

生命的 起源

本論文은 한국생물과학회가 주최한 「生物科學 심포 지움」에서 洪英男교수가 「生命的起源」이라는 題目으로 발표했던 내용의 요지이다. …………… 〈편집자 註〉



洪 英 男
〈서울大 自然大 植物學科 교수〉

◇ 머리말

◎ 問題點의 提示

生命體가 어떻게 생겨났으며 어떻게 진화해 왔는가는 인간에게 매력적이며 도전적인 질문이 되어 왔다. 이에 대한 탐구를 통하여 인간은 자신에 대해서, 나아가서는 우주에 대해서 광범위한 관심을 갖게 되었으며, 또한 실질적으로 人類文化에 기본이 되는 사상을 이루게 되었다고 생각된다.

19세기 전까지 생명에 관한 문제는 物質現象과는 격리되어 다루어 졌으나, 19세기 부터는 物質科學의 발달에 따라 우주의 형성과정이 차츰 이해되기 시작하면서 生命現象은 우주의 진화과정에서 이의 物理化學的인 수준이 만족될 때마다 일어나는 사건의 흐름으로 파악될 수 있다고 여겨지게 되었다. 그러면 이러한 사건들은 우연히 일어났을까, 또는 필연적으로 일어나야 했을까?

지구가 45억년이라는 긴 세월을 거치는 동안 수 많은 생물들은 진화를 거듭하면서 明滅하여 現 地球上에는 약 150만 종의 생명체가 존재하게 되었으며, 이들은 고도로 발달된 정밀성과 경제성을 보유하고 있다. 그렇다면 이러한 생명체는 지금까지 어떤 목적을 가지고 진화되어 왔을까? 모든 사건들이 우연의 연속에 의하여 발생되었다면 이로부터 어떻게 규칙성을 가지며 自己增殖을 하는 형태가 생겨날 수 있었을까?

原始地球의 환원상태는 어떠한 형태의 자극으로 이러한 自己複製능력을 가진 고분자 유기물의 발생을 가능케 하였으며, 유전정보의 전사기구와 판독기구는 어떻게 발달되었을까? 그리고 도대체 이 모든 과정을 유도해 온 힘은 무엇일까? 이렇게 생겨난 생명체들은 자기복제 과정에서 자연선택을 통하여 最適化유기체로 진화해 왔다고 할 수 있는가? 이 모든 문제점들을 차례로 해결해 나가기 위해서는 먼저 因果論的인 측면에서 생명의 기원을 이해하려는 노력이 필

요하다고 하겠다.

◎ 생명이란 무엇인가?

“생명이란 무엇인가?”라는 질문은 현대 생물學이 해결해야 할 제일 근본적인 문제라고 할 수 있지만 아직도 생명에 대한 명확한 정의를 내리지 못하고 있다. 그러나 地球的인 관점에서 생명을 논할 때, 생명은 “살아 있다”고 불리우는 상태나 살아 있는 것을 지칭한다. 즉, 생명은 생물에 內在하는 속성인 것이다. 따라서 생물의 특성을 살펴 봄으로써 생명의 정의를 개괄적으로 유도해 낼 수 있다.

「Orgel」은 分子의 구조와 분자적 행동이 특수하고, 그러므로 해서 반복되는 복잡성을 나타낼 때 이를 생명체라고 했다. 생명체가 되기 위한 필요충분 조건으로 자연 선택의 산물로 나타난 복잡한, 그러나 뚜렷이 명세되어 있는 물체, 나아가서 높은 정보 내용을 갖고 자기증식을 따르는 물체라야 한다고 했으며, 이를 CITROENS (Complex Information Transmitting Reproducing Objects that Evolve by Natural Selection)라고 했다. 그러나 아직도 살아 있느냐 살아 있지 않느냐를 정확하게 들로 가르기에는 어려운 점이 남아 있다.

