

◇ 종설

잡종 옥수수의 발달과 미국 과학 연구개발의 단면, 1870-1940*

정혜경

포항공과대학교

1. 들어가면서

1

1930년대 미국의 잡종 옥수수(Hybrid Corn) 종자 개발은 과학적 연구의 성과를 단순히 긍정 혹은 부정으로 일률적·정형적으로 정리할 수 없음을, 그 성과라는 것이 각 계층 혹은 집단에게 다양한 스펙트럼을 지니고 투영되었음을 보여주는 흥미로운 사례이다. 1920년대와 30년대에 걸쳐 미국 농무부를 비롯하여 대학부설 농업실험소(agricultural experiment station) 및 종자산업체의 과학자들 그리고 일반 식물육종가들의 개별적 혹은 협력적인 연구가 어우러져 개발된 잡종 옥수수 종자는 과거 농민들이 수확했던 그 어떤 종자보다도 훨씬 높은 생산성을 보여주어, 미국의 옥수수 경작 지대를 세계인의 곡창 지대로 전환시켰다. 잡종 옥수수의 재배는 저렴한 옥수수의 증산을 통해 미국 농업을 한층 산업화된 형태로 바꾸는 계기가 되었으며, 그 과정에서 농민들은 옥수수 생산고와 옥수수 경작 소득이 증대되는 이득을 누리기도 했다. 그러나 과거와는 달리 농민들은 과학적 육종 방법으로 얻어지는 잡종 옥수수의 파종용 종자를 스스로 수확할 능력이 없었기 때문에 매년 종자업체들로부터 그 종자를 구매할 수밖에 없었으며, 이는 결국 생산주체인 농민과 생산수단인 종자의 관계를 근본적으로 변화시키고 말았다. 동시에 생산성이 높은 잡종 옥수수의 등장은 그 수확의 풍성함으로 인해 옥수수의 만성적인 잉여생산이나 가격하락과 같은 부정적인 효과 역시 가져올 수 있었다. 잡종 옥수수 종자의

1 * 이 논문은 2001년도 과학문화연구센터의 지원에 의해 수행되었음.

개발 사례가 보여주는 이러한 딜레마는, 종자의 개발 및 종자산업의 발달과 관련하여 일반적으로 수혜자로 상정되는 농민, 그 농민들에게 봉사해야 할 사회적 책임을 요구받고 있는 과학자들(특히 공공 연구소의 과학자들), 그리고 그들을 실제로 지원하고 통제하는 연구 조직기관 등 다양한 주체들을 둘러싼 복잡한 구도를 잘 드러내고 있다.

과학사회학자 잭 클로펜버그(Jack Kloppenberg)는 마르크스주의적 분석틀을 이용하여 미국 종자산업의 발달, 특히 잡종 옥수수 종자 발달의 역사를 기술하고 있다. 마르크스주의 이론에 따르면, 재화나 용역이 사용가치가 아니라 상품가치의 성격을 띠게 되면서 그것은 상품화 과정의 단계로 접어들게 되고 이는 곧 상품시장의 발달로 이어진다. 그러한 상품시장의 발달이 첨예하게 이루어지는 자본주의 체제 하에서는 소수의 거대기업이 국내외 시장을 장악하여 최종적으로는 독점체제를 구축하게 된다는 것이다. 클로펜버그의 분석은 옥수수 종자 발달의 정치경제학적 의미를 식물 종자의 상품화 과정을 통해 설명하고 있다는 데서 인상적이다. 그에 의하면, 종자란 수확량의 대부분이 식용으로 사용되지만 파종과 수확을 통해 재생산이 가능하므로 소비의 대상인 동시에 일부는 생산 수단이 될 수 있다는 것이다. 따라서 농민이 자신이 수확한, 또는 다른 농민이 수확한 종자를 파종하여 다시 수확하는 경우가 일반화된 전통적인 농업 구조에서는 농민이야말로 종자의 소비자인 동시에 생산자의 위치에 있었다. 종자의 이러한 특징 때문에, 종자 산업의 경우 다른 산업들처럼 자본가층의 형성이 용이하지 않았다. 일반적으로 농민들은 변종이나 종자 개량을 위해 서로의 종자를 자유롭게 교환해 왔고, 따라서 작물의 개량종은 농민들의 술한 시행착오 끝에 얻어진 우연이 가미된 노력의 결실이었던 상황에서 종자의 개발과 생산에 자본의 논리가 끼어들 여지는 크지 않았던 것이다. 그러나 20세기 초반 멘델의 유전학이 소개되면서 이전보다 과학적인 방법에 의한 옥수수 종자 개량에 대한 관심이 유전학계에서 제기되었고, 이어 종자산업체가 잡종 옥수수 종자 개발에 착수하여 그 상품화가 추진되자 더 이상 옥수수 종자는 농민들이 마음대로 서로 교환할 수 있는 단순한 것이 아닌, 고도의 자본논리가 녹아있는 상품이 되어 갔다.²⁾

이러한 잡종 옥수수 종자의 발달과정에서 나타난, 종자의 개발과 확산을 둘러싸고 종자업체, 대학 및 정부 연구소, 일반 육종가 등 다양한 주체들의 역할과 실태를 보여주는 현재로서는 거의 유일(唯二)한 연구성과인 클로펜버그와 과학사학자

2) Jack R. Kloppenberg, Jr., *First the Seed: The Political Economy of Plant Biotechnology 1492-2000* (New York: Cambridge Univ. Press, 1990).

데보라 피츠제랄드(Deborah Fitzgerald)의 분석을 일단 간단히 살펴보도록 하자. 이들은 잡종 옥수수 개발을 둘러싼 대학부설 농업실험소, 정부산하 연구소, 종자산업체들의 이른바 산·학·연 내부의 정치적 분쟁에 관해 각각 다음과 같이 분석하고 있다. 클로펜버그에 따르면, 경제학에서 흔히 볼 수 있는 노동분업과도 같은 역할분담이 잡종 옥수수 종자 연구개발에서 잘 드러난다는 것이다. 즉, 공적 분야에 속하는 정부 및 대학 연구소들은 옥수수 개량종 연구에만 관여하는 반면, 사적 영역의 종자산업체들은 옥수수 잡종 종자의 상용화에만 전력한다는 것이다. 연구와 상용화의 이분법적 구분이라는, 클로펜버그가 그려내는 과학연구의 노동분업의 단순한 구도에 비해 피츠제랄드의 분석은 다소 복잡한 전개를 보여주고 있다. 피츠제랄드는 잡종 옥수수 개량종 연구와 개발을 둘러싼 대학 및 정부 연구소의 과학자들과 종자산업체 사이에 벌어진, 제후를 수반한 팽팽한 대립에 대해 자세하게 분석함으로써 결국에는 종자산업체의 식물육종 사업에 대한 전투적인 지원이 잡종 옥수수 종자 발달의 주역이 되었다고 밝히고 있다.³⁾ 클로펜버그와 피츠제랄드의 분석은 잡종 옥수수 종자의 등장을 이해하는데 중요한 틀을 제공하고 있는 것은 사실이지만, 이들은 산·학·연을 둘러싼 연구개발의 역동적 관계의 복잡성을 조명하지 못하는 한계를 보여주고 있다. 즉, 잡종 옥수수 종자 개발 사례와 관련하여, 과학지식의 발전으로부터 시작하여 응용연구의 진척 및 경제적 효과의 창출로 이어졌다는 구도에 충실한 클로펜버그의 주장이나, 종자개량이라는 응용문제의 해결 모색이 혁신으로 나아갔다는 피츠제랄드의 연구는 공히 농업분야 연구개발 체제를 이해하는 데 있어 단방향 메카니즘만을 제공하고 있으며, 실제로 기초연구, 응용연구, 상용화의 다차원이 서로 복잡한 방식으로 연계된 가운데 기초과학과 응용과학 연구가 쌍방향으로 영향을 미치는 역동적 상관관계를 보여주지 못하는 한계점을 드러내고 있다. 이는 연구사례 축적의 일천함과 사료 접근의 한계성에도 불구하고 이들 역사가들이 그려낸 내러티브를 재고해 볼 필요성을 느끼게 한다. 따라서 필자는 이들의 내러티브가 제공하는 사실과 분석에 대해 충실히 검토하되, 그들이 미처 파악하지 못하였거나 의의를 두지 않은 역사적 사실의 조명과 그에 대한 나름의 통찰을 근거로 하여, 잡종 옥수수 발달의 역사는 미국과학의 성장 과정에 내재하고 있는 역사적 딜레마인 순수기초과학과 응용과학의 대결적 구도의 조정과 타협을 통한 해소라는 관점에서 접근할 수

3) Deborah Fitzgerald, *The Business of Breeding: Hybrid Corn in Illinois, 1890-1930* (Ithaca: Cornell Univ. Press, 1990).

있음을 주장하고자 한다.

