

아서 콘버그(Arthur Kornberg)의 DNA 연구 제도화와 공동체적 구조의 건설

이두갑 (서울대학교)

들어가며

아서 콘버그(Arthur Kornberg, 1918-2007)는 20세기 후반 생화학과 분자 생물학의 발전에 지대한 공헌을 한 과학자이다. 그는 생명현상을 관장하는 중심 분자(master molecule)인 DNA의 화학적 합성을 가능하게 해 주는 DNA 중합효소(DNA polymerase)를 발견하여 분자 수준의 유전현상 연구에 커다란 기여를 했다.¹⁾ 1959년 노벨상 위원회는 그의 이러한 공로를 인정하여 노벨상을 수여했다. 1967년 콘버그는 실험실에서 생물학적으로 활성화된 바이러스 DNA를 인공적으로 합성하는 데 처음으로 성공했다.²⁾ 각종 언론에서는 그의 이러한 실험이 “시험관에서 생명을 창조(creation of life in a test tube)”한 것이라며 크게 보도했다. 당시 미국의 린든 존슨(Lyndon B. Johnson) 대통령은 콘버그의 실험이 근래 들어 가장 성공적이고 중요한 과학적 성취이며 콘버그와 같이 생명현상에 대한 분자생물학적 이해와 조작을 추구하는 생화학, 분자생물학자들이야말로 20세기 후반 각종 질병의 성공적 치유를 가져다주는 데 커다란 역할을 할 것이라 칭송했다.³⁾

투고 2013년 4월 8일. 심사 및 게재확정 2013년 8월 15일.

- 1) Robert I. Lehman, Maurice J. Bessman, Ernest Simms, and Arthur Kornberg. “Enzymatic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid. I. Preparation of Substrates and Partial Purification of an Enzyme from *Escherichia coli*,” *Journal of Biological Chemistry* 233 (1958), pp. 163-170; Arthur Kornberg, “Biologic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid,” *Science* 131 (1960), pp. 1503-1508.
- 2) Mehran Goulian and Arthur Kornberg, “Enzymatic Synthesis of DNA. XXIII. Synthesis of Circular Replicative Form of Phage [Phi] X174 DNA,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 58 (1967), pp. 1723-1730.

콘버그가 DNA에 대한 생화학적 연구를 본격적으로 행하던 1940-50년대에는 DNA가 유전현상을 관장하며 유전현상에서 가장 중요한 역할을 하는 유전정보를 지닌 분자라는 것이 입증되었다. 뿐만 아니라 DNA의 이중나선 구조(double-helical structure)가 밝혀지면서 많은 분자생물학자들이 DNA가 지닌 유전정보의 전달과 발현에 대한 실험적 탐구를 통해서 다양한 종류의 생명현상을 분자적 수준에서 이해하고 그것의 의학적 이용들에 대해 탐색하기 시작했다.⁴⁾ 2차 대전 당시의 페니실린 개발과 같은 ‘의학적 기적’을 목도한 과학정책가들과 정부 관료들, 그리고 시민단체들은 이러한 분자생물학 영역에서의 혁명적인 발전에 대한 지원을 늘린다면 이들 생물학자들의 실험실에서 또 다른 의학적 기적이 나타날 수 있을 것이라 믿기 시작했다.⁵⁾ 이에 미 연방정부는 2차 대전 이후 국립보건원(National Institutes of Health)과 같은 연구기관을 통해 분자생물학, 유전학, 생화학 등 관련 학문을 본격적으로 지원하기 시작했다. 생의학 연구지원의 본격적 증대가 이루어지면서 많은 대학의 행정가들과 학자들은 새로운 분자생물학 분야의 제도화를 경쟁적으로 추구하기 시작했다.⁶⁾

이 글은 과학자로서의 콘버그의 또 다른 측면, 즉 그가 어떻게 여러 대학들이 경쟁적으로 분자생물학의 제도화를 추구했던 전후에 DNA 연구를 중점에 둔 생물학 연구공동체를 설립했는지를 살펴볼 것이다. 보다 중요하게 콘버그는 당시 매우 경쟁적이었던 분자생물학계에서 ‘열린’ 지적 공동체로서 독특한 공유의 실험실 문화를 제도화함으로써 이 공동체가 매우 창의적인 실험 공동체로 성장하는 데 기여했다.⁷⁾ 이 글은 콘버그의 과학적 성취와

3) Lyndon B. Johnson, Presidential Address at the Smithsonian Institute, December 14, 1967. 존슨의 발언은 다음과 같다. “Some geniuses at Stanford University have created life in the test tube!”

4) 분자생물학의 역사에 대한 좋은 개관으로는 다음을 참조할 수 있다. Michel Morange, *A History of Molecular Biology* (Cambridge: Harvard University Press, 2000)

5) Robert Bud, *Penicillin: Triumph and Tragedy* (Oxford: Oxford University Press, 2007).

6) Angela N. H. Creager, “Mobilizing Biomedicine: Virus Research between Lay Health Organizations and the U.S. Federal Government, 1935-1955,” Caroline Hanaway, ed., *Biomedicine in the Twentieth Century: Practices, Policies, and Politics* (Amsterdam: IOS Press, 2008), pp. 171-201.

7) 당시 격화되고 있었던 분자생물학계의 경쟁에 대한 회고로는 다음을 참조하라. James D. Watson, *The Double Helix: a Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (New York: Atheneum, 1968)

그가 설립한 학과들의 제도적 정착과 성공이 그가 지닌 과학 활동에 대한 공동체적 접근법과 과학 활동에서의 창의성에 대한 독특한 인식에 기반하고 있음을 지적할 것이다. 일례로 그는 DNA 중심의 연구를 제도화시켜 DNA에 관한 실험에 필요한 여러 시약, 효소, 기기들을 공유하기 시작하며 이러한 실험실 문화가 경제적으로도 이득일 뿐만 아니라 이러한 물질의 공유와 이에 수반된 지식의 교류가 과학적 활동에도 유익하다는 생각을 발전시켜 나갔다. 콘버그와 그의 학과 동료들은 실험실 생활에서 과학적 아이디어와 실험기법, 그리고 물질의 교환과 소유에 대한 공유라는 독특한 관습(customs)을 발전시키며 이에 기반을 둔 실험실 물질문화(material culture)를 제도화시켰던 것이다. 콘버그의 DNA 연구공동체에서 이러한 물질문화의 정착은 과학 활동에서의 아이디어와 물질의 교환(exchange)과 소유, 그리고 과학적 기여의 인정(credit)에 관한 독특한 도덕경제(moral economy)의 정착과 발전을 가져왔다.⁸⁾ 그리고 이러한 공유의 도덕경제는 생화학과 분자생물학에서의 새로운 발견과 연구비를 둘러싸고 과학자 개개인들뿐만 아니라 각 대학과 학과들 간에 치열하게 경쟁을 벌이던 시기, 그가 “공동체적 구조”라고 지칭한 과학 활동 방식과 학과를 제도화시키며 탁월한 생화학 연구공동체의 건설을 가능하게 했다.

