

나만의 거친 생각

유전자 편집(Gene Editing)

기동전사 건담 SEED의 세계관에서...



조지 그렌(최초의 코디네이터)

기동전사 건담 SEED 시리즈에 '코디네이터'라는 인종이 등장한다.

최초의 코디네이터인 조지 그렌은 태어날 때부터 천재로 이름이 높았고 만능스포츠맨이기도 했다. 뛰어난 신체 능력과 명석한 두뇌를 이용해서 약관 20세에 노벨상 후보에 올랐고, 스스로가 설계한 우주선으로 목성까지 무사히 다녀온, 초인이다. 그가 목성으로 출발하는 날 스스로가 유전자 조작을 받아서 태어났음을 밝힘과 함께, 다른 사람들도 유전자를 조작할 수 있도록 그가 코디네이터라 명명한 맞춤형 아기(Designer Babies) 제조 기술을 공개한다.

코디네이터 기술이 공개된 후, 일단 각국에서 무분별하게 코디네이터가 만들어진다. 이러한 아이들이 사회에 진출하면서 커다란 사회 문제를 일으키게 되자, 많은 내츨은 코디네이터를 적대시했고 법률적으로 코디네이터를 만드는 것을 전면적으로 금지한다.

하지만 그런데도 암암리에 코디네이터를 만드는 사례가 빈발했다. 문제는 지구상에서 코디네이터를 만드는 것을 방지한다 해도, 이미 태어나 버린 코디네이터를 제거할 수는 없었다는 점이다.

사회적 인식과 법 때문에 많은 내츨들이 표면상으로는 코디네이터를 부정했지만, 같은 인간으로서 코디네이터와 공생을 원하는 사람들도 있었다. 그러나 너무나도 많은 코디네이터가 사회적으로나 법적으로 부당한 인권 침해를 당해온 결과, 코디네이터는 자신들 스스로가 내츨들과는 다른 종임을 내세워 플랜트라는 독립 국가를 형성하고, 급기야는 내츨들과 생존을 건 전쟁을 벌이게 된다.

들어가면서



유전자 편집

빅 데이터 분석, 인공지능, 로봇공학, 사물인터넷, 자율 자동차, 3D Printing, 나노 기술 등 최근 과학기술 분야에서 가시적인

변화가 나타나고 있다. 하지만 우리는 인지하지 못하고 있는 사이에 의외의 범주에서 혁신적인 발전을 거듭하고 있는 분야가 있어서 소개하려고 한다. 유전자 편집(Gene Editing), 유전체 편집(Genome Editing), 유전자 가위(Programmable Nuclease), 합성 생물학(Synthetic Biology) 등으로 알려진, 인간의 의도에 따라 생명을 디자인하고 만들어 낼 수 있는, 공상과학영화에서나 만나던 개념이다.

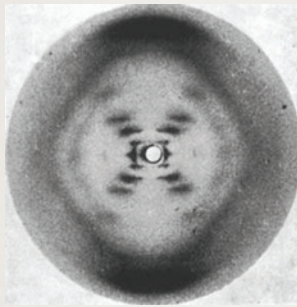
생명 과학이나 기술은 그 대상이 인간을 포함한 생명체이기때, 우리의 삶은 물론이고 생명 자체를 근본적으로 바꿀 수 있으므로, 다른 무엇보다 파급 효과나 사회 문제가 더 중대하고 클 것으로 예상된다.

마치 기동전사 건담 SEED의 세계관처럼...

생명 과학의 발전

현대적인 현미경이 발명된 1660년대 이후, 미생물과 세포 등을 발견하면서 생명 과학이 태동했으나, 멘델의 유전법칙 발견을 제외하면 초기의 연구는 매우 더디게 진행되었다.

수백 년이 흐른 1953년에 케임브리지 대학에서 연구하던 왓슨(James Watson, 1928~)과 크릭(Francis Crick, 1916~2004)이 DNA의 이중나선(Double Helix) 구조를 밝히면서 한 단계 도약한다.



Photograph 51(DNA X선 회절 이미지)

DNA 구조의 규명으로 분자생물학이라는 신세계가 열리고 유전이란 무엇인가, 어떻게 유전이 일어나는가의 물음에 답하는 과정에서 분자유전학이 탄생한다.

이로써 유전물질이 그 자체를 복사하고, 단백질의 특정 아미노산 서열을 형성하는 메커니즘을 설명할 수 있는 유전자의 3차원 분자구조를 밝히는 역사적 성취가 이루어진 것이다.