미국 공화국이 탄생한 이래, 특히 19세기 이후 대학과 정부 연구소, 과학전문단체 및 과학재단의 등장과 함께 과학진흥정책이 자리잡아가는 동안, 미국 기초과학의 발달과 진흥은 경험주의 과학관이라는 문화적 가치에 입각한 과학의 실용주의 노선과의 대립과 반목으로 인해 언제라도 침체의 위기에 봉착할 잠재적 소지가 충분했다. 그럼에도 불구하고 과학계, 산업계 및 정부가 기초연구 수행과 응용기술 개발이라는 동전의 양면에 내재하고 있는 갈등 및 대립을 조정, 조화시키기 위한 변증법적 해결책을 모색하려는 노력이 시도되었다는 점은 주목할 만한 사실이다. 대학과 정부 소속의 과학자들이 기초연구 수행의 주역이 되는 동안, 좀처럼 자체적인 연구를 개진하지 않았던 산업체들이 대학의 과학자들과 제휴한다든지 혹은 직접 과학자를 고용, 혹은 간접적으로 연구활동을 지원하는 등 과학자들의 전문적 지식과 경험에 의존하는 경향을 보이게 되면서 산·학·연간에 미묘한 공생관계가 가시화되었다.⁴⁾ 잡종 옥수수 종자 발달의 사례를 통해, 필자는 연구개발을 둘러싼 정부 연구소, 대학, 민간산업체들의 적절한 대응 및 반응과 관련한 딜레마와 이슈를 검토함으로써, 미국 종자산업의 역사적 발달에 관한 또 하나의 다른 시각을 제시하고자 한다. 이를 위해, 종자의 도입이 중요한 이슈가 되었던 초기 미국 농업에 대한 개략적인 상황 설명으로부터 시작하여, 미국 종자산업이 발달한 큰 줄기를 멘델 유전학의 응용, 구체적으로 잡종강세의 개념과 잡종 옥수수 종자를 이해의 도구로 삼아 설명한 차후에, 클로펜버그와 피츠제랄드를 포함한 미국 농업분야 연구개발의 특성에 대한 기존의 시각들을 비판적으로 검토하는 수순을 밟을 것이다.

2. 배경: 미국에서의 식물육종

일만년 전의 농업혁명 이후, 작물의 개량 혹은 신종의 발견은 농민들 사이에

4) A. Hunter Dupree, *Science in the Federal Government* (Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 1986); George H. Daniels, "The Process of Professionalization in American Science: The Emergent Period, 1820-1860", *Isis* 58 (1967), pp. 151-66; Sally Gregory Kohlstedt, *The Formation of the American Scientific Community: The American Association for the Advancement of Science, 1848-1860* (Urbana: Univ. of Illinois Press, 1970); George Wise, "A New Role for Professional Scientists in Industry: Industrial Research at General Electric, 1900-1916", *Technology and Culture*, 21 (1980), pp. 408-429; Robert Kohler, "Science, Foundations, and American Universities in the 1920s", *Osiris* 2d S. 3 (1987), pp. 135-164.

전수되어 온 민간기술에 의존해 왔다. 한번 뿌려진 종자는 익년에도 쉽게 똑같은 종자를 얻을 수 있었으므로 작물의 다양성은 기본적으로 농민들의 실용적인 경험과 시행착오에 근거한 교배를 통해 우연히 얻어진 변종으로부터 비롯되었다. 애초에 북아메리카 대륙은 농작물의 다양성이라는 측면에서는 불모지와 다름없었다. 경제성이 있어 보이는 식물 중 토종이라고는 해바라기, 블루베리, 크랜베리와 예루살렘 아티초크 등만이 존재할 뿐이었고, 아메리카 대륙의 선주민인 인디언들은 옥수수, 콩, 호박만을 주요 곡물로 재배하였을 뿐 풍성한 생활과 교역에 필요한 식물의 다양성을 전혀 누리지 못했다. 식민지 시대 초기 이후 아메리카 대륙에서는 식민지 정착민들이 유럽으로부터 가지고 들어온 종자를 기초로 밀, 호밀, 보리, 귀리, 콩 등이 널리 경작되었다. 그러나 외부로부터 도입된 이들 식물종자는 새로운 환경에 적응하지 못하는 경우가 많았으며, 식물종자의 성공적인 도입은 초창기 미국 농업의 중요하고도 힘든 과제였다.

공화국 초기의 미국에서는 해외로부터의 식물종자 도입에 지도층 엘리트들까지 간여했다. 예를 들어, 제 3대 대통령을 지낸 토마스 제퍼슨(Thomas Jefferson)은 프랑스 파리에 있는 식물원과 연계하여 매년 새로운 종자를 입수했다. 특히 벼종자에 관심이 많았던 그는 중국, 이태리, 이집트, 아프리카 적도 지역으로부터 그 변종을 얻는가 하면, 당시 미국 대륙의 중요한 벼해충인 밀혹파리(Hessian fly)에 대해 내성을 지닌 벼종자를 도입하기도 했다. 도입된 종자들은 당시 설립된 농업진흥협회의 회원을 통하여 일반대중과 농민들에게 배급되었다. 연방정부에 의한 종자도입은 천천히 그러나 체계적으로 이루어졌으며, 연방정부산하의 특허청이 적극적으로 종자도입에 관여하였다. 특허청은 해외공관이나 해외 주재의 해군성을 통하여 세계 각지로부터 종자들을 도입하였고, 이들 종자는 지역구 의원을 통하여 농민들에게 무료로 보급되었다. 정부의 종자 무료배급 정책은 당시 19세기에 대체를 이루던 자유방임적 자본주의 경제 풍토를 고려한다면 실로 이례적인 것이었다. 이러한 종자의 도입과 보급은 당시의 종자 수요를 충족시켜 주었을 뿐 아니라 이후 이 종자들을 바탕으로 새로운 변종 작물이 개발될 수 있는 토대를 마련한 것이었다. 한편, 식물종자의 도입과 더불어 종자 확보의 중요한 일환인 식물종자 육종법과 기술의 발달은 어떻게 진행되고 있었는가? 18세기 이후 식물종자 육종에 주로 사용되었던 것은 유성생식을 이용한 육종 원리로서, 이는 양친의 특징을 조합하는 교차수정을 이용하여 새로운 변종을 만들어 내는 것이었다. 그 후에는 프랑스의 장 뵘티스탱 뱅 몽스(Jean Baptiste van Mons)가 제창한 선발

(selection)의 원리가 지배적으로 사용되었다. 단순선발(simple selection)이란 육종에서 인위적으로 행하는 선택을 말하며, 그 중에서도 주로 집단선발(mass selection)이 선발기술 중의 하나로 널리 애용되었다. 이는 선발된 개체의 계통이 아니라 개체를 집단으로서 양성하는 방법이다. 농민들은 집단선발 원리를 이용하여 환경에 적응하지 못하는 작물 타입의 개체를 제거하고 대신에 우량개체 및 집단을 선발하여 그들이 원하는 종자를 획득하였던 것이다. 농민들이 사용했던 대표적인 육종 방법에는 이러한 집단선발을 비롯한 단순선발 이외에도, 앞서 언급한 종자 도입을 통해 우량종을 선택하는 방법도 있었지만 후자의 경우 그 결과가 반드시 성공적인 것은 아니었다.⁵⁾

육종의 과학화는 미국 연방정부의 과학적 농업 정책과의 연관 하에 추진되었다. 이는 19세기 말에서 20세기 초까지 미 농무부가 과학적 농업을 위한 인적·물적 인프라 조성에 기울인 노력을 통해 뒷받침되었다. 1862년 미 농무부는 그동안 특허청의 업무였던 종자의 도입과 무료보급 업무를 이관 받아 식물육종 분야의 체계적인 연구를 지원하고자 하였다. 또한, 각각 1862년과 1906년에 통과된 모릴(Morrill) 법안과 해치(Hatch) 법안에 힘입어 각 주립대학에는 농과대학과 대학부설 농업실험소가 설치되어, 농업교육과 연구를 통한 미국 농업의 과학화를 위한 기반이 마련되었다. 실제로 농업유전학(agricultural genetics) 분야의 확립은 대학부설의 농업실험소로부터 비롯되었다. 농업실험소의 소장들이야말로 연구와 전문 컨설팅을 조화한 활동을 추진하는 데 있어 농업가 및 농민층으로 대변되는 비(非)과학자와 과학자간의 대립을 조정 또는 극복함으로써 전문과학 분야의 정체성을 확립하는, 전문과학경영가로서의 역할을 발휘하였다. 코네티컷 대학과 그 부설 농업실험소의 과학자들이 잡종 옥수수 신종자 개발의 주역이었던 데서 볼 수 있듯, 대학 및 그 부설 농업실험소는 당시의 농업 과학화의 중심에 서 있었다.⁶⁾

5) 미국농업의 일반적 특징에 대하여 Douglas Hurt, *History of Agriculture: A Brief History* (Ames: Iowa State Univ. Press, 1994); Richard Kirkendall, "Up to Now: A History of American Agriculture from Jefferson to Revolution to Crisis", *Agriculture and Human Values* 4 (1987), pp. 4-26; Frederick V. Cartensen, Morton Rothstein, Joseph A. Swanson, eds., *Outstanding in His Field: Perspectives on American Agriculture in Honor of Wayne D. Rasmussen* (Ames: Iowa State Univ. Press, 1993)을 참조; Kloppenberg, pp. 50-65.