생화학자로서의 콘버그의 성장

콘버그는 1918년 3월 3일 뉴욕시의 브루클린에서 철물점을 운영하던 유

8) 도덕경제(moral economy)라는 개념은 18세기 영국의 농민반란을 분석한 역사학자 에드워드 톰슨(Edward P. Thompson)에 의해 사용되기 시작했다. Edward P. Thompson, “The Moral Economy of the English Crowd in the Eighteenth Century,” *Past and Present* 50 (1971), pp. 76-136. 과학사학자들은 물질문화와 도덕경제에 대한 분석을 통해 독특한 실험실의 문화뿐만이 아니라 실험활동의 문화적, 정치적, 경제적 의미들을 연구해왔다. 대표적인 예들로는 다음을 참조할 수 있다. Steven Shapin and Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton: Princeton University Press, 1989); Robert E. Kohler, *Lords of the Fly: Drosophila Genetics and the Experimental Life* (Chicago: The University of Chicago Press, 1994); Lorraine Daston, “The Moral Economy of Science,” *Osiris* 10 (1995), pp. 3-24.

태인 부모하에 태어났다. 교육열이 무척이나 컸으며 사회주의에 큰 영향을 받은 유태인 동네에서 자란 그는 과학에 큰 소질을 보여 15살에 뉴욕시립대(City College of New York)에 입학하였다. 당시 뉴욕시립대는 가난하지만 성공을 갈망하는 야심찬 이민자들의 자제들에게 수준 높은 교육을 거의 무상으로 제공했으며 후에 과학과 예술, 인문학 분야를 이끄는 여러 걸출한 학자들을 배출했다. 과학의 경우만 보아도 1937년 콘버그와 함께 대학을 졸업한 동기들 중에 콘버그 이외에도 두 명이나 더 노벨상 수상자가 있을 정도였다.⁹⁾ 콘버그는 유태인의 의과대학 입학에 잘 허용하지 않았던 시대임에도 불구하고 대학 졸업 후에 로체스터대학(University of Rochester)의 의과대학에 진학했다(당시 로체스터 의과대학은 매해 두 명 이상의 유태인의 입학을 허용하지 않았는데 그가 입학을 허가받은 2명의 유태인 중 한 명이었다).

1941년 의학박사학위를 취득한 그는 졸업 후 임상 의사로서 개업의의 길을 걷기보다는 기초의학연구의 길을 선택하려고 했다. 이에 콘버그는 자신의 기초의학연구를 지원해줄 수 있는 여러 장학금 프로그램들에 연구계획서를 보냈지만 그의 연구를 지원해주는 곳은 한 곳도 없었다. 콘버그는 자신이 과학자로 성공한 후에도 반유대주의(anti-semitism) 때문에 의대 졸업후 연구자금과 기회를 얻지 못했다고 회고했다.¹⁰⁾ 그렇지만 졸업 후 해군에 입대해서 의사로 일하고 있던 그에게 연구자의 길을 걸을 수 있는 기회가 찾아왔다. 당시 여러 분야의 생물학 및 의학 연구프로그램을 새롭게 설립하면서 급격히 성장하고 있던 미국 국립보건원의 원장이었던 롤라 다이어(Rolla Dyer)가 우연히 콘버그가 쓴 논문을 읽고 그를 국립보건원의 연구원으로 초빙하였던 것이다. 콘버그는 흔쾌히 이러한 초청을 받아들여 1942년부터 국립보건원의 연구원 생활을 시작했다.

그 후 콘버그는 10여 년간 국립보건원에서 받은 훈련과 연구경험을 통해 과학자로서 커다란 성장을 하게 되었다. 기초 및 임상의학에 대한 훈련을 충분히 받지 않은 의학박사였던 그는 당시 급격하게 발전하고 있던 생화학적 연구를 접할 기회가 그다지 많지 않았다. 하지만 그의 재능을 간파한 국립보

9) 1937년 콘버그의 뉴욕시립대 동기로 노벨상을 수상한 학자는 Herbert A. Hauptman와 Jerome Karle이다.

10) Arthur Kornberg, "Biochemistry at Stanford, Biotechnology at DNAX," an oral history conducted in 1997 by Sally Smith Hughes, Regional Oral History Office. The Bancroft Library, University of California, Berkeley, 1998.

건원 원장은 그에게 2차 세계대전으로 관련 수요가 커지고 있던 생화학 분야인 비타민 관련 영양학 연구를 해 볼 것을 권했다. 국립보건원 영양학 분야의 윌리엄 세브렐(William Henry Sebrell, Jr.)은 콘버그에게 영양학 연구에 필요한 훈련과 지원을 지속적으로 제공해주었다. 세브렐은 우선 콘버그에게 뉴욕대학(New York University)의 저명한 생화학자였던 세베로 오초아(Severo Ochoa)의 실험실에서 방문연구원으로 지내면서 영양학과 비타민에 대한 연구에 필수적인 여러 실험기술과 효소(enzyme)에 대한 여러 이론을 배울 것을 권했다. 뉴욕대학의 오초아는 여러 생화학 반응에서의 효소의 역할에 대한 최고의 전문가였으며 1959년 유전자 정보의 세포 내의 이전과 발현에 큰 역할을 하는 RNA 합성에 대한 공로로 노벨생리의학상을 수상했다.¹¹⁾ 콘버그는 이곳에서 효소와 핵산(nucleic acids) 관련 생화학 실험의 첨단 기술과 이론을 배울 수 있었다.