◇ 生命의 起源

20세기 후반에 들어서면서 눈부신 발전을 한 分子生物學에 의하여 유전을 分子의 언어로 설명할 수 있게 되었다. 이로 부터 생명의 기원문제의 관심도가 높아지게 되었다.

생명의 기원을 조사하는 데는 우선 생명의 역사를 더듬어 가는 실증적 방법이 있으나 기록을 입수하기 어렵고 생물체 전체가 보존될 수 없다는 한계성이 있다. 지금까지 발견된 가장 오래된 微化石은 1965년 남아프리카 스와질란드의 피그트리頁岩이라고 불리우는 퇴적암 층에서 「Barghoorn」에 의하여 발견된 남조류로 추정되는 化石이다. 이 퇴적암은 31억년 전의 것으로 연대가 결정되어 있으므로 아마도 최초의

생명이 지구에 탄생한 것은 그로부터 수억년 전으로 추측되는 약 35억년 정도 전일 것이다.

다른 과학자들은 태고의 지구와 똑같은 환경을 만들어 생명의 탄생을 관찰하여 지구형성후, 10억년 내의 사건을 알아보려 한다. 필자는 이에 따른 자료들을 제시하여 생명의 기원을 파악하고자 한다.

◎ 原始地球의 大氣

모든 물질은 수소 (가장 가벼운 원소)로 부터 시작된다. 수소는 오늘날에도 우주 가운데 가장 많이 존재하는 원소이다 (Table 1). 이로부터 모든 원소들이 생성되었다. 약 45억년전 원시지구의 대기는 처음에는 수소나 헬륨으로 이루어져 있었으나 태양열의 복사로 원시 대기를 잃어버린 후, 지구는 달처럼 그표면이 진공 상태였고 다만 地球 중심부로 무거운 먼지가 모여 들어서 고체로 변한 岩石의 집합체가 되었다.

〈Table 1〉 Cosmic abundance of some of the more common elements

Atom	Relative cosmic abundance, atoms
Hydrogen	10, 000, 000.
Helium	1, 400, 000.
Lithium	0. 003
Carbon	3, 000.
Nitrogen	910.
Oxygen	6, 800.
Neon	2, 800.
Sodium	17.
Magnesium	290.
Aluminum	19.
Phosphorus	3.
Potassium	0. 8
Argon	42.
Calcium	17.
Iron	80.

이때 岩石의 층돌, 또는 방사성 원소의 붕괴에 의한 열로 지구의 내부가 가열되자, 돌 속에 포함된 물을 비롯한 휘발성 물질이 나와 그것이

原始大氣와 바다를 이루었다. 이렇게 하여 原始大氣는 星間空間의 가장 흔한 물질인 수소외에도 새로이 생긴 소량의 질소, 이산화 탄소, 암모니아 그리고 메탄 등을 포함하게 되었다. 따라서 原始大氣는 환원성이었을 가능성이 높다.

그러나 반대 의견을 갖고 있는 사람들은 原始大氣는 그다지 환원적인 것은 아니었을 것이라고 주장하고 있다. 예컨대 오늘날의 火山의 분출가스와 같은 조성이었을 것이라는 주장으로, 그렇게 되면 암모니아나 메탄가스는 거의 없고 주성분은 이산화 탄소, 일산화 탄소, 질소가스, 약간의 수소와 수증기가 된다. 여기서 우리는 생물체를 구성하는 화합물이 산화적인 환경에서는 불안정하기 때문에, 생명이 출현하기 위해 필요한 물질을 축적하여, 준비하기에 적합하지 않으므로 原始大氣는 환원적 이었을 것으로 생각된다.

◎ 原始地球의 에너지源

原始地球上에 존재했으리라 생각되는 환원성 대기는 어떤 에너지源의 작용을 받지 않는 한 무한정 안정하다. 그러나 原始大氣에 존재했으리라 생각되는 메탄, 암모니아, 이산화 탄소 그리고 물의 혼합물에 높은 에너지가 가해 졌다면 유기물이 합성되었을 것이다. 그렇다면 원시지구 상에도 이러한 에너지源이 존재하였을까?