6) 농업유전학의 전문화 과정에 대하여, Barbara A. Kimmelman, *A Progressive Era Discipline: Genetics at American Agricultural Colleges and Experiment Stations, 1900-1920* (Ph. D. diss.: Univ. of Pennsylvania, 1987); Paolo Palladino, "Wizards and Devotees: On the Mendelian Theory of Inheritance and the Professionalization of Agricultural Sciences in Great Britain and the United States, 1880-1930", *History of Science*, 32 (1994), pp. 409-444를 참조; Charles Rosenberg, "Science, Technology and Economic

한편, 정부 및 대학의 이러한 행보가 당시의 종자산업체에 미친 영향은 어떠했을까? 전통적인 농업구조에 의해 그렇지 않아도 성장을 저해 당하고 있던 차에, 일부 선구적인 농민들의 활동에 더해진 정부에 의한 종자의 도입 및 배급, 대학에 의한 육종법의 연구는 그들에게 커다란 위협으로 다가왔다. 전통적으로 농민들도 원하기만 한다면 종자를 쉽게 수확할 수 있었을 뿐만 아니라 농민들끼리 종자 매매 상행위를 할 수 있었기 때문에 종자산업체로서는 종자 판매를 통한 이익의 창출이 용이하지 않던 데다가, 특히 정부에 의한 종자의 무료 보급은 특히 종자산업체의 입지를 더욱 악화시키는 악조건으로 작용했던 것이다. 소수의 특이한 개량종과 우수종의 경우에는 종자업체가 끼어 들 수 있는 여지가 남아 있었으나, 이 역시 양질의 종자를 확보하여 무료로 배급을 펴는 정부정책의 규모 앞에서는 가격이나 자원의 동원력에서 경쟁 상대가 되지 못했다. 정부의 종자 무료보급 프로그램이 종자산업체들에게 가장 큰 위협으로 작용하자, 1883년 미 전역의 주요한 종자업체 대표들이 캘리포니아에 모여 연방정부의 종자 무료배급정책에 대한 대응책을 마련하였다. 그들의 전략은 다음과 같았다. 정부측에서 도입할 가능성이 있는 새로운 종자를 종자업체가 선취하고, 농민층과 소비자의 필요에 맞는 종자의 개발과 판매를 통해 종자 소비를 증대시켜 미숙한 종자산업의 발전을 추구하는 것이었다.⁷⁾

3. 멘델 유전학의 응용에 힘입은 농업과학의 새로운 국면: 과학적 식물육종의 도래

미국 종묘산업의 발달과 관련하여 빼 놓을 수 없는 것이, 1900년 유럽의 카를 코렌스(Carl F. Correns), 에리히 체르마크(Erich Tschermak), 휴고 드 브리스(Hugo de Vries)가 멘델의 유전법칙을 재발견하면서 식물육종의 이론과 실제 양면에서 새로운 전기를 마련한 것이다. 즉, 멘델의 유전법칙은 그 동안 하나의 경험적인 “기예(art)” 로만 인식되었던 식물육종이 마침내 이론적인 “과학(science)” 으로 규정될 수 있는 근거를 마련한 셈이었다. 사실, 그 동안 일반 육종가들이나 과학자들은 단순 집단선택 방법을 활용하였다는 측면에서, 그리고

Growth: The Case of the Agricultural Experiment Station Scientists, 1875-1914,” *Agricultural History* 45 (1971), pp. 1-20; idem, “The Adams Act: Politics and the Cause of Scientific Research,” in *No Other Gods: On Science and American Social Thought* (Baltimore: Johns Hopkins University, 1976), pp. 173-184.

7) Kloppenberg, pp. 61-65.

과학자들의 경우 이 방법에 대해 보다 체계적으로 접근할 뿐이었다는 점에서, 일반 육종가와 과학자가 각각 취한 방법의 차이점이란 결국 정도의 차이에 불과했다. 그러나 이제 멘델의 유전법칙에 대한 안목을 가진 정부와 대학 소속의 과학자들은 결국 실용적 육종가들과는 다른 차별적인 방법을 고안했는데, 이는 선발의 보조방법인 잡종강세(hybridization)의 개념을 이용한 것이었다.

잡종강세란 동물 혹은 식물의 두 변종의 교배로 생긴, 쌍방의 형질을 함께 나누어 소유하는 자손이 지니는 형질상의 특징을 의미하는 것이다.

후술하겠지만, 멘델의 유전학은 과학자나 실용적 육종가 양쪽 모두에게 과학적 식물육종 시대가 도래할 수 있는 단초를 제공해 주었다. 그리고 그러한 과학적 육종의 수혜를 직접적으로 받게 된 작물은 다름 아닌 옥수수였다.⁸⁾

미 중서부의 주요작물인 옥수수는 미국 농업경제에서 차지하는 중요성이 매우 컸다. 19세기 말부터 20세기 초에 이르기까지 옥수수의 경작지와 생산량은 각각 수배로 확장되었고 증산되었다. 자연히 옥수수 종자의 개량과 수확의 증산은 미국의 과학적 농업이 지향하는 중심과제가 되었고, 당연히 대학의 농업실험소를 포함한 공공 연구소 과학자들의 관심을 끌게 되었다. 옥수수 종자 개량과 증산에 대한 일반 농민들의 관심도 매우 커서 옥수수를 소재로 한 여러 가지 형태의 문화활동도 활발했다. 예를 들어, 1900년대 초기에 철도가 대중화되자 옥수수 종자 특별 전시가 철도역에서 자주 이루어졌다. 또한 옥수수 쇼(Corn show)가 주기적으로 개최되었는데, 여기서는 농작물 전문가와 대학교수의 평가에 따라 당해의 최우수 옥수수 이삭(ear)이 선정되어 이에 대한 수상이 이루어졌다. 옥수수 쇼는 지역 차원은 물론 전국수준에 이르기까지 개최되는 가운데, 농민들에게는 보다 좋은 변종을 선택할 수 있는 효과적인 매개수단이 되었다. 그러나 묘하게도, 바람직한 옥수수 이삭의 특징으로 옥수수의 중량이나 미적인 요소가 중요한 것으로 간주되는 경향 등 과학적 비전과 노력이 부족한 풍토로 인해 옥수수 쇼와 같은 문화적 활동에도 불구하고 옥수수 증산을 위한 개량종의 발전은 큰 진전을 보이지 못했다. 오히려 1920년대 중반까지 미국의 옥수수 생산량은 점차적으로 감소하기까지 했다.⁹⁾

19세기를 통해 대농 중심의 기계화에 힘입어 농업의 황금기를 맞이하였던

8) Diane Paul and Barbara A. Kimmelman, "Mendel in America: Theory and Practice, 1900-1919", in eds., Ronald Rainger, Keith R. Benson, Jane Maienschein, *The American Development of Biology* (New Brunswick: Rutgers Univ. Press, 1991), pp. 281-310.

9) Henry A. Wallace, *Corn and Its Early Fathers*, rev. ed (Ames: Iowa State Univ. Press, 1988); Kloppenberg, pp. 94-96.

미국은 20세기에 들어서면서 농업 강국의 위상이 서서히 약화되어 갔다. 생산량 증산을 위한 새로운 농업기술이 개발되지 않는 가운데, 점진적인 정체현상은 미 전역을 통해 확산되어 갔다. 농산물 가격 폭등이 맬서스(Malthus)식 인구문제를 야기하기 시작했으며 농업무역의 감소가 국제교역에서 국가적 입지를 약화시키기에 이르렀다. 아울러 농민층과 대중들의 생활수준이 저하되자, 다양한 차원에서의 해결책이 시도되었다. 곳곳에서 일종의 농촌 새마을운동(Country Life Movement)이 벌어지는 등 도시와 농촌의 빈부차를 해소하기 위한 각종 활동이 전개되었다. 농민을 위한 대중교육 강연이 개최되었고, 철도역 상설전시를 통해 실용적 경작법과 과학적 영농법을 위한 선전과 교육이 이루어졌다. 그 이외에도 대학의 농업실험소가 연구와 병행하여 수행했던 농업공개강좌(Agricultural Extension) 프로그램도 농민과 대중을 위한 과학적 농업의 생활화 운동을 지원했다. 그러나 과학적 농업에 대한 농민의 반응은 반드시 달가운 것만은 아니었다. 왜냐하면 농민들의 관점에서는 과학자들의 활동이란 이론적 지식만을 우선시하는 듯 인식되었으며, 따라서 실용적인 문제 해결에는 아무런 도움을 줄 수 없을 것으로 보였기 때문이었다.¹⁰⁾

그러한 인식에서 농민들이 과학자들에게 개진한 요구사항은 종자, 비료제, 토양 샘플의 테스트와 같이 농업경작과 직접적으로 관련된 실용적 문제의 해결이었는데, 당연히 이는 과학자들의 입장과는 배치되는 것이었다. 이들 과학자 집단은 대학에서 받았던 전문적인 생물학 지식과 농업의 실용적 문제가 접합된 농업과학의 가속화된 발전을 기대하고 있었으나 그들의 주된 관심사는 어디까지나 전자에 중심이 쏠려 있었던 것이다. 그러나 대학내 농업실험소의 과학자들은 농업과학의 기초 연구뿐만 아니라 농민을 대상으로 한 서비스 활동을 병행하여 농업과학의 위상을 강화하고자 했던 터라, 농민층의 기대감을 충족시키고 실망감을 해소하는 데에도 역시 그들이 할 수 있는 최대한의 노력을 경주하여야 했다.

그러나 농업과학에 대한 농민들의 기대와 과학자들의 노력에도 불구하고, 농업과학의 기본 토대였던 생물학 분야는 20세기 초 당시로서는 아직 성숙 단계가 아니었다. 이처럼 과학적 농업의 기초기반이 약한 상황에서 생산성 향상의 실현은 용이하지 않았다. 농촌 새마을운동 캠페인 운동가나 농업의 전문가들도 미국 농업의 황금기를

10) David Danbom, *The Resisted Revolution: Urban America and the Industrialization of Agriculture, 1900-1930* (Ames: Iowa Univ. Press, 1979); Roy V. Scott, "Science for the Farmer: Comment", *Agricultural History* 68, no. 1 (1974), pp. 215-220; idem., *The Resisted Farmers: the Rise of Agricultural Extension to 1914* (Urbana: Univ. of Illinois Press, 1970).