국립보건원에서의 생화학 제도화

국립보건원은 2차 세계대전 전후로 생물학과 의학 연구의 중심지로 부상하며 생화학 연구자로서의 콘버그의 성장에 필요한 지적, 제도적 토양을 마련해주었다. 1947년 가을 콘버그는 국립보건원의 실험생물학 및 의학연구소(Experimental Biology and Medicine Institute, 이하 EBMI)의 디렉터가 된 세브렐의 지원하에 EBMI 내의 생화학 및 영양학(Laboratory of Biochemistry and Nutrition) 실험실에 자신의 독립적인 효소 및 신진대사 연구섹션(Section on Enzymes and Metabolism)을 설립하며 독자적인 생화학 연구를 시작한다.¹²⁾ 그는 버나드 호레커(Bernard Horecker)와 리온 히펠(Leon Heppel)과 같은 신진 연구자들을 자신의 연구팀에 초대하여 초기 영양학적 연구에 한

11) María J. Santesmases, "Severo Ochoa and the Biomedical Sciences in Spain under Franco, 1959-1975," *Isis* 91 (2000), pp. 706-734. 콘버그는 DNA 합성에 대한 연구로 그와 함께 노벨상을 수상했다

12) 콘버그의 국립보건원에서의 연구활동에 대해서는 다음의 논문을 보라. Buhm Soon Park, "The Development of the Intramural Research Program at the National Institutes of Health after World War II," *Perspectives in Biology and Medicine* 46 (2003), pp. 383-402.

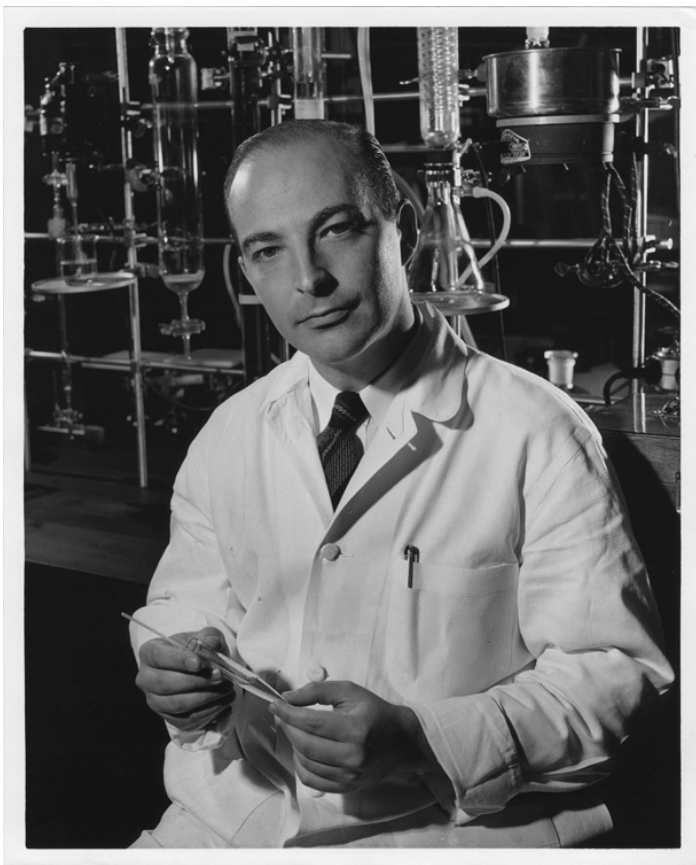


그림 1. 아서 콘버그(Arthur Kornberg). 국립보건원에서 콘버그는 생화학연구, 특히 DNA와 RNA와 같은 유전물질을 구성하는 핵산에 대한 생화학적 연구를 제도적으로 정착시키며 생화학자로 성장했다. 출처: National Library of Medicine, "Profiles in Science," Arthur Kornberg Papers

정되어 있던 자신의 연구 분야를 확장하면서 효소 중심의 생화학 연구를 국립보건원에 정착시켰다. 보다 구체적으로 그의 연구그룹은 세포 내에서 일어나는 각종 생화학 반응에 관여하는 효소들에 대한 연구를 발전시켜 나갔다. 1950년대 초반에 이르면 국립보건원 내의 콘버그 실험실은 이러한 지식과 실험들을 기반으로 분자생물학의 연구중심인 유전물질 DNA와 RNA를 구성하는 핵산에 관한 생화학적 실험과 연구의 중심지로 부상했다.¹³⁾

13) Maxine Singer, "Leon Heppel and the Early Days of RNA Biochemistry," *The*

콘버그는 자신의 국립보건원 실험실을 유전물질의 생화학적 연구 중심으로 발전시키면서 창의적인 과학 활동의 제도화와 발전에 과학자들 간의 활발한 정보 교류와 토론이 결정적인 역할을 한다는 믿음을 가지게 되었다. 일례로 그의 실험실 구성원들은 효소클럽(enzyme club)이라는 정기적 모임을 통해 국립보건원 내의 여러 연구자들과 관련된 연구를 토론할 뿐만 아니라 각종 실험방법들과 시약과 핵산 등 실험물질에 대한 정보를 공유할 수 있는 공간으로 활용했다.¹⁴⁾ 이러한 경험을 통해 콘버그와 그의 국립보건원 동료들은 창의적이고 독창적인 과학의 발전은 무엇보다 관련 문제를 여러 각도에서 분석하고 관련 정보와 실험 관련 물질들을 자유롭게 공유할 수 있는 열린 연구문화 속에서 발전해나가는 것이라는 견해를 지니게 되었던 것이다.

콘버그와 그 동료들은 이러한 연구문화를 실험실 내의 여러 기기와 시약, 실험생물들을 공유하는 물질문화로 정착시켜 나갔다. 생화학 실험의 기반이 되는 여러 시약과 실험 기구의 공유가 이의 한 예였다. 각종 생화학 물질을 보관했던 히펠의 냉장고들은 자주 ‘열린 냉장고’라 일컬어지며 콘버그의 실험실이 핵산에 관련된 실험의 중심으로 부상하는 데 큰 역할을 했다. 후에 히펠의 냉장고를 채우고 있었던 폴리뉴클레오타이드(polynucleotides)는 국립보건원의 연구원이었던 마셜 니렌버그(Marshall Nirenberg)와 하인리히 마테에이(J. Heinrich Matthaei)가 유전자의 염기서열을 분석해 유전자 코드를 처음으로 해독한 결정적 실험에 큰 도움을 주기도 했다.¹⁵⁾ 이러한 공유의 물질문화를 발전시키며 연구그룹을 이끌었던 콘버그의 국립보건원에서의 경험은 그가 이곳을 떠나 워싱턴대학(Washington University at St. Louis)과 후에 스탠포드대학(Stanford University)에서 자신의 연구그룹을 설립하고 그 성장을 이끄는 방식에 큰 영향을 미쳤다. 이런 맥락에서 그는 “나의 모교는 다른 어떤 대학보다도 국립보건원이라 할 수 있다(More than any university, NIH is my alma mater)”라고 회고하기도 했다.¹⁶⁾

Journal of Biological Chemistry 278 (2003), pp. 47351-47356.