原始地球上에서 가능한 에너지源으로는 먼저 태양 에너지를 들 수 있는데 이는 가장 안전한 에너지源이었다. 다음으로 방사선 에너지, 우주선, 火山活動, 번개 그리고 운석의 돌입을 생각할 수 있다 <Table 2>.

<Table 2> Major energy sources of the primitive earth

Source	Energy (cal/cm ² /yr)	Relative energy
Solar short-wave ultraviolet radiation	570	712
Electrical discharges	4	5
Radioactivity	0.8	1
Volcanic heat	0.13	0.16
Meteorite impact	0.05	0.06

◎ 生命의 起源

생명의 기원은, 첫째로 化學的 진화, 둘째로 自己複製 과정, 셋째로 生物學的 진화로 그 과정을 구별하여 볼 수 있다. 그러나 여기에서는 화학적 진화와 자기복제 과정만을 살펴 보기로 한다.

(1) 化學的 進化

原始地球에서는 주어진 前 生物的 조건 아래에서 일차적으로 생명의 핵심이 되는 生物分子들이 만들어져야 했다. 처음으로 유기물의 無生物的 합성가능성은 1924년 소련의 生化學者「Op-arin」에 의하여 최초로 제안되었으며, 이와 같은 시기에 영국의 「Haldane」에 의해서도 발표되었으나 이에 대한 실험은 20세기 중반에 들어서면서 시작되었다. 1953년에 유명한 「Miller」의 실험이 이루어져, 지구의 원시대기를 모방한 혼합기체에 전기방전을 일으키면 아미노산, 포름알데히드와 시안화 수소들이 생성됨을 확인하였다. 이 후에 많은 학자들에 의해 무생물적 유기물 합성이 이루어졌다.

이러한 合成은 原始地球上에서 다채롭게 일어날 수 있었을 것이다. 그러나 化學反應은 반드시 생산적인 방향으로만 일어나는 것이 아니므로, 일단 만들어진 化合物이 파괴되는 분해반응도 일어났을 것이다. 그러므로 새로운 화합물이 실질적으로 계속 합성되려면, 生成物들은 어디든지 분해반응이 일어나지 않는 안정한 장소로 옮겨져든지, 또는 에너지 공급이 중지될 필요가 있다. 즉 비에 녹아 원시 바다 속으로 운반되는 보호수단을 생각할 수 있다. 그러나 번개, 운석, 그리고 우주선과 같이 짧은 시간 동안 방출되는 에너지에 대하여는 보호기구가 없어도 생산적인 반응을 일으켰을 것이다. 여하튼 원시지구상에서 생명체의 부품인 아미노산, 당, 염기 등이 합성되었다고 해서 곧 생명이 탄생하였고 할 수는 없다. 이것은 다만 생명체를 구성하는 재료에 불과하며 한 단계 더 복잡한 블록이 조립되어야 한다. 그러면 이제 이 부품은 어떻게 배열되면 좋을까?

① 원시 단백질의 출현

고분자 화합물이야말로 생명현상의 주역들이

라고 생각된다. 왜냐하면 이들이 아니고서는 나타낼 수 없는 독특한 화학적 성질이 있기 때문이다. 그러면 생물의 특성이 발휘될 수 있는 물질적인 기반이 되는 것은 무엇일까?

우선 생물을 이루는 가장 중요한 고분자 화합물의 하나인 단백질을 생각할 수 있는데, 이를 형성하는 화학반응은 원시 바다에 축적되어 있는 유기물에 의하여 일어나게 될 것이다. 즉 化學的進化를 통하여 만들어진 prebiotic soup에서의 分子들의 성장이다.

