

## 인공적인, 너무나 자연적인: 포스트 게놈 시대 합성생물학과 트랜스휴머니즘†

우태민\*· 박범순\*\*

이 논문은 포스트 게놈 시대에 합성생물학 연구자들과 트랜스휴머니스트들의 자연관과 진화개념을 비교분석하는 것을 목적으로 하고 있다. 2000년대 새롭게 등장한 합성생물학은 “합리적 설계”와 “방향적 진화”라는 두 가지 핵심적인 개념을 통해 생명 시스템을 디자인하는 것을 가능케 했다. 인간이 생명체를 설계해 만들어내고 진화과정을 가속화시킬 뿐만 아니라 특정 방향으로 유도한다는 점에서, 자연적인 것과 인공적인 것 사이의 경계가 무너지는 것 아닌가 하는 우려가 제기되었다. 이렇게 합성생물학으로 재구성된 자연을 어떻게 받아들여야 할 것인가? 진화의 속도와 방향에 영향을 주는 연구를 어떻게 정당화할 수 있는가? 합성생물학과 트랜스휴머니즘은 어떤 지적 자산을 공유하고 있는가? 과학기술의 상업화와 같은 사회경제적 요소가 분야의 흐름에 영향을 주지는 않은지? 자연의 도덕적 권위는 사라졌는가? 본 논문은 합성생물학을 선도하고 있는 세 명의 과학자와 최근 대표적 트랜스휴머니스트로 떠오르고 있는 옥스퍼드 대학의 철학자들을 관점을 소개하고 비교분석하여 이 질문들에 답하려고 한다.

**[주제어]** 합성생물학, 트랜스휴머니즘, 합리적 설계, 방향적 진화, 인간향상, 진화의 최적성, 자연의 도덕적 권위

† 이 논문은 2016년 한국과학기술학회 전기학술대회 ‘휴머니즘을 넘어: 포스트-, 트랜스-, 테크노-휴머니즘’에서 발표한 내용을 발전시킨 것이다. 학회발표에서 토론을 맡아 코멘트를 해주신 이두갑 교수님께 감사드린다. 그리고 논문의 논지를 다듬고 명확히 하는데 유용한 코멘트를 주신 익명의 심사자들에게 감사드린다.

\* KAIST 과학기술정책대학원 박사과정 (제1저자)

전자우편: innoerin@gmail.com

\*\* KAIST 과학기술정책대학원 교수 (교신 저자)

전자우편: parkb@kaist.edu

## 1. 서론: 유전정보를 “쓰는” 시대

“우리는 우리의 운명이 별에 있다고 생각해 왔다. 지금은 대체적으로 유전자에 있음을 알고 있다.” 이 말은 DNA 이중나선 구조의 공동 발견자인 제임스 왓슨(James D. Watson)이 1990년 인간유전체사업(Human Genome Project)의 공식적인 출범을 일 년 앞두고 한 것이다(Daston and Vidal, 2004: 12)<sup>1)</sup>. 과거에는 천체의 움직임, 즉 자연의 질서와 조화 속에서 개인의 운명을 이해하고 예측할 수 있다고 믿었다면, 이제는 인간의 구성 물질에 대한 연구를 통해 운명을 알 수 있고, 한 걸음 더 나아가 이를 바꿀 수 있다는 것이다. 이 주장은 유전자 조작을 통해 질병의 발생을 미리 막거나 치료를 할 수 있을 뿐만 아니라 궁극적으로는 진화의 물적 기반인 유전자의 변화에도 직접 개입하여 사회를 변혁시킬 수 있다는 메시지도 담고 있어, 새로운 형태의 우생학을 추구하는 것 아니냐 하는 논쟁을 불러 일으키기도 했다(Kevles, 1992; 김훈기 2004; 김호연, 2012). 이어 2000년대 초 인간유전체 사업이 결실을 보이는 시점에 등장한 합성생물학은 유전정보를 “읽는” 시대에서 “쓰는” 시대, 즉 유전자를 “편집” 또는 “교정”하고 더 나아가 유전체를 인위적으로 다시 프로그래밍 할 수 있는 시대로의 전환을 예고하였다.

합성생물학자들은 최소유전체를 만들어 인공세포를 작동시키고, 보다 복잡한 생명체를 공학적으로 디자인하며, 이를 통해 인간의 특정 기능을 향상시킬 수 있다고 보고 있다(김훈기, 2010; 우태민, 박범순, 2014). 이로써 자연물과 인공물의 경계, 치료와 “인간향상”(human enhancement) 사이의 경계에 대한 근본적인 의문을 던지고 있다. 이 문제는 과학기술을 통해 인간의 근본적인 한계를 극복하려는 트랜스휴머니즘(transhumanism)에서 이미 제기된 것이기도 하다(이진우, 2013). 트랜스휴머니스트들은 기술이 가져다주는 실질적 혜택이 잠재적인 위험보

---

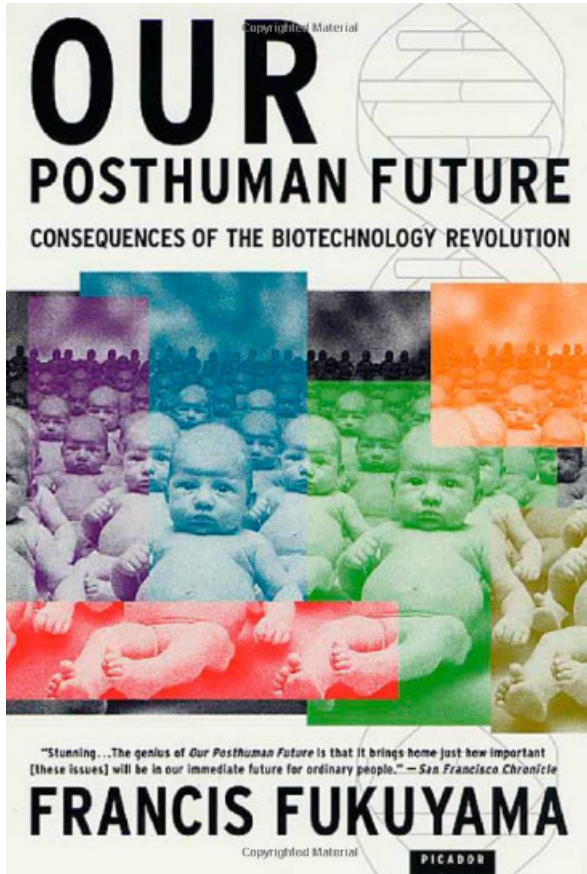
1) 자연의 도덕적 권위가 역사적, 문화적으로 어떻게 이해되었는가에 대한 중요한 통찰은 Lorraine Daston and Fernando Vidal, *The Moral Authority of Nature* (Chicago, London: The University of Chicago Press, 2004)에서 얻었다.

다 훨씬 크다는 믿음을 바탕으로 합성생물학을 포함한 첨단 생명공학기술의 보다 적극적인 연구와 활용을 지지해왔기 때문이다.<sup>2)</sup>

포스트 게놈 시대에 합성생물학으로 재구성된 자연을 어떻게 받아들여야 할 것인가? 진화의 속도와 방향에 영향을 주는 연구를 어떻게 정당화할 수 있는가? 합성생물학과 트랜스휴머니즘은 어떤 지적 자산을 공유하고 있나? 과학기술의 상업화와 같은 사회경제적 요소가 분야의 흐름에 영향을 주지는 않은지? 본 논문은 합성생물학을 선도하고 있는 세 명의 과학자와 최근 대표적 트랜스휴머니스트로 떠오르고 있는 옥스퍼드 대학의 철학자들을 관점을 소개하고 비교분석하여 이 질문들에 답하려고 한다. 물론 분석대상이 한정적이어서 합성생물학과 트랜스휴머니즘의 흐름을 구체적으로 정확히 그려내는 것은 불가능하겠지만, 적어도 전체적인 조망은 가능하리라고 본다. 이러한 조망이 필요한 이유는 아직은 크게 벌어지지 않았지만 앞으로 일어날 수 있는 사회적 논쟁을 대비하고, 기회가 주어지면 논쟁 자체를 생산적인 방향으로 이끌기 위함에 있다. 아직 많은 이들에게, 특히 일반 대중들에게, 합성생물학과 트랜스휴머니즘은 생경한 단어임을 감안할 때, 이 같은 연구의 가치가 있을 것이다.

---

2) 예를 들면 <http://www.scoop.it/t/transhumanism-311> 홈페이지는 “Transhumanism + Synthetic Biology”라는 타이틀을 내걸고 합성생물학 분야의 주요한 연구 성과와 프로젝트들을 소개하고 있다.



〈그림 1〉 미국의 철학자이자 정치경제학자인 프란시스 후쿠야마(Francis Fukuyama)의 저서 『우리의 포스트휴먼 미래(Our Posthuman Future)』 표지. 후쿠야마는 트랜스휴머니즘을 “세상에서 가장 위험한 생각”이라고 설명하면서, 21세기에 이루어지고 있는 생명의료분야의 많은 연구들이 치료를 넘어서서 인간향상을 암묵적으로 전제하고 있음을 주장했다(Fukuyama, 2004). 경제적 불평등이 신체적·정신적 불평등을 낳아 공고화 될 수 있음을 지적한 것이다.

