

# 21세기의 生命과학기술

생물산업(생명과학기술)은 정보산업과 함께 21세기를 주도할 영대 산업중의 하나이다. 지난 수십년간 급속히 발달한 분자생물학과 유전공학에 힘입어 생명과학기술은 폭발적으로 팽창해왔다. 생명과학기술은 그동안 인슐린을 비롯해 성장호르몬, 혈액응고인자 등 유용물질을 개발·생산해왔으며 지난해엔 복제양 돌리를 출현시켜 세상을 놀라게 했다. '인간복제'를 둘러싸고 전 세계를 떠들썩하게 했던 이 생명과학기술이 새 세기엔 어떻게 펼쳐질 것인가 알아본다.



魏世燦  
(한림대 자연대 유전공학과 교수)

많은 산업계, 경제계의 인사들이 장차 21세기를 주도할 산업으로 정보산업과 생물산업을 드는데 일치된 견해를 보이고 있다. 말할 것도 없이 현재의 컴퓨터기술과 생명과학기술이 그러한 전망을 하는 기초가 될 것이다.

생명과학의 지식이 산업기술로 응용되기 시작한 것은 아마도 채취경제시대를 끝내고 농업경제시대로 접어들면서부터라고 할 수 있겠다. 그러나 불과 50년 전까지만 해도 그

발전 속도는 극히 미미한 정도였으나 지난 수십년간 급속히 발달한 분자생물학, 그 뒤를 이은 유전공학에 힘입어 생명과학기술은 폭발적으로 팽창하였다.

분자생물학이란 생물체를 구성하는 주요 물질인 DNA, RNA, 단백질 등의 구조와 기능을, 또한 유전정보에서부터 이들 물질이 생성되는 유전자 발현 과정 및 발현 조절 현상을 연구하는 분야이다. 이 연구의 결과들은 급기야 선택된 특정한 유전자를 우리가 원하는 시간과 원하는 장소에서 발현시키는 기술, 즉 유전공학을 가능하게 하였다.

## DNA 등 유전자 발현 연구

유전공학의 본질을 파악하려면 유전공학이 태어나게 된 유래를 살펴보는 것이 지름길일 듯 싶다. 분자생물학연구는 60년대 후반에 몇가지 중요한 기술적 돌파구를 마련하였다. 두 DNA 분자를 이어주는 효

소인 DNA ligase의 발견(1967년)과 DNA 분자의 특정 부위를 절단하는 제한효소의 발견(1970년)이 그것이다. 이 두가지 발견으로 어떠한 DNA 분자일지라도 특정 부위를 절단하여 그 절편을 유래가 서로 다른 DNA 분자와 결합시킬 수 있게 되었다. 1986년에는 특정한 유전자를 손쉽게 얻을 수 있는 DNA 연쇄 증합반응(PCR; polymerase chain reaction)이 발견되어 획기적인 전환점을 이루었다.

이 새로운 기술들을 DNA 재조합 기법(recombinant DNA technology), 유전자 재조합기법 또는 유전자 조작(gene manipulation)이라 부르게 되었고 이러한 방법을 통하여 동일 유전자를 다량으로 얻을 수 있기에 클로닝(cloning 또는 gene cloning)이라고 한다. 그러나 이들 기법들은 산업 생산을 위한 도구로 사용되면서 유전공학(genetic engineering)이란 말과 호환, 혼용되기 시작하였다.

유전자 조작기법을 이용한 분자생물학의 발전으로 말미암아 이전까지 막연하고 모호한 상태에 머물러 있던 세포학, 면역학, 발생학 등이 그들의 현상을 분자적 수준으로 설명하기 시작하면서 급격한 변화를 일으키고 있다. 이 분야에서 습득한 지식 중에서 유전자 조작, 염색체 조작, 단일항체 생산, 배 조작, 세포 융합, 세포 배양 등의 기법은 산업적 측면에서 이용도가 매우 높다.

이 기술들은 유전적 재조합기법과 함께 생물공학(biotechnology)이라 부르며 이 분야의 산업을 생물산

업(bioindustry)이라고 한다. 불과 몇년 전에 생겨난 어휘가 사전에 오르기 전에 새로운 유사어가 출현하는 상황이다.