실제로 原始地球上에서 단백질의 출현은 어떠한 과정에 의하여 이루어졌을까? 「Fox」는 1965년에 건조한 아미노산들을 섞어 200°C에서 몇시간 가열함으로써 원시단백질의 생성에 성공하였으며, 이렇게 하여 얻은 폴리펩티드를 proteinoid라고 했다. 같은 해에 「Schramm」은 탈수제를 이용하여 70°C에서도 아미노산의 중합반응이 쉽게 일어남을 확인했다.

이때 사용한 탈수제는 폴리인산인데 이는 인산을 가열하면 만들어지므로 火山活動을 하고 있었던 原始地球上에서도 존재했으리라고 예상된다. 또는 地球가 탄생되었을 때 이미 광석으로 존재하고 있었을지도 모른다. 「Calvin」등은 더욱 단순하게 시안화 수소, 그 자체가 탈수제의 역할을 한다고 생각하고 있다. 세번째는 아미노산이 ATP와 반응하여 활성 중간체 아미노아실-AMP를 만들고 이것들이 중합해서 폴리펩티드화합물을 생성하게 된다는 생각이다. 이 반응기구는 生體內에서 일어나는 단백질 합성 반응과 비슷한 점에서 매력이 있으며, 「Katchalsky」를 중심으로 한 이스라엘 화학자들에 의해 확인되었다. 이상과 같은 원시단백질 생성기구 중에서 어느 것이 생명의 탄생에 중요한 역할을 담당했는지는 알 수 없으나 이 모든 반응들은 실제로 일어났었을 가능성을 가지고 있다.

여하튼 이러한 사건들이 비교적 간단히 이루어질 수 있다는 사실은 실험을 통하여 입증하였다. 이렇게 생성된 폴리펩티드 즉, 원시단백질이 化學的 진화과정에서 담당하여야 할 역할은 세포에서 단백질이 담당하여야 할 역할과 비슷하여야 한다. 단백질은 생체내에서 촉매로서 또

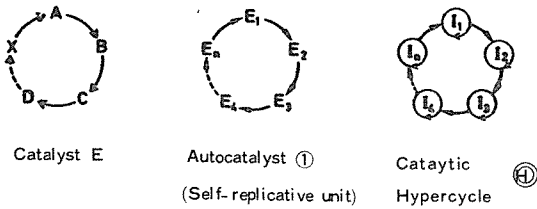
는 세포구조의 구성체로서 작용하고 있는데 원시단백질도 이와 비슷한 기능을 가졌을 것으로 기대된다.

즉, 이를 위하여는 아미노산이 특정한 배열을 갖고 있어야 할 필요가 있다. 바꾸어 말해서 처음의 복잡한 化學反應으로부터 세포내에서와 같은 질서있는 화학반응으로의 반응의 전환이 있어야 한다. 이때 아미노산들의 이어집이 확률적인 것이라 한다면, 100개의 아미노산으로 이루어진 특정한 하나의 효소단백질을 얻을 확률은 $\frac{1}{20^{100}}$ 즉, $\frac{1}{10^{130}}$ 이다. 요컨대, 이러한 확률을 기대하고 있어서는 생명은 50억년이 지난 오늘날까지도 아직 탄생되지 못하였을 것이다. 그런데 단백질이 작용할 때 단백질分子 전체가 관여하는 것이 아니고 活性部位라고 불리는 단백질分子의 특정한 일부만이 관여한다. 그러므로 앞에서 말한 확률계산에서 보다는 훨씬 높은 확률로 답을 수정할 수 있을 것으로 생각된다. 더우기 원시단백질의 아미노산의 배열방법이 무질서한 것 같지 않다. 즉, 글리신 다음에 글리신이 잇달아 결합되는 것과 글리신 다음에 알라닌이 계속되는 것. 글리신 다음에 로이신이 결합되는 정도가 1:0.8:0.5의 비율로 나타남을 알았다. 더욱 놀랄 일은 生體內 단백질에서도 이와 비슷한 비율인 1:0.7:0.3의 비율로 분포하고 있음을 알았다. 그러므로 약하지만 특정한 배열을 갖는 단백질과 같은 작용을 하는 것이 있을 수 있다. 예상한대로 원시단백질 모형에서 촉매작용이 발견되고 있다. 물론 식물효소에 비하면 몇만분의 일도 되지 못하는 미약한 것이며, 그 특이성도 낮다고 하나 化學的進化上에서는 큰 의미가 있다. 즉, 효소의 기원으로서의 의미이다. 원시단백질의 촉매작용은 동시에 化學的進化 그 자체에도 큰 영향을 주어, 유기물의 운명을 유기물이 좌우하게 됨으로써 단백질로 된 촉매가 여러가지 화학반응에 참여할 수 있게 된 것이다.