## 2. 합성생물학의 자연관: “합리적 설계”와 “방향적 진화”

다학제적 성격의 신생 분야인 합성생물학을 한 마디로 정의하는 것은 쉽지 않지만, 연구자들의 커뮤니티인 “오픈 웻 웨어”(Open Wet Ware)에서는 합성생물학의 주요 연구분야를 “자연계에 존재하지 않는 생물 구성요소와 시스템을 설계하고 제작하는 일, 그리고 자연계에 존재하는 생물시스템을 재설계해 제작하는 일”로 나누어 보고 있다.<sup>3)</sup> 이러한 연구가 가능하게 된 배경에는 염기서열 시퀀싱 기술(DNA sequencing technology)의 비약적 발전과 이를 통한 유전 정보의 축적을 들 수 있다. 이를 통해 유전자의 발현을 대규모로 수집해 질병과 유전자 발현 사이의 연관성을 규명하거나 역공학(reverse engineering) 방법으로 유전자 네트워크를 구성하여 세포 전체의 상태와 행동에 대한 분석이 가능해 지게 된 것이다(김하성, 2015). 하지만 생명체의 작동을 이해하기 위해 시스템 설계의 방법을 적용한다는 측면에서, 합성생물학은 기존의 유전학이나 분자생물학과의 차별성을 두고 있다. 생명체를 마치 전자회로로 연결된 시스템처럼 인식하고 공학의 관점을 적극적으로 활용하고 있는 것이다. 이런 점에서 비슷한 시기에 등장한 시스템생물학(system biology)과 유사한 점이 많은데, 그럼에도 불구하고 연구의 지향점은 약간 다르다. 시스템생물학은 가상환경 내에서 생물시스템을 모델링 하는 것에 집중하는 반면, 합성생물학은 생물시스템을 실제로 설계하고 제작하는 것을 목표로 하고 있기 때문이다. 따라서 합성생물학은 종종 “시스템생물학이라는 동전의 반대면” 또는 “시스템생물학에 대한 환원주의적 접근방식”라고 설명되기도 한다(Calvert, 2008: 391).

합성생물학자들에게 생명체의 설계가 연구의 출발점이라고 한다면, 설계의 기본 원리를 이해할 필요가 있다. 이들은 생물시스템이 특정기능을 수행하는 “모듈”로 이루어져 있다는 가정 하에, 이것들을 합리적으로 연결하고 조합하여 최적화된 “생물회로”(biological circuit)를 설계하는 것이 가능하다고 믿고 있다.

3) <http://syntheticbiology.org> 참고.

즉 “합리적 설계”(rational design)를 중요한 원리로 삼고 있다(Silver et al., 2014). 예컨대, 유전자 발현을 조절하는 프로모터 부위, 리보솜이 결합해 단백질의 생산이 촉진되는 부분 등을 하나의 모듈로 간주하고, 이것들을 스위치나 발진기와 같은 전자부품처럼 연결하여 조립하거나 필요하면 교환도 가능하다는 관점을 가지고 설계에 임한다(Garfinkel and Friedman, 2010). 이런 이유에서 합성생물학자들은 스스로를 “합리적 디자이너”(rational designer) 라고 부르기도 한다.<sup>4)</sup> 이들은 “직접 새로운 생명체를 설계함으로써 자연이 우리에게 준 것으로부터 큰 진전을 가져올 수 있을 것”이라 말하며, 합리적 설계의 밑바탕이 되는 부품의 추상화, 모듈화, 표준화 작업을 추진하고 있다.<sup>5)</sup> 이러한 연구를 선도하고 있는 연구자인 드류 앤디는 독립적인 기능을 수행할 수 있는 “생명 부품”을 “바이오브릭”(Biobrick)이라고 정의했고, 이러한 생명 부품의 표준화를 관리하기 위해 2006년 바이오브릭 재단을 공동설립하기도 했다. 바이오브릭 재단은 모든 연구자들이 자유롭게 등록하고 무료로 사용할 수 있는 공개된 형태로 운영하고 있으며, 이러한 기술적, 개념적 플랫폼은 합성생물학 분야의 대표적인 경진대회인 iGEM (International Genetically Engineered Machine)에서도 적극 활용되고 있다.

그러나 합리적 설계는 복잡한 생물시스템의 기능적, 구조적인 정보를 사전에 가지고 있다는 전제에서 출발하는 것이기에, 정보가 충분치 않을 경우에 적용하기 힘들다(Cobb, Sun, and Zhao, 2013: 82). 합성생물학자들은 이러한 한계를 극복하기 위해 “방향적 진화”(directed evolution) 개념을 적극적으로 활용하고 있다. 사실 방향적 진화는 대사공학, 단백질공학 등의 분야에서 물질대사의 경로를 바꾸거나 단백질 합성을 조작하는 데 사용하던 개념이었는데, 합성생물학자들은 이를 세포 전체 수준에서 생물학적 요소들을 개선시키거나 새롭게 디자인하는데 활용하기 시작한 것이다.

---

4) 한국 합성생물학 연구자인 김선창 교수 (KAIST, 지능형바이오시스템설계 및 합성 연구단)도 스스로를 “바이오디자이너”라고 정의하기도 했다 (동아사이언스, 2014. 9. 5).

5) “Rational design: best route for synthetic biology?”, Wyss Institute, available at <https://wyss.harvard.edu/rational-design-best-route-for-synthetic-biology/> 참고

방향적 진화는 간단히 말해 오랜 세월 자연 속에서 진행되는 진화 과정을 실험실 내에서 모방하는 것이라고 할 수 있다. 자연에서의 진화과정은 정해진 방향으로 진행되거나 목표를 가지고 이루어지는 것이 아니라 생식과 생존 과정에서 일어나는 과정이지만(Arnold, 1998: 125), 실험실 안으로 옮겨진 진화는 특정 방향으로 조절된다. 즉, 실험실에서는 자연에서의 자연선택과 매우 유사하게 돌연변이-재조합-선별(선택)이라는 일련의 과정을 반복할 뿐만 아니라 이 과정을 자동화하고 가속화하여, 어떤 특성을 가진 단백질을 생산하는 시스템을 만들어 내는 것을 목표로 한다. 따라서 실험실에서 활용되는 방향적 진화는 자연에서와 같이 우연에 의지하는 무작위적인 과정이 아니라 연구자에 의해 섬세하게 조절되는 것이다. 실험실에서 구현한 진화는 목적과 방향이 미리 설정된다는 점에서 자연의 진화와 구분되지만, 방향적 진화라는 접근을 통해 예측하지 못했던 새롭고 유익한 변화들을 얻을 수 있기 때문에 합성생물학 연구자들은 합리적 설계의 보완 수단으로 삼는다. 합성생물학에서 최고의 “합리적 디자이너”는 진화를 디자인에 이용하는 “진화 공학자”(evolutionary engineers)이기도 한 것이다(Ginsberg et al., 2014: 263). 다시 말해, 이들은 자연선택의 속도와 방향 및 결과물을 디자인하는 것을 목표로 한다.

이처럼 합성생물학의 핵심 개념인 “합리적 설계”와 “방향적 진화”는 근본적으로 “인공적인 것”(the artificial)과 “자연적인 것”(the natural)의 경계를 뛰어넘는 수단으로 사용되는 것처럼 보이지만, 문제는 그렇게 간단하지 않다. 실험실에서 인공적으로 제작된 생명체가 자연물과 큰 차이 없이 조화롭게 존재한다면 이것을 인공물로 보아야 할 것인가? 아니면 새롭게 재구성된 자연물로 간주해야 할 것인가? 영국의 과학기술학자인 제인 칼버트(Jane Calvert)는 합성생물학자들이 제작한 것들의 “인공성”(man-made-ness) 또는 “비자연성”(unnaturalness)은 무엇이 자연적인 것인가에 대해서 다시 생각하게 만들었다고 하면서, 인공과 자연의 이분법적 사고보다는 오히려 인공적으로 만들어진 자연물의 성격규명이 더 중요하다고 보았다. 그는 합성생물학이 자연의 복잡성을 줄이고 공학적 조작을 가능케 한다는

점에서 이렇게 새롭게 구성된 “자연”은 다분히 도구적 성격을 띠다고 주장했다 (Calvert, 2010).

비록 캘버트의 주장처럼 합성생물학자들이 도구적인 자연관을 가지고 있다고 하더라도, 새로운 형태의 생명체를 창조할 수 있다는 사실 만으로도 연구자가 “신처럼 행동”(playing God)한다는 비판을 피할 수 없고, 또한 오랜 세월 진화를 통해 쌓여진 자연의 지혜와 도덕적 권위에 대한 도전을 하고 있다는 논쟁을 불러일으키고 있다. 그렇다면 합성생물학 연구자들은 자신들의 연구방법과 목표를 어떻게 정당화 하고 있을까? 이들은 정말 프란시스 후쿠야마의 우려대로 트랜스휴머니즘적 사고를 암묵적으로 받아들이고 있는 것일까?(Fukuyama, 2004). 트랜스휴머니스트들은 어떻게 진화를 이해하고 있는 것일까?

