

생체계 복잡성 완전 해석, 불가능은 없다

글_강사욱 서울대학교 생명과학부 교수 kangsaou@snu.ac.kr



인간유전자 분석

21세기를 흔히 ‘생명과학의 세기(The Century of the Biological Sciences)’라 부르는 것은 그 동안 여러 자연과학 분야에서 축적되어 온 지식을 총동원하여 생명의 신비를 풀어야 할 때가 우리 앞에 곧 펼쳐질 것이기 때문이다. 생명현상은 자연과학이 다루고 있는 어느 주제보다도 복잡 미묘한 것이어서 이에 대한 연구는 수학, 물리학, 화학 등의 인접 학문 분야뿐만 아니라 인문학 및 사회과학분야의 도움을 받아 새로운 방법론을 개발하면서 수행되고 있는 종합학문의 성격을 가진 자연과학분야다.

생명현상은 또한 매우 다양하기 때문에 생명과학내에서도 어느 한 분야만의 발전으로는 도저히 그 전모를 밝힐 수 없는 문제다. 그렇기 때문에 21세기의 생명과학은 전분야의 고른 발전을 통하여 다양한 생명현상들을 공동으로 규명하는 종합과학이 될 것이다.

생명과학은 어느 학술분야보다도 생명체의 다양성과 생명현상의 다양성 때문에 수많은 분과가 만들어지면서 발전되어 왔다. 연구방법론에 따라서 형성되어 온 분과들을 보면, 수리생물학(Bio-mathematics), 생물물리학(Biophysics), 생화학(Biochemistry) 등을 들 수 있으며, 생물학의 체제에 따라 미시적인 관점으로부터 분자생물학, 세포생물학, 개체

생물학, 분류학, 생태학 등을 들 수 있고, 생명현상의 관점에서 나누어 해보면, 유전학, 발생학, 생리학, 면역학, 진화학 및 행동과학 등이 있다. 연구대상의 관점에서는 식물학, 동물학, 미생물학으로 대별된다. 하지만, 이와 같은 구분은 더욱 더 세분화되고 복잡해져 훨씬 더 다양한 연구 분과들이 국제적으로 통용되고 있다. 최근에 와서 여러 분야, 특히 컴퓨터과학 등이 복합적으로 연관되어 있는 연구분야가 새로이 출현하고 있는데, 대표적인 분야가 생물정보학(Bio-informatics), 구조생물학(Structural Biology) 등이라고 볼 수 있다.

과거 동물·식물로 구분한 생명체, 이젠 유카리아, 박테리아, 아케아로 구분

지난 세기에 우리 나라는 비로소 자연과학사상을 서구로부터 받아 들였고, 생물학분야도 본격적으로 교육과 연구의 체제를 갖추게 되었다. 지난 세기 후반에는 분자생물학을 바탕으로 하여 모든 생물학의 분야는 보다 분석적인 자세로 생물체를 이해하고자 하는 노력을 시작하였다고 볼 수 있고, 우리는 이와 같은 세계적인 추세를 받아들이는데 급급했다. 금세기 들어서면서 IT, BT, NT 등의 용어가 전 세계적으로 갑자기 유행하면서 우리나라에도 이와 같은 물결이 밀어 닥치고 있다.

기획연재순서

- ④ 21세기의 수학
- ⑤ 21세기의 천문학
- ⑥ 21세기의 해양학
- ⑦ 21세기의 지질학
- ⑧ 21세기의 생태학
- ⑨ 21세기의 기상학
- ⑩ 21세기의 생명과학
- ⑪ 21세기의 우주학
- ⑫ 21세기의 고고학
- ⑬ 21세기의 인류학
- ⑭ 21세기의 생물분류학
- ⑮ 21세기의 우주학



DNA 칩



피펫

BT는 물론이고, 나머지 두 분야도 공통적으로 중점을 두고 있는 대상이 모두 생체계(Biological System)이어서 생명과학은 이와 같은 움직임의 핵심에 놓이게 되었다.

그러면 21세기에 우리 나라의 생명과학은 어떠한 것인가? 생명과학분야의 기본은 분류학이고, 분류학의 기본 작업은 지구상에 서식하는 생물체의 발견과 기록으로부터 시작되었다. 생물체의 존재를 모르고 생명과학을 공부할 수 없기 때문에 이 분야가 기본이라는 것은 당연한 귀결이다. 동물, 식물의 경우는 많은 것이 이



칩생산실

미 발견되고 기록되어 오래 전부터 인류의 실생활에 영향을 미쳐 왔지만, 미생물로 대표되는 생물체의 경우는 17세기 중엽에 서구에서 처음으로 발견된 이후, 알게 모르게 우리의 실생활에 직·간접적으로 커다란 영향을 끼쳐 왔다는 것을 비로소 알게 되었다. 하지만, 미시성 때문에 그 성격에 대해 많은 부분을 아직까지도 잘 알지 못하며, 여전히 발견과 기록의 시대에 머물고 있다. 특히, 최근 20여 년 동안에 고세균(Archaea)의 존재가 드러나면서 과거 19세기에 생물체를 식물과 동물의 두 생물계로 구분하던 방식을 벗어나 유카리아(Eukarya), 박테리아(Bacteria), 아케아(Archaea)의 세 도메인으로 구분하기 시작하였다.