### 암·에이즈 등 치료법도 연구

유전공학 : 과학이나 기술의 발전은 매우 점진적이기 때문에 유전공학이 언제부터 시작되었느냐 하는 문제는 아침이 언제부터 시작되느냐 하는 것처럼 명확히 대답하기 어렵다. 아무리 그렇다 하더라도 획기적인 기술상의 발전과 발견 또는 역사적 사건들을 열거하므로써 유전공학의 변천하는 모습을 알아볼 수 있겠다.

위에서 언급한 대로 DNA ligase와 제한효소가 순수 분리된 것이 각각 1967년과 1970년도의 일이다. 이 두 효소를 이용하여 서로 출처가 다른 두 유전자의 재조합이 시험관에서 성공한 것은 1972년 미국의 스탠포드대학의 한 연구실에서의 일이다.

그 1년 후, 동 대학의 다른 연구실에서 외래의 유전자를 세균의 플라스미드에 끼워 붙여 재조합시키고 이것을 플라스미드가 없는 세균에 넣어준 결과 세균의 형질전환에 성공하였다. 외부에서 도입된 유전자가 우리에게 유용한 물질을 생산하는 것이라면 손쉽게 배양할 수 있는 세균으로부터 고가의 물질을 값싸게 얻을 수 있을 것이다. 인슐린의 예를 들어보겠다. 우리의 가족, 친지 중에는 당뇨 때문에 고생하시는 분들이 적지 않다. 당뇨병이 발생된 원인은 여러 가지가 있겠으나 그 중

의 하나는 바로 인슐린이라는 당 대사 호르몬의 결핍이다. 인슐린 호르몬 결핍환자의 치료에는 호르몬 투여가 상책이나 인간 호르몬을 어디에서 구하겠는가? 할 수 없이 소의 췌장에서 소의 인슐린을 추출하여 당뇨 환자에 주사하였다. 소에서 인슐린을 추출한다고는 하지만 그 양이 많지 않아 매우 비쌌 뿐 아니라 그 자체가 사람 인슐린이 아니기 때문에 문제점이 있다. 인슐린은 비교적 작은 단백질이기 때문에 이 단백질을 합성정보를 가진 유전자(즉, 인슐린 유전자)를 쉽게 클로닝할 수 있다. 만일 사람 유전자를 대장균과 같은 배양하기 쉬운 미생물에 넣어서 인슐린 단백질을 합성한다면(유전자 발현) 당뇨병 환자에 전혀 부작용이 없는 호르몬을 값싸게 대량 생산할 수 있다.

이에 착안하여 1977년 세계 최초로 'Genentech'라는 유전공학회사가 설립되었다. 이 회사는 1979년 말에 최초로 인간의 뇌 호르몬인 somatostatin을 유전공학적인 기법으로 생산하였고 1980년부터 대량 생산에 들어갔다. 이 회사가 1억달러의 시장이 걸려 있는 인슐린 생산에 눈독을 들인 것은 너무나도 당연한 일이었다. 이로부터 세계 도처에서 수없이 많은 유용물질이 생산되었다. 혈우병을 치료하기 위한 혈액 응고인자, 복합형 면역부전증 치료제, 피부암 제거를 위한 종양 괴사인자, 간염 백신, 성장 호르몬, 인터루킨, 심근경색 혈전용해제(TPA) 등이 그것이다.

우리나라에서도 <주> 녹십자에서

1989년 B형 간염 백신을 유전공학 기술에 의해 생산, 상품화에 성공하였다. 1986년 DNA 중합 연쇄반응이 발견된 이래로 더욱 많은 발전이 이루어졌다. 신제품 개발에 관한 특허와 순수 학문의 연구보고서 수를 어렵하여 볼 때 경제적 목표를 두고 수행된 유전공학의 업적은 전체 연구의 5%에 불과하리라 짐작된다. 거의 모든 유전공학의 연구는 학문 자체의 발달에 기인한 것이다. 유전자 조작에 의하여 이제까지 알지 못하던 세포활동의 조절현상을 이해하게 되었고 수정란에서 성체가 되기까지의 신비롭기만 하던 분화과정을 점차 해독하게 되었다.