### 3. 트랜스휴머니즘의 자연관: 진화의 최적화

영국의 진화생물학자인 줄리안 헉슬리(Julian Huxley)가 1957년 『새 술은 새 병에(New Bottles for New Wine)』 이란 책에서 처음으로 제창한 트랜스휴머니즘은 기본적으로 초월자의 메시지를 담고 있다. 이는 니체가 주장하듯 개인적 차원에서의 초월이 아니라 인류 전체가 “인간 본성의 그리고 인간 본성을 위한 새로운 가능성에서 깨닫고 초월하는 것”을 의미했는데(Huxley, 1957), 여기서 인간은 인간으로 남아있음을, 즉 다른 종으로 변화하는 것은 아님을 전제로 하고 있음을 주목할 필요가 있다. 이후 헉슬리의 주장에 동조하는 사람들은 현재 인간 종의 모습이 상대적으로 진화의 초기 단계에 있다고 보고, 트랜스휴머니즘을 “노화를 제거하고, 인간의 지성적, 육체적, 심리적 능력을 향상시키는 기술을 개발하고 확대함으로써 인간 조건을 근본적으로 향상시키는 것의 가능성과 그 바람직함을 긍정하는 지적, 문화적 운동”이라고 정의하고 있다(Bostrom, 2005; 이진우, 2013: 35).<sup>6)</sup>



두말할 나위 없이 트랜스휴머니즘의 추동력은 과학기술의 발전이다. 과학기술이 인간이 사는 세상의 물적 조건을 근본적으로 바꾸듯이, 과학기술을 통해 진화에 의해 주어진 인간의 생물학적 한계를 넘어서야 한다는 생각이 저변에 깔려있다. 1998년 영국 철학자인 닉 보스트롬(Nick Bostrom)과 데이비드 피어스(David Pearce)의 주도로 설립된 세계트랜스휴머니스트협회(WTA)<sup>7)</sup>는 이러한 관점을 보다 가시적인 지적, 문화운동으로 발전시키기 위해 트랜스휴머니즘을 다음과 같이 정의하고 있다.

- (1) 응용이성(applied reason)을 통해, 특히 노화를 제거하고 인간의 지적, 육체적, 심리학적 능력을 크게 향상시킬 수 있는 기술을 발전시키고 광범위하게 이용함으로써, 인간 조건을 근본적으로 개선할 수 있다는 가능성과 바람직함을 인정하는 지적, 문화적 운동.
- (2) 우리가 근본적인 인간의 제약을 극복할 수 있도록 만들게 될 기술의 추이, 촉박의 약속과 잠재적 위험에 관한 탐구, 그리고 이러한 기술들을 개발하고 사용하는 것과 연관된 윤리적 문제들에 대한 탐구.<sup>8)</sup>

1950년대 허슬리의 트랜스휴머니즘이 인류 전체의 향상, 즉 우생학적 이념을 담고 있었다면, 보스트롬을 중심으로 한 21세기 트랜스휴머니즘은 개인의 선택을

---

6) 닉 보스트롬은 본문에서 소개한 허슬리의 트랜스휴머니즘 정의를 1927년 저서인 *Religion without Revelation* (London: Benn, 1927)로 여러 글에 걸쳐 잘못 표기하고 있는데, 1927년 저서에서도 트랜스휴머니즘에 가까운 일부 아이디어를 다루고 있지만, 위의 인용문의 정확한 출처는 1957년 저서인 *New Bottles for New Wine*이라고 한다. 1927년 저서에서는 “[Man] is always not only surmounting what it thought were the limitations of its nature, but, in individual and social development alike, transcending its own nature and emerging in newness of achievement. (p356)”라고 설명하고 있다 (Turda ed., 2013: 155).

7) 세계트랜스휴머니스트협회(WTA)는 2008년 휴머니티 플러스(humanity+)로 그 명칭을 변경하였다.

8) 트랜스휴머니즘에 대한 이 정의는 Humanity+에서 제시한 것이다.  
<http://whatistranshumanism.org> 참고.

존중하는 “자유적 개인주의”(liberal individualism)를 강조하는 경향을 보인다. 협회가 발표한 「트랜스휴머니스트 선언문」에서도 “우리는 각 개인이 스스로 어떻게 삶을 가능하게 할 것인지에 대해 폭넓은 선택을 할 수 있어야 한다는 점을 지지한다. 이 선택에는 다음과 같은 기술들—기억력, 집중력, 정신적 에너지를 향상시키기 위해 개발된 기술, 수명연장치료, 생식 선택 기술, 냉동보관 과정, 이밖에 인간의 기능을 수정시키거나 향상시킬 수 있는 기술—의 사용이 포함된다”라고 밝혀, 과거의 우생학적 방법과는 거리를 분명히 두고 있다.

트랜스휴머니스트들의 자연관은 어떤 모습일까? 질병의 치료를 넘어 인간 향상을 위한 기술의 사용을 긍정적으로 받아들이고 있다면, 오랜 진화의 역사 속에 축적되어 만들어진 인간의 인지적, 신체적 능력을 기술의 도움으로 급격하게 향상시키는 것에 대한 정당성을 어디에서 찾고 있을까? 보스트롬은 2003년 “The Transhumanist FAQ”라는 글을 통해 트랜스휴머니즘의 주요 아이디어에 대해 소개한 바 있다. 그는 특히 “트랜스휴머니즘과 자연”에 대한 파트에서 그 동안 트랜스휴머니스트들에게 던져졌던 여러 가지 논쟁적인 질문들에 대해 답했는데, 여기에는 가령 “트랜스휴머니스트들은 왜 오래 살고 싶은가?”, “트랜스휴머니즘은 자연에 간섭하는 것 아닌가?”, “트랜스휴먼 기술들은 우리를 결국 비인간적인 형태로 변모시킬 것인가?”, “죽음은 만물의 자연적 질서의 일부가 아닌가?” 등의 질문들이 포함되어 있었다(Bostrom, 2003). 그에 따르면 더 오래 살고 싶은 것이 개인선택의 문제인 것처럼, 어떻게 죽을 것인지, 나아가 죽지 않으려고 노력하는 것은 개인의 선택이며 모두가 가져야 할 권리라고 보고 있다. 자연적인 과정에 인간이 개입하는 문제에 대해서도, 보스트롬은 자연적인 것이 실천적 논리의 근거가 될 수 있지만, 자연적인가 아닌가의 구분을 통해 좋고 나쁨의 가치판단을 내릴 수는 없다고 강조했다. 다시 말해 자연적인 것이 우리의 선택에 있어 절대적인 기준이 될 수 없으며, 자연에서 만들어진 것이라 할지라도 때론 인간이 개발해 낸 인공적인 것들과 마찬가지로 부정적인 결과를 가져오기도 한다고 설명했다.<sup>9)</sup>

---

9) 보스트롬은 자연적인 것이지만 나쁜 것으로 굶주림, 소아마비, 살아있는 상태에서 장내

이러한 설명에 비추어 볼 때, 보스트롬은 인간향상의 당위성을 더 이상 자연적인 것, 즉 자연의 도덕적 권위에서 찾을 것이 아니라 자연을 초월해 인공물에서도 얼마든지 찾을 수 있다는 관점을 지니고 있는 것으로 보인다. 따라서 트랜스휴머니스트들에게는 죽음도 극복해야 할 대상이며, 수명연장을 위해서 냉동보존술과 같은 기술을 활용할 수 있는 선택이 자유롭게 이루어 질 수 있어야 하고, 마찬가지로 자발적 안락사의 경우에도 사전 동의 절차 하에서 이루어진다면 인간의 기본적인 권리에 해당한다고 주장하고 있다.

트랜스휴머니스트들은 진화에 대해서도 더 이상 자연선택에 의존할 필요가 없다는 입장이다. 즉 인간이 진화의 과정에 개입하고 이를 위해 과학기술을 적극적으로 사용하는 것을 옹호하고 있다. 예컨대 옥스퍼드 대학의 생명윤리학자인 줄리안 사블레스쿠(Julian Savulescu)는 가능하다면 약리학적인 방법과 유전자기술을 동원해서 인간의 “도덕적 향상”(moral enhancement)을 추구하는 것이 좋다고 주장한다. 또한 “그동안 인류가 생존과 생식과 같은 생존을 위한 유전자들의 진화의 역사였다면, 이제 우리는 이성에 따른 진화, 즉 인간이 스스로의 운명을 지배하는 새로운 국면에 들어서고 있고, [진화를 조절하는] 힘은 자연에서 과학으로 이양되고 있다”고 설명했다(Savulescu, 2003).

그러나 진화에 대한 인간의 개입을 옹호한다고 해서 자연의 도덕적 권위를 완전히 부정하는 것은 아니다. 보스트롬은 “자연의 지혜”(wisdom of nature)에 전적으로 의존하는 것에 대해서는 비판적이지만, 부분적으로는 옳을 수 있다고 인정하고 있다. 그는 옥스포드 대학의 미래학자인 앤더스 샌드버그(Anders Sandberg)와 함께 쓴 글에서, 과학기술의 발전으로 가능하게 된 일시적인 “향상”이 지속적으로 이어질지 고려하기 위해 “진화의 최적성”(evolutionary optimality)을 고려할 것을 주장했다(Bostrom and Sandberg, 2008: 378). 만약 특정 형태의 개입이 향상을 가져온다고 했을 때, “그렇다면 왜 우리가 이미 그 방향으로 진화하지

---

기생충에게 먹히고 있는 것 등을 예시로 들었고, 인공적인 것인데 나쁜 것으로는 DDT-중독, 교통사고, 핵전쟁을 들었다(Bostrom, 2003: 35).