14) Arthur Kornberg, *For the Love of Enzymes: the Odyssey of a Biochemist* (Cambridge: Harvard University Press, 1989).

15) 니렌버그와 마테에이는 유전자 코드의 해독(cracking of the genetic code)로 노벨상을 수상했다. Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life? A History of the Genetic Code* (Stanford: Stanford University Press, 2000).

16) Arthur Kornberg, “National Institutes of Health, Alma Mater,” *Science* 189 (1975), p.

콘버그의 미생물학과와 공동체적 학과구조의 형성

1950년대 초 워싱턴대학은 콘버그에게 낙후되어 있는 의대의 미생물학과(microbiology)를 발전시킬 수 있도록 각종 신진교수의 임용에 대한 권한과 연구설비에 대한 투자를 약속하며 그를 학과의 교수로 초청했다. 무엇보다 DNA와 RNA를 구성하는 핵산에 대한 콘버그의 생화학적 연구는 유전물질인 DNA에 대한 연구를 중심으로 분자생물학과 생화학이 재편되기 시작하고 있었던 당대의 생물학계의 흐름에 가장 중요한 한 축을 구축하고 있었다. 이에 워싱턴대학의 여러 생물학자들은 콘버그가 분자생물학계의 리더로 성장할 것이라며 그의 임용을 적극 추천하였다. 다른 한편으로 콘버그는 국립보건원에서의 여러 임상의학적 연구 활동의 급격한 성장과 더불어 질병의 치료에 직접적으로 연관된 연구를 수행하라는 압력을 느끼고 있었다. 그는 워싱턴대학의 제안이 비교적 자유로운 대학의 연구 환경과 새로운 연구그룹을 설립할 수 있는 새로운 지적, 제도적 기회가 될 수 있을 것이라 생각했다. 1953년 콘버그는 10여 년의 국립보건원 생활을 청산하고 워싱턴대학의 교수로 미생물학과를 재건하는 임무를 맡게 되었다.¹⁷⁾

워싱턴대학에서 콘버그는 무엇보다 DNA라는 유전물질에 대한 생화학적 연구에 중심을 둔 연구팀의 구성에 전력했다. 특히 1953년 제임스 왓슨(James Watson)과 프랜시스 크릭(Francis Crick)에 의해 DNA의 이중나선 구조가 밝혀지면서 분자생물학계에서는 핵산의 일종인 DNA의 복제와 유전정보의 전달과정에 대한 생화학적, 분자유전학적 메커니즘에 대한 여러 실험적 연구들이 가장 중요한 이슈로 부상했다. 콘버그는 1956년 DNA를 합성할 수 있는 효소인 DNA 중합효소를 발견함으로써 DNA의 생화학적 연구의 리더로 부상했다. 그는 또한 DNA의 생물학적 특성들을 연구할 수 있는 생화학자들뿐만 아니라 이의 유전적 특성을 분자적 수준에서 연구할 수 있는 면역학자와 분자유전학자들을 자신의 연구그룹에 영입시키기 시작했다.¹⁸⁾ 그는 우선 DNA의 합성과 DNA 합성에 관련된 효소들에 대한 생화학적 연구

599.

17) Kornberg, *For the Love of Enzymes*.

18) Arthur Kornberg, "The Biologic Synthesis of Deoxyribonucleic Acid: Nobel Lecture, December 1959," *Nobel Lectures: Physiology or Medicine, 1942-1962* (Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1964), pp. 665-680.

를 위해 로버트 레만(I. Robert Lehman)과 폴 버그(Paul Berg)를 임용했다. 이 둘은 핵산과 이의 합성에 관한 연구를 담당했으며 이들의 연구는 점차 DNA가 단백질을 구성하는 아미노산의 합성에 어떻게 관여하는지에 관한 연구로 발전하게 된다. 곧이어 콘버그는 자신이 합성한 DNA의 분자유전학적 성질을 연구하기 위해 이러한 DNA를 세포 내에 주입하고 이의 분자유전학적 발현을 연구할 수 있는 젊은 면역학자인 멜빈 콘(Melvin Cohn)과 분자생물학자인 데이빗 호그네스(David Hogness), 데일 카이저(A. Dale Kaiser)를 임용했다.

콘버그의 연구의 초점이 DNA에 대한 생화학적, 분자생물학적인 연구를 중심으로 발전해나갔고 이러한 DNA에 초점을 둔 그의 실험실 역시 독특한 실험문화와 물질문화를 형성해나갔다.¹⁹⁾ 먼저 콘버그와 그의 동료들 모두 DNA라는 한 가지 물질과 이에 관련된 여러 효소와 같은 화학물질을 한 과의 모든 연구진들이 사용하게 되면서 이러한 실험물질과 이들 DNA의 화학적 분석을 시행하는 관련 기기들을 각 연구실 전체가 공유해서 사용하는 것이 경제적으로 유익하다고 생각하기 시작했다. 또한 국립보건원에 있을 당시부터 이를 인식하고 있던 콘버그는 미생물학과의 리더로서 자신의 연구비를 새로 임용된, 따라서 종종 연구자금이나 대학원생을 고용할 재원이 부족했던 신입교수들과 공유하기 시작했다. 이를 통해 과의 구성원들은 대량으로 각종 실험물질과 기기를 구매함으로써 규모의 경제를 달성할 수 있었다. 뿐만 아니라 실험을 위해 각종 기기와 물질들을 공동으로 사용하면서 각종 실험기들이 항상 연구원들에 의해 쉴 새 없이 사용되는 등 보다 효율적으로 재원과 기기를 사용할 수 있게 되었다.

콘버그는 이러한 실험실 물질문화의 정착과 함께 각종 연구비와 재원 마련이 필요한 신입교수들이 보다 창의적인 연구에 매진할 수 있도록 학과의 재원을 공유하기 시작했다. 비교적 성공적인 과학자였던 콘버그는 항상 많은 연방정부의 연구비 지원을 받고 있었는데 이러한 연구자금을 신입교수들과 공유해서 사용하기 시작했던 것이다. 무엇보다 그는 학과 재원의 공유가 신입교수들에게 학생과 박사후연구원 등을 고용할 수 있는 자금을 마련해줌으로써 임용 즉시 창의적인 연구 활동에 몰입할 수 있도록 해 줄 것이라 믿

19) 콘버그 실험실의 물질문화에 대한 자세한 분석은 Doogab Yi, *The Recombinant University* (University of Chicago Press, Forthcoming)를 참조하라.