현재 이에 대한 연구에 국제적으로 교류를 받고 검증받은 연구진들이 금세기에 국내에 유치되어 밝은 희망을 보여 주고 있으며, 엄청난 수의 생명체가 새로이 발

견되고 있다. 이는 전세계적으로 분류학분야가 칩체에 들어 있다는 점을 생각할 때, 괄목할 만한 성장이라고 할 수 있다. 하지만, 현재 극히 적은 숫자의 연구진만이 이 연구에 종사하고 있는 실정이어서 연구 인력의 보강이 시급하다. 연구인력만 보강된다면, 금세기말에는 이 분야를 통하여 막대한 양의 생물자원을 얻을 수 있으며 더불어 한국의 분류학이 전세계에서 주도적인 위치를 차지할 수 있을 것이다.

또한 괄목할 만한 작업으로 인정받고 있는 것은 DNA의 염기서열을 밝히는 이른바 지놈프로젝트라고 할 수 있다. 이 연구는 생물체의 모든 정보가 DNA에 저장되어 있다고 생각하기 때문에 생물체가 가지고 있는 모든 정보를 분석하는 작업이라고도 생각할 수 있다. 현재까지 국내 연구진들은 이 프로젝트를 위하여 국제적인 컨소시엄을 통해 부분적으로 참여하였



염기서열 분석실

거나, 지놈 크기가 작은 몇 종류의 미생물 (Zymomonas, Vibrio, Leuconostoc, Pediococcus 등) 지놈프로젝트를 수행하는 등 극히 미약한 수준에 머무르고 있다. 그 이유는 이 작업을 위해서는 막대한 자금이 소요되는데 국내의 연구비 수준으로는 쉽지 않기 때문이다. 연구비 확보가 금세기에 이 연구로부터 얼마나 괄목할 만한 연구결과를 내놓고 국가발전과 인류복지에 기여할 것인가의 성패가 달려 있는 것이다.

21세기는 포스트지놈시대 ..

프로테오믹스, 메타볼로믹스, 피지오믹스

DNA의 염기서열과 거기에 들어 있는 유전정보가 곧 생명현상을 의미하는 것은 아니다. 이 정보가 발현되어 단백질이 만들어지고 만들어진 단백질이 기능을 갖추고 행동할 수 있어야 하기 때문에 그 길은 상당히 멀다. 정보를 아는 것과 그 정보가

어떻게 이용되어 생명현상을 표현하는가 하는 것은 전혀 다른 별개의 문제이고, 컴퓨터와 같이 단순하지 않다. 다만, 유전정보의 염기서열 해독은 다음을 위한 준비에 불과하다. 이 작업은 다음 작업을 위해 우회하지 않고 보다 쉬운 길을 갈 수 있도록 초석을 놓았다고 할 수 있다.

또한, 염기서열의 분석 결과 40~50%의 유전자가 알려진 유전자로 추정하지만, 이는 과거에 최소한 한 번 정도 논문에 언급된 것일 뿐 그 유전자가 발현되어 얻어지는 단백질이 생체내에서 수행하는 실질적인 기능과는 거리가 상당히 멀다. 그 이유는 하나의 단백질이 여러 가지 복합적인 기능을 수행하고 있기 때문이다. 이는 특히 핵산, 단백질 등 다른 물질들과 상호 작용하는 등, 대단히 복잡한 반응이 존재하고 있기 때문이다.

그렇기 때문에 유전자의 염기서열 해독으로부터 우리가 알고 있는 실질적인 정

보는 10%에도 못 미치는 것으로 추정된다. 이 연구를 위해서는 지놈프로젝트에 들어간 것과 비교해볼 때 막대한 인력, 시간, 자금이 필요할 것으로 추산되며, 그 발전 속도는 결국 국력과 비례한다고도 볼 수 있다.

유전자 염기서열 분석 이후의 연구들이 해외에서 분석된 염기서열을 바탕으로 이미 국내 연구진들에 의해 시작이 되었으며, 이 분야들을 프로테오믹스(Proteomics), 메타볼로믹스(Metabolomics), 피지오믹스(Physiomics) 등으로 표방하면서 연구 성과를 발표하기 시작하였고, 연구진들도 점차로 보장되고 있다. 이 분야는 근본적으로 생체 구성 분자들의 단순한 연관관계에만 초점을 맞추어서는 괄목할 만한 성과를 얻을 수 없을 것이고, 하나하나의 구체적인 기능을 분석하는 작업이 수반되어야 할 것이다.

이를 위해서는 자연과학이 그 동안 개발하여 온 연구방법이 총동원되어야 한다. 그러기 위해서는 생명과학뿐만 아니라 수학, 물리학, 화학, 컴퓨터 과학 등 다양한 분야에서 훈련받은 연구 인력들의 협조가 필요하다. 현재의 여건을 감안할 때, 연구 인력의 능력에는 손색이 없어 보인다. 연구시설, 연구비 등 여건이 확충되면 금세기 말경에는 국제적으로 손색없는 생명과학 연구의 산실이 될 수 있을 것이다.

