물리학 연구소의 DNA 구조 분석: 캐번디시연구소의 융복합 연구

DOI: 10.3938/PhiT.21.026

이 은 경

Crossing the Disciplinary Boundaries at the Cavendish Laboratory: DNA Double Helix

Eunyoung LEE

J. Watson and F. Crick were awarded the Nobel Prize in physiology or medicine 50 years ago for the discovery of the DNA double helix. That finding is well known to have been important to the development of molecular biology. However, it's not widely appreciated that Crick and another co-recipient, M. Wilkins, were physicists and that the research was carried out at one of the leading physics laboratories, the Cavendish Laboratory at Cambridge. How could that happen? It was the result of the development of X-ray crystallography and the research tradition of the Cavendish Laboratory. X-ray crystallography, the main experimental method used for the DNA double helix, was developed by two physicists, W. H. Bragg and W. L. Bragg, in the UK during the 1920-30s. Some of their students entered the Cavendish Laboratory to work. They tried some organic chemicals like vitamin B and hemoglobin under the directorship of E. Rutherford who headed a big research group in nuclear physics. X-ray crystallography began to grow fast at the Cavendish Laboratory when W. L. Bragg succeeded Rutherford in 1937. As early as in 1937, nuclear physics had become too big for the Cavendish Laboratory to support, and X-ray

crystallography was promising productive research across many fields such as physics, chemistry, biology, metallurgy, and medicine.

올해 2012년은 프랜시스 크릭과 제임스 왓슨이 DNA 이중 나선 구조 발견으로 노벨 생리의학상을 받은 지 50주년 되는 해다. DNA 이중나선 구조는 유전 현상에 대한 과학적인 이해가 가능하게 했다. 또 물리학이나 화학에 비해 상대적으로 변방의 과학이었던 생물학이 분자생물학, 생명공학 등 이른바 첨단 과학으로 뻗어나가는 발판이 되었다. 물리학에서 진공관과 음극선에 대한 연구가 전자 공학의 발판이 되었던 것과 비슷하다. 이것은 잘 알려진 이야기다.

그런데 의외로 잘 알려지지 않은 사실도 있다. 먼저 또 한 명의 노벨 생리의학상 공동 수상자가 있다는 점, 그 다른 한 명인 모리스 윌킨스와 크릭은 물리학자였다는 점, 그리고 왓슨과 크릭의 연구가 물리학 연구로 유명한 케임브리지 대학 캐번디시연구소에서 이루어졌다는 점이다. DNA는 유전학의 주요 연구 테마 중 하나였지만 DNA의 분자 구조는 엑스선 결정학 분석에 의해 이루어졌기 때문이다. 오늘날의 언어로 말하면 DNA 이중나선 구조 분석은 주제와 방법론에서, 연구자들의 인적 구성에서, 그리고 연구 공간과 연구 맥락에서 물리학, 화학, 생물학의 융복합 연구였던 것이다.

엑스선 결정학의 시작은 엑스선의 본질에 대한 19세기 말의 논의로 거슬러 올라간다. 1895년 윌리엄 콘라드 뢰트겐이 엑스선을 발견한 후 많은 물리학자들은 엑스선이 파동인지 입자인지에 대한 논쟁을 벌였다. 투과력이 좋고 전기장이나 자기장에서 휘지 않는 것으로 보아 파동일 가능성이 높았으나 그것을 확인할 방법이 없었다. 한편 엑스선이 입자일 가능성에 대한 논의도 계속 있었다. 예를 들어 윌리엄 헨리 브래그는 회전하는 두 전하를 띤 입자의 중성쌍으로 엑스선을 설명했다. 1905년에 아인슈타인의 광양자 가설이 발표되었지만, 엑스선 본질에 대한 논쟁은 1910년대 초까지도 결말이 나지 않은 상태였다.