새롭게 구현할 비전을 가지고 있었지만, 그것을 이론적, 기술적으로 뒷받침해야 할 농업과학은 여전히 답보상태에 있었던 것이다. 여기에 멘델 유전학의 재발견은 과학자와 육종가들에게 신선한 충격과 자극을 주었다. 특히, 코네티컷(Connecticut) 농업실험소의 에드워드 이스트(Edward M. East)와 앤드류 카네기(Andrew Carnegie)가 지원한 콜드 스프링 하버(Cold Spring Harbor)의 진화실험연구소(Station for Experimental Evolution) 소속인 조지 쉘(George Shull)이 식물육종의 실용적 해결을 위하여 멘델 유전 이론 문제에 깊이 관여하고 있었다.

20세기 초 식물육종 과학의 진수는 잡종강세 개념에 바탕을 둔 잡종 옥수수 종자의 개발로, 이는 바로 멘델 유전 이론에 기초한 것이었다. 유전과학자들이 주장했던 잡종강세란 다음과 같다. 두 가지 변종이 교배될 경우 새로운 유전적 변이가 나타난다. 그리고 바로 그 교잡에 의해서 생긴 잡종 자손에 동계선택 원리(동일한 계통의 식물로부터 분리한 종자의 인위적 선택으로, 계속적으로 후속세대의 집단에서 나타나는 발현되는 변이를 강화하는 것이다)를 적용할 경우, 개별적인 형질은 잡종과 그 양친 중 하나와 이루어지는 교배인 역교배(back-crossing)를 통하여 한 변종에서 다른 변종으로 전달될 수 있었다. 예를 들어, 우량한 형질을 보이거나 병에 쉽게 걸리는 단점이 있는 변종을 병에 내구력이 있는 유전자를 포함한 특이한 변종과 교배하여, 병에 저항력이 있는 형질을 가진 자손만을 선택하여 다시 이 자손의 양친인 우량 변종과 교배를 시킨다. 이러한 역교배 과정은 결국 병에 내구력을 가지는 동시에 우량 형질을 가진 변종이 나타날 때까지 반복적으로 행해지게 된다. 식물을 육종하는 과학자나 일반 육종가들은 원하는 특정 형질들을 지닌 변종의 획득을 위해 각각의 개별적인 특정 형질을 지닌 순종 2종류를 교잡하였는데, 보통 그 결과 얻어진 잡종 제1대에서는 양쪽 부모의 바람직한 형질들이 나타났지만, 이 제1대 잡종끼리의 교잡에서는 강세가 감소하기도 하였다. 따라서 원하는 형질을 지닌 종자를 얻기 위해서 부모의 혈통을 보존하여 그때마다 교배한다는 잡종강세의 개념이 고안되었던 것이다.

잡종강세 개념에 근거한 새로운 육종기술은 옥수수의 유전 현상을 연구하거나 육종 방법을 개발하고자 하는 과학자들에게 중요한 이론적 틀이 되었다. 동시에 이제 식물육종은 점차 과학자의 전유물이 되어갔다. 왜냐하면 잡종강세의 개념 정립에 사용되었던 역교배 같은 방법은 대부분 농민들의 능력 이상의 복잡한 절차, 체계적인 노력과 장기간의 시간이 필요로 했다. 무엇보다도 유전의 비밀을 가진 염색체에 대한 연구가 진전됨에 따라, 연쇄(linkage), 변경 유전자(modifying factors), 동의 유전자(multiple factors), 유전자간 상호작용과 같은

복잡한 첨단이론이 육종학을 이해하는 데 필수적인 지식으로 요구되었으며, 그 이외에도 실험 결과를 분석하고 이해하는 데 중요한 도구로서 생물학적 통계방법에 대한 지식 역시 필요하였다.¹¹⁾

간단히 말하면, 식물육종은 더 이상 과거에 통용되었던 것과 같은 기예가 아니라 과학의 영역으로 옮겨가고 있었다. 과거에 쓰였던 집단선택에 근거한 개량종 발견에서도 농민들은 더 이상 전문 유전학자들보다 우위에 설 수는 없었다. 유전학자들뿐만 아니라 육종가들의 관심 역시 특별한 형질을 발현하는 근원인 유전자에 쏠리게 되고 식물육종이 전체 유기체를 대상으로 하기보다는 유전적 구성을 강조하는 환원론적 인식 틀에 의존하게 되면서, 경험에 의존하는 육종 방법과 기술면에서도 선택에서 잡종강세로의 개념상의 추이가 이루어졌다. 이런 변화는 천천히 이루어졌지만 1925년경에는 거의 궤도에 올라섰다. 이는 식물육종과 관련된 대다수의 농업과학자들이 멘델 유전학을 육종의 이론 및 기술의 개발에 응용한 결과라고 할 수 있다. 잡종강세에 대한 정부 및 대학의 연구지원이 가시화되고 있는 가운데, 멘델 유전학의 법칙이 재발견되었던 당시인 1900년에는 유전학이 과학적 육종으로 응용되어야 한다는 수사적인 차원에 머물러 있었다면 1930년대에는 멘델 유전학이 완전한 실행단계에 이르렀다고 할 수 있다. 프레드릭 루즈벨트(Frederick Roosevelt) 행정부의 농무부 장관으로 재직 중 뉴딜(New Deal) 농업정책을 입안, 추진하게 되는 헨리 월레스(Henry A. Wallace)도 농업전문가로서 잡종 옥수수 사업을 성공시킨 장본인이었다. 한 때 농업 전문잡지인 *Wallaces' Farmers*의 주필이었을 뿐 아니라 과학적 농업을 지향했던 진보주의자로서의 월레스는 동시대의 그 누구보다도 식물유전학의 가능성을 믿었던 농업계의 인사였다. 1936년의 농업 생산성 연감에서 각종 작물의 총생산량이 증대한 것은 바로 육종의 과학화에 기인했다고 볼 수 있다.¹²⁾ 잡종강세의 개념은 비단 20세기 초 미국 농업의 쇠퇴 조짐을 극복하는 데 있어 커다란 공헌을 했다는 것 이외에도, 다다음 장에서 후술하듯 농업활동이 과학과 경제성을 하부구조로 하는 산업자본주의 체제로 편입되는 것과 분리시켜 생각할 수 없다. 역시 후술하겠지만 멘델 유전학과 잡종강세의 개념에 기초한 과학적 식물육종 시대의 도래는 미국 농업의 과학화와 관련한 연구주체와 조직간의 대립과 반목의 해결 및 조정이 총체적으로 연구개발 체제의 변화와 커다란 연관을 지니고

11) Kloppenberg, 77-79.

12) Alan I. Marcus, "Henry A. Wallace and the Development of Hybrid Corn", *Annals of Iowa: A Historical Quarterly* 47 (1983), pp. 180-189; Kloppenberg, pp. 84-90.

진행되었다는 점에서 중요한 의의를 지닌다고 필자는 본다.

4. 잡종강세(heterosis)를 향하여: 잡종 옥수수 종자의 연구개발

잡종 옥수수 종자의 개발은 정부산하 연구소, 대학의 농업실험실, 종자산업체, 그리고 일반 육종가가 함께한 산·학·연의 경쟁과 공생 관계 하에 이루어진 미국 농업과학의 최고 성취라고 할 수 있다. 20세기 초반부터 지속적으로 퇴조를 보여오던 옥수수의 생산량이 잡종 옥수수의 개발에 힘입어 1930년대를 기점으로 다시 증산의 흐름을 타게 되었다. 또한 잡종 옥수수 개발은 미국 종자산업의 급속한 발달을 가져오는 계기가 되었는데, 그것은 과학자들과 종자업자들이 과학이 육종의 중요한 도구가 된다는 사실을 믿게 되었기 때문이었다.

사실 옥수수 육종 문제는 난공불락과도 같은 난제였다. 과학계에서 옥수수 육종개발 시도가 전무했던 것은 아니었지만, 그러한 노력의 결과는 대수롭지 않았다. 따라서 농민들은 여전히 원하는 옥수수의 색깔, 성숙도, 다산성과 같은 특정 형질만을 고려한 집단선택 방법을 이용하여 원하는 변종을 만들 수 있다고 믿었다. 옥수수 변종의 다양성은 옥수수 자체의 생식 형태학(sexual morphology)적 특성에 기인하는 것이다. 옥수수는 다른 작물과는 달리 동계교배보다는 이계교배에, 자가수정보다는 타가수정에 의존했으며 옥수수 개체의 각 낱알이 개별적으로 다른 개체의 낱알과 수분된다는 것이 특징이다. 따라서 거의 모든 옥수수는 독특한 교배의 결과이기 때문에, 개량변종을 만드는 데는 성공한다 하더라도 옥수수 변종의 안정성이 매우 취약한 관계로 우수 변종을 개발하는 데는 한계가 있었다.¹³⁾

유전학자인 शुल(Shull)은 옥수수를 이용하여 멘델의 유전학을 연구하고 있었다. शुल은 자가수분과 교차수분 조건 하에서 옥수수 낱알 줄 수의 유전을 연구하였다. शुल은 자가수분을 포함하는 동일계통에 속하는 개체간의 동계교배는 개체의 생활력 저하와 생산성 감소로 이어진다는 것을 알 수 있었다. 이에 반해 동계교배된 식물의 교배가 어떤 경우에는 자연수분의 경우보다도 훨씬 생활력이 강하고 생산성이 높다는 것을 인지하였다.

13) 최병한, □옥수수는 어떤 작물인가?□ (서울: 한림저널사, 1998), pp. 397-398; Fitzgerald, pp. 30-42.