또한 우리 몸에서 일어나는 복잡한 면역현상을 분자생물학적 관점에서 설명할 수 있게 된 것은 역시 유전공학기법을 이용한 순수 과학의 업적이다. 기억이나 사고와 같은 신경계의 생리활동을 분자적 수준으로 연구할 수 있게 됨에 따라 신경생물학(neurobiology)이라는 신종 학문이 탄생하여 빠른 속도로 발전하고 있다. 그 뿐만이 아니라 의학계에서는 암, AIDS, 노인병 그 외에도 여러 질병의 발병 원인을 연구하고 그의 근원적 치료법을 모색하고 있다.

### 지난해 복제양 돌리 출현

농업 : 농업 분야에서는 식량 증산을 위하여 꾸준히 품종 개량을 시도하고 있다. 품종 개량에는 과거의 소극적인 선택 교배에서 탈피하여 적극적인 새로운 유전자 도입이 이루어지고 있다. 그 결과 병충해에

내성을 보이는 개량 품종, 무공해 농약을 스스로 생산하는 품종, 육질이 우수하고 질병에 잘 견디는 가축 등을 생산하기도 한다. 1997년 2월 체세포를 이용한 복제 양, 돌리가 출현하여 화제가 되기도 하였다. 좋은 형질을 갖는 가축을 짧은 시간에, 값싸게, 대량으로, 복제할 수 있게 된 것이다.

한편 유용한 유전자 산물을 식물체에서 생산하려는 시도도 있다. 그리하여 전염병 예방백신 유전자를 토마토나 당근, 바나나 등에서 발현시켜 과일 또는 야채를 섭취하는 동시에 자연스레 질병에 면역되게 하는 것이다.

### 78년 시험관아기 탄생시켜

출산보조기술(생식공학) : 의료 분야에서도 괄목할 만한 발전이 이루어졌다. 그 중의 하나는 출산 보조 기술이다. 아이를 갖고자하는 사람들의 염원을 실현하기 위하여 이러한 기술이 꾸준히 발전되어 왔다. 이미 1799년에 성계의 인공 수정이 시행되었고 1944년 포유류의 시험관 수정이 가능하게 되었다. 1949년 정자를 냉동 보관할 수 있음을 알게된 후 1952년 동결된 정자로부터 첫 송아지가 탄생하였다.

시험관 수정이 토끼의 출생에 이용된 것은 1959년이며 첫 시험관 아기가 탄생한 것은 1978년의 일이다. 복제에 관한 기술도 일찍부터 발달하여 1952년에 체 세포의 핵을 무핵 수정란에 이식하므로써 올챙이를 복제하였으나 개구리로 성장하지는 못하였다. 1970년에는 생쥐의

배자(embryo)를, 1979년에는 면양, 1980년에 젓소의 배자를 복제할 수 있게 되었다. 1993년 인간의 배자를 복제하여 크나큰 사회적 충격을 가져왔다. 체세포를 이용한 복제의 경우 1952년 올챙이 이후 앞서 언급한대로 1997년 면양, 돌리가 복제되어 생식공학에 대한 일반인들의 불안감을 야기하였다. 1983년에는 남편의 정자와 다른 여인의 난자로부터 발생한 배자를 이식받아 태아를 출산하였고 그 다음 해에는 냉동되었던 배자로부터 태아가 출생하였다. 오늘날 많이 사용되는 출산 보조기술은 시험관 수정(IVF ; in vitro fertilization), 배우자 나팔관 이전(GIFT ; gamete intrafallopian transfer), 자궁내 사정(IUI ; intrauterine insemination), 수정란 나팔관 이전(ZIFT ; zygote intrafallopian transfer), 정자세포 주입(ICSI ; intracytoplasmic sperm injection) 등이 있다. 이 여러 가지 방법들은 비용이나 성공률에 약간의 차이를 나타내나 성공률을 높이기 위한 새로운 방법들이 꾸준히 시도되고 있다. 미국에서만 연간 20만~30만명이 이러한 출산 보조기술의 도움을 받고 있다. 한가지 흥미로운 사실은 새로운 의료기술을 시험하기 위하여 과거에는 저소득층이 대상이 되어 왔으나 오늘날에는 고소득층이 막대한 시술 비용을 부담하면서도 기꺼이 모르모트 역할을 자임한다는 것이다.