었다. 뿐만 아니라 이러한 공유의 문화는 신입 연구진을 모집하는 데 강력한 유인책으로 사용되었다. 일례로 콘버그는 1956년 카이저를 임용하기 위한 편지에서 다음과 같이 썼다:

예전에 한 번 이야기했듯이 우리는 우리가 지닌 대부분의 자원(resources)들을 공유합니다. 이는 여러 가지 차원에서 우리의 실험활동에 유연성(flexibility)을 제공해 줍니다. 일례로 당신과 같은 신입교수들은 실험에 필요한 자원과 화학 물질들, 그리고 기기들을 다소 풍부하게 사용할 수 있게 됩니다. 또한 당신과 같은 신입교수들에게 실험 조수나 학생들이 필요할 경우에도 학과에서 공유 되는 재원을 통해 부가적인 지원이 이루어질 것입니다.²⁰⁾

신입교수들은 콘버그의 이러한 제의를 매우 반겼으며 그는 곧 유능한 학자들을 자신의 과로 영입할 수 있었다. 이들 신입교수들은 이러한 부가적인 지원과 자원의 공유, 그리고 DNA에 초점을 둔 공통적인 연구 관심사를 이유로 소규모인 콘버그의 신생 미생물학과를 선택했다. 이들 신진 교수들은 다른 학과나 대학에 임용되었을 때에 비해 큰 무리 없이 임용 즉시 창조적인 과학 활동에 매진할 수 있는 환경을 제공받았으며 이들은 곧 중요한 성과들을 내며 비교적 빠른 속도로 독립적이고 창의적인 연구자로 성장할 수 있었다. 신입교수의 과학적 성장은 또한 이들이 점차 중요한 연구주제에서 창의적인 업적을 내면서 점차 큰 액수의 연구 지원을 받게 될 확률을 높여 주었다.

자원의 공유를 통해 성장한 신입교수들은 또한 상호호혜의 원칙하에, 즉 고마움의 표시와 이러한 공유를 가능하게 해 주었던 공동체에 대한 책임감으로, 자신의 자원을 다시 공동체와 공유했다. 후에 콘버그는 학과의 이러한 “공동체적 구조(Communal Structure)”의 형성과 발전이 자신의 학과의 성장에 큰 기여를 했다고 회고했다.²¹⁾ 자원을 공유하는 학과로서 이들 신입연구진의 성장과 연구비 수여 증대는 또한 학과의 높은 학문적 성취와 재정적 안정과 성장이라는 선순환을 불러일으키며 미생물학과의 성장을 가져왔던 것이다.

20) Arthur Kornberg, Letter to A. Dale Kaiser, February 9, 1956, A. Dale Kaiser Papers, Stanford University Archives, Box 1, Folder: Correspondence.

21) Kornberg, “Biochemistry at Stanford, Biotechnology at DNAX.”

콘버그 미생물학과의 연구비 공유는 곧 실험물질과 기기, 연구공간에 대한 공유와 맞물리면서 실험실의 공유문화 형성을 도왔으며 이는 곧 물질문화의 차원을 넘어 지적 활동에도 영향을 미쳤다. 무엇보다 콘버그의 신입교수진들은 DNA에 관련된 여러 연구 프로젝트의 실험에서 중요한 성과들을 내기 시작했다. 이에 콘버그의 DNA 중합효소에 대한 연구가 생화학의 중요한 이슈들뿐만 아니라 분자생물학의 여러 중심 문제 해결에 큰 도움이 된다는 것이 밝혀지기 시작했다. 일례로 콘버그가 영입한 카이저와 호그네스는 콘버그가 합성한 DNA를 사용해 DNA의 유전형질 발현과 세포 내에서의 유전정보 전달과 해석에 관한 독창적이고 중요한 연구결과들을 발표했다.²²⁾ 이러한 발전에 힘입어 콘버그는 1959년 DNA 중합효소에 대한 연구로 노벨상을 수상하게 되었다.

스탠포드에서의 DNA 학과설립

2차 세계대전 후 분자생물학의 혁명적인 발전은 대학의 모든 학자들과 행정가들에게 분자생물학 연구의 제도화가 무엇보다 시급한 일이라는 점을 각인시켰다. 다른 차원에서 1960년부터 이들 생의학 연구를 지원하고 있던 미국 국립보건원이 미국의 국방부(Department of Defense)보다도 더 많은 연구예산을 대학들에 지원하기 시작했다. 이들 연구비 수주를 위해서는 각 대학들이 일류 연구진을 영입해야 했는데 이들 신진 분야의 연구자들을 영입하기 위한 경쟁이 무척 치열해지기 시작했다.²³⁾ 따라서 각 대학의 여러 행정가들은 이들 분야의 제도화와 성장이 쉽지 않을 것이라는 위기의식을 가지기 시작했다. 일례로 하버드대학(Harvard University)은 분자생물학계의 젊은 스타로 부상하고 있던 왓슨을 영입하는 데 성공했으나 그는 곧 하버드의 생물학자들과 불화를 겪다가 다른 기관으로부터 보다 더 매력적인 제안을 받고 주저 없이 하버드를 떠났다.²⁴⁾

22) A. Dale Kaiser and David S. Hogness, "Transformation of *Escherichia coli* with Deoxyribonucleic Acid Isolated from Bacteriophage- λ dg," *Journal of Molecular Biology* 2 (1960), pp. 392-415.

23) Roger L. Geiger, *Research and Relevant Knowledge: American Research Universities since World War II* (Oxford University Press, 1993).

생물학, 의학, 분자생물학과 같은 분야에 뒤떨어진 여러 대학들에게 이러한 문제는 더욱 심각했다. 이들 대학의 행정가들은 국립보건원의 폭발적인 성장과 이로 인한 생화학, 분자생물학 연구비의 급격한 증대에 비해 자신들의 생물학과 의학 연구가 보잘것없는 상황이 연구대학으로서의 자신들의 대학의 미래를 어둡게 하는 것이라며 크게 근심했다. 미국 서부에 위치한 스탠포드대학이 바로 그러한 대학 중의 하나였다. 이미 캘리포니아대학 버클리 분교(University of California, Berkeley)와 칼텍(CalTech)은 세계에서 가장 영향력 있는 분자생물학과 생화학 분야의 연구진들이 포진해 있는 반면 1950년대 말 스탠포드대학은 공과대학의 성장 이외에 다른 분야에서는 크게 낙후되어 있었던 것이다. 스탠포드는 또한 의과대학이 대학의 생물학과가 위치한 팔로알토(Palo Alto)가 아니라 샌프란시스코(San Francisco)에 위치해 있었으며 생화학과 분자생물학 연구 활동과는 거리가 먼 임상의학 위주 병원의 일부로 존재하고 있었다. 한 스탠포드의 학자는 그들의 생물학과와 의과대학이 매우 낙후되어 있으며 스탠포드에게는 “앞으로 2류의 길만 남아있다며(destined for mediocrity)” 한탄하기도 했다.²⁵⁾