이러한 실험 결과로부터 술은 매우 독창적인 결론을 이끌어 내었다. 여러 가지 복잡한 교배가 이루어지고 있는 옥수수 집단에서 동계교배가 반드시 불리한 것이라고 말할 수 있는 것은 아니며, 오히려 동계교배된 변종을 여러 가지 독특한 동형 유전형으로 분리해 본 결과 동계교배된 어떤 변종인 잡종은 쉽게 얻을 수 없으며 다시 심을 수 없게 된다는 약점이 있기는 하였지만 원래의 옥수수 집단보다도 훨씬 큰 생산성을 보여준다는 것이었다.

동일계통에 속하는 호모 양친의 교배 제 1대 잡종은 완전하게 획일적이라 할지라도, 멘델의 분리 법칙에 따르자면 후속 세대인 F2, F3, F4... Fn은 점점 헤테로가 되며 생산성도 고르지 못하게 된다. 따라서 잡종이 노새처럼 생물학적 불임은 아니지만, 그런 잡종은 경제적으로는 별 이득을 가져다주지 못한다는 측면에서 불임이나 마찬가지라는 것이다. 이런 결과를 염두에 두고 술은 두 변종의 교배 제 1대 자손들이 강세를 보여주는 잡종강세의 성질을 이용한 단일교잡으로 얻어진 잡종들(single-cross hybrids)을 육성하는 잡종강세육종법을 주장하였다. 앞서 언급하였듯이 잡종강세란 2개의 순계 사이에서 교잡을 통해 생긴 잡종이 양친의 어느 것보다도 우세한 생육현상을 보이는 것으로, 바로 이러한 잡종강세가 왕성하게 일어나는 잡종 제1대 그 자체를 새 품종으로 이용하는 방식이 술이 주장한 잡종강세육종법의 요체이다. 아울러 그는 옥수수 육종가의 목표는 최우량의 순계를 찾는 것이 아니라 최우량의 잡종을 발견하고 유지하는 것이라고 주장하였다.¹⁴⁾

술의 결과에 대한 비판 역시 적지 않았다. 이를테면, 코네티컷 농업실험소의 이스트는 이론적으로는 술의 견해에 동의하였지만, 단일교잡의 성질을 활용한 육종방법이 농민들의 입장에서는 쉽지 않기 때문에, 농민들로 하여금 잡종강세의 성질을 가진 종자를 직접적으로 구매하여 사용할 것을 종용했다. 이스트의 생각으로는 술의 순계 개발방법과 관련한 실질적인 문제는 동계교배의 약점에 있었는데, 사실 잡종의 강한 생활력이 보인다 하더라도 잡종이 자연수분의 경우보다도 쉽게 만들어지지 않는다는 점이었다. 또한, 미국 최고의 종자산업체인 일리노이 주의 핑크 브라더스(Funk Brothers)사의 유진 핑크(Eugene Funk) 역시 술의 결과에 호감을 가지고 있었지만, 단일교잡의 실용적 의미에는 회의적이었다. 즉, 핑크의 견해로는 자식계통들의 강세가 감소하여 종실수량은 극히 낮았기 때문에 실제 단일교잡에 의한 교잡종 육성 보급이 불가능하게 보였던 것이었다.

한편 이스트의 제자인 도날드 존스(Donald F. Jones)도 잡종강세를 멘델

14) Kloppenberg, pp. 97-98.

유전학의 관점에서 연구하고 있었다. 술의 잡종강세육종법의 문제를 해결하기 위하여 존스는 복교잡(double-crossing) 방법을 제안하였다, 구체적으로, 두 가지 단일교잡으로 얻어진 잡종 옥수수수를 이중교잡, 즉 4가지의 조합방식을 활용하는 방식으로 잡종강세의 이점을 살릴 수 있을 뿐만 아니라 새로운 다수확 품종을 얻을 수 있다고 보았다. 예를 들어 존스는, 옥수수 재배 농민들이 자연수분된 종자 내에서 숙기, 이삭과 종실 모양, 적응성, 수량성 등을 기준으로 우량 개체를 선발하여 육성 재배하게 되면, 독특한 형질특성을 가진 자연수분 품종들 중 우량한 계통에 속하는 자식들의 단일 조합을 통해 얻어진 잡종을 육성할 수 있었고 또 그 이상의 복교잡종을 만들 수 있다고 보았던 것이다. 결국, 복교잡종은 열악한 동계교배의 조부가 아니라 우량한 단교 양친의 근거위에서 만들어지기 때문에 복교잡의 방법이 단위 면적당 종자 수확량 뿐 아니라 그 비용 면에서도 높은 경쟁력을 보여줄 수 있을 것이라고 기대하기에 이르렀다. 그러나 복교잡 육종 방법은 첫째, 일반 농민들이 취사하기에는 복잡한 기술을 필요로 하며, 둘째, 그 방법으로 수확된 종자는 확보되기 어려울 뿐만 아니라 단일교잡 방법보다도 반드시 경제적으로 유용하지는 않다는 것이다. 이런 복교잡 방법의 시행 및 결과상의 약점에도 불구하고 존스가 주장하는 복교잡 육종법의 중요성이 약화되지는 않았다. 존스는 그의 책, □동계교배와 이계교배

: 그 유전적 및 사회적 중요성□(*Inbreeding and Outbreeding: Their Genetic and Sociological Significance*)에서 복교잡 방법의 복잡성을 인정하면서도 그 방법이 농민들의 관심을 끄는 데는 실패할 지라도 적어도 종자업자들의 관심을 유도하는 데는 성공할 것이라고 예측했다. 사실인즉, 종자업자들은 이 무렵에 처음으로 바람직한 잡종 옥수수 종자로부터 큰 이익을 창출할 수 있을 것이라고 믿게 되었다.¹⁵⁾

복교잡 육종기술이 펑크와 윌래스 같은 육종가들의 관심을 끌게 된 것은 사실이지만, 바람직한 유전형 분리를 위한 동계교배의 가치나 잡종강세의 효과를 누리는 데 있어 유일한 방법은 아니라고 보았다. 1919년 헤이즈(H. K. Hayes)와 같은 육종가들은 동계교배와 역교배를 통하여 더욱 쉽게 개량종을 만들 수 있는 가능성을 개진하였다. 이는, 우선 식물의 동일개체에서 유래하는 생식세포간의 결합에 의한 생식인 셀핑(selfing)을 한 뒤, 바람직한 형질을 가진 계통을 선택하고, 우량 계통을 무더기로 상호교배를 하는 등의 일련의 과정을 반복하는 것이었다. 이 방법은 과거 집단선발 방법의 새로운 형태로 현재

15) Kloppenberg, pp. 98-101; Diane Paul and Barbara Kimmelman, pp. 296-301.

우리에게 순환선발(recurrent selection) 및 집단개량(mass improvement)으로 알려진 방법이다. 헤이즈의 집단선발 방법과 존스의 복교잡 방법과의 차이점은 명확하였다. 집단선발에서의 육종의 목적은 경제적 불임인 잡종 대신에 아무렇게나 교배를 해도 끝없이 확산될 수 있는 우량 집단을 만들어 내는 것이었다. 그리하여 농민들이 스스로 종자를 수확하여 다시 그 종자를 뿌릴 수 있게 하는 것이었다. 비록 집단선발이나 복교잡 방법 둘 다 동계교배와 잡종강세의 성질을 이용하였지만, 두 방법은 서로 다른 사회경제적 결과를 초래했다. 존스는 집단선발의 가능성을 이해하면서도 집단선발 방법은 겨우 우량 동계교배종을 만들어내는 방법에 불과한 것이지 상업적 가치를 띤 새로운 변종을 만드는 대안이 될 수는 없다고 보았다. 사실 잡종강세 원리의 부수적인 것에 불과하다는 평을 듣기도 하는 집단선발 방법의 의의는, 그것이 생물학상의 중요한 진보를 가져왔다기보다는 종자를 둘러싼 정치경제학적 역학관계에 중요한 변화를 야기하였던 것이다. 즉, 이른바 과학적 육종법은 전통적으로 농민들이 이용했던 집단선택 방법의 가능성을 잠식하고 이전까지는 종자개량에 동참해 왔던 농민의 활동을 원천적으로 봉쇄함으로써 종자산업의 독점체제를 유지할 수 있게 되었다는 것이다.¹⁶⁾

5. 잡종 옥수수 개발로 본 미국 연구개발의 단면

1924년에 월래스는 존스와 미국 농무부의 리키(F. D. Richey)로부터 받은 두 가지 동계교배종으로 만든 잡종 옥수수 Copper Cross로 인하여 옥수수 쇼에서 금상을 수상하였다. 월래스는 Copper Cross 잡종의 독점적 사용과 관련하여 아이오와 종자회사(Iowa Seed Company)와 관련 계약을 맺었으며, 이 잡종은 최우량 종자로 널리 선전되었다. 잡종 옥수수의 상업적 가치가 증대하자 옥수수 개량종에 관심이 있는 개인에서부터 잡종 옥수수를 생산은 물론 시장화할 수 있는 능력을 지닌 종자산업체에 이르기까지 우후죽순처럼 잡종 옥수수 종자 개량에 뛰어들었다. 잡종 옥수수가 종자산업을 활성화하는 촉진요인이 되자 잡종 옥수수 시장이 형성되기 시작되었으며, 다양한 종자산업체 중에서도 특히 일리노이 주의 핑크 브라더스사는 잡종 옥수수를 상품화하는 데 적극적이었다.

17)

16) Kloppenberg, p. 101.

17) Kloppenberg, p. 105; Fitzgerald, 5장 참고.