시험관내에서 세포를 합성하여 생명의 본질에 접근하기는 어려워도 생명체를 구성하는 분자 구조, 구체적인 성질, 상호 연관성, 반응조절 등 비교적 생명현상을 이해하는 수준에는 도달할 수 있을 것이다. 이 사실은 곧, 현재 불치로 인정되고 있는 암, 치매 등과 같은 각종 퇴행성 질

환을 획기적으로 치유하고 바이러스, 세균, 균들에 의한 감염성 질환을 치유하는데 결정적인 지식과 방법을 제공할 수 있을 것이며, 질 좋은 식량자원을 확충하고 건강한 삶을 유지하기 위한 지식과 방법 등을 제시하게 되리라고 예측된다.

기재과학에서 벗어나 논리의 과학으로

지난 세기 후반부터 가장 큰 문제로 대두되기 시작한 것은 환경의 문제일 것이다. 국제적으로 과도한 산업화가 진행되면서 지구의 환경 자체가 인류를 포함하여 현존하는 생물체에게는 엄청나게 위험한 환경으로 변화되고 있어 국제적으로 여러 가지 규제 조치 등이 만들어지기 시작하였다.

이 환경의 문제가 해결되지 않고 지금과 같은 속도로 지속적으로 환경변화가 진행된다면 인류를 포함한 지구상의 생물체들은 그 변화된 환경에 적응할 수 있는 새로운 종으로 대체되거나 극단적으로는 절멸할 것이라고 예측된다. 세계 도처에서 서서히 그와 같은 조짐들이 보이고 있다는 사실을 간과할 수 없다. 우리 나라도 예외는 아니어서 기후의 변화가 조금씩 느껴지는 것도 어쩔 수 없는 현실인지 모르겠다.

환경과 관련된 생물학의 분야는 생태학이다. 종합적인 성격을 가지고 있는 생명과학의 한 분과이다. 이 분야의 연구에 종사하고 있는 연구자의 수는 다른 분야에 비해 상대적으로 상당히 적은 편이라고 볼 수 있고, 발전의 속도도 대단히 느리다. 현재의 추세라면 금세기에도 이 분야는 느린 성장을 계속할 수밖에 없으리라 고 여겨진다. 하지만, 국가와 인류의 미래



인간지놈프로젝트

를 생각할 때, 이 환경 문제의 해결이야말로 빠른 시간내에 반드시 해결하지 않으면 안 되는 과제이기도 하다. 이를 위하여 생태학적인 조사와 연구가 국가적인 차원에서 심도 있게 이루어지길 바란다. 이를 극복하기 위해서는 연구 인력과 연구비의 확충이 선행되어야 할 것으로 보인다.

최근에 많이 논의되고 있는 BT (Biotechnology)는 의학, 공학, 농학, 약학, 영양학 등 여러 응용과학분야 등을 망

라한 엄청나게 방대한 영역으로 그 주축은 생명과학이고 생물체를 연구해서 얻어진 기초적인 지식에 바탕을 두고 있다.

하지만, 다른 분야, 특히 물리학, 화학 분야와 다르게 가장 간단한 생물체조차도 실험관내에서 아직까지 한번도 합성한 적이 없다. 또한, 생물체에서는 생명현상에 대한 기본원리가 명확하게 정의된 적이 아직까지 없었다.

과거에는 지구상에 존재하는 생물체들의 모습을 기록하는데 주력하였고, 그 이후로는 생물체를 구성하는 기본단위인 세포를 기술하는데 노력을 기울였었다. 현재는 모든 생명과학의 분야들이 과거보다는 분석적이긴 하지만, 여전히 생물체를 구성하고 있는 구성원들을 분자수준에서 기록하는 수준에 머물러 있다고 해도 과언이 아닐 것이다.

다시 말해서, 생명과학의 전통적인 방법론이라 할 수 있는 기재과학의 특성을 그대로 지니고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 현상은 일차적으로는 생체계의 복잡성에 있다. 이 복잡성의 완전한 분석은 아직도 멀게 느껴진다.

다른 말로 하자면, 생명과학은 여전히 분석위주의 과학 범주에 속해 있다고 할 수 있다. 21세기에는 생명과학을 논리의 과학으로 탈바꿈시켜 국가발전 더 나아가 인류복지에 획기적으로 기여할 수 있으리라 고 기대해 본다. **ST**



글쓴이는 서울대학교 미생물학과를 졸업 후 동대학원에서 석사학위를, 독일 Giessen대학교에서 생물물리학 박사학위를 받았다. 미국 시카고대학교 연구원을 역임했고, 현재 한국미생물학회 회장, 아시아태평양지역 전자상자성공명학회 한국대표, UNESCO 아시아태평양지역미생물학네트워크 한국대표를 겸임하고 있다.