않았을까' 라는 도전적인 질문을 제기하여 인간의 지혜를 자연의 지혜와 견주어봐야 한다고 설명했다. 구체적으로 “변화된 손익관계”(changed tradeoffs), “진화의 제한”(evolutionary restrictions), “가치의 부조화”(value discordance) 등 세 가지 항목을 판단의 근거로 삼을 것을 제안했다. 인간의 개입이 자연의 진화과정보다 뛰어나거나 정교하다고 할 수 없더라도, 오늘날 인류가 마주하고 있는 새로운 환경에 보다 잘 적응하기 위해 인간만이 활용할 수 있는 도구와 재료, 즉 과학기술을 적극적으로 활용하는 것은 정당하다는 입장을 견지하고 있다. 그리고 자연에서의 진화는 생존경쟁이라는 원시적인 수단의 결과가 쌓여서 만들어지는데, 이에 반해 오늘날 인간이 희망하는 진화는 특정한 과학기술의 수단 없이는 이루어질 수 없는 것들이 있고 이러한 수단에 대한 접근성이 누구에게나 허용된다면, 비로소 진화의 제한을 극복할 수 있는 일을 하는 것의 정당성이 확보된다고 보았다. 또한, 자연의 진화과정에서 이상적인 결과를 얻을 수도 있겠지만, 이는 현재 우리가 추구하는 가치와 다를 수 있기에, 이로 인한 가치의 부조화도 고려해야 할 것이라고 주장했다.

요약하자면, 트랜스휴머니스트들은 모든 방향의 무조건적인 인간향상을 정당화하기 보다는, “진화의 최적성”이라는 개념을 통해 인간의 개입이 가져올 여러 가지 결과를 예상하고 따져볼 것을 주문하고 있다. 이들에게 진화는 더 이상 거스를 수 없는 자연의 권위가 아니라, 인간이 과학기술이라는 새로운 도구를 가지고 개입하고, 개인의 이성적이고 자유로운 선택에 따라 추구할 수 있으며, 수단에 대한 접근성과 보편성 등 사회의 다른 가치와 함께 고려해야 할 것이라 믿고 있다.

#### 4. 합성생물학과 트랜스휴머니즘

합성생물학자들은 과학기술 지식의 생산자의 입장에서 진화에 대한 인간의

개입 문제를 다루고, 트랜스휴머니스트들은 지식의 수요자 입장에서 이 문제를 고려하고 있다. 물론 이들이 갖는 관심의 폭은 매우 다르다. 합성생물학자들은 인간 이외의 생명체에 대한 광범위한 연구를 통해 생명현상에 대한 근본적인 탐구를 하고 있는 반면, 트랜스휴머니스트들은 새롭게 개발된 과학기술을 인간향상에 활용하는 데 열의를 보이고 있다. 이처럼 합성생물학자들과 트랜스휴머니스트들 사이의 관점은 다를 수 있지만, 공통의 관심사가 있는 것이 사실이다. 이 절에서는 합성생물학 분야를 선도하고 있는 세 명의 연구자들의 자연과 진화에 대한 입장을 비교분석하면서, 트랜스휴머니스트들의 입장과는 어떤 차이점이 있는지 살펴볼 것이다.

## 1) 인공세포에서 맞춤의료까지

인간유전체사업의 핵심적인 연구자로 꼽히는 크레이그 벤터(Craig Venter)는 유전체(게놈) 분석 및 합성기술을 바탕으로 합성게놈 및 합성생물체의 개발에 가장 가깝게 다가선 인물이다. 하지만 그에 대한 평가는 분분하다. 생명과학 상업화를 대표하는 전형적인 인물(순데르 라잔, 2012; Mirowski, 2011), 사업적 수완을 갖춘 카리스마적인 과학자(Shapin, 2008), 과학과 사업의 영역에서 능란한 수사와 경계 작업을 통해 자신의 연구를 포장해 나간 전략가(김혜진, 2016: 67) 등 여러 면모를 갖춘 인물로 알려져 있다. 합성생물학 분야에서도 벤터의 이러한 면을 잘 볼 수 있다. 그는 인공세포 제작과 같은 기초연구를 바탕으로 상업성이 큰 맞춤의료의 선구자로 나서려고 하고 있는 것이다.

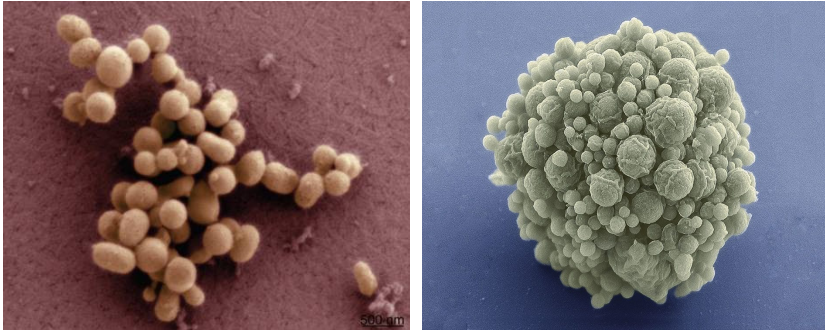
2010년 5월 벤터는 인공적으로 합성한 게놈을 박테리아 세포에 이식해 제대로 작동시키는데 성공했다는 결과를 발표해 세계를 놀라게 했다. “세계 최초의 인공게놈 합성생물체(Syn 1.0)”의 탄생은 합성생물학 연구에 대한 생명윤리, 생물안전성 문제를 더욱 가시화하면서 이에 대한 거버넌스 논의의 필요성을 크게 부각시켰다. 벤터의 발표 직후 오바마 대통령은 대통령 직속 생명윤리위원회에게 합성생물학의

윤리적·사회적 이슈를 분석하여 보고서를 제출하도록 지시를 내리기도 했다.<sup>10)</sup> 2016년 3월에는 벤터의 연구팀이 최소유전체를 가진 박테리아인 “Syn 3.0”을 만드는데 성공했다는 연구결과를 내놓으면서 다시 한 번 합성생물의 등장에 대한 기대와 우려를 증폭시켰다. 합성생물학의 한 연구 분야인 최소유전체 연구는 생명체가 생존하고 생식하는데 필수적인 유전자만을 선별해 내는 연구로 합성유전체 제작기술과 함께 맞춤형 인공세포(designer cell)를 설계하고 제작하는데 필수적인 기술이다. 벤터는 2010년 제작했던 Syn1.0의 총 901개의 유전자 중에서 증식과 생존에 필요한 유전자와 불필요한 유전자를 구분하고, 428개의 유전자를 없애 자연계에 알려진 세균보다 더 적은 수의 유전자를 가지고 생존하고 증식할 수 있는 박테리아를 제작해 낸 것이다(Service, 2016; 미디어펜, 2016. 3. 25).

벤처의 합성생물체 제작 연구는 윤리적·사회적 이슈뿐만 아니라 과학적 성과에 대한 논란도 일으켰다. 특히 원세포(protocell) 연구에 몰두하는 연구자들은 벤터가 인공적으로 합성된 게놈을 기존에 존재하는 다른 세포 내로 도입한 것이기 때문에 아무것도 없는 상태에서 생명을 창조한 것은 아니라고 비판했다. 이에 대해 벤터는 2013년 출판한 저서 『빛의 속도에서 생명: 이중나선에서 디지털 생명의 새벽까지 (Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life)』에서 세포의 소프트웨어에 해당하는 합성 DNA를 성공적으로 작동 (boot-up)시켰기에 생명을 창조한 것과 다름없다고 설명했다. 더 나아가 “DNA가 소프트웨어이자 모든 생명의 기초이다”라는 주장을 하면서, “생명이란 무엇인가”라는 오래된 질문에 만족할 만한 답변을 내놓을 수 있게 되었다고 말했다. 또한 작동하는 합성생물체를 인공적으로 제작했다는 점에서, 그는 생물학자 사이에 아직도 남아 있는 생기론(vitalism)에 대해 결정적인 반증을 제공했다고 자평하기도 했다(Venter, 2013: 130-131).

---

10) Presidential Commission for the Study of Bioethics Issues (2010), *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies*, Washington D.C.