출산 보조기술과는 반대로 낙태에 관한 기술도 있다. 새로이 개발되

어 사용되는 낙태기법은 매우 정교하여 외관상 정상적인 유산과 구별이 불가능하다. 낙태를 두고 찬반양론이 첨예하게 대립돼 있는 시점에 이러한 은밀한 방법이 가능하게 됨으로써 법집행의 어려움을 실감하게 된다.

### 장기이식 기술도 크게 발전

장기이식 : 장기 이식에 관한 기술도 크게 발전하였다. 우리나라에서도 지난 8월 5일 보건복지부가 뇌사자 장기이식을 합법화하는 '장기 등 이식에 관한 법률안'을 입법 예고하므로써 날로 늘어나는 장기이식문제를 더 이상 방치할 수 없음을 스스로 입증하였다. 뇌사를 인정하고 장기 적출을 합법화함으로써 뇌사자 판정에 대한 기준이나 장기의 불법 매매, 태아 장기의 사용 등에 여러 가지 문제가 발생하지 않도록 준비하여야 되겠다.

유전병 : 21세기를 앞둔 오늘날에도 현대 의학으로 해결하기 어려운 많은 질병이 있다. 병원체에 의한 감염이나 약물 중독, 사고, 환경 요인 등에 의한 외부적 요인에 의한 질병이 아닌 내부적 요인, 즉 유전적 질환이 그것이다. 유전적 이상은 태어날 때부터 운명적으로 지니고 태어나는 것이므로 비록 진보된 의학기술에 의해 병증을 완화시킬 수는 있겠으나 근본적인 치료가 매우 어려운 실정이다. 유전병 환자 또는 보인자의 진단은 그 유전병 유전자의 정확한 돌연변이 부위를 밝혀내므로써 가능하며 유전자의 염기서열 결정기술은 이제는 보편화되어 있

므로 그리 어려운 일은 아니다. 유전병 환자로 진단된 경우 그 유전병의 궁극적 치료를 위하여 유전자요법(gene therapy)의 하나인 정상 유전자 증강법(supplimentation)이 1990년 세계 최초로 Anderson 박사에 의하여 시행되었다.

유전자치료법(gene therapy)은 인간의 질병을 치료하는 개념적으로 새로운 접근방법이며 의료분야에서 빠른 속도로 진보되고 있다. 1994년 LDL 수용체가 결핍된 28세의 가족성 고콜레스테롤증 여자 환자에 유전공학적으로 정상 유전자를 삽입한 본인의 간세포를 이식하여 좋은 결과를 얻었다. 비록 특별한 질병에 대한 유전자 치료는 매우 미숙한 단계이고 보다 많은 연구가 필요하지만 유전자 치료법을 적용하고자 하는 연구에서 기술적 진보가 빠르게 진행되고 있다. 많은 종류의 질병이 궁극적으로 이러한 방법에 의하여 치료될 것이라는 사실은 분명하다. 비록 유전자 치료법의 개념 자체는 단순한 것으로 보이고 유전자 재조합기법을 직접적으로 이용할 수 있는 분야지만 임상적으로 유전자를 성공적으로 전달하기 위하여서는 여러 가지 새로운 기법의 개발 및 의료분야와 기초과학분야의 상호 협동이 절실히 요구된다.

### 유전인자 진단 ... 유전병 치료

인간게놈프로젝트는 2005년까지 인간 유전자의 전체 DNA의 염기서열을 결정하고 그 유전자들의 배열과 구조 또한 유전자들의 발현 양상 등을 연구하기 위하여 생명과학분야

에서는 가장 큰 단일과제로 시작하였다.