그로부터 반세기가 지난 2003년, 인간이 가지고 있는 게놈(Genome, 유전체)의 모든 염기서열을 해석하기 위한 인간게놈프로젝트(HGP, Human Genome Project)가 완료되었다.

유전자(Gene)가 하나하나의 형질을 만드는 단위임에 비해서, 게놈(Genome)이란 어떤 생물이 가지는 유전자 전체를 의미한다. 인간게놈프로젝트를 통하여 인간의 거의 모든 세포에 30억 쌍의 아데닌(Adenine), 티민(Thymine), 시토신(Cytosine), 구아닌(Guanine)이라는 염기가 들어있고, 2만5000개 정도의 유전자를 가지고 있다는 것을 알게 되었다. 이를 지도화했다는 건 생물학 역사상 최대의 프로젝트임이 틀림없다. 그리고 인간게놈프로젝트가 완료되었다는 것은 그 데이터를 해석하는 작업이 이제 착수 단계에 들어감을 의미한다.

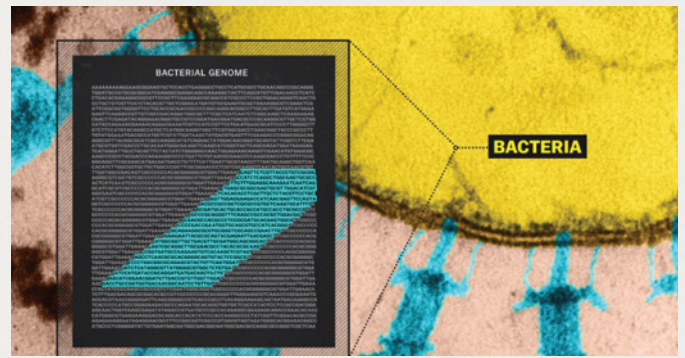
그로부터 10년 정도가 지난 2012년, 크리스퍼(CRISPR)라는 기술이 널리 회자되기 시작했고, 이후 급속도로 발달하기 시작한 이 놀라운 기술은 생명과학계를 넘어서 전 세계 모든 과학계에서 가장 큰 파장을 일으키고 있는 화두이다.

CRISPR

본래 자연계에 있던 유전자 가위로 불리는 '자연 현상'이 발견된 건 30여 년 전이었다. 첫 발견은 박테리아에 대한 일상적인 연구에서 비롯했다.

1980년대 말, 어느 스페인 대학교 박사과정 학생이던 프란시스코 모히카(Francisco Mojica, 1963~)는 강한 염분에 잘 견디는 해안가 박테리아 종의 게놈을 연구하고 있었다. 그는 우연히 이 미생물의 DNA에서 독특하게 반복되는 염기서열 구조를 발견했다.

교수가 되어 모교로 돌아온 모히카는 연구를 계속해 이런 구조가 다른 박테리아 종에도 있다는 걸 발견했지만 그 기능이 무엇인지는 여전히 밝혀내지 못했다. 이런 구조엔 '크리스퍼'(CRISPR, Clustered Regularly Interspaced

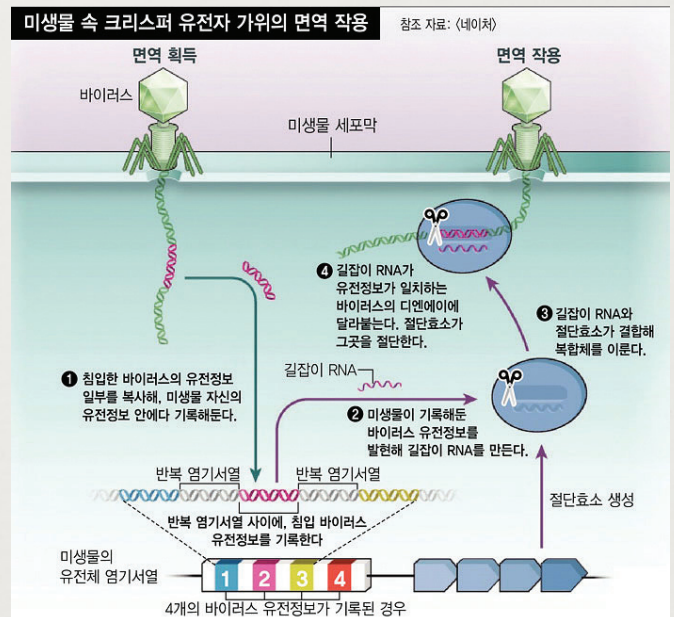


박테리아 게놈의 바이러스의 DNA 조각

Short Palindromic Repeats; 규칙적으로 반복되는 염기서열의 무리)라는 이름이 붙여졌다.

