류의 화학 진화사에서의 분자 선택을 말한다.

HCHO가 중합되는 현상은 유기화학 반응에서 유명한 HCHO의 염기성 매개로 인한 합성에 흡사하다. 광선 처리에 의한 이상의 중합은 그러나 이 유기화학적 중합과는 다른 기작에 의하여 이루어 진것이다. 그 이유는 이 광선 처리 전후의 용액의 pH는 시종 4.5 정도였기 때문이다.

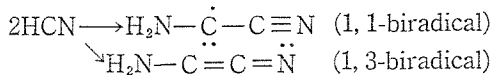
(4) HCN을 시료로 한 핵산 염기의 합성

CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O 등의 혼합 기체를 방전 처리 또는 이온화 방사 처리하면 HCN의 다량 합성을 볼 수 있다는 사실을 기술하였다. 이제 이 HCN을 출발점으로 하여 이의 중복 반응을 규명하는 이론적 근거는 두가지인바 그것은 다음과 같다.

첫째 이 HCN가 흐르는 수성(彗星)〈Conet〉의 끝머리에 분자 발광(Molecular Emission) 현상으로 드러남을 흔히 본다는 관측이 중요시 된다. 태양계에 현존하는 수성의 총수는 약 4천만이며 지구 발생후 20억년간에 지구 대기와 충돌되어 지상에 떨어진 수성의 양은 유레이(Uery, 1957)의 추산에 의하면  $1 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^8$  톤에 해당

한다. 지구에 도달한 대부분의 수성 물질은 지구의 중력과 자력에 의하여 깊숙히 잔존하지만, HCN와 대기의 반응 산물인 아미노산, 핵산염기 등은 광범위한 지대에 산포됐을 것이며 이들이 생명의 기원 물질로 화학 진화했을 것이라는 것이다.

둘째로 이 HCN의 쌍분자(Dimer)인 아미노-싸이아노-카빈(Amino-Cyano-Carbene)은 활성이 강한 중간 물질로서 단백질, 핵산염기 그 밖의 물질 합성에 이용됐을 것이라는 데 있다. HCN 쌍분자는 두개의 래디칼(Radical) 즉 1,1 biradical 또는 1,3-biradical로 존재할 수 있다.



전자는 아미노산의 합성에 후자는 고리모양의 핵산 염기를 합성하는데 이용될 것이다.  $10^{-3}$  M 용액의 HCN을 자외선에 쬐이면 약 6%의 시발 물질이 비증화(非蒸化)물로 생성된다. 이중에 약 1%가 아데닌, 0.5%가 구아닌, 10%가 요소(Urea)였다.

(5) 핵산 단원 물질의 합성

시발 물질을 (a) 아데닌+라이보즈 (b) 아데노신(Adenosine) (c) AMP 및 (d) ADP로 하고 이들에게 인산화합물을 가해서 방전 처리하면 (a)에서 아데노신이 (b)에서 AMP가 (c)에서 ADP가 (d)에서 ATP가 상당량씩 검출되었다. 여기서 특기할 사실은 (a)과정의 반응에도 인산물이 촉매로 개입되어야 하며 이것 없이는 검증할 정도의 아데노신이 생산되지 못하는 것이었다.

그런데 아데노신 합성에는 인산( $\text{H}_3\text{PO}_4$ )이나 에틸테타인산( $\text{C}_2\text{H}_5\text{PO}_3$ )이 다같이 효력이 있으나 기여 핵산 단원체(Nucleotides)의 합성에서는  $\text{C}_2\text{H}_5\text{PO}_3$ 만이 효력을 낸다는 일견 기이한 실험 결과를 보았다. 왜냐하면  $\text{H}_3\text{PO}_4$ 에 비하여  $\text{C}_2\text{H}_5\text{PO}_3$ 는 확실히 화학 진화 계열의 후세 산물일 것이기 때문이다. 또한 온도가  $300^\circ\text{C}$ 를 넘을 때는 이들 핵산 물질 대신에 중인산화물(Polyphosphate)이 발생하는 것으로 보아 핵산 물질은 지각이  $300^\circ\text{C}$  이하로 냉각된 뒤에 화학 진화한 것으로 보아야 할 것이다.

자외선 처리에 의하여 아데노신이 아데닌, 라이보즈, 인산등을 시료로 발생하는데 매시간 광량자 수량(Quantum yield)은  $10^{-5}$  정도로 측정되었으며 AMP, ADP, ATP 등은  $\text{C}_2\text{H}_5\text{PO}_3$ 를 매개체로서 그 수량은  $10^{-4}$  정도로 촉진되었다. 이렇듯 무생명적 환경에서 생성된 ATP는 루시페레이스(Luciferase) 또는 핵소카이네이스(hexokinase) 등의 효소처리로서 생물적 생산의 ATP와 분별되지 않는 것이 증명되었다.