저자약력

이은경 교수는 서울대 물리학과를 졸업하고, 동 대학교 과학사 및 과학 철학 협동과정을 졸업(1997, 이학박사)하였다. 포항공과대학교 과학문화연구센터 박사후 연구원(2001), 과학기술정책연구원 부연구위원(2001-2003)을 거쳐 2004년부터 현재까지 전북대학교 과학학과 교수로 재직 중이다. (eklee@jbnu.ac.kr)

이 논쟁에 중지부를 찍은 것은 잘 알려진 대로 막스 폰 라우에와 폴 크니핑, 발터 프리드리히의 논문이었다. 라우에는 단결정을 엑스선의 회절 격자로 사용하는 아이디어를 냈다. 1912년에 크니핑과 프리드리히가 이 실험에 성공해 우리가 흔히 “라우에 반점”이라고 부르는 결과를 얻었다. 이로써 엑스선의 본질에 대한 논쟁은 일단락되었고 라우에는 1914년에 노벨 물리학상을 받았다.

그러나 이들의 연구 결과에서 결정의 분자 배열을 연구하는 엑스선 결정학이 곧바로 나오지는 않았다. 라우에, 크니핑, 프리드리히의 연구 결과를 보고 엑스선 결정학의 아이디어를 낸 것은 22살의 윌리엄 로렌스 브래그였다. 그는 앞에서 언급한 윌리엄 헨리 브래그의 아들인데, 당시 케임브리지 대학교에서 물리학을 공부하고 있었다. 그는 라우에 팀의 결과를 보고, 회절 결과를 결정 격자면에 의한 반사로 해석한 소위 “브래그 법칙”을 도출했다. 그리고 엑스선 실험의 대가였던 아버지와 공동 연구를 통해 실제로 결정 격자에서 원자들의 거리를 계산해냈고 이에 필요한 기구를 고안했다. 이들은 광물학자들에 의해 격자 특성이 알려진 결정을 먼저 연구하여 데이터 해석의 기술을 정교하게 만들어갔다. 이로써 결정에 의한 엑스선 회절 패턴을 분석하여 결정의 분자 구조 또는 원자 배열을 알아내는 엑스선 결정학이 시작된 것이다. 이러한 일련의 연구로 브래그 부자는 1915년에 노벨 물리학상을 받았다. 아버지와 아들이 노벨상을 같이 받은 전무후무한 예이다.

제 1차 세계대전 이후 아버지 브래그는 런던의 왕립연구소(the Royal Institution)에서, 아들 브래그는 맨체스터 대학교에서 각각 엑스선 결정학 연구를 심화시켰다. 1920년대 초까지만 하더라도 엑스선에 관한 연구나 엑스선을 이용하는 연구는 물리학의 영역에 속했다. 실험 방법, 분석 방법이 안정화되면서 이들은 점차 다양한 형태의 결정 격자 분석에 도전했다. 예를 들어 맨체스터 대학의 물리학과에서는 금속, 무기 물질, 합금의 분석이 다양하게 시도되었다. 화학의 전통이 강했던 왕립연구소에서는 아버지 브래그의 영향을 받은 젊은 연구자들이 좀더 과감하게 단백질 같은 유기 물질의 분자 구조 분석을 시도했다. 실제 화학, 광물학 등에 엑스선 결정학 연구가 퍼져나간 것은 1940년대 이후, 즉 안정적인 엑스선 분광기가 개발되고 다양한 결정에 대한 분석의 경험이 축적된 이후였다.

캐번디시연구소에 엑스선 결정학 연구를 안착시킨 것은 왕립 연구소의 젊은 연구자들 중 한 명이었던 존 데스먼드 버널이었다. 그는 나중에 공산주의 운동에 참여한 과학자로 더 많이 알려졌지만, 케임브리지 대학교에 다닐 때는 수학과 여러 분야의 과학에 능통해서 학생들 사이에서 “현자(Sage)”로

통했다. 버널은 실험과 데이터 분석에 모두 능했다. 그는 군이론(group theory)을 엑스선 결정학에 도입해 복잡한 유기 물질의 분석 가능성을 열었다. 케임브리지 대학으로 돌아간 후에는 본격적으로 유기 물질 분석에 힘을 쏟았다. 그가 분석한 물질들은 복잡한 유기물질, 예를 들면 콜레스테롤, 비타민 B1, 펩신, 비타민 D2 같은 것이었다. 1934년에는 캐번디시연구소의 소장 보좌(assistant director)로 임명되어 연구소에서 처음으로 엑스선 결정학 연구가 본격 시작되었다.