이에 스탠포드대학의 총장이었던 월레스 스티어링(J. E. Wallace Sterling)은 스탠포드 공과대학의 성장과 실리콘밸리의 성공을 통해 전자공학의 상업적 발전을 이끌었던 프레드릭 터먼(Frederick Terman)을 교무처장(provost)로 승진시켜 생화학과 분자생물학 분야에서의 첨단 연구진을 영입하는 일을 추진하도록 하였다.²⁶⁾ 터먼은 의과대학의 혁신을 가장 중요한 임무로 파악했다. 그는 우선 의과대학을 생물학과 등이 있는 팔로알토 본 캠퍼스로 이전하고 이와 동시에 의과대학에서 분자생물학과 생화학 연구를 중심 활동으로 제도화할 수 있는 의대의 개혁을 추구했다. 그는 1950년대 중반부터 의과대학의 분자생물학화를 주도할 수 있는 인물을 찾아 나서기 시작했으며 여러

24) John Inglis, Joseph Sambrook, and Jan A. Witkowski, eds., *Inspiring Science: Jim Watson and the Age of DNA* (Cold Spring Harbor: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 2003).

25) Eric J. Vettel, “The Protean Nature of Stanford University’s Biological Sciences, 1946-1972,” *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 35 (2004), pp. 95-113.

26) C. Stewart Gillmor, *Fred Terman at Stanford: Building a Discipline, a University, and Silicon Valley* (Stanford: Stanford University Press, 2004).

저명한 분자생물학자와 생화학자들과의 논의 끝에 곧 콘버그가 이에 가장 적합한 인물이라는 결론에 도달했다.

1950년대 중반 터먼은 콘버그를 스탠포드 캠퍼스에 몇 차례 초대하여 분자생물학의 혁신에 기반을 둔 새로운 의과대학의 건설이라는 스탠포드의 원대한 비전을 실현할 수 있는 여러 방안들에 대해 논의하기 시작했다. 터먼은 스탠포드 의과대학의 개혁과 분자생물학과 생화학의 발전을 추진하는 데 콘버그가 주도적인 역할을 할 적임자라며 그가 스탠포드의 새로운 생화학과의 설립을 주도해 줄 것을 부탁했다. 터먼은 콘버그가 스탠포드의 첨단 분자생물학과 생화학 연구의 정착과 발전에 큰 기여를 할 것이라 믿었던 것이다. 또한 콘버그가 연방정부로부터 받는 막대한 연구비 지원 역시 스탠포드의 의과대학의 이전과 현대화에 큰 재정적 도움이 될 터였다. 터먼은 콘버그가 새로운 생화학과의 설립에 대한 전적인 권한을 지닐 것이며 기존 화학과 내 생화학자들의 영향력으로부터 독립된 독자적인 학과를 설립할 수 있을 것이라 제안했다. 그는 또한 콘버그가 유전학과 다른 화학과의 신입교수들의 영입에도 영향력을 행사할 수 있을 것이라 약속했다. 의대 이전 공사가 한창이던 1957년 여름 콘버그는 스탠포드의 제안을 수락했다.²⁷⁾

1959년 여름 콘버그는 위싱턴대학의 동료교수 5명과 함께 새로 건립된 스탠포드 의과대학 내의 생화학부로 향했다. 그는 위스콘신대(University of Wisconsin, Madison)에서 한 명의 물리화학자만을 영입했을 뿐 그 외 5명을 자신이 위싱턴대학에서 영입했던 신진교수들로 채웠던 것이다. 그는 이들 각자의 연구에 대한 설명조차 없는 짧은 편지 한 편으로 이들의 임용을 대학의 학장에게 추천하면서 “비록 이 추천임용서가 자세하지는 않지만 나는 단지 이들 학자들 모두가 전국 각지에 있는 탁월한 대학들에서 임용하고 싶어 하는 최고의 연구자들이라는 것만 상기시키고 싶습니다”라며 자신의 임용과 동시에 이들 모두가 생화학과의 교수로 임용되어야 할 것이라는 조건을 명시했다.²⁸⁾ 스탠포드대학은 이러한 조건을 모두 승낙했다. 이들 교수들은 사실상 콘버그의 ‘확장된 가족(extended family)’이었고 이런 의미에서 새

27) 스탠포드 생화학과의 설립에 대한 보다 자세한 분석은 다음을 참조하라. Yi, *The Recombinant University*.

28) Arthur Kornberg, Letter to Robert Alway, October 22, 1958, Arthur Kornberg Papers, Stanford University Archives, Box 31, Folder 1958.



그림 2. 1959-60년 스탠포드 의과대학 생화학과 학과 사진. 첫 줄 왼쪽에서 앉아있는 네 번째 학자가 아서 콘버그, 그리고 7번째 학자가 폴 버그(1980년 유전자재조합의 발전에 대한 기여로 노벨상 수상)이다. 출처: National Library of Medicine, "Profiles in Science," Arthur Kornberg Papers

로운 생화학과는 ‘콘버그’ 학과라 불릴 만 했다.

콘버그 생화학과의 중심 연구프로그램은 무엇보다 DNA에 대한 연구라 할 수 있었다. 무엇보다 이 시기 DNA와 RNA와 같은 핵산이 어떻게 유전정보를 지니고 있고 이들이 세포 내에서 어떻게 유전정보를 발현하고 조절하는지에 대한 문제가 생화학과 분자생물학의 중심 주제로 부상했다. 이러한 맥락에서 스탠포드 생화학자들의 DNA 연구는 1960년대 유전자의 발현과 조절에 대한 문제를 중심에 둔 분자생물학의 발전에 큰 기여를 했다. 우선 생화학자였던 콘버그와 레먼은 DNA 합성에 대한 연구를 계속했으며 1967년 최초로 생물학적으로 활성화된 바이러스 DNA를 합성하는 성과를 이룩하며 이들 유전정보의 발현과 생성에 대한 연구를 크게 진척시킨다. 콘버그의 박사후연구원으로 DNA 합성을 연구하던 폴 버그는 스탠포드대에서 DNA가 세포 내에서 어떻게 생물학적으로 단백질을 생성하는 데 관여하는

지에 대한 연구를 수행하며 당시 분자생물학계에서 가장 활발히 연구되던 유전자의 발현에 대한 이해에 큰 기여를 했다.²⁹⁾ 워싱턴대학의 신임교수로 채용되었던 카이저와 호그네스 역시 스탠포드로 옮긴 후 DNA가 유전정보로서 어떻게 세포의 유전메커니즘을 조절하는지에 대한 상세한 연구를 통해 유전자 발현을 분자적 수준에서 추적할 수 있는 여러 유전지도를 작성하는데 선구자적 역할을 수행했다.³⁰⁾ 다시 말하면 스탠포드 생화학자들은 DNA와 유전의 문제를 효소학적, 생화학적, 그리고 유전학적으로 접근하며 유전자의 발현과 유전정보의 세포내 조절과 같은 문제를 분자생물학적으로 접근하며 큰 성과를 이룩했던 것이다.