크리스퍼가 어떤 기능을 하는지를 밝혀내는 것이 중요한 주제가 되었으나 한동안 가설과 추측만 제시될 뿐 밝혀지지 못했다. 모히카는 다른 생물 종의 방대한 DNA 데이터베이스에서, 박테리아의 반복 염기서열이 다른 아니라 박테리아를 공격하는 바이러스의 염기서열과 일치함을 찾아냈다. 그는 크리스퍼가 박테리아의 면역체계와 관련돼 있으리라는 결론에 이르렀고 이를 논문으로 써서 발표하고자 했다. 그러나 핵심 아이디어가 이미 알려져 있 다거나 참신성과 중요성이 부족하다는 이유로 2003년 '네이처'지를 포함한 여러 출판사로부터 거절당하고 2005년 1월에야 한 생물 학술지에 실릴 수 있었다.

이를 밝혀낸 주인공은, 요구르트의 젖산균을 연구하던 프랑스 미생물학자

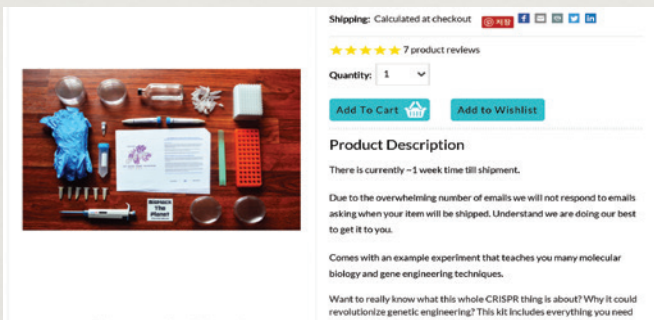


미생물 속 크리스퍼 유전자 가위의 면역 작용

필리프 호르바트(Philippe Horvath, 1970~)였다. 그는 박테리아의 독특한 반복 염기서열 구조가 바이러스의 공격에 대응하는 면역체계로 기능을 한다는 것을 실험으로 입증했다. 그 후 세계 곳곳에서 과학자들이 크리스퍼 연구에 매달렸다.

미국 UC 버클리 대학교의 생화학 및 분자 생물학 교수인 제니퍼 다우드나(Jennifer Doudna, 1964~)와 독일 막스 플랑크 감염생물학 연구소의 미생물학자인 에마누엘 샤르팡티에(Emmanuelle Charpentier, 1968~)는 이와 같은 지식을 토대로 Cas9(CRISPR-associated9, CRISPR와 관련된 9번 단백질)이라고 이름 붙인 효소와 몇 가지 유도단백질을 추가함으로써 원하는 유전체의 위치에 이 '유전자 가위'를 배치해서 유전자 조각을 잘라낼 수 있는 기술을 개발했다. 한때 과학자들은 "크리스퍼가 너무 복잡하여, 유전체 편집에 이용할 수 없다."고 생각했지만, 마침내 Cas9라는 간단한 유전자 가위가 발견되면서 사정이 달라졌다.

3세대 CRISPR/Cas9이 기존의 1세대 징크핑거 뉴클레이즈(ZFN, Zinc Finger Nuclease)와 2세대 탈렌(TALENs, Transcriptor Activator-Like Effector Nucleases) 유전자 가위가 누리지 못한 주목을 받은 것에는 제작 난이도가 쉽고, 정확도도 높을 뿐 아니라, 압도적으로 저렴하다는 점이 있다. 누구나 약 18만 원만 치르면 DIY 크리스퍼 키트(DIY Bacterial Gene Engineering CRISPR Kit)를 이용하여 박테리아의 DNA를 집에서도 조작할 수도 있을 정도로 저렴하다.