이는 유기물들이 다른 유기물로 전환되어 가는 일련의 化學反應이 진행됨으로써 방전이나 자외선으로는 만들어 낼 수 없는 유기물도 만들

어 낼 수 있게 된 것이다. 또한 몇 개의 화학반응이 합쳐져서 일련의 化學反應系, 즉 극히 원시적인 대사계를 성립시켰을 것이다.

이러한 원시적인 대사계들 사이에 서로 연결되어 더욱 안정된 대사계를 이루는 catalytic hypercycle이 형성되었을 것으로 추측된다(Fig 1참조). 이렇게 하여 생명이 지니고 있는 특성의 하나인 원시적인 모습의 대사능력이 출현할 수 있었을 것이다.



〈Fig 1〉 The hierarchy of cyclic reaction networks is evident from this comparative representation(⇒ chemical transformation, ⇒ catalytic action)

② 原始 핵산의 출현

단백질 생성에 비해 核酸 유사체의 생성기구는 조금 더 복잡하였을 것이다. 뉴클레오타이드의 중합체인 핵산의 구성단위는 염기와 당 그리고 인산이다. 아데닌 등의 염기나 당은 원시지구에서 만들어 졌을 것이며, 이로부터 우선 뉴클레오타이드가 합성될 수 있었을 것이다. 즉 아데닌과 리보스의 용액에 강한 자외선을 조사하면 아데노신이 얻어진다. 아마 다른 뉴클레오타이드류도 이런 방법으로 만들어질 것이다. 原始地球上에서 뉴클레오타이드가 만들어 진다면 그것과 인산과의 반응으로 뉴클레오타이드도 만들어 질 수 있을 것이므로 아데노신과 인산에 재차 자외선을 조사하여 예상대로 아데닐산 즉, 뉴클레오타이드를 만들었다.

이때에 탈수제로 폴리인산을 사용하면 더 쉽게 뉴클레오타이드가 생성됨이 관찰되었다. 자외선 대신에 고온(160℃) 처리를 2시간 한 후에도 뉴클레오타이드가 만들어졌다. 이와 같이 생성

된 뉴클레오타이드로부터 「Orgel」(1974)은 탈수제인 카르보디 이미드의 존재하에서 약 40개의 폴리뉴클레오타이드를 중합시킬 수 있었다.

이는 앞서 Oró연구팀이 뉴클레오타이드 수용액에 HCN이나 imidazol등을 첨가하여 90℃에서 가열하여 얻은 oligonucleotide보다는 긴 배열을 갖고 있으나 아직도 가장 작은 바이러스의 유전자를 구성하고 있는 DNA에 비하면 미세한 조각에 지나지 않는다. 그러나 그것은 生命의 진화과정에서 이와 같은 중요한 단계가 자연적으로 발생할 수 있었음을 증명해 주었다고 본다.

이상에서 언급된 biopolymer들은 혼돈 속에서 우연히 만들어진 生物分子로부터 생성된 후에 이미 규칙성을 갖게 되었으며 특정한 방향으로 진화되어진 것이었을 가능성이 있다. 이를 위하여는 자기복제 과정과 반응계들 사이에 공존관계가 성립하여야 한다.

