Historia Mathematica Vol. 10. No. 2, 1997, 1-10

미적분법의 발명을 중심으로 살펴본 과학혁명기의 기하학과 대수학의 관계

한국과학기술원 인문사회과학부 **김동원**

Abstract

The paper aims to analyse the development of algebra and calculus during the Scientific Revolution. It will argue that the introduction of algebra into the learning world was never smooth but invited struggle with traditional geometry, which is well illustrated in the development of calculus in the 17th century. The paper will also demonstrate that the invention and the acceptance of calculus had been influenced by the need of solving practical problems (e. g., motion) during the century.

I.

16세기에서 17세기에 걸쳐 약 200여 년이라는 긴 시간 동안 진행되었던 과학혁명(Scientific Revolution)은 서양사 뿐 아니라 세계사적으로도 매우 중요한 사건이었다. 천문학상의 혁명으로 시작된 과학혁명은 물리학, 생리학을 비롯한 자연과학 전 분야에서 일어났는데, 지난 2000여 년 동안 서양을 지배해 왔던 아리스토텔레스 식의 자연관과 탐구방법을 무너뜨리고, 새로운 자연관과 접근방법을 제시하여 근대과학의 장을 열었던 것이다.

수학사에 있어서도 과학혁명기는 매우 중요하고 볼만한 시기였다. 대수학의 체계화, 해석기하학, 사영기하학, 로그, 삼각법, 확률론 등 새로운 분야의 등장, 그리고 미적분법의 발명이 모두 이 한 세기 동안 일어났던 것이다. 이렇게 다양한 내용의 발전이 짧은 기간 동안 집중되어 일어났다는 것은 매우 흥미로운 사실인 동시에 과학혁명기 수학의 성격을 특징짓는 일이 쉽지 않으리라는 점을 보여준다.

필자는 과학혁명기 수학에서 가장 주목할 만한 사건으로는 대수학의 발전을 지적하고자 한다. 그것은 단지 한 새로운 분야가 수학에 첨가되었다는 사실 이상의 의미를 지니고 있었

기 때문이다. 대수학은 주어진 문제를 해결하는 데 있어서 존재론적이고 논리에 치중하는 "기하학적 방법" 대신, 선험적이고 문제해결방식에 더 중점을 두는 "분석적 방법"을 택하도록 지식인들을 유인했다. Viète, Descartes, Fermat 등 16세기 후반 - 17세기 전반의 위대한 수학자들은 모두 이런 대수학의 분석적 방법을 이용하여 이전까지 해결하지 못했던 문제들 --예를 들어 3차 방정식의 해를 구하는 일반적인 방법, Pappus 문제, 접선과 구적 등--에 대한 만족할 만한 해답을 얻어냈던 것이다. 그리고 이들이 거둔 성공으로 대수학과 대수적인 방법은 점차 수학으로 인정을 받게 되었다.

여기서 지적하고 넘어가야 할 점은 이렇게 대수학의 분석적 방법이 성공적으로 적용된 곳이 전통적인 기하학 분야가 아니라, 천문학, 역학, 또는 그 밖에 실용성과 관련이 있는 분야였다는 사실이다. 포물선, 타원, 쌍곡선 등과 같은 conic sections의 문제, 접선 과 구적 등이 바로 그러한 분야였다. 다시 말해서 대수학이 기하학의 영역 일부를 침범한 것은 사실이지만, 대수학의 주된 목표는 새로운 분야의 개척에 있었지 기하학을 대체하려는 데에 있지 않았다.

본 논문은 과학혁명기, 특히 17세기동안 대수학의 발전과정을 미적분법의 발명을 중심으로 살펴볼 것이다. 필자는 대수학이 상인들의 계산 테크닉에서 학문적 언어로 바뀌게 되는 주요 원인들을 과학혁명기라는 "시대적 배경"하에서 분석하고자 한다. 특히 미적분법의 발달과정을 통해서 대수학과 기하학간의 긴장관계, 미적분법이 대수학과 기하학의 연결에 어떤 역할을 했는지도 살펴볼 것이다. 이를 통해서 대수학의 등장과 미적분법의 발명이 수학체계 내에서 자연스럽게 등장했다기 보다는, 과학혁명기라는 "시대의 산물"이라는 점을 강조할 것이다.

II.

대수학은 바빌로니아에서 르네상스 cossist 전통에 이르기까지 문제해결을 위한 복잡한 계산법이었다. 이 방법은 오로지 해답을 얻는 것은 목표로 하고 있었는데, 계산의 편이를 위해 여러 가지 부호체계를 채택하고 있었다. 이미 Diophantus 때부터 몇 몇 부호체계가 사용되기도 했지만, 이러한 부호들은 단지 긴 내용의 글을 축약하는 역할을 했을 따름이다. 한편 중세 말부터 시작된 cossist의 대수학은 +,−,√등의 부호를 사용하기 시작했고, 많은 문제들을 비슷한 유형별로 분류해서 낯선 문제의 해결을 위한 모델로 사용했다. 하지만 cossist의 대수학은 기본적으로 상인들이 계산의 편이를 위해 사용하는 것이었으며, 따라서 17세기 이전의 대수학은 계산을 위한 하나의 테크닉이었다고 할 수 있다.