약 18만 원에 불과한 DIY 크리스퍼 키트

양날의 검

구분	체세포 유전자 편집 (Somatic)	생식세포 유전자 편집 (Germline)
치료 (Therapy)	의술 (Medicine)	미래 세대 치료 (Curing Future Generations)
향상 (Enhancement)	성형수술 (Plastic Surgery)	맞춤형 아기 (Designer Babies)

유전자 편집 구분

대개 과학기술은 양날의 검이었다. 화학공학이 그랬고, 핵물리학이 그랬다. 고도의 화학지식 없이는 아우슈비츠의 대량학살도, 오늘날의 기상이변도 없었을 것이다. 최첨단 물리학이 없었다면 히로시마는 물론이고 오늘날의 핵 위기도 없을 것이다. 매스컴이 전해주는 즐겁고 유익한 정보의 이면에서는 자본과 국가권력이 대중의 우민화를 노려왔다. 유전자 편집 역시 큰 범주에서는 다르지 않을 것이다. 따라서, 우리는 유전자 편집을 이용하여 우리의 삶을 어떻게 개선할지 생각함과 동시에 남용 가능성에 대한 대비책도 마련해두어야만 한다.

겨우 65년 동안 인류는 DNA가 어떻게 작용하는지 밝혀냈고 그걸 판독하는 기계와 함께 고쳐 쓰는 도구도 만들었다. 인간에게 생명의 소스 코드를 제어할 기술이 생기고 그걸 인간에게 사용한다면 어떻게 될까? 여기서부터 문제가 복잡해진다. 그리고 우리는 이 문제에 관해서 세분해서 보아야 한다. 한 가지 분류의 기준은 체세포 유전자 편집과 생식세포 유전자 편집이고, 다른 분류의 기준은 치료와 향상이다.

세포는 대부분 체세포다. 혈액, 뇌, 피부 세포는 DNA를 자손에게 넘겨주지 않는다. 체세포 유전자 편집은 어떤 변화가 있더라도 그 사람 하나로 끝나기 때문에 그냥 의술로 여겨진다. 반면 정자, 난자, 배아와 같은 생식세포에 대한 편집은 자신에게 영향을 주기도 하지만 후세의 DNA를 변화시키게 된다. 생식세포 편집은 인간 개체군과 진화에까지 영향을 주고 근본적인 변화를 가져오게 된다. 따라서 이 둘 사이에는 어마어마한 차이가 있다. 여기서 중요한 건 '전달'이다.

또 다른 분류의 기준은 치료와 향상이다. 크게 보아서 치료는 병을 고치는 것이고, 향상은 건강한 사람을 더 좋아지게 하는 것이다. 문제는 둘 사이의 경계가 모호하다는 점이다. 키가 작은 것은 질병일까? 지능이 낮은 것은 질병일까? 어디서부터가 치료이고 어디까지가 향상인지 둘 사이의 경계는 모호하기 마련이다. 그래서 논쟁거리가 되어왔다.

좀 더 들여다보도록 하자.

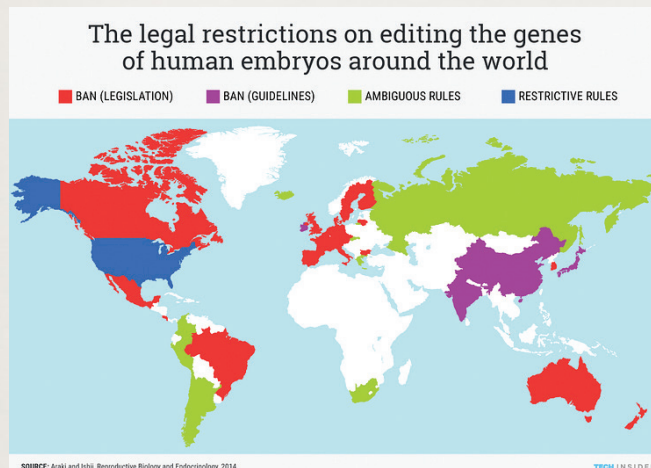
체세포 유전자 치료는 의술로 여겨지고, 지금의 과학자들은 유전자 편집을 이용한 질병 연구에 집중하고 있다. 체세포 유전자 향상은 마치 성형수술과 같이 유전자 편집의 대상 단 한 명에게만 영향을 미치기에 큰 거부감 없이 받아들여질 수 있으리라 판단된다.

논란거리는 해당 환자 치료에 머물지 않고 후세를 위해 질병을 편집할 수 있는 생식세포 유전자 치료부터이다. 이를 통하여 포피리아(Porphyrin, 정

상적인 적혈구가 생성되지 않는 병)나 혈우병과 같은 유전병을 후세에게 대물림하지 않을 수 있게 되는 장점이 있지만, 후세를 위해 질병을 편집하는 일이 옳은 판단일까?