다른 차원에서 DNA가 강조되고 이로 인해 DNA 관련 실험물질, 도구, 기기의 공유 같은 물질문화가 형성되면서 마련된 공동체적 학과 구조는 스탠포드 생화학자로 이전되면서 보다 정교해지고 제도적으로 정착하게 되었다. 스탠포드 생화학자들은 새롭게 학과의 제도와 실험공간 등을 설계하면서 공유를 중점에 둔 실험실의 문화와 학과의 재정에 관한 여러 방안에 대해 보다 명시적으로 생각해 보게 되었다. 우선 그들은 과학적 지식의 자유로운 소통과 실험물질들의 공유가 자신들의 과학적 성공에 큰 기여를 했다는 점을 인식하고 이러한 문화적 요소들을 실험실의 설계와 배열에 각인시키려 했다. 일례로 이들은 학생들과 연구원들에게 정해진 실험실 자리를 배정하기보다는 무작위로 여러 실험들에 이들을 배치했다. 이 결과 한 실험실을 3-4개의 연구그룹이 공유하게 되었으며 이는 실험실들 간의 교류를 가능케 했고 실험기법과 관련 기술의 습득을 장려했다. 또한 공유에 기반을 둔 실험

29) William Wood and Paul Berg, "The Effect of Enzymatically Synthesized Ribonucleic Acid on Amino Acid Incorporation by a Soluble Protein-Ribosome System from *Escherichia coli*," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 48 (1962), pp. 94-104. 단백질 합성과정에서 DNA와 RNA의 역할에 대한 연구의 역사학적 분석으로는 다음을 보라. Hans-Jörg Rheinberger, *Toward a History of Epistemic Things: Synthesizing Proteins in the Test Tube* (Stanford: Stanford University Press, 1997).

30) A. Dale Kaiser, "The Production of Phage Chromosome Fragments and Their Capacity for Genetic Transfer," *Journal of Molecular Biology* 4 (1962), pp. 275-287. 분자적 수준에서의 유전지도에 대한 초기 역사의 분석으로는 다음을 참조하라. Marcel Weber, "Representing Genes: Classical Mapping Techniques and the Growth of Genetic Knowledge," *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 29 (1998), pp. 295-315.

실의 물질문화 역시 실험실 사용, 공유와 같은 여러 규칙을 통해 제도화하려 했다. 일례로 실험기기와 실험 관련 시약들을 공동의 공간에 설치해 자연스럽게 학과 내에서 이들의 공유를 가능하게 해서 비용을 절감할 수도 있었다.³¹⁾

스탠포드 생화학과의 공유문화는 모든 연구관련 비용을 공유해서 집단으로 관리하는 재정제도에 의해 보다 확연하게 뒷받침되었다. 콘버그가 워싱턴대의 미생물학에서 도입하기 시작한 이 공유 방식은 교수들의 연구비를 공동기금으로 하고 이를 각자가 필요한 만큼 사용하는 방식으로 운용되었다. 커다란 지출은 공동의 회의를 거쳐 결정되었지만 각각 교수의 연구비 지출은 공공의 자산에 대한 책임감과 상호호혜의 평등의 의식에 맡기고 각자의 지출을 서로가 잘 알 수 없게 해서 연구의 필요나 상황에 맞게 최대한 유연한 지출을 장려해 창의적인 연구를 지원하려고 했다. 콘버그가 지적했듯이 그들은 “종종 학과의 자금의 고갈 때문에 실험기구를 구입하거나 비싼 실험시약을 사는 것을 중단하고 새로운 연구비 지원을 신청해야 했다. 엄격한 지출장부가 없었기 때문에 교수들은 자신이 지원받은 연구비보다 더 많은 지출을 하고 있다고 생각하는 경우는 별로 없었기 때문에 학과의 기금이 고갈되는 경우가 종종 있었던 것이다. 그럼에도 불구하고 우리는 각자가 수주한 연구비만큼 사용하자는 원칙에는 반대했다.”³²⁾

상호호혜와 공유라는 그들의 과학 활동 규범의 기저에는 과학 활동의 특성과 연구비 지원제도에 대한 스탠포드 생화학자들의 독특한 이해가 있었다. 그들은 현대 과학의 지원이 모두 정해진 목표와 기간에 따라 지원되고 있으며 이런 획일화된 연구지원제도는 불확실성하에서 새롭고 창의적인 연구를 행하는 과학 활동의 특성을 이해하지 못하고 있는 것이라 믿었다.³³⁾ 어떤 분야나 연구방향이 아무리 전망이 좋고 중요해 보여도 그러한 분야 이외의 다른 연구를 통해 보다 더 근본적이고 파급력이 큰 연구결과가 나올 수 있다는 것이다. 스탠포드 생화학자들은 연구비 공유를 통해 이러한 정책이나 정치적 변화로부터 어느 정도 자유로운, 따라서 오직 독창적이고 창의

31) Memo, “Department Finances,” Arthur Kornberg to A. Dale Kaiser, September 10, 1979. Arthur Kornberg Papers, Stanford University Archives, Box 5, Folder 1979.

32) Kornberg, *For the Love of Enzymes*, p. 185.

33) Arthur Kornberg, “Editorial: Science is Great, but Scientists are Still People,” *Science* 257 (1992), p. 859.

적인 연구만이 중시되는 자신들만의 자율적인 과학연구 공동체를 건설하려 했던 것이다. 이를 통해 정부연구비 지원의 당락에 좌우되지 않는 장기적인 시각에서 근본적인 연구를 행할 수 있다는 것이었다.