〈그림 2〉 크레이그 벤터 연구소에서 개발한 합성세균

(좌) JCVI-syn 1.0 (2010), (우) JCVI-syn 3.0 (2016)

자료: Sleator, 2010; Service, 2016

벤처의 합성생물 제작에 대한 연구는 궁극적으로 맞춤형 의료 개발을 목표로 하고 있다. 최소유전체 및 인공세포에 대한 기초연구가 인간의 질병을 치료하고 신체의 기능을 향상시키는 데에 중요한 통찰을 줄 수 있을 것이라는 기대도 있었던 것이다. 벤터는 사업가로서의 기질을 발휘해 2013년 인간의 생명연장을 최종 목표로 삼는 “휴먼 롱제비티”(Human Longevity) 라는 회사를 창립했고, 개인의 유전체에 대한 맞춤형 분석을 제공하기 위해 회사 내에 “헬스 뉴클리어스”(Health Nucleus) 라는 시설을 도입하기도 했다.<sup>11)</sup> 이와 같은 벤터의 연구와 사업에 대해 트랜스휴머니스트들이 크게 환영할 이유는 충분히 있었다. 벤터는 유전체 기술이 인간의 신체적, 인지적 기능을 향상시키는 데 사용되는 것에 대해 긍정적인 입장을 견지했고, 치료와 향상을 구분하지 않았으며, 향상을 위해 유전체를 편집 및 조작하는 것은 인간의 본성이라는 주장을 펴기도 했다(SingularityHub, 2016. 2. 7). 실제로 벤터의 저서는 트랜스휴머니스트 사이에서 추천도서로 꼽히기도 했다

---

11) 벤터는 헬스 뉴클리어스(Health Nucleus)사의 개인유전체의 분석으로 만들어지는 데이터베이스가 노화 관련 질병을 일으키는 위험요소들에 대한 연구에 사용될 것이라고 보고 있다. 벤터의 휴먼 롱제비티사와 헬스 뉴클리어스에 대해서는 각 홈페이지를 참고: <http://www.humanlongevity.com/>, <https://www.healthnucleus.com/>

(h+Media, 2013. 12. 31).

벤티는 여러 모듈을 모아 합리적 설계를 시도하거나 진화의 과정과 방향을 디자인하려고 하지 않고 최소유전체 합성에 연구의 초점을 맞추었다는 점에서 다른 합성생물학자들과는 비견될 수 있다. 그럼에도 불구하고, 벤티만큼 철저하게 인공적인 것과 자연적인 것 사이의 경계를 무너뜨리려고 하고, 진화에 대한 인간의 개입을 적극적으로 옹호한 사람은 많지 않다. 인공세포 연구를 통해 생명의 신비를 암시하는 생기론에 철퇴를 가하려고 했을 뿐만 아니라, 생명정보를 컴퓨터 코드와 같이 디지털화 할 수 있는 “생물학의 디지털 시대”에 인류는 진화의 속도를 조절할 수 있는 수단을 갖추게 되었다고 주장했다(Venter, 2013: 1). 여기서 더 나아가 그는 자연적 진화 속도를 사회적 진화 속도, 즉, 과학기술의 발전 속도에 맞춰 더욱 가속화해야 한다는 주장을 펼쳤다.

생물학적 진화는 현재 우리가 있는 곳으로 데려오기까지 35억년에서 40억 년이 걸렸다. 사회적 진화는 훨씬 빨라지고 있다. 이제 우리는 유전 암호를 읽고 쓸 수 있고, 디지털 형태로 변환하여 이를 다시 합성된 생명으로 변환할 수 있고, 이는 생물학적 진화를 사회적 진화의 속도로 가속화할 수 있다는 것을 의미한다(The World Post, 2015. 9. 8).

흥미롭게도 벤티는 진화과정에 인간이 적극적으로 개입해야 하는 정당성을 과학기술의 발전으로 인한 사회적 진화와 생물학적 진화의 밸런스에서 찾았던 것이다. 급변하는 사회 속에서 인류의 생존과 향상을 위해 과학기술을 활용하자는 트랜스휴머니스트들의 입장과 크게 다르지 않음을 볼 수 있다.

## 2) 유전자가위 기술과 자연의 재창조

대학의 연구자들이 주축을 이루고 있는 학계의 관점에서 볼 때, 벤티는 매우



예외적인 인물이다. 벤처처럼 승진심사와 연구비 신청에 크게 신경 쓰지 않고 본인이 세운 연구소에서 자유롭게 모험적인 주제를 탐구하고 지식과 기술의 상업화를 거리낌 없이 추구할 수 있는 사람은 흔치 않다. 하지만 대학은 다른 측면에서 연구자에게 좋은 기회를 제공한다. 학과의 울타리 안에서 제자들과 함께 학문의 새로운 분야를 개척할 수 있기 때문이다. 대표적으로 하버드 의대 교수로서 합성생물학 분야에서 가장 영향력 있는 연구자의 하나로 손꼽히는 조지 처치(George Church)를 들 수 있다.

처치는 인간과 다른 종의 유전체를 재프로그래밍(reprogramming)하여 인간에게 유용한 기능을 가질 수 있도록 만드는 것에 관심이 많았다. 이를 위해서는 유전체에서 유전정보를 읽는 작업뿐만 아니라 새로운 유전정보를 쓰고 생명체 내로 삽입하는 과정에 대한 연구가 필요했다(Miller, 2014). 따라서 처치는 정교한 유전체 편집을 가능케 하는 크리스퍼(CRISPR) 유전자가위 기술의 등장을 크게 환영했다. 하나의 염기쌍을 정확히 교정할 수 있는 크리스퍼 유전자가위 기술을 활용해서 기존의 유전자 치료 방법으로는 치료할 수 없던 질병들을 치료하는 것이 가능해졌는데, 처치는 이를 추구하기 위해 “에디타스 메디슨”(Editas Medicine)이란 회사를 설립하기도 했다(Rojahn, 2013). 유전자가위 기술을 사용해 유전체를 다시 프로그래밍한 대표적인 예로는 돼지의 장기를 사람에게 이식하기 위한 연구를 들 수 있다. 처치는 돼지 배아에서 총 62개의 유전자를 비활성화 시켜 인간에게 이식되었을 때 질병을 유발할 수 있는 가능성을 차단함으로써 이종장기 이식에 큰 성과를 올렸다. 한 걸음 더 나아가 그는 장기이식용 돼지를 보다 적은 비용으로 생산해 낼 수 있는 사업체인 “eGenesis”를 창립하였다(Reardon, 2015). 그는 벤처와는 다른 방식으로 사업가적인 수완을 보이고 있다.

유전체를 특정 목적을 위해 재프로그래밍하는 일은 인간이 진화의 과정에 개입함을 의미한다. 그 결과물을 인간을 위해 활용하거나 인간의 유전체를 직접 재프로그래밍하는 일은 근본적으로 트랜스휴머니스트들이 추구하는 인간 향상과 같은 목적을 지닌다. 처치는 질병치료나 노화과정뿐만 아니라 인간 종의 향상을

위해 과학기술을 활용하는 것에 대해 주저하지 않고 있다. 예컨대 그는 많은 질병의 원인인 바이러스의 위협으로부터 자유로울 수 있도록 유전체를 재프로그래밍한 인간이 되어도 개의치 않을 것이라고 말하기도 했다(Bohannon, 2011). 이러한 편집 작업은 하나의 유전자를 대상으로 DNA 서열을 첨가, 삭제, 교체하는 전통적인 방법만으로는 수행하기 어렵고, 작업의 속도를 높이기 위해 세포의 군집에서 여러 개의 DNA의 서열을 대상으로 효율적으로 일을 진행해야 했다. 이를 위해 처치는 자동화 프로세스를 갖추어 여러 작업을 동시에 수행할 수 있도록 한 MAGE(Multiplex Automated Genome Engineering) 라는 기술을 개발했다.<sup>12)</sup> 이 기술로 유전자 편집 속도를 가속화했을 뿐만 아니라, 유전체의 다양성을 상당한 수준으로 유지하는 세포군을 만들 수 있으며, 여기에서 원하는 특성을 가진 세포 또는 분자를 빠르게 “선택”해 진화의 방향을 바꿀 수 있다고 설명했다. 더 나아가 이미 멸종된 종, 예컨대 매머드를 다시 부활시킬 수 있고, 세상을 새롭게 바꿀 수 있을 것이라고 주장했다. 처치는 2012년에 저술한 『재창세기: 합성생물학이 어떻게 자연을 재창조하는가(Regenesis: How Synthetic Biology Reinvent Nature)』 라는 책에서 다소 도발적인 어조로 다음과 같은 선언을 했다.

아르키메데스는 “나에게 지렛대를 주면, 내가 세상을 움직일 것이다”라는 말을 했는데, 이를 업데이트하여 합성유전체학 실험실에서는 다음과 같은 말을 할 수 있을 것이다. “나에게 선택[할 수 있는 기술]을 준다면, 내가 세상을 바꿀 것이다”(Church and Regis, 2012: 77).

처치는 진화과정에 인간이 개입하는 것의 정당성을 어디에서 찾았는가? 그는 선택 과정의 특성에 주목했다. 자연선택은 때론 맹목적이고 기회주의적 과정임에 반해, 합성유전체학(synthetic genomics)에 기초한 선택은 연구자의 숙의와 통제 하에서 이루어지는 과정임을 지적했다(Church and Regis, 2012: 13). 따라서

---

12) Wyss Institute, MAGE animation: Narrated by George Church, available at <https://wyss.harvard.edu/mage-animation-narrated-by-george-church/> 참고.