(2) 原始細胞와 自己複製 過程

어떠한 系가 주위로 부터 안정한 상태를 유지하려면 경계를 이루어 구성 성분의 확산을 막아야 한다. 그렇지 않으면 다시 분해되어 버릴 것이다. 그러므로 생명체의 형성에 있어서는 이상적인 경계조건을 가져야 한다.

① 원시세포의 기원

「Oparin」(1968)은 코아세르베이트를 세포의 선구체로 생각하였다. 코아세르베이트 現象이란 친수성 단백질分子 용액에 알콜이나 염을 천천히 加할 때 相分離가 일어나 콜로이드分子가 많이 모여 작은 液滴이 만들어지는 현상이다. 이러한 현상은 prebiotic soup에서 일어날 수 있다. 코아세르베이트 속에서는 고분자는 수십배의 농도로 농축되어 보통 수용액 중에서는 일어날 수 없는 특별한 반응을 가능하게 할 것이다. 실제로 「Oparin」은 실물효소, phosphorylase를 써서 코아세르베이트를 만들고 외부로부터 glucose-1-phosphate를 加할 때 이것이 코아세르베이트 속에서 효소에 의해서 전분으로 전환됨을 확인하였다. 현미경 하에서 이 코아세르베이트는 원형질과 비슷한 방울로 관찰되며 그 속에서 액포도 확인되었다. 물론 이것은 자손을 남

기는 능력이나 돌연변이는 나타낼 수 없다.

다음으로 「Fox」는 아미노산에 열을 가하여 중합된 프로테인노이드 15mg을 3ml의 뜨거운 바닷물에 녹인 후 그것을 식혀 $10^6 \sim 10^8$ 개의 무수히 많은 작은 입자를 얻었다. 그는 이것을 마이크로스페아라고 하였고 $2 \mu\text{m}$ 정도의 球體인 이것의 성질을 여러 가지로 조사하였다.

마이크로스페아는 코아세르베이트보다 안정하며 표면에 두꺼운 이중으로된 층을 가지고 있었다. 특히 이들 중에는 1~2주가 지나서 출아가 시작되어 어느 정도 커지면 떨어져 나와 계속 커가는 것도 있었다. 이와 같은 성장 및 증식을 하는 마이크로스페아를 보고 「Fox」는 原始細胞 (protocell)라고 명명하였다. 그러나 「Fox」의 마이크로스페아설이 지니고 있는 미비점은 자기복제 기구의 결여이다.

② 自己複製 過程

자기복제 과정은 生物의 특징적인 성질이다. 최초의 생물은 어느 정도 만족시켜야 한다. 먼저 세포의 자기복제 과정을 살펴 보도록 하자. 세포가 증식하려면 먼저 핵산의 복제가 일어나야 한다. 그러므로 가장 간단한 생물도 이 핵산을 복제하는 능력을 갖지 않으면 안된다. 이 핵산의 구조 속에 유전정보가 축적되어 있으며 단백질 분자는 그 정보를 구체적으로 나타내 준다. 따라서 세포 內에서의 복제는 이를 담당하는 효소를 필요로 하지만 原始地球上에 이러한 효소가 없었다고 가정할 때, 核酸의 複製가 가능하였을까? 또한 이 과정은 상보적이었을까?

여기에서 하나의 구체적인 예를 들어 이 의문점을 해결해 보자. Replicase와 같은 효소가 없어도 RNA가 자기복제를 행할 수 있다는 사실은 Orgel등의 실험에서 밝혀졌다.