버널이 캐번디시연구소로 옮길 당시 캐번디시연구소의 소장은 에른스트 러더퍼드였다. 1919년에 러더퍼드가 소장으로 부임한 이래 캐번디시연구소는 원자핵 물리학 연구의 첨단에서 있었다. 중성자의 발견, 인공 원자핵 분열, 원자핵의 구조 등 현대물리학의 굵직굵직한 주제들이 러더퍼드가 소장으로 있던 기간에 캐번디시연구소에서 연구되었다. 이런 흐름을 고려하면 엑스선 결정학자 버널의 소장 보좌 임명은 고개를 가우뚱하게 만들 수 있다. 캐번디시연구소 운영위원회에서는 물리학자들이 주도하고 점점 연구 영역을 넓혀가고 있는 엑스선 결정학의 잠재성을 높게 평가한 것으로 보인다. 버널 임명에 이어 1937년 러더퍼드의 뒤를 이어 새로운 소장으로 부임한 사람이 바로 25살에 노벨상을 받은 엑스선 결정학의 아이콘, 윌리엄 로렌스 브래그였기 때문이다.

버널의 존재는 브래그가 소장으로 부임하기 이전에 이미 캐번디시연구소에 엑스선 결정학이 연구 주제 중 하나로 자리잡는 계기가 되었다. 비엔나에서 화학을 공부한 막스 페루츠, 옥스퍼드에서 역시 화학을 공부한 도로시 호지킨이 엑스선 결정학 연구를 위해 케임브리지 대학으로 왔던 것이다. 버널은 이들과 함께 당시 아무도 시도하지 않았던 단백질 등 분자량이 큰 유기 물질의 구조를 분석했다. 1960년대 초반에 페루츠는 헤모글로빈, 호지킨은 비타민 B12 연구로 각각 노벨 화학상을 받았다. 1960년대가 되면 엑스선 결정학은 더 이상 물리학의 영역이 아니었던 것이다. 그러나 1930년대에는 많은 물리학자들 또는 물리학자로 훈련받은 연구자들이 엑스선 결정학 연구를 하고 있었다. 중요한 것은 핵 물리학을 주축으로 하던 캐번디시연구소에서 그와 매우 다른 성격의 연구 분야가 일정한 영역을 차지했다는 점이다. 캐번디시연구소는 이미 한 분야에서 상당한 지식을 쌓은 연구자가 자연스럽게 다른 학문 분야의 연구 주제와 방법을 접할 수 있는 공간이었다.

이러한 캐번디시연구소의 특성은 이미 오랜 역사를 가지고 있었다. 캐번디시연구소에서는 당대 최고의 물리학자를 소장 겸 캐번디시 물리학 교수로 임명하고 소장의 연구와 운영 방식을 최대한 존중했다. 예를 들어 레일레이 경이 소장으로 있던 시기(1879-1884)에는 전기 산업의 기반이 되는 정확한

전기량 측정을 중심으로 연구 활동이 이루어졌다. 그러나 뒤를 이은 J. J. 톰슨 소장 시기(1884-1919)에는 음극선 연구, 전자 연구, 엑스선 연구 등 당대 물리학의 주요 관심사들에 대한 연구가 주를 이루었다. 러더퍼드가 소장이었던 시기(1919-1937)에는 핵 물리학 관련 입자 실험 중심이었다. 그러나 주축이 되는 연구들 외에도 개인 또는 작은 연구 그룹의 다양한 연구는 허용되었고 역대 소장들은 이를 제지하지 않았다.