잡종 옥수수 종자 개발의 결과를 두고 바라본 미국 종묘산업과 과학(식물육종)의 관계는 미국 과학 연구개발 체제 패턴의 중요한 한 단면을 보여준다는 것이 필자의 생각이다. 즉, 20세기 미국 과학의 연구개발 역사와 과학의 발전과정을 이해할 때 자주 등장하는 역사적 딜레마로 순수기초과학과 응용과학의 진흥에 내재하는 대립의 구도를 들 수 있다. 전통적인 사학사적 관점에 따르면, 공화국 태동 이후 미국 과학의 특징에는 순수기초과학에 대한 과학자 집단의 무관심한 멘탈리티와 실용성을 지향하는 학문적 성향이 중요한 요인으로 작용하여 순수 및 기초과학 연구의 수행을 경시하는 경향이 있다는 것이었다. 그러나 이러한 도식적인 대립의 구도는 다음과 같은 사실에 의해 비판의 소지를 지닌다. 19세기 중반 존스홉킨스 대학을 위시한 연구중심대학의 발흥, 정부산하 연구소들 및 산업체 소속 산업과학연구소들이 자리 잡는 과정을 통해, 미국과학자들은 과학의 전문화라는 자신들의 지향점과 과학의 실용적 효과를 기대하는 대중의 이해관계에의 부합 사이에서 조화를 모색하였던 것이다.¹⁸⁾ 바로 이런 역사적 역동성이 잡종 옥수수 종자 개량을 통한 과학적 농업을 추구했던 미국의 연구개발 활동에서도 여실히 드러나고 있는 점은, 바로 역사가들이 무시로 일관해온 미국 연구개발 패턴의 한 단면을 보여주고 있다. 연구개발은 그 분야와 시기별로 다양한 형태와 목적 추구를 보여주지만, 잡종 옥수수 종자의 탄생에 나타난 연구개발의 의미는 미국과학의 역사적 딜레마인 순수기초과학과 응용과학의 양극화 모델을 극복한 산·학·연 공생체제의 미묘하면서도 역동적인 협력관계를 보여주는 실례라고 할 수 있다.

보다 구체적인 이해를 위해, 잡종 옥수수 개발 사례로 돌아가 보자. 20세기 초에 들어 옥수수 생산량의 감소가 뚜렷해지자, 대학, 정부 연구소, 민간 종자산업체의 유전학자들은 옥수수 종자개량을 둘러싼 육종과학의 신지식과 실용적 문제의 연구에 깊이 간여하게 되었다. 이들 산·학·연 연구 네트워크가 작용하는 메카니즘을 자세하게 살펴보면, 농업분야 연구개발 체제의 특성에 대한 새로운 조명과 시각을 얻을 수 있으리라 본다. 연구개발 R&D(Research and Development)의 개념은 과학기술사에서 보편적인 언어로 정착되었지만, 과학사학자 및 과학정책학자들은 “일관작업열”(assembly line) 모델에 의존해 온 경향이 있다. 일관작업열 모델에 따르면, 그 어떤 연구개발 프로젝트든지 순수기초과학 분야의 연구에서 출발하여 발명-응용개발-생산-마케팅으로

18) 각주 3)을 참고; George Daniels, "The Pure-Science Ideal and Democratic Culture", *Science* 156(1967), pp. 1699-1705; Nathan Reingold, "American Indifference to Basic Research: A Reappraisal", in ed., George H. Daniels, *Nineteenth-Century American Science: A Reappraisal* (Evanston: Northwestern Univ. Press, 1972), pp. 38-62.

연결되는 일련의 과정에서 이루어지기 마련이며, 학자들은 이 모델을 연구개발 역사적 발달을 이해하는 이론적 준거로 이용해 왔다.¹⁹⁾ 그러나 최근 들어 일관작업열 모델이 표방하는, 응용개발의 기반을 순수기초과학 분야의 선행적인 연구로 한정하는 경향은 연구개발 발달 패턴의 복잡성을 이해하는 데 걸림돌이라는 비판이 제기되고 있다. 잡종 옥수수 종자 개발의 경우, 잡종강세의 개념은 잡종 옥수수의 개량종 또는 다른 작물(예를 들어, 밀)의 잡종 종자 개발로 나아가는 여지를 제공하며 또는 역으로 새로운 종자개발은 육종과학에 공헌할 수 있는 신개념의 발견으로 이어지는 등 연구와 응용개발 양 국면은 서로 상보적으로 연결되어 상호유도 되면서 전개된다는 것을 알 수 있다. 물론, 대부분의 연구개발 프로젝트가 응용개발의 영역에 치중한 성향이 있지만, 연구와 응용간의 경계가 배타적으로 구분되는 것이 아니라 양립가능하다는 관점의 균형적인 시각 속에서 농업 분야의 연구개발 체제의 의미를 이해할 수 있다는 것이다.

그렇다면 과연 어떤 맥락에서, 잡종 옥수수 개량종의 발전은 전통적인 의미의 연구개발 패턴을 뛰어 넘었다고 주장될 수 있는 것일까? 필자는 옥수수 잡종 연구개발을 둘러싼 종자산업체들의 대응에 대한 클로펜버그와 피츠제랄드의 분석을 재조명하는 한편으로, 그들이 간과했던 점을 부각시킴으로써 농업과학 분야 연구개발 체제에 대한 또다른 시각의 가능성을 개진하고자 한다. 상술한 바와 같이, 대학과 연구소의 술과 존슨이 각각 잡종강세의 개념에 근거한 단교잡과 복교잡 육종법을 제시했을 때, 그 파급효과는 즉각적으로 나타났다. 특히 종자산업체들의 반응은 민감했다. 사실 이때까지만 해도, 종자산업체들의 역할은 정부지원 하에 공공 연구소의 과학자들이 개발해낸 변종을 직접 생산해내는 것에 국한되어 있었는데, 이러한 종속적인 상황이 종자업체들의 입장에서는 큰 문제가 되었다. 즉, 종자산업체가 공공 연구소에 의해 일반 대중에게 이미 공개된 종자에 의존하는 한, 그 상업적 이익은 뚜렷한 한계를 지녔던 것이다. 이런 문제를 해결하기 위하여 종자산업체들은 일반인들에게 비공개된 시장성 있는 독특한 우량종자의 연구개발에 매진할 수밖에 없었다. 그러나, 종자산업체의 입장에서 볼 때 연구분야에의 직접 매진 혹은 지원은 커다란 위험을 수반하는 무모한 투자일 수 있었으며 더구나 정부의 공공 연구소나 대학이 수행하는 연구의 규모에 비추어 볼 때 경쟁력 또한 없어

19) George Wise, "Science and Technology", in Sally G. Kohlstedt and Margaret W. Rossiter, *Historical Writing on American Science: Perspectives and Prospects* (Baltimore: Johns Hopkins Univ. Press, 1986), pp. 229-246.

보였다. 직접적인 연구의 필요성에 대한 둔감함과 연구 지원의 비용이성으로 인해 종자산업체는 시중에서 널리 퍼져 있던 잡종 옥수수의 다양한 에이리어스(가명)를 사용하였다. 이런 편법으로 인한 폐단을 막기 위하여, 실상은 동일한 식물 변종에 대해 다양한 이름의 상표를 등록하는 행위에 대한 규제를 강화하는 연방종자법(Federal Seed Act)이 공포, 시행되었다. 이에 대해 종자산업체가 심한 반발을 나타냄으로써 종자산업체와 공공 연구소와의 관계가 점점 더 불편해졌음은 물론 심지어 적대적인 국면에까지 이르게 되었다. 이런 혼란 속에서 농민들을 종자산업체의 공격적인 시장정책으로부터 보호하기 위하여 몇몇 주들은 식물종자의 인증등록제를 시행하기도 하였다.

이렇듯 잡종 옥수수를 둘러싼 경제적 이해관계가 복잡해지자, 종래의 종자산업체의 대응도 바뀌어가고 있었다. 종자산업체의 새로운 전략의 하나는 잡종 옥수수 개량종에 대한 연구개발의 분업을 시도하는 것이었다. 즉, 공공 연구소와 대학은 종자개발을 위한 연구 분야에만 주력하며 종자산업체는 이렇게 개발된 종자의 상업적 활용에만 초점을 맞추자는 것이다. 마찬가지로, 공공 연구소 역시 식물종자의 상용화 과제를 사적영역에 속하는 종자산업체의 소관으로 이양하고 스스로는 연구분야에만 주력한다는 것이었다. 또한 연구개발의 분업이 아닌 통합적 모색을 추구할 경우에도 종자산업체는 연구계약을 맺은 대학의 전문과학자들의 연구결과에 의존하고 자신들은 그 결과의 활용에만 주력하는 것이었다.²⁰⁾ 클로펜버그의 이러한 분석에 따르면, 이와 같은 대학/연구소 대 종자산업체간의 과학연구의 분업은 종자산업체가 추진했던 종자의 상용화 전략과 맞물려 진행되었다는 것이다. 식물육종에 관련된 과학자들이 유전학의 전문성과 그 위상의 강화를 위하여 비전문적 농민들의 경험적 지식을 육종 프로그램으로부터 배제하였을 뿐 아니라, 일단 종자업체들이 종자의 상용화 과정에 깊이 관여하게 되는 구도 하에서는 정부 및 대학의 과학자들의 연구결과가 모든 농민들에게 보급될 수 없게 되었다. 이런 구조 속에서 전통적으로 수행해오던 농민들 사이에서 종자의 자유로운 교환 활동이 사라졌을 뿐 아니라, 과학적 육종의 혜택으로 등장한 잡종 옥수수 때문에 농민들은 종자의 개량, 교환 및 유통으로부터 철저히 배제 당하게 되었던 것이다.