Poly U에 A monomer를 노출시켜 두었더니 oligo-A가 저절로 형성되었으며, 촉매로써 Pb이온을 사용할 경우 중반응이 급속도로 증가하였다. 또한 poly C를 template로 해서 A와 G를 50:50으로 넣고 Pb이온으로 活性化 시킨 결과, G:A의 비율이 10:1로 나타났다. 이는 base pairing의 90%가 옳게 되었음을 나타낸다. Zn이온이 存在할 때에는 oligo-G가 40 base 가량

되었으며 fidelity도 Pb이온보다 약 20배 정도 좋았다. 여기에서 흥미로운 일은 현재 RNA polymerase가 Zn이온을 포함하고 있다는 사실이다.

이와 같이 原始 核酸이 만들어 진다는 사실은 自己複製系의 성립을 의미한다. 다시 말해서 원시적인 유전과정은 원시세포의 유전정보로 이용될 수 있는 폴리뉴클레오티드의 복제라고 할 수 있겠다. 그러나 앞에서 말했듯이 前生物的으로 얻어진 原始 核酸은 물리적인 제약에 의하여 뉴클레오티드의 수가 매우 작았다. 그렇다면 처음 나타난 유전정보를 가진 核酸은 DNA가 아닌 그의 부분적인 복제품인 RNA일 가능성이 높다. Orgel의 실험에 의하면 G와 C가 많은 polymer가 다른 것에 비해 긴 sequence를 갖고 있음이 밝혀졌다. 특히 「Eigen」과 「Porschke」는 G, C-rich sequence는 약 100개의 뉴클레오티드를 넘지 않는 수를 가지며, A, U-rich sequence는 최대치가 약 10개의 뉴클레오티드를 가짐을 알게 되었다. 현재의 tRNA는 50~80개의 뉴클레오티드로 되어 있음이 알려졌다.

이로부터 「Eigen」은 최초의 유전인자가 tRNA가 아닐까? 라는 의문을 갖게 되었다. 다음으로 생각할 점은 이 tRNA가 G와 C를 많이 함유하고 있는냐라는 의문이다.

「Eigen」과 「Winkler-Oswatitsch」는 tRNA의 master sequence가 높은 G와 C의 염기함량을 나타내고 있음을 발표했다. 즉, 대부분 tRNA의 master sequence에서 G, C/A, U의 비율이 1.6을 초과한다. 이는 최초의 유전자가 tRNA였을 가능성을 시사해 준다.

그러면 tRNA로부터 유전정보가 관독되려면 어떠한 조건이 필요할까? 최초에는 하나의 code로 되어 있었을 가능성이 있으나, 여기에서는 triplet codon으로 전제하고 이야기 하고자 한다. 관독을 시작, 종결 그리고 교정해 주는 기구가 최초에는 존재하지 않았기 때문에 자기 자신만으로 유일한 관독을 할 수 있어야 한다는 문제가 나온다.

이러한 생각에서 frame의 모형이 비매칭이어야 한다는 결론이 나오고, 따라서, 그 모형은 RNY나 YNR의 冪을 취해야만 한다(여기에서 R

은 purine을 나타내고 Y는 pyrimidine이며, N은 아무 뉴클레오티드나 무관). 초기 유전자가 특히 G와 C가 많다면, RNY의 형중에서도 먼저 나타날 수 있었던 것은 GNC이다. 이것으로부터 형성될 수 있는 codon은 GGC, GCC, GAC, 그리고 GUC이다. 그러면 이러한 codon을 가진 핵산과 결합할 수 있는 아미노산이 실질적으로 초기에 많이 존재했을 것이다. 「Miller」의 실험에서 최초로 glycine 과 alanine이 다른 아미노산에 비해 약 20배나 많이 생성됨이 관찰되었고, 이때의 codon은 각각 GGC 그리고 GCC임을 우리는 알고있다. 또한 GUC와 결합하는 valine은 소수성으로 alanine의 효과를 돕고, GAC의 aspartic acid는 acid-base catalytic activity를 갖는다. 즉, 이 두 codon은 기능적으로 필요하였다.