생식세포 유전자 향상을 통하여 맞춤형 아기를 만들어낼 수 있는 생식세포 유전자 향상부터는 심각한 논란거리이다. 종의 개량을 목적으로 인간의 선 발육종을 했던 나치 체제하의 우생학(優生學), 그리고 유대인, 슬라브족, 집시, 동성애자, 장애인 등을 학살했던 나치 체제하의 홀로코스트(Holocaust)와 매우 흡사하다. 따라서 회의론이 지배적이다. 인간의 진화에 인간이 개입한다는 의미는 인간이란 종을 개량한다는 의미와 사실상 같은 의미를 담게 된다. 이러한 행위가 용납될 수 있을까?

이러한 문제 때문에 2015년, UN은 전 세계적인 시행 중단을 요구하며 유전자 변형이 인간의 존엄성을 해칠 수 있다고 말했다. 유전자 편집으로 아기를 만드는 건 적어도 25개국에서 이미 불법이고 유럽에선 대부분 수십 년간 금지했다.



인간 배아 유전자 편집에 관한 법적 규제

반면, 영국 정부는 2016년 유전자 가위를 이용한 인간 배아의 유전자 교정 연구를 허가했다. 정부 차원에서 이런 조처를 한 것은 처음이다. 이에 따라 런던의 프랜시스 크릭 연구소는 인간 배아를 대상으로 불임에 관여하는 유전자를 유전자 가위로 잘라내는 연구를 하고 있다. 중국은 지난해 이미 인공 수정란의 빈혈 유발 유전자를 정상 유전자로 바꾸는 실험을 하는 등 매우 적극적이다. 유전자 가위 기술 규제에서 미국은 진취적으로 앞서가고 있다. 2016년 6월 미국 국립보건원(NIH)은 CRISPR/Cas9 기술을 이용한 차세대 세포치료제(CAR-T)의 임상시험을 승인했다. 인간을 대상으로 임상시험을 승인한 최초의 사례다.

마치면서

생명 과학의 윤리 문제는 소홀히 다뤄서는 안 된다. 하지만 생명 과학과 생명 윤리의 경계선을 시대를 초월하는 것으로 묶어 둘 수는 없는 일이다. 예컨대 임신을 바라는 불임 부부에게 생명 공학 기술로 임신을 가능하게 하여 행복을 찾아 준다면 그것을 생명 윤리라는 이름 아래 부도덕한 것으로 비난할 수가 있을까. 불치의 유전병으로 시한부 생명을 사는 환자에게 간세포 배양을 통해 건강한 삶을 줄 수 있다면 이를 비윤리적으로 간주할 수 있을까. 생명 과학과 생명 윤리의 대립 문제는 어느 날 하루아침에 해결될 사안이 아니라 인류가 존재하는 한 언제까지나 함께 가야 할 과제다.

인류는 지금 엄청난 가능성을 양손에 쥐고 있다. 생명 과학에만 치중하여 인간의 존엄성을 훼손해서도 안 되고, 생명 윤리만 중시하여 엄청난 기회를 저버려서도 안 된다. 그래서 희망한다. 유전자 편집 연구의 성과를 이용하여 타인을 지배하려는 시도를 무력화할 수 있는 사회적 장치가 확보되어, 부자들 빈자들 남녀노소 누구라도 유전자 편집 연구의 성과를 누릴 수 있는 그 날이 온다면, 인류는 다른 의미의 진화를 한 것이 아닐까? 🌐

참조

- 익스플레인 : 세계를 해설하다 2화 '맞춤형 DNA' / NETFLIX
- 크리스퍼 유전자 가위 혁명, 위기인가 기회인가 / 김명자 전 환경부 장관 / 중앙일보
<https://news.joins.com/article/20373403>
- 1987년 최초로 발견되었지만 그 의미를 알 수 없었던 CRISPR / 땡칠이닥터 / BRIC
<http://www.ibric.org/myboard/read.php?Board=news&id=272600>
- 그래도 노벨상 0순위는 유전자 가위 '크리스퍼' / 송기원 교수 / 프레시안
<http://www.pressian.com/news/article.html?no=142314>
- '박테리아 호기심'에서 시작된 크리스퍼 발견 / 오철우 기자 / 한겨레
http://www.hani.co.kr/arti/science/science_general/753105.html
- The Heroes of CRISPR / Eric S. Lander / Cell.com
[https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674\(15\)01705-5](https://www.cell.com/cell/fulltext/S0092-8674(15)01705-5)