물론 국제적인 협력연구지만 미국이 주도적으로 수행하기 위하여 1991년부터 15년간 필요한 30억달러를 미(美)하원이 승인하였다. 이는 이 프로젝트가 생명과학의 발전과 인류의 복지 향상을 위하여 얼마나 중요한가를 보여주고 있다. 한국도 물론 이 Human Genome Organization(HUGO)의 일원으로 참가하고 있다. 인간게놈프로젝트의 1차적인 목적은 인간게놈을 구성하는 염기의 서열을 알아내는 일이지만 이외에도 인간게놈에 대한 고해상도 유전자지도 작성, 얻어진 막대한 양의 데이터 해석방법 및 데이터 처리기술의 개발 등이 있다. 인간게놈사업은 각각의 인간 유전자에 대한 막대한 의학적인 정보를 제공해줄 것으로 예상하였고, 결과적으로 이 정보는 유전병 유전자를 가질 가능성이 있는 개체의 출산 전 또는 질병이 발병하기 전에 광범위한 진단에 이용될 것이다.

이외에 유전자의 기능이 무엇이며 어떻게 조절되는가에 대해서 이해가 가능해질 것이고 따라서 새로운 치료약이나 치료법의 개발이 이루어질 것으로 예상하고 있다. 이와 같은 막대한 의학적이고 과학적인 이익이 있기에 미국을 포함하는 선진국들이 많은 비용을 부담하고 이 게놈사업을 수행하고 있다. 이들 국가에서는 이 정보를 결국에는 특허화 내지는 상업화할 것이고 우리나라를 포함하는 많은 국가들은 비용을 부담하고 이들 정보를 이용할 것이다.

### 유전자 동일한 人間분신 등장

생명과학기술의 내일 : 과학기술의 장래를 예견하는 일은 매우 어려운 일이다. 초미시공학(nanotechnology)의 선구자 Drexler의 말을 인용하면, "엔지니어는 기술이 언제 개발될지 정확히 예견할 수 없다. 왜냐하면 발전이란 항상 불확실성을 내포하기 때문이다"라고 했다. 기초가 되는 기술개발이 언제 어떻게 이루어질지 모르므로 공학의 발전을 예견하기가 쉽지 않다는 뜻이다. 아무리 그렇다 하더라도 모든 현상이 관성의 법칙을 따르는 이상 지금까지 진행된 방향으로 보아 가까운 미래를 예측할 수는 있을 것이다.

유전공학의 범위가 유전자 조작에서 탈피하여 세포 조작에 이르러 생물공학이란 분야를 탄생시킨 것은 이미 언급한 바이다. 이 새로운 기술로 우리는 무엇을 하려고 하는가? 인류가 탄생된 이래로 지금까지 또 앞으로도 끊임없이 제기되어질 가장 큰 문제는 식량, 에너지 그리고 질병에 관한 것이다.

유전공학, 나아가 생물공학이 이들을 외면하지는 않을 것이다. 병충해에 내성을 가지는 농작물, 다수확 품종, 스스로 공기 중의 질소를 고정하므로써 비료를 필요로 하지 않는 농작물을 개발하는 것이 멀지 않은 장래에 실현될 것이다. 인류의 에너지 수요량은 날로 늘어나는데 비해 우리가 의존하고 있는 화석연료는 점차 고갈되어가고 있다. 궁여지책으로 핵연료를 사용하고 있으나 화약고를 안방에 들여놓은 듯 불안

하기 짝이 없다. 미생물의 생리적 특성을 연구하고 거기서 얻는 지식을 에너지 문제 해결에 활용하려는 노력 또한 여러 방향으로 시도되고 있다. 복제양 돌리에서 보는 것처럼 이미 분화된 세포의 유전정보를 재편집(reprogramming)하여 새로운 개체로 재생시킬 수 있게 되었다. 세포주기, 세포분화에 관련된 지식이 멀지 않은 장래에 암, 또는 간염이나 AIDS와 같은 바이러스성 만성질환의 퇴치에 사용될 것이다. 노인성 질환의 원인, 노화과정의 이해를 바탕으로 건강하게 장수를 누릴 수 있는 방법을 곧 발견하게 될 전망이다.

뿐만 아니라 근본적 치료가 불가능한 것으로 여겨지던 유전병도 유전자 도입기법에 의하여 정상 유전자를 체내에 이식하므로써 치료될 수 있을 것이다. 현대가 산업사회를 지향하면서 필수적으로 동반된 환경오염은 우리 자신의 존립을 위협하면서 발전 또는 성장의 진정한 의미가 무엇인지를 심각하게 물어 오고 있다. 이미 오염된 환경은 정화시켜야 하며 산업 폐기물이 공기, 토양, 하천을 더럽히지 않도록 처리되어야 한다. 이 신중의 환경 정화산업도 유전공학의 괴력을 빌어 해결될 것으로 믿어진다.