그러나 제한된 code의 길이로는 생명을 유지해 나갈 수 있는 기능적 구조를 이룰 수 없다. 그러므로 「Eigen」과 「Schuster」는 이와 같은 조건에서 기능적 구조를 이룰 수 있으려면 cycle

형태로 각 code가 기능적인 연결을 하여야 한다고 했으며, 이 cycle을 hypercycle이라고 했다. 혹시나 이 hypercycle이 증식을 하는 기능적 고리로써 진화할 수 있는 가장 간단한 체계 아닐까? 만약 그것이 효과적으로 변화된 형질을 이용할 수 있었다면 더욱 더 발전할 수 있었을 것이다.

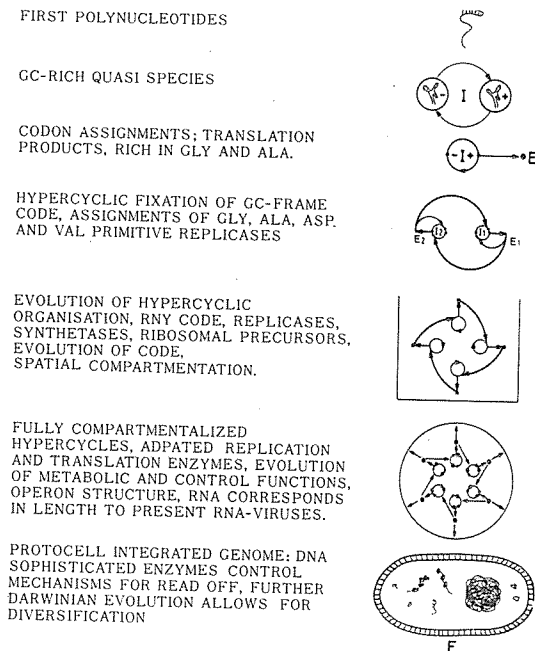
이상에서 살펴 본 바와 같이 단순히 상상의 산물이라기 보다는 실제로 존재하였을 가능성이 큰 物質系라 할 수 있는 hypercycle이 차츰 차츰 진화되어 原始 生命體가 탄생되었다고 생각된다. (Fig 2참조).

◇ 맺는 말

지금까지 地球가 생겨 나서부터 原始 生命體가 탄생할 때까지 약 10억년간의 과정을 고찰해 보았다. 이 모든 가정들이 물론 상상의 범위를 벗어 날수가 없다고 할 수도 있겠으나, 인간은 상상할 수 있는 것들을 지금까지 합리적으로 이해하려고 노력해 왔다. 앞에서 언급한 문제점들이 충분히 해결된 것은 아니다. 과학적인 토대 아래 원시생명의 기원을 설명하려는 가설들이 제시된 것이다.

원시지구상에서 分子와 分子들 사이의 충돌은 우연한 것이었으며, 이로 인하여 생긴 물질들은 물리적 제약을 끊임없이 받고 있었을 것이다. 그러나 이로 부터 우연히 생각난 고분자 화합물은 이러한 사건 속에서 조화를 이루려는 성질을 갖게 되었다. 즉 고분자 화합물들 사이에 일어나는 게임중에서 규칙성을 찾게 된 것이며, 이로 말미암아 고분자 화합물은 “自己 最適化”의 의미를 부여받게 되었다.

이 自己 最適化라는 의미는 자연선택을 필연적으로 동반했으며, 이 자연선택은 自己 複製過程을 통하여 이루어 졌다. 그러나 아직 “만약 어느 누군가가 생물체의 구성 밑에 숨겨 있는 보다 아름다운 삼각형을 지정해 낼 수 있다면, 우리는 그를 반대자적인 적으로서가 아니라 진리의 편에서 있는 친구로서 환영할 것이다.”



〈Fig 2.〉 Hypothetical scheme of evolution from single macromolecules to integrated cell structures.