자연선택에 전적으로 의존하는 것이 인위적 선택 보다 더 낫다고 장담할 수 없다고 주장했다. 하지만 진화의 과정에 영향을 줄 수 있는 작업은 신중히 접근하여 규제 장치도 마련하는 것이 필요하다고 보았다. 합성생물학을 통해 생물학적 조작을 더 쉬운 것으로 만들 수는 있지만, 정교하지 못한 실험실에서의 조작은 위험성을 내포하기 때문이었다. 즉, 생물시스템은 기본적으로 매우 복잡하며, 돌연변이에 취약하고 진화 과정 속에서 변화하며 창발적 행동을 갖는다는 점을 들어, 실험실에서 아주 정교하게 디자인하고 조작하는 경우에도 예상한 것보다 불확실성이 훨씬 더 크게 나올 수 있는 특성이 있다(Church and Regis, 2012: 235; The Economist, 2014, 9. 14). 요약하자면, 처치는 진화과정에 인간이 개입하는 것은 정당하지만, 위험이 따를 수 있으므로 충분한 연구와 숙의가 필요하다고 보았다.

합성생물학 연구자들이 트랜스휴머니즘에 대하여 뚜렷한 견해를 밝히는 경우는 드문데, 처치는 예외적이다. 그는 트랜스휴머니즘에 대한 대중적 비판에 반론을 제기하면서도, 동시에 트랜스휴머니즘과는 거리를 분명히 두고 있다. 예컨대 트랜스휴머니즘을 “세상에서 가장 위험한 생각”이라는 프란시스 후쿠야마의 주장에 대해, 처치는 이로 인해 정치적 평등이 희생될 것이라고 보는 것은 어떤 기준에서라도 합당하지 않다고 날선 비판을 했다. 처치는 오늘날 인간 사회에는 이미 지능, 힘, 건강 등 재능 면에서 큰 폭의 차이가 존재하고 있지만, 이러한 재능만을 바탕으로 특별한 권리를 주장하지는 않는다고 설명했다(Church, 2013: 228). 다른 한편, 처치는 트랜스휴머니스트들의 핵심 개념인 “특이점”(singularity)의 대해서도 서슴없이 비판했다. 그는 트랜스휴머니스트들이 미래 발전의 기술적 전환점으로 상정하고 있는 특이점 대신, 여러 단계와 다양성을 강조한 “다중점”(multiarity)이라는 개념을 제안하기도 했다(Church, 2013: 252). 트랜스휴머니스트들의 특이점은 미래에 기술 변화의 속도가 급속히 빨라져 결국 인간이 전지전능하고 영생하는 존재로 재탄생하는 시점을 일컫는 개념인데, 처치는 한순간의 특이점을 이상적인 미래의 지향점으로 삼기보다는 크고 작은 다양한 방식의 변화를 추구할 것을

바랬다. 이러한 맥락에서 그는 MAGE와 같은 합성생물학 기술들이 근본적으로 유전체 수준에서 다양성을 고취시키는 수단으로서 정당화될 수 있다고 보았다.

### 3) 진화의 폭정으로부터 해방

현재 스탠포드 대학교 생명공학에 교수로 재직 중인 드루 앤디(Drew Endy)는 앞서 살펴본 벤터와 처치와는 상당히 다른 학문적 뿌리를 가지고 있다. 앤디는 토목공학과 환경공학을 공부하다가 유전공학자로 변모한 연구자로, 기존의 생물학에 공학적 접근을 담은 합성생물학의 초기 발전과 확장에 핵심적인 역할을 한 인물이다. 앤디는 복잡한 생명시스템을 모두 다 이해할 수 있을 때까지 기다리기보다 자연이 만들어 낸 생물시스템을 해체시키고, 더 논리적이고 유연한 형태로 재구성하는 방법을 택했다(Morton, 2005). 앤디의 이러한 비전은 1990년대 당시에는 비현실적인 것으로 보였지만, 인간유전체사업 이후 DNA를 읽고, 합성하고, 재조합 하는데 드는 비용이 급격히 감소하면서 마침내 실현될 수 있었다. 2002년 MIT의 생물학과 생명공학 분과(Biology Department & Biological Engineering Division)의 펠로우로 합류하게 된 앤디는 MIT내에서 컴퓨터 과학 분야의 권위자로 잘 알려져 있었던 톰 나이트(Tom Knight)와 함께 “전자공학 분야에서 전자를 다루는 방식으로, 생물 분자에 공학적인 접근을 하는 새로운 분야”로 합성생물학을 개척했다.<sup>13)</sup>

앤디는 합성생물학의 탄생에 중요한 역할을 했을 뿐만 아니라 이 분야의 독특한 연구 문화를 조성하는데 일조를 했다. 그는 놀이와 연구를 결합하고 학문의 후속세대의 참여를 독려하며 전 세계 연구자에게 개방적인 조직으로 iGEM 경진대회의 창설에 기여를 했고, 표준화된 생물 부품들을 등록하여 필요한 사람이 쓸 수 있도록 정보를 나누어주는 바이오브릭스 재단의 창립에 산파역할을 했다. 두 기관은 합성생물학자 커뮤니티가 공유하고 있는 “오픈 소스”라는 이념적 토대와

---

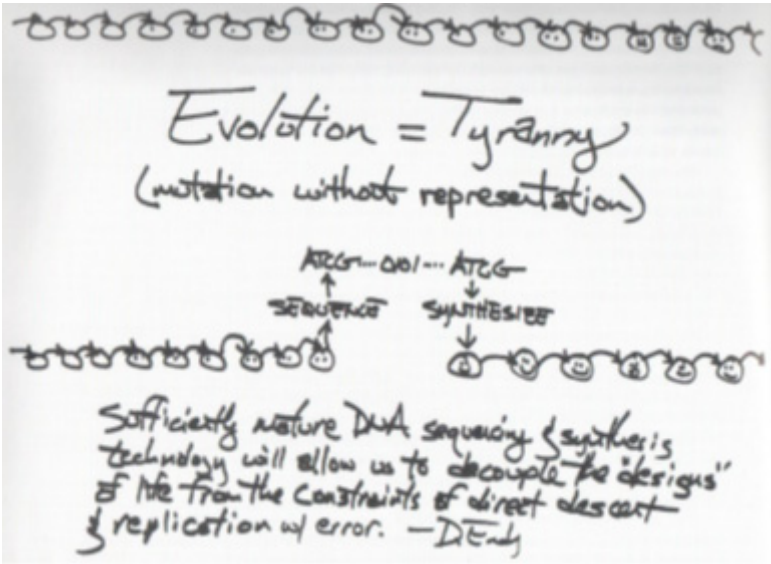
13) <https://profiles.stanford.edu/drew-endy> 참고.

가치, 그리고 연구문화를 형성하는데 결정적인 역할을 하고 있다(Smolke, 2009). 대중매체에서는 앤디를 합성생물학의 비전과 가능성을 제시하는 “전도사”와 같은 인물로 그리고 있는데(Specter, 2009), 연구자 사이에서 그가 차지하고 있는 상징적인 리더십을 고려할 때 전혀 과한 평가가 아니다.

생명윤리(bioethics), 생물안전(biosafety), 생물보안(biosecurity) 등, 합성 생물학이 실험실의 테두리를 넘어서 사회에 던진 문제에 대한 논의에도 앤디는 적극적으로 참여하는 편이다. 기술을 가지고 사회를 변혁시키는 공학자로서 이러한 이슈들을 피하는 것은 옳지 않고, 오히려 이를 공론화 하는 것이 공학자의 사회적 책무라고 보는 입장이다. 이런 맥락에서 진화과정에 인간이 개입하는 것에 대한 앤디의 독특한 관점을 이해할 수 있다. 그는 한 인터뷰에서 다음과 같은 화두를 던졌다.

만약 우리가 우리 자신의 자손을 디자인함으로써 진화의 폭정으로부터  
해방될 수 있다면 어떨까요? (Specter, 2009)

앤디는 자연선택을 일종의 “폭정(tyranny)”으로 보고, 공학자를 이러한 굴레에서 벗어나게 해주는 해방자로 인식하고 있는 것이다. 유전병이 대대손손 전해지고 있고 DNA 복제과정이 에러에 취약하다는 사실이 알려져 있는 상황에서, 인간이 여기에 개입하지 않고 진화의 부정적인 결과를 운명처럼 받아들이는 것은 어리석다는 입장이다. DNA 시퀀싱 기술과 합성생물 기술이 성숙한 단계에 들어가면 다음 세대를 디자인하는 것이 가능하며 바람직하다고 보고 있다.



〈그림 3〉 드류 앤디, “Evolution = Tyranny”<sup>14)</sup>

자료: Ginsberg et al., 2014: 264

진화에 대한 앤디의 정치사회적 해석은 물론 논란의 여지가 있다. 예를 들어, 생물학 배경의 원세포 연구자들은 앤디와 같은 공학자 그룹과는 달리 진화를 극복해야 할 대상으로 보고 있지 않다. 오히려 생명의 기원을 연구하고 진화할 수 있는 생명시스템을 제작하는 것이 그들의 연구목표인 것이다. 실제로 많은 합성생물학자들은 “방향적 진화” 개념을 통해 진화의 기능을 긍정적으로 활용할 방법을 찾고 있다. 트랜스휴머니스트들이 앤디의 독특한 관점을 어떻게 받아들이고 있는지는 아직 알려지지 않고 있으나, 적어도 앤디가 자연선택의 도덕적 권위에 적극적으로 도전하고 있는 점은 반겼으리라고 생각된다.