16세기 후반에 활동했던 François Viète(1540-1603)는 대수학을 계산 테크닉에서 수학적 언어로 끌어올린 최초의 사람이었다. 정치가였던 Viète는 여가를 즐기는 한 방편으로 수학을 연구했는데, 산수, 대수학, 삼각법, 기하학등 각 방면에 고루 공헌했다. 그는 소수(decimal fraction)의 사용을 주장한 것으로도 유명하다.

Viète의 가장 큰 공헌은 역시 대수학 분야에서 일어났다. 1591년 출판된 <Introduction to the Analytic Art(Isagoge)>에서 그는 다음과 같이 혁명적 부호체계를 제창했다. "... 구하고자 하는 크기(미지수)는 A 또는 E, I, O, U, Y 와 같은 모음으로 부르고, 이미 주어진 크기(상수)는 B, G, D 같은 자음으로 부르기로 하[10, p.18]." Viète의 이 새로운 부호체계로 대수학은 처음으로 미지수와 상수를 명확하게 구분하게 되었다. 즉 이때서야 비로소 예제와 말로 구성된 계산체계에서 벗어났던 것이며, 따라서 문제를 보다 일반적인 형태로 취급할 수 있게 되었다. 이러한 변화는 대수학이 단순한 문제풀이 테크닉으로부터 방정식 구조에 관한 이론적 연구로 옮겨져 가고 있음을 가리키고 있었다. 예를 들어 방정식 해의 유무, 방정식의 분류, 방정식들간의 관계들이 수학자들의 관심을 끌게 된 것이다. Viète 이후 대수학은 특정한 문제풀이에서 해를 구하는 일반적인 방법으로 전환하고 있었다.

Viète의 대수학은 René Descartes(1596-1650)에 의해서 더욱 세련된 형태로 발전했다. Descartes는 Viète가 대문자를 사용했던데 비해서, 미지수를 소문자 x, y, z로, 상수를 소문자 a, b, c로 나타냈다. 또한 2 A cubus 라는 표현대신 대담하게도 $2x^3$을 사용했는데, 이때 x^3 은 반드시 한 변의 길이가 x인 입방체를 의미하는 것이 아니라 하나의 양으로써 다루어졌다. 이로써 그는 차원의 개념에 획기적인 공헌을 한 셈이었다. 실제로 Descartes는 아무런 기하학적 설명 없이 x^4, x^5 과 같은 고차원 방정식의 근을 구하는 방법을 <Geometry> 제3부에서 상세하게 제시했다.

1637년 출판된 <Geometry>는 수학사에 있어서 매우 중요한 책이다. 이 책은 해석기하학이라는 새로운 분야의 본격적인 시작을 의미했을 뿐 아니라, 방정식 이론의 발전에 있어서도 매우 중요했다. Descartes는 제1부 첫머리에서 "더 큰 명확성을 위해서 산수에서 사용하는 용어를 기하학에 도입하는 것을 주저하지 않겠다[6, p.5]" 라고 선언하면서 대수학의 여섯 가지 계산부호(더하기 +, 빼기 −, 곱하기, 나누기, 거듭제곱, 제곱근$\sqrt{\ }$)를 기하학에 적용시키는 방법을 상세하게 제시했다. 계속해서 그는 위의 여섯 가지 계산부호와 oblique coordinate를 사용하여 유명한 Pappus의 문제를 해결하는 데에 성공했다. 이에 자신을 얻어서 제2부에서는 곡선--원, 타원, 포물선 등--의 궤적과 접선의 문제 등을 대수적 부호를 사용해서 다루었다. 그러나 <Geometry>에서 가장 독창적인 내용은 제3부에 실린 방정식에 관한 이론이라 할 수 있다. Descartes는 여기서 n차 방정식이 n개의 근을 갖는다는 것을 보여주었고, 근을 구하는 여러 가지 방법--차수를 줄이거나 항수를 줄여서 인수분해가 가능한 식으로 유도하는 방법--등을 제시했다. 이렇게 보면, <Geometry>는 대부분의 내용이 대수학을 위해서, 또는 기하학의 대수학화를 위해서 바쳐졌다고 볼 수 있다. 이 점에서 "Geometry라는 책제목은 다분히 기만적이다[10, p.20]." 라는 Mahoney의 지적은 상당히 수긍이 간다.

하지만 모두 Mahoney의 주장에 동의하는 것은 아니다. Boyer는 Descartes가 <Geometry>를 저술한 의도가 기하학을 대수학에 귀속시키고자 한 것이 아니라, 보다 일반적인 기하학구성에 있었다고 주장했다. Boyer는 Descartes의 수학적 업적을 단순히 대수학을 기하학에 적용시킨 것으로 보는 데에는 무리가 있다고 지적하면서, 실제로 그의 업적은

대수학의 용어들을 기하학의 용어로 번역한 것으로도 볼 수 있다고 주장했다[4, pp. 370-371].

이렇게 <Geometry>의 성격을 한마디로 단정하기는 매우 힘들다. 책의 어떤 부분, 예를 