한편, 대규모 종자산업체들의 대응책이 피츠제랄드의 분석에서는 보다 복잡한 양상을 드러낸다. 클로펜버그의 분석과는 달리, 그녀의 분석에서 종자산업체들의 전략이란 옥수수 개량종의 개발을 위해 종자산업체들이

20) Kloppenberg, pp. 105-108.

대학에서 전문교육을 받은 신세대 농업과학자들과의 제휴를 통해 달성하는 것이었다. 1930년대를 통하여 종자업체들은 대학의 농업실험소의 유전학 프로그램, 특히 육종과 관련한 기초연구에 대한 지원을 강화하였는데, 이는 그들이 농업실험소의 과학자들로부터 순계종자를 확보하거나 자문을 얻고자 하였기 때문이었다. 게다가, 농민들이 잡종 옥수수 종자를 수확할 수 없는 처지가 됨에 따라서 종자산업의 시장이 상당히 커져 버렸을 때, 핑크 브라더스사와 같은 대규모 종자산업체의 이러한 전략은 더욱 두드러졌다. 특히, 이들 종자산업체들은 필드에서 연구하고 있었던 과학자들과 제휴하기 위하여 그들에게 옥수수 육종과 관련된 연구에 필요한 각종 농장시설과 실험용 경지와 같은 편의를 제공해 주었다. 정부 연구소 또는 대학의 과학자들의 입장에서는 이런 제휴가 매우 의미가 있었다. 왜냐하면 일반적으로 과학자들은 순수 연구 이외에도 농민들을 위한 종자 테스트 등의 잡무를 수행하고 있었던 터라 종자산업체들과의 제휴는 그들로 하여금 식물육종의 연구에만 전념할 수 있도록 해 주었던 것이다. 따라서 대규모 종자산업체와 대학의 농업실험소 등과의 제휴는 결국 종자 개량의 주도권이 공적 영역으로부터 사적영역으로 자연스럽게 이행되는 것을 의미하게 되었다. 그리고 결국에는 농업실험소의 과학자들 역시 종자산업체와의 제휴로부터 많은 것을 잃어버리게 되었다. 즉, 1930년대 잡종 옥수수 종자가 중요한 상품으로 등장하게 되자, 종자산업체들은 순계 종자나 잡종 종자 개발의 독점을 위하여 공공 영역의 과학자의 참여를 배제하려고 애를 썼다. 예를 들어 일찍이 정부 연구소와 대학과의 제휴를 통해 연구개발 역량을 강화한 바 있던 핑크 브라더스사와 같은 업체는 이제는 역으로 대학이나 농업실험소의 과학자들과의 연계를 기피하는 한편으로 자체적으로 전문 과학자들을 고용하여 잡종 옥수수 종자의 연구개발에 주력함으로써 종자 개량의 주도권을 확실히 장악하였다.²¹⁾ 뿐만 아니라 새로운 개량종에 관한 정보를 일반 대중에 공개하지 않았을 뿐만 아니라 종전에 정부 연구소 및 농업실험소

21) 기업이 과학계의 발전에 공헌한 사례는 19세기 후반에 특히 두드러지게 나타난다. 19세기말부터 미국 경제의 부상에 힘입어 미국의 대기업이 사내 산업과학연구소를 세워 과학자와 공학자를 고용하여 발명 및 특허 개발 등의 연구개발에 주력함으로써 기초과학에 대한 지원이 새로운 국면을 맞이하게 되었다. GE(General Electric) 산업과학연구소 소속 어빙 랭뮤어(Irving Langmuir)가 노벨 화학상을 수상하게 된 것은 GE가 기초과학연구와 응용기술개발을 적절하게 병행하여 지원한 결과였던 것이다. GE 산과연의 역할에 대해서는 George Wise, "A New Role for Professional Scientists in Industry: Industrial Research at General Electric, 1900-1916", *Technology and Culture*, 21 (1980), pp. 408-429를 참조할 것이며, 바로 이와 같은 산업과 과학의 결합의 장이 활발히 이루어진 20세기 초의 사회적 배경이 종자산업체의 연구개발에 긍정적인 요인으로 작용했음을 추론할 수 있다.

과학자들이 수행하던 종자의 질 테스트까지 떠맡으려고 하였다. 이런 상황에서 필드에 있던 공공 연구소의 과학자들이나 육종전문가들은 더 이상 시장에 나와 있는 옥수수 변종품에 대한 사용 및 메리트에 대한 자문을 줄 수 없게 되었고, 농민들 역시 개량종에 대한 과학적 자문을 대학의 전문과학자들이 아니라 대규모 종자산업체에 의뢰할 수밖에 없었다.²²⁾

피츠제랄드의 분석은 다소 극단적인 면을 보이는 듯하다. 왜냐하면 대학이나 정부의 지원을 받았던 농업실험소 및 연구소의 과학자들이 우선적으로 섬겨야 할 농민보다도 기업의 이윤 증대를 목적으로 하는 종자산업체의 필요에 부응한다는 것은 그들 기관의 제도적인 목적에 부합되지 않았을 것이기 때문이다. 대규모 종자산업체가 잡종 옥수수 종자 개발상의 혁신을 위해 행한 전투적인 연구비 지원이라든지 또는 종자개발에 대한 종자산업체의 주도권 장악책에 밀려 정부나 대학의 과학자들이 단순한 방관자로 전락한다는 피츠제랄드의 해석이나,²³⁾ 이른바 과학의 힘을 빌린 잡종 옥수수 종자 개발로부터 소외된 농민들이 종자산업체의 통제에 따라 종자를 불가피하게 구매할 수밖에 없는 수요자의 입장으로 전락해야만 한다는 클로펜버그의 해석 모두 결국은 실제 필드에서 행해지는 복잡한 활동을 간과하고 있는 약점을 드러낸다.

최근 과학사학자들의 관심을 끌고 있는 필드 과학(field science)에 관한 문헌들이 보여주듯, 필드 과학은 일반적으로 실험실 과학과는 색다른 활동을 전개한다. 필드와 같은 공적인 공간에서 과학을 수행하는 과학자들은 필드에서 일어난 구체적인 과학연구 문제를 규명해야 했을 뿐 아니라 필드에 존재하고 있는 다양한 사회적 이해관계와의 대립과 조정을 위한 전략 구사가 그들 활동의 중요한 일환으로 행해졌다.²⁴⁾ 잡종 옥수수 종자의 연구개발과 보급의 확산은 미국 농업을 보다 과학적이고 생산적인 활동으로 변화시키는 데 있어 대학 및 정부 연구소 그리고 민간기업이 함께 연관된 중요한 사례지만, 필드에서 연구소나 대학의 과학자들, 종자산업체, 농민들이 보여주는 각각의 이해관계와

22) Fitzgerald, pp. 103-169.

23) 대학 또는 연구소 소속의 과학자들이 기업의 이윤창출 활동에 참여하는 과정에 가해진 한계와 제약에 대한 역사적 분석은 James Hightower, *Hard Tomatoes, Hard Times* (Cambridge: Schenkman Books, 1978), pp. 138-139를 참조할 것.

24) Henrika Kuklick and Robert Kohler, "Science in the Field", *Osisis*, 2d S. 11 (1996), pp. 1-14; Christopher R. Henke, "Making a Place for Science: The Field Trial", *Social Studies of Science* 30, no 4 (2000), pp. 483-511; Hae-Gyung Geong, "Exerting Control: Biology and Bureaucracy in the Development of American Entomology" (Ph. D. diss.: Univ. of Wisconsin at Madison, 1999), 4-6장 참조.

동기는 서로 다르게 나타났다. 우선, 대학과 정부산하 연구소의 과학자들은 잡종 종자만이 옥수수의 증산을 가져다 올 수 있는 새로운 변종에 대한 농민들의 욕구를 가장 잘 충족시키는 것이라고 보았다. 그리고 이들 과학자들은 유전학자로서 내적인 과학적 욕구의 발로에 의해 농업유전학의 위상을 강화하기 위하여 기초과학 영역의 분야를 강화하는 총체적인 노력을 기울이는 한편으로, 공직의 입장에서 그들은 과학의 실용적 효과를 기대하는 대중의 이해관계를 저버릴 수 없었다. 그래서 그들은 종자의 상용화 개발 부분을 슬그머니 종자산업체로 이관하는 유연성도 발휘했지만, 동시에 종자 개발이라는 구체적인 문제의 해결에도 직접적으로 뛰어들어야 했을 것이다. 단적으로 말하면, 대학과 정부 연구소의 과학자들은 농업유전학의 과학적 자율성과 정체성을 수호하는 어젠다와 동시에 옥수수 증산이라는 실용적인 문제 해결을 위한 어젠다까지 고려해야 하는 복잡한 상황에 놓여 있었다.