14) Evolution = Tyranny. Illustration by Erew Endy (2007). Drawn at “Formulae for the 21st Century”, Edge Live in London/The Serpentine Gallery Experiment Marathon.

〈표 1〉 대표적 합성생물학자들의 연구배경 및 관점 분석

	크레이그 벤터	조지 처치	드류 앤디
학문적 배경	유전체학	유전체학	환경/토목공학
주요 연구분야	인공세포 합성	유전체 재프로그래밍, 이종장기이식	생물시스템 재구성
사업적 관심	인간의 생명연장을 위한 회사 설립	유전자가위를 사용한 질병치료 회사 및 이종장기이식을 위한 회사 설립	iGEM 경연대회 및 바이오브릭스 재단 창립
진화에 대한 관점	진화의 가속화에 관심	진화의 속도와 방향 변경 가능	진화는 폭정
진화에 대한 인간 개입의 정당성	사회적 진화와 생물학적 진화의 밸런스	자연선택과 인위적 선택의 장단점 비교분석	진화의 폭정으로부터 해방 시키는 것은 공학자의 책무
트랜스휴머니즘에 대한 입장	치료를 넘어 인간향상을 위한 과학기술 활용 옹호	트랜스휴머니즘의 정치적 해석에 대해서 경계, 지나친 낙관주의도 경계	특별한 입장 없음
트랜스휴머니스트들의 반응	벤처의 책 추천	트랜스휴머니즘의 “포스터 보이”(poster boy)	특별한 입장 없음

## 5. 결론: 재구성된 자연과 진화의 상업화?

현재 합성생물학을 선도하고 있는 세 명의 연구자들의 배경, 관심, 목표, 트랜스휴머니즘에 대한 관점 등을 비교분석을 통해 얻은 결과를 다시 짚어보면서, 과학기술의 상업화라는 시대적 조류가 어떤 영향을 주고 있는지 시론적 성격의 논의를 하는 것은 의미가 있을 것이다.

첫째로 인공적인 것과 자연적인 것의 경계 넘기는 합성생물학 분야의 기본전제

와 같았다. 미생물 연구에 있어서는 생물안전성 문제가, 인간관련 연구에 있어서는 배아연구의 생명윤리 문제가 큰 이슈로 남아있지만, 기본적으로 새로운 생명체 또는 생명물질을 설계하고 제작하는 것에 대한 문제제기의 목소리는 크지 않았다. 여기에는 분야 자체가 아직 정립되는 단계이기에 예의주시하면서 발전을 지켜보는 것이 좋겠다는 관점 이외에, 다른 이유들도 있다. 생명물질 및 과정의 상업화와 안전문제에 대한 사회적 수용성이 저변에 깔려 있는 것이다.

합성된 생명물질과 과정의 “인공성” 및 “비자연성”에 대한 언급도 이런 관점에서 볼 수 있다. 이것을 가지고 연구자들이 자연의 도덕적 권위를 무시하고 있다고 해석하기 보다는, 인간의 고유한 개입을 중요하게 보는 지적재산권의 경제적 중요성의 시각에서 이해해야 할 것이다. 벤터와 처치가 연구결과를 적극적으로 활용하기 위해 상업적 회사를 설립한 사실과, 이와는 정반대로 공유문화를 적극적으로 설파하며 연구공동체의 상징적 존재가 된 앤디의 사례는 지적재산권이라는 동전의 양면으로 볼 수 있는 것이다. 또한 합성생물학이 자연을 재구성하기에 그 결과물을 인공적인 것으로 보는 관점, 즉 자연과 구분하는 태도는 합성생물의 안전성을 옹호하는 문제와도 밀접하게 관련되어 있다. 캘버트가 설명한 대로, 합성생물이 인공적이기 때문에 더 위험해 보일 수는 있어도 제작 단계부터 이를 자연계로부터 쉽게 분리할 수 있기 때문에 실제로는 덜 위험할 수 있다는 점을 일반 대중들에게 설명하기에 유용한 점도 있었던 것이다(Calvert, 2010: 102).

이와 같은 도구적 이점에도 불구하고, 인공적으로 재구성된 자연의 모습은 자연적이지 않은 것에 대해 일반대중이 가지고 있는 우려와 거부감을 일으킬 수 있고, 결국 합성생물학의 사회적 수용성을 저해할 수 있는 소지가 많다. 합성생물학이 만들어낸 인공물도 자연물과 별 다를 것 없다고 받아들여질 수 있을 때까지 이 문제를 도외시 할 수는 없을 것이다.

둘째로 진화과정에 인간이 개입하는 것에 대한 정당성은 여러 방식으로 주어졌는데, 이는 연구자들의 교육배경과 관심주제를 고려하여 이해될 수 있을 것이다. DNA 시퀀싱 기술개발로 생물학의 디지털 시대를 연 주역 중의 하나인 벤터는



생물학적 진화의 속도가 사회적 진화의 속도로 끌어 올려야 한다고 주장했고, 의대 교수인 처치는 자연선택과 인위적 선택 모두 한계가 있는 만큼 진화에 인간개입을 허용하되 매우 신중하게 추진해야 한다는 입장이었다. 공학배경의 앤디는 생명체에게 진화는 폭정과 다름없기에 이를 극복하기 위한 노력을 공학자의 책무처럼 간주하였다.

그러나 여기에서도 상업화의 요소를 고려해야 할 것이다. 2015년에 처치는 “진화는 이제 시장에 있다”<sup>15)</sup> 라고 말하면서 진화의 속도와 방향에 거대자본이 영향을 줄 수 있음을 지적한 바 있다. 진화과정에 대한 인간개입이 사업의 관점에서 추진될 가능성을 본 것이다.

셋째로 합성생물학과 트랜스휴머니즘의 연계는 아직 강하지 않은 상황이지만, 앞으로 어떻게 발전될 것인지 주의 깊게 바라볼 필요가 있을 것이다. 지금까지 합성생물학의 주요 연구대상은 미생물이었는데, 여기에 트랜스휴머니스트들이 크게 관심을 가질 것은 많지 않았다. 하지만 크리스퍼 유전자가위 기술의 발달로 인간을 포함한 고등생물에 대한 합성생물학적 접근이 용이해졌고, 연구자들이 치료에 사용한 기술을 인간향상에도 활용하는 것 자체에 대해 큰 거부감이 없는 것을 고려하면, 합성생물학과 트랜스휴머니즘의 전략적 제휴도 예상할 수 있을 것이다.

특히 과학기술의 상업화 물질이 중요하게 작용할 여지가 많다. 트랜스휴머니스트들은 첨단 과학기술의 활용 및 접근을 개인의 선택문제, 즉 고객의 소비행위로 보고 있다. 실제로 트랜스휴머니스트 단체에서 발간하는 잡지에는 냉동보존술, 개인 유전체 검사, 그리고 인지적, 신체적, 정신적 향상을 가져온다는 약물 등에 대한 광고가 실려 있어, 트랜스휴머니즘 운동의 상업적 면모를 잘 보여주기도 한다. 이와 같은 상업화에 대한 관심은 치료와 향상의 불분명한 경계를 더욱 흐리는 결과를 초래할 뿐만 아니라 사회적 합의나 수용성의 문제를 시장질서의

---

15) Knight, M. (2015), "Why are scientists vilified when they profit from their innovations?", *Genetic Literacy Project* (2015. 2. 26) 참고.

이슈로 환원시킬 오류를 범하게 할 수 있다.

셋째로 이 논문에서는 자세히 다루지 않았지만, 인공적인 것과 자연적인 경계가 역사적 상황 속에서 계속 변화하고 있음을 주지할 필요가 있다. 인공적으로 만든 생명체가 스스로 살아가고 진화를 한다면 인공물로 봐야 할 것인가, 아니면 자연물로 간주해야 할 것인가? 인간의 선택으로 조작되어 만들어진 유전체가 자연의 일부가 되어 특정 기능을 수행한다면 자연의 일부가 된 것 아닌가? 인공적으로 향상된 인간도 결국 인간 아닌가? 다시 말해 자연의 도덕적 권위를 위협하는 것처럼 보였던 합성생물학은 이전의 생명공학기술이 해왔던 것과 비슷한 방식으로, 즉 자연을 재정의함으로써, 자연에 대한 기술적 개입을 합리화할 수 있는 것이다. 과학사학자인 로레인 데스틴(Lorraine Daston)과 페르난도 바이델(Fernando Vidal)이 지적했듯이, 여러 시대에 걸쳐 서로 다른 문화 속에서 볼 수 있는 자연의 도덕적 권위의 원천은 “자연”이란 개념의 다양성(multiplicity)과 유연성(elasticity)에 있다(Daston and Vidal, 2004). 합성생물학이 발전함에 따라 자연의 개념이 다양한 형식으로 해석될 여지가 있고, 이런 과정을 통해 자연은 여전히 도덕적 권위의 원천으로 남아있을 수 있는 것이다.