나가며

콘버그와 그의 생화학파 동료들은 이렇듯 공동체적 학과구조를 공식화해 전 세계에서 가장 명성 있는 생화학과를 건설했다. 1959년 설립 때부터 스탠포드의 생화학과는 여러 조사에서 항상 미국 2위의 생화학파로 선정되었을 뿐만 아니라 독특한 공유와 협력, 열린 지적 분위기로 인해 많은 학생들에게 선망의 대상이 되는 생화학파로 부상했다. 1960년대 말에서 1970년대 초반에 이르면 학과의 연구 초점은 DNA에서 보다 확장되며 교수진들 역시 새로운 분야를 개척해나가며 분자생물학의 성장과 발전에 큰 기여를 했다. 버그는 암 연구와 바이러스학 연구를 통해 고등생물의 유전발현과 조절연구 분야의 선구자가 되었고 그의 연구는 후에 유전자조합기술(recombinant DNA technology)의 기술의 발전에 큰 기여를 했으며, 다른 여러 학자들은 이 기술을 상업화해 1970년 후반 유전공학혁명과 생명공학산업의 탄생에 주도적인 역할을 하기도 했다.³⁴⁾ 호그네스는 초파리 연구를 통해 분자생물학적 발생생물학을 개척했으며 그의 유전자에 대한 연구는 유전체학(genomics)의 등장뿐만이 아니라 나중에 진화발생학(Evo-Devo)의 발전에 큰 기여를 하게 된다.

스탠포드 생화학과의 독특한 공유문화와 이의 제도화 과정을 돌이켜보면 우리는 콘버그와 그의 동료들이 자신들이 지닌 과학과 실험실 문화에 대한 독특한 이해를 통해 자신들의 연구공동체를 제도화시켰음을 알 수 있다. 콘버그는 한 학과의 리더로서 DNA에 초점을 둔 자신의 과학 활동을 시작으로 공유에 기반한 실험실 물질문화의 형성을 주도해나갔다. 그의 학과가 보다

34) Doogab Yi, “Cancer, Viruses, and Mass Migration: Paul Berg’s Venture into Eukaryotic Biology and the Advent of Recombinant DNA Research and Technology, 1967-1974,” *Journal of the History of Biology* 41 (2008), pp. 589-636; Sally S. Hughes, *Genentech: The Beginnings of Biotech* (Chicago: University of Chicago Press, 2011).

창의적이었던 이유는 그 구성원들이 실험물질과 공간의 공유에 그치지 않고 이에 기초해 보다 생산적인 지적 교류와 실험을 행할 수 있었다는 데 있었다. 또한 그는 자신의 연구비를 학과의 연구비가 적었던 다른 신입교수들에게 양보하고 공유해서 이 독특한 도덕경제의 기반을 마련해주었다. 이를 통해 콘버그는 자신의 연구공동체가 공유에 바탕을 둔 실험실 물질문화와 열린 지적 공동체를 구성원들의 자발적인 호혜와 책임감 아래 지속적으로 유지할 수 있도록 했다. 리더로서의 강제성이 아니라 구성원들 간의 상호호혜 원칙에 기반을 두어서 자발적인 실험실 문화의 형성을 도모했던 것이다. 이런 의미에서 콘버그는 단지 자신의 학과의 제도적 설립뿐만 아니라 학과의 유지와 발전에 지속적인 영향을 미친 보다 넓은 의미에서의 ‘인스티튜션 빌더(institution builder)’라 할 수 있다.

독특한 공유의 도덕경제에 기초해 과학 활동을 수행해온 스탠포드의 생화학자들은 1980년대 이후 생물학에서의 특허활동에 대한 반대를 시작으로 생물학의 상업화에 대한 비판의 목소리를 냈다.³⁵⁾ 이들의 상업화 비판과 과학자 공동체 침식에 대한 우려의 기저에는 그들 고유의 공유의 문화가 존재하고 있었음은 물론이다. 보다 중요하게, 콘버그와 그의 동료들이 제도화한 공동체적 실험실 문화는 왓슨이 논쟁적으로 그렸던 1950-60년대 DNA 이중나선 구조의 발견을 둘러싼 비열한 분자생물학계의 경쟁에 대한 대안을, 그리고 1980년대 과학의 상업화로 인해 모든 아이디어와 실험물이 특허의 대상이 되어버리는 사적 소유의 시대에 공동체적이지만 생산적인 과학자 공동체를 지켜나가려는 대안을 고민하는 데 여러 시사점을 줄 수 있을 것이다.³⁶⁾

35) Doogab Yi, “Who Owns What? Private Ownership and the Public Interest in Recombinant DNA Technology in the 1970s,” *Isis* 102 (2011), pp. 446-474

36) Watson, *The Double Helix*; Daniel S. Greenberg, *Science for Sale: The Perils, Rewards, and Delusions of Campus Capitalism* (Chicago: University of Chicago Press, 2007). 도덕경제라는 개념을 사용해 과학자들의 경쟁과 협력을 재조명한 연구로는 다음을 참조하라. Angela N. H. Creager and Gregory J. Morgan, “After the Double Helix: Rosalind Franklin’s Research on Tobacco Mosaic Virus,” *Isis* 99 (2008), pp. 239-272; and Bruno J. Strasser, “The Experimenter’s Museum: GenBank, Natural History, and the Moral Economics of Biomedicine,” *Isis* 102 (2011), pp. 60-96.

The Communal Structure of DNA Research

Arthur Kornberg as an Institution Builder in Biochemistry and Molecular Biology

YI Doogab (Seoul National University)

Abstract. This paper examines how Arthur Kornberg instituted what he referred to as the “communal structure” of DNA research. It first chronicles Kornberg's growth as an influential biochemist with a particular emphasis on the material culture of his own laboratory. At one level he built his own research group, one that strongly focused on DNA as its research subject. At Kornberg's newly established departments (first at the Microbiology Department at Washington University, St. Louis and then the Biochemistry Department at Stanford), DNA emerged as a material focus, and his colleagues worked on one of the central problems in molecular biology in the 1950s and 1960s, namely the role of DNA in heredity. In part due to their focus on DNA, they developed a particular style of an experimental community by cultivating distinctive communal practices among its faculty members. By sharing laboratory space, research instruments and materials, and even monies, Kornberg tried to foster a research community with distinctive moral and political economies of science. As I show, Kornberg and his colleagues built a communal institution, which they believed to be crucial for sustaining the productivity and independence of their DNA research in the increasingly competitive world of biomedical research in the 1960s.

Key words. Arthur Kornberg, DNA, Material Culture, Moral Economy of Science, History of Biochemistry