현대 사회의 다양성과 개인주의는 이미 가족이란 개념조차 모호해지도록 사회를 변모시켜 왔다. 물론 이 추세에 박차를 가한 것은 유전공학에서 탈바꿈한 생식공학(reproductive engineering)이다. 생식공학은 벌써 아기산업(baby indu-

stry)이라는 기상천외의 산업을 탄생시켰다. 아기씨(정자)를 사고 팔 뿐만 아니라 못자리에서 모내기하듯 남의 아기씨를 심었다가 키워내 주는 대리모의 수가 날이 갈수록 증가하고 있다. 우리 사회가 이를 허용할지는 별개의 문제이지만, 멀지 않은 장래에 손오공처럼 유전자 구성이 동일한 수많은 인간 분신을 생산할 수 있게 될 것이다. 산업선진국들이 관심을 보이는 미래산업으로 위에서 언급한 초미시공학(nanotechnology)이 있다. 분자생물학, 유전공학, 화학, 물리학, 공학 등이 동원되어 설계되는 분자기계(molecular machine)를 이용한 산업 기술이다. 이 기술로서 인류에게 유용한 물질을 환경오염없이 매우 저렴한 가격으로 대량 생산할 수 있게 될 것이다. 예를 들면, 항생물질의 생합성 과정을 연구하여 그 지식으로 값싸게 대량생산하는 분자기계를 만들려는 작금의 시도가 곧 현실로 다가올 것이다. 또한 광합성 지식을 이용하여 이산화탄소를 포도당으로 전환시키는 분자 기계를 작동시키며, 오염물질을 분자상태로 분해하여 새로운 자원으로 이용할 날도 오게 될 것이다. 결코 황당무계한 이야기가 아니다. 이미 IBM사는 주사 터널링 현미경(STM)을 사용하여 원자 날개를 배열하므로써 IBM 로고를 그리는데 성공하였다.

현재 진행되고 있는 분자 스프링, 분자 베어링, 분자 모터, 분자 반응 모듈에 관한 기술이 확립되면 위와 같은 우리의 희망이 실현되는 것은 시간문제일 뿐이다. 오염 물질을 분

해하여 얻은 자원으로 쇠고기를 합성한다고 상상해 보라! 그 과정은 실제 소에서 일어나는 생화학 반응과 원리에 있어 크게 다를 바 없다.

인간 유전자 서열을 모두 밝히는 게놈사업은 2005년까지로 계획되어 있으나 실제로는 좀 더 앞당겨질 전망이다. 유전자를 구성하는 30억개의 뉴클레오티드 서열 속에 약 8만개의 유전자가 확인될 것이다. 이 정도의 정보는 컴퓨터 속에 약 7백 50메가바이트를 차지할 것인데 이는 한글 96 프로그램 3개 분량에 지나지 않는다. 게놈정보는 어디에 쓰일 것인가? 서열을 밝혀낸 유전자 중에는 세포에서의 작용을 알 수 없는 것들이 태반이다.

세포내 작용을 예측하려면 유전자가 만들어 내는 단백질이 어떤 모양을 할지 알아야 한다. 단백질을 구성하는 아미노산 서열 정보를 가지고 그 단백질의 궁극적인 3차 구조를 정확히 예측하려는 현재의 노력은 멀지 않은 장래에 실현될 것이며 그 결과 모든 인간 유전자의 기능을 알게 될 것이다. 이들 유전자의 어떤 점이 인간을 인간답게 하는가? 인간의 유전자는 90% 이상이 침팬지와 동일하다. 인간을 침팬지와 구별되게 하는 결정적인 유전자가 존재하는가? 개인의 차이는 어디에서 연유하는가? 어떤 단백질의 어떤 구조적 특성이 소심한 성격을 갖도록 하는가? 이러한 성격을 개선하기 위하여 유전자를 어떻게 변형시켜야 하는가? 다가오는 세기에는 많은 의문들이 풀릴 것이며 또한 더욱 많은 의문들이 제기될 것이다. ㉔