하지만 우리가 우려하는 바는 자연을 해석하는 동기 또는 목적이다. 과연 자연이라는 개념의 다양성과 유연성을 어디까지 수용할 수 있을 것인가? 이러한 역사적 통찰 자체가 순수하지 않은 목적으로 남용될 가능성은 없는가? 예컨대, 질병치료를 넘어 인간향상으로 나아가는 연구나 진화에 대한 인간의 개입을 정당화하려는 수사 속에서 자연에 대한 해석적 다양성과 유연성은 예상하지 못한 방법으로 쓰일 수 있는 것은 아닌지? 사회적, 문화적, 지적 이유보다도 경제적 이유로, 즉 과학기술의 상업화의 물결 속에서 자연이 재정의 되는 것은 경계해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김하성 (2015), 「합성생물학의 최신 연구동향」, 『BioInpro』 14.
- 김혜진 (2016), 「‘기업가’와 ‘순수과학자’ 사이에서: 수사를 통해 본 크레이그 벤터의 경계 작업」, 서울대학교 석사학위논문.
- 김호연 (2012), 「새로운 유전학(New Genetics), 과거 우생학 (Eugenics)의 재현인가?」, 『인문과학연구』 32, 193-218쪽.
- 김훈기 (2004), 『유전자가 세상을 바꾼다』 (파주: 궁리).
- 김훈기 (2010), 『합성생명』 (서울: 이음).
- 동아사이언스 (2014. 9. 5), 「바이오디자이너는 뭘 디자인할까」.
- 미디어펜 (2016. 3. 25), 「최소유전체합성세균 제작, ‘맞춤형 인공세포’ 발명 앞당겨」.
- 사이언스온 (2010. 5. 24), 「‘합성게놈’ 통째로 이식, 박테리아 종을 바꾸다」.
- 신상규 (2012), 「트랜스휴머니즘, 세상에서 가장 위험한 생각?」, 『철학논집』 29, 189-217쪽.
- 우태민, 박범순 (2014), 「Post-ELSI 지형도: 합성생물학 거버넌스와 ‘수행되지 않은 사회과학」, 『과학기술학연구』 14(2), 85-125쪽.
- 이진우 (2013), 『테크노인문학』 (서울: 책세상).
- 추병완 옮김(2015), 『미래사회를 위한 준비: 도덕적 생명 향상』 (서울: 하우).
- 카우시크 순데르 라잔, 안수진 역 (2012), 『생명자본: 게놈 이후 생명의 구성』 (서울: 그린비).
- Achenbach, J. (2016), “After secrete Harvard meeting, scientists announce plans for synthetic human genomes”, *The Washington Post* (2016. 6. 2).
- Arnold, F. H. (1998), “Design by Directed Evolution”, *Acc. Chem. Res* 31, pp. 125-131.

- Bohannon, J. (2011), "The Life Hacker", *Science* 333(6047), pp. 1236-1237.
- Bostrom, N. (2003), "The Transhumanist FAQ: A General Introduction", World Transhumanist Association.
- Bostrom, N. (2005), "A History of Transhumanist Thought", *Journal of Evolution and Technology* 14(1). Reprinted in Rectenwald, M. and Carl, L. (2011), *Academic Writing Across the Disciplines* (New York: Pearson Longman).
- Bostrom, N. and Sandberg, A. (2008), "The Wisdom of Nature: An Evolutionary Heuristic for Human Enhancement" in Bostrom, N. and Savulescu, J. eds., *Human Enhancement* (Oxford University Press).
- Calvert, J. (2008), "The Commodification of Emergence: Systems Biology, Synthetic Biology and Intellectual Property", *Biosocieties* 3, pp. 383-398.
- Calvert, J. (2010), "Synthetic Biology: Constructing Nature?", *The Sociological Review* 58, pp.95-112.
- Church G. and Regis E. (2012), *Regenesis: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves* (New York: Basic Books).
- Cobb, R. E., Sun, N. and Zhao, H. (2013), "Directed Evolution as a Powerful Synthetic Biology Tool," *Methods* 60(1), pp. 81-90.
- Daston, L. and Vidal, F. (2004), *The Moral Authority of Nature* (Chicago, London: The University of Chicago Press).
- Endy, D. (2005), "Foundations for Engineering Biology", *Nature* 438, pp. 449-453.

- Fukuyama, F. (2004), "Transhumanism: The World's Most Dangerous Idea", *Foreign Policy* 144 (Sep. -Oct., 2004), pp.42-43.
- Gardels, N. (2015), "Genome Pioneer: We have the dangerous power to control evolution" (An interview with genome and synthetic life scientist J. Craig Venter), *The World Post* (2015. 9. 10).
- Garfinkel, M.S. and Friedman, R.M. (2010), "Synthetic Biology and Synthetic Genomics" in Leary, D. and Pisupati, B eds. (2010), *The Future of International Environmental Law* (New York: United Nations University Press).
- Genewatch (2016. 11. 20), "Meiogenics: Synthetic Biology Meets Transhumanism", Accessible at: <http://www.councilforresponsiblegenetics.org/genewatch/GeneWatchPage.aspx?pageId=411#>
- Ginsberg, A. D., Calvert, J., Schyfter, P., Elfick, A. and Endy, D. (2014), *Synthetic Aesthetics: Investigating Synthetic Biology's Designs on Nature* (Cambridge and London: The MIT Press).
- Huxley, J. (1957), "Transhumanism", in Huxley J. ed. (1957), *New Bottles for New Wine* (London: Chatto & Windus).
- h+Media (2013. 12. 31), "Book Review: Life at the Speed of Light by J. Craig Venter".
- Interlandi, J. (2015), "The Church of George Church", *Popular Science* (2015. 5. 27).
- Kevles, D. J. and Hood, L. eds. (1992), *The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genome Project* (Cambridge, MA: Harvard University Press).

- Knight, M. (2015), "Why are scientists vilified when they profit from their innovations?", *Genetic Literacy Project* (2015. 2. 26).
- Miller, P. (2014), "George Church: The Future Without Limit", *National Geographic* (2014. 6. 2).
- Mirowski, P. (2011), *Science-mart: Privatizing American Science* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press).
- Morton, O. (2005), "Life, Reinvented", *Wired* (2005. 1. 1).
- Presidential Commission for the Study of Bioethics Issues (2010), *New Directions: The Ethics of Synthetic Biology and Emerging Technologies*, Washington D.C.
- Reardon, S. (2015), "Gene-editing record smashed in pigs", *Nature* (2015. 10. 6).
- Rojahn, S. Y. (2013), "New Genome-Editing Method Could Make Gene Therapy More Precise and Effective", *MIT Technology Review* (2013. 11. 27).
- Savulescu, J. (2003), "Human-Animal Transgenesis and Chimeras Might Be an Expression of Our Humanity". *Journal of Bioethics* 3, pp. 22-24.
- Service, R. F. (2016), "Synthetic microbe lives with fewer than 500 genes", *Science* (2016. 3. 24).
- Shapin, S. (2008), *The Scientific Life: A Moral History of a Late Modern Vocation* (Chicago: University of Chicago Press).
- Silver, P. A., Way, J. C., Arnold, F. H. and Meyerowitz, J. T. (2014), "Synthetic Biology: Engineering Explored," *Nature* 509(7499), pp.166-7.
- SingularityHub (2016. 2. 7), "UK Will Use CRISPR on Human Embryo

os - a Step Closer to Human Genome Editing”, Accessible at: <http://singularityhub.com/2016/02/07/uk-will-use-crispr-on-human-embryos-a-step-closer-to-human-genome-editing/>

Sleator, R. D. (2010), “The Story of Mycoplasma mycoides JCVI-syn1.0”, *Bioengineered Bugs* 1(4), pp. 229-230.

Smolke, C. D. (2009), “Building Outside of the Box: iGEM and the BioBricks Foundation,” *Nature Biotechnology* 27, pp. 1099-1102.

Specter, M. (2009), “A Life of Its Own: Where Will Synthetic Biology Lead Us?”, *The New Yorker* (2009. 9. 28).

The Economist (2014. 9. 14), “Welcome to My Genome”.

Turda, M. ed. (2013), *Crafting Humans: From Genesis to Eugenics and Beyond* (Goettingen: V&R unipress).

Venter, J. C. (2013), *Life at the Speed of Light: From the Double Helix to the Dawn of Digital Life* (New York: Penguin Books).

논문 투고일                      2016년 11월 28일

논문 수정일                      2016년 12월 26일

논문 게재 확정일                2016년 12월 26일

# **Artificial, All Too Natural: Synthetic Biology and Transhumanism in the Post-Genomic Era**

Taemin Woo, Buhm Soon Park

This paper compares and contrasts the concept of nature and the theory of evolution held by leading synthetic biologists and transhumanists in the post-genomic era. Synthetic biology, which emerged in the early 2000s, aims to design biological systems that perform specific functions with the two key concepts of "rational design" and "directed evolution". However, synthetic biology has also raised serious concerns about the creation of man-made biological materials and the manipulation of the direction and speed of evolution. It is no wonder that transhumanists, who dream of creating new, enhanced human species, have welcomed the arrival of synthetic biology. How, then, can we deal with the nature reinvented by synthetic biology? By what means can one justify research that may affect the process of evolution? What intellectual resources do synthetic biology and transhumanism share in common? What influence would the new trend of commercialization of science and technology exert upon the development of synthetic biology? Addressing those questions, this paper argues that the moral authority of nature can be restored in this post-genomic era.

Key word: synthetic biology, transhumanism, rational design, directed evolution, human enhancement, evolutionary optimality, moral authority of nature