브래그가 러더퍼드의 뒤를 이어 소장이 된 것은 그가 훌륭한 과학자였다는 것 말고도 몇 가지를 고려했던 결과였다. 첫째, 현실적인 문제로 1937년경의 캐번디시연구소는 더 이상 원자핵 물리학과 입자 물리학 연구에 집중하기 어려웠다. 미국이 선도하는 거대한 입자 가속기 중심의 연구가 이 분야의 새로운 트렌드가 되었기 때문이다. 캐번디시연구소에서는 이러한 ‘규모의 연구’를 할 수 없었다. 둘째, 엑스선 결정학 연구의 잠재성을 인정했다. 당시 분자생물학 또는 생물리학(biophysics)은 새로운 연구 분야로 각광받기 시작했다. 그리고 엑스선 결정학은 이 새로운 분야에서 가장 효과적인 연구 방법들 중 하나였다. 게다가 이 연구는 원자핵 연구에 비해 상대적으로 규모가 작고 비용도 적게 들었다.

브래그 부임 후, 그리고 제 2차 세계대전이 끝난 후, 캐번디시연구소에서는 엑스선 결정학 연구가 이전보다 제도화되었다. 1947년에 의학연구 위원회는 “생물 시스템의 분자 구조 연구단”을 캐번디시연구소에 설치하고 여러 유기 물질에 대한 연구를 확대하도록 지원했다. 1940년대 후반에서 1950년대 초반까지 캐번디시연구소는 물리학에 기반을 둔 분자생물학에서 명성을 누렸다. 물리학 연구소로서의 권위, 엑스선 결정학의 원조에 해당하는 브래그, 실제로 유기 분자 구조 연구에서 축적된 성과와 연구진이 갖추어진 덕분이었다.

젊고 여러 가지 과학 문제에 관심이 있는 두 연구자 크릭과 왓슨이 캐번디시에서 만나게 된 것은 그러므로 우연만은 아니었다. 크릭은 물리학자로 훈련받았으나 전쟁 발발, 지도

교수와의 불화 등의 이유 때문에 생물학으로 진로를 전환한 후 두 분야의 접점으로서 유기 분자에 대한 구조 연구로 옮겨갔다. 케임브리지 대학에서 공부하던 그가 캐번디시연구소를 찾아간 것은 자연스러운 일이었다. 또한 미국의 생물학 박사로서 유럽의 분자생물학에 관심을 가지게 된 왓슨이 캐번디시연구소를 선택한 것 역시 자연스러워 보인다.

왓슨은 나중에 캐번디시에서의 연구를 자세히 묘사한 <이중나선>을 출판했다. 이 책은 과학자가 직접 써서 현장감이 살아있고, 등장하는 과학자 개개인의 연구는 물론이고 지극히 인간적인 면모를 (때로는 지나칠 만큼!) 솔직하게 드러내어 많은 인기를 누렸다. 이 책을 가벼운 마음으로 읽으면 왓슨과 크릭은 아주 쉽게, 운 좋게 우연히 이중나선 구조라는 아이디어를 얻은 것처럼 보일 수 있다. 그러나 세세히 살펴보면 두 사람은 페루츠 같은 선배 엑스선 결정학자에게 분석에 관한 많은 조언을 들었음을 알 수 있다. 연구소 구성원 모두가 이들에게 호의적이지는 않았다 하더라도 적어도 이들에게 연구 공간과 설비를 제공하고 연구할 수 있도록 했다. 결국 DNA 이중 나선 구조는 전통있는 물리학 연구소에서 중도하차한 물리학자, 화학자, 생물학자가 모여 분자생물학의 첨단 주제를 연구한 결과로 얻어진 셈이다.

캐번디시연구소에서 이루어진 DNA 이중나선 구조 분석은 ‘융복합 연구’의 좋은 예였다고 생각한다. 연구소 운영에서는 물리학 분야에서 쌓아온 지식, 경험, 설비를 기반으로 했지만, 과거의 성공에 얽매이지 않고 새로운 영역을 개척했다. 그리고 경험, 주제 선택, 연구원 구성에서 학문 분야의 정체성보다는 연구 주제가 가진 매력과 잠재성, 그리고 실현 가능성을 중시했다. 역대 소장들은 자신의 확고한 연구 분야가 있었지만 다른 주제, 또는 낯선 주제의 연구도 허용했다. 구성원들 간의 인간적인 교류와 토론을 통해 서로 다른 연구팀의 성과와 문제가 공유되었다. 시대와 조건이 달라졌다 하더라도 이 정신은 실현가능한 융복합 연구를 위한 조건임이 분명하다.