잡종 옥수수 개량종 개발 프로그램의 성공은 논리적 육종기술의 변화 때문이 아니라고 할 때, 또 하나의 요인으로는 종자산업체의 사회적·경제적 전략을 들 수 있음은 물론이다. 보다 구체적으로 말하자면, 공공 연구소와 대학 농업실험소의 과학자들이 연구에 보다 주력하게 되었을 때, 종자산업체는 다분히 경제적 인센티브에 의해 전문과학자들과의 연구협력을 유지하고자 이들의 고용과 육종 프로그램을 지원했던 것이었다. 그렇다고 피츠제럴드의 경우처럼, 종자산업체가 잡종 개량종 연구개발의 주도권의 패권을 장악했다고 하여 대학이나 정부 연구소의 역할이 미약했다고 주장한다면 이는 복잡하게 진행되는 연구개발 형태의 복잡한 단면을 다소 간과한 것이라고 볼 수 있다. 예를 들어, 클로펜버그와 피츠제럴드가 공히 비중을 할애하지 않았던, 필드에서 일반 육종가나 농민들의 존재도 결코 무시할 수 없는 요소이다. 옥수수 종자개발과 관련해서 볼 때, 이들로서는 전문적 과학지식을 요구하는 잡종 옥수수 종자 개발은 불가능했지만, 대신 옥수수 경작의 전통적 개체(집단)선택 방법이 여전히 필드에서 활용되었던 것이다. 또한 많은 농민들은 스스로 파종하고 수확한 종자를 활용하였고, 아마 경제적 비용 때문에 종자구입이 쉽사리 용이하지 않을 수도 있었을 것이다. 이를 앞서 언급한 대학과 정부 연구소의 과학자들의 동시적인 어젠다들과 결부시켜 볼 때, 종자업체간의 제휴에도 불구하고 정부의 지원과 직간접적인 통제 하에 있는 그들, 특히 정부 연구소의 과학자들에게 여전히 농민은 결코 외면할 수 없는 대상으로 남아 있었던 것이다. 이러한 선상에서 행해진 과학자들의 순수기초연구와 응용개발간의 병행 내지는 조화를 보여주는 기록들이 바로 필드 과학의

문헌들이며, 그것에 바로 클로펜버그나 피츠제럴드가 간과했던 사실이기도 하다.

결국, 잡종 옥수수 종자 개량과 발전은 클로펜버그나 피츠제럴드가 분석하는 것보다도 다각적으로 바라보아야 할 필요가 있다. 대학이나 정부의 지원을 받았던 농업실험소 및 연구소의 과학자들은 기업의 이윤 증대를 목적으로 하는 종자산업체의 활동에 참여하면서도 그들 기관의 제도적인 목적을 버릴 수 있는 입장은 아니었고, 그들의 이중적인 어젠다와 필드에서의 활동에 주목한다면 공공 과학자들과 종자산업체간의 제휴와 종자산업체의 위상 강화로 대변되는 일련의 과정들은 양측이 서로 다른 목적에서 출발하였으나 결국에는 순수기초연구와 응용개발의 병행이라는 유사한 결론에 이르게 되는 흥미로운 과정 이상은 아닐 수 있기 때문이다. 이는 공익을 추구하는 정부의 연구소와 대학 농업실험소의 과학자들은 옥수수 재배 농민층의 옥수수 증산을 위하여, 종자산업체들은 상업적 이익의 추구를 위하여 서로 다른 차원에서, 각자가 경쟁적으로 개량종의 연구와 개발에 주력함으로써 때로는 상보적인 공생을 위하여 때로는 상호간에 내재하는 대립의 조정을 통해서, 각각 연구기관의 제도적인 목적과 속성에 맞추어 새로운 잡종 옥수수 개량종의 발달에 필요한 순수기초연구와 응용개발간의 조화가 이루어졌다고 볼 수 있는 것이다.

6. 에필로그: 식물특허, 생명공학 및 연구개발

20세기 농업과학 분야의 개가인 잡종 옥수수 종자개량의 발전사는 다음과 같은 측면에서 오늘날 생명공학의 밑거름이 될 연구개발 체제 구축에 중요한 시사점을 던진다. 잡종 옥수수 개량종 탄생은 새로운 종자의 소유권과 독점을 통한 상업적 이익을 확보하기 위한 방법으로서의 종자 특허의 이슈를 가시화시켰다. 복교배 육종법을 고안했던 존스가 그 지적 소유권에 집착한 나머지 특허출원을 요구하고 실패로 끝났던 것에서도 알 수 있듯이, 식물육종가들의 특허출원과 취득이 중요한 이슈로 등장하였다. 1930년대 잡종강세의 개념이 규명된 후 그 성질을 이용한 육종과학은 종자의 상품화로 나아가는 첩경이 될 수 있었지만, 모든 작물에 대하여 잡종강세의 성질을 가진 잡종 개량종을 만들 수 있는 것은 아니었다. 생물특허 제도의 역사는 잡종 옥수수 종자가 개발되었던 1930년대 미국의 식물특허법에서 시작되었지만 별 실효를 거두지 못하였고, 1970년에서야 미국은 유럽의 선례를 따라

식물변종보호법(Plant Variety Protection Act)을 통과시켜 유성생식을 통한 신종자 개발에 대한 특허를 인정하였다. 이 법안은 동식물육종과 기타 농업관계 종사자 이외의 집단에서는 별 관심을 끌지 못했지만, 1980년에 개정된 법안에 의해 식물종자에 대한 완전한 소유권이 인정받게 되는 등 식물종자에 대한 특허권은 강화되는 추세에 있다.²⁵⁾

특히 이슈가 경제적 이익과 직결되는 바, 최근의 분자생물학과 생명공학 분야의 연구개발은 정부와 대학 및 기업으로부터의 엄청난 연구비의 지원을 받고 있다. 1953년 제임스 왓슨(James Watson)과 프랜시스 크릭(Francis Crick)이 생물의 유전적 구성과 그 변화를 설명하는 DNA 구조를 규명한 이후, 1973년 미국 스탠포드(Stanford) 대학의 스탠리 코언(Stanley Cohen)과 허버트 보이어(Herbert Boyer)에 의해 유전자 재조합 기술이 고안되었다. 이들은 처음으로 미생물의 DNA를 잘라 전혀 다른 미생물의 DNA에 붙여 넣어주어 그 생물의 특성을 바꿀 수 있었다. 이런 기술의 출현으로 생물복제 기술, DNA 칩 기술과 같은 믿을 수 없을 정도로 획기적인 성취가 가능해졌다. 유전자 조작 생물체가 녹색황금으로서 그 경제적 가치가 인정되자, 생명공학 분야는 대학, 정부 연구소 및 민간기업의 중심 연구 과제로 자리매김하였다. 최근 생명공학 분야의 새로운 이론과 발견이 초를 다투어 쏟아져 나오는 치열한 경쟁체제 하에서 연구 결과의 독점적 사용을 위해 특허출원의 중요성이 강조되고 있는 지금, 생명공학의 분야는 순수기초과학 연구와 응용개발의 양면성을 동시에 보여주는 연구개발 패턴을 보여주고 있다.²⁶⁾ 즉, 생명공학의 발달은 마치 과거 잡종 옥수수 종자의 등장과 발달의 주역이었던 대학, 정부의 연구소, 종자산업체 등 산·학·연의 연구개발의 상호연관성과 역동성을 재현하고 있다. 비슷하게, 생명공학 연구는 대학과 연구소의 중요한 연구과제로서 수행되고 있고, 기업 역시 자체적으로 연구프로그램을 운영하기도 하지만, 대학과 기업이 연구계약을 체결하여 기업의 경제적 지원 하에 대학이 연구개발을 수행하는 등 양자간의 협력과 결합이 두드러지는 양상을 보이고 있다. 그러나 기업은 종신직으로서의 안정적인 교수직을 가진 대학의 과학자를 쉽게 영입할 수는 없었지만, 대학의 학과에서 누릴 수 있는 동등한 연구의 자율성과 심지어 경영의 자유를 충분히 제공함으로써 대학의 과학자들을 유혹할 수 있었다. 1970년대 이후 생명공학 분야의 연구개발 체제의 두드러진 특성은 대학의 과학자들과 벤처 자본가의

25) Kloppenberg, pp. 130-151.

26) Susan Wright, "Recombinant DNA Technology and Its Social Transformation, 1972-1982", *Osiris* 2d S. 2 (1986), pp. 303-360.

자본이 결합하여 생명공학기업 출현을 낳았으며, 그 사례가 몇 년 사이에 백여 건에 이르렀다.²⁷⁾

생명공학은 그 활용과 관련하여 여러 가지 중요한 방식으로 사회전반을 변화시킬 잠재력을 지닌 신기술임에는 이미 의심의 여지가 없다. 그러나 그 뿐 아니라 생명공학은 그 호황을 뒷받침하는, 혹은 적어도 거기에 수반되는 연구개발 패턴 및 연구주체간의 관계에까지 파장을 미칠 충분한 개연성과 가능성을 보여주고 있으며, 그러한 추론을 뒷받침해 주는 유사성, 구체적으로 산·학·연의 연구개발의 상호연관성과 역동성의 역사적 실례이자 보고가 바로 잡종 옥수수 개발 사례인 것이다. 생명공학에서의 연구개발의 형태도 과거에 혁명적이었던 잡종 옥수수 개량종 발전에서처럼 연구 주체간의 역학적 구도, 산업구조, 산·학·연의 사회적 관계 및 특허에 따른 소유권 체계의 구도 등 다층적 차원에서 서로 다른 이해관계와 동기로부터 흘러나오는 대립과 협력의 양태를 완전히 혁명적으로 전환할 수 있는 가능성을 지닌 것일까?

27) 생명공학 벤처형 연구소로는 다음과 같은 것들이 있다. 1976년 샌프란시스코 소재 캘리포니아 대학의 허버트 보이에(Herbert Boye)와 벤처자본가 로버트 스완슨(Robert Swanson)은 제너테크(Genentech) 생명과학연구소를 세워 생물육종, 유전공학과 관련한 연구와 기술개발을 착수하였다. 농업과 관련한 생명공학기업의 유명한 예로는 Agrigenetics, DNA Plant Technology Corp., Hybritech, Molecule Genetics, Calgene, 그리고 Repligen 등이 있다. 그 중에서도 Cetus Corporation은 월가(Wall street) 증권가에 상장되는 기업이 되었다. Paul Rabinow, *Making PCR: A Story of Biotechnology* (Chicago: Univ. of Chicago Press, 1996), 1장 참고.