<결 론>

이상에서 우주내에서 화학 진화 현상 곧 무생명 물질에서 생명 물질의 생성이 생물체의 매개 없이 생성된다는 사실을 이론과 실제면에서 논의하였다. 이것을 종합하면 다음 표와 같다.

원시 지구상에서의 유기물질의 진화	
원시대기	생체기분
원자	분자합성 에너지 물질합성
$\begin{pmatrix} \text{H} \\ \text{C} \\ \text{N} \\ \text{O} \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \text{H}_2\text{O} \\ \text{CH}_4 \\ \text{NH}_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{자 외 선} \\ \text{방 전} \\ \text{이온화방사선} \\ \text{열} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{아미노산} \\ \text{핵산단원체} \\ \text{당류} \end{pmatrix}$

화학 진화론은 이리하여 생명의 기원에 대한 방법론으로 채택됐는데 이것은 분자 생물학의 시발점에 불과하다.

화학 진화의 실험에서 아직 단 한개의 생활 분자(Active molecule) 가령 효소, 바이러스등을 합성하지 못한 현 단계이다. 생활 분자에 다시 한 걸음 나아가서 자율적 영양 번식하는 세포의 시험관내 창조까지는 아직 요원한 것이다. 분자 생물학도는 현존 생물의 분자 수준의 분석 및 합성 연구를 하고 또한 화석 생물등을 캐서 우주 생물학도가 인공 합성하는 방향과 반대로 과거를 더듬어 올라가는 연구도 진행한다.

유기물은 무기물에서 합성이 가능해졌으나 아직 유기물과 활성 물질 사이에 그리고 활성 물질과 자율적 생존(영양, 생식, 유전, 조절등)을 하는 세포 사이에 커다란 두 맹점(Blind points)들이 있다. 이 맹점들이 해명되는 날 생명의 기원이 따라서 해명되며 화학 진화 계열이 완성되는 것이다.

미국의 NASA와 소련의 우주 생물학자들의



중대한 당면 목표가 이 맹점의 해소로 인한 생명의 기원의 해결에 있다. 생명의 타계 존재를 확인한다는 것이 단순히 전부 또는 전부(All or nothing)의 해답을 얻는 작업으로 끝나지 않는다. 여기에는 생명의 기원과 본질을 규명하는 동시에 화학 진화론 체계의 완성이란 지대한 임무가 있다. 이 이론의 규명을 요컨대 켈빈(M. Calvin, 1970)의 말을 빌면 “우주 내에서 인간을 보다 깊이 인식하는 작업이다.” 이와같은 철학은 인간 존재의 기본 원리이다. 과거에 종교와 과학이 최근에는 정치이념(자본주의와 사회주의)의 대립으로 인류사회에 허다한 혁명과 전쟁과 참극과 변천을 가져왔다는 사실에 대비하면 이와 같은 원리가 인간 사회에 미칠 영향을 과소평가할수 없다.

화학 진화론은 분자 생물학의 이론으로써 생명의 기원에 대한 해명은 그 일부가 충족되는데 불과하다. 분자 생물학적 발전은 우선 생물 유전자의 구조와 기능을 전체 생물에서(물질진화 계열에서) 규명하고, 인간과 동물과 식물의 유전자

의 상호 이식, 수선, 절단등 수술을 감행할 수 있게 된다.

질병의 퇴치, 노쇠 방지, 영생 불사, 건강한 체구. 명석한 두뇌, 우량종의 농산 축산물 배출 등 헤아릴수 없는 인간에의 복음을 가져올 수 있는 반면에, 인간의 체외 수정, 성적흥분 중추의 전자학적 자극에 의한 결혼 무용, 성교 무용, 가정 무용 시대가 올 것 같고, 거인의 출현으로 인한 과식, 폭력의 배출등으로 사회에 일대혼란을 야기할 지도 모른다. 또한 장생불사하는 인간군에 의하여 지구상의 인구는 초만원이 되어 격렬한 생존 참극이 벌어질 지도 모른다.

과학의 길은 험난하고 목적지에 도달한다. 하더라도 애급을 떠나 카나안에 도착한 난민과 같이 실망할지 모른다. “백성이 하나님과 모세를 향하여 원망하되 어찌하여 우리를 애급에서 인도하여 올려서 이 광야에서 죽게 하는고 이 곳에는 식물도 없고 물도 없도다. 우리 마음이 이 박한 식물을 싫어 하노라.

— 구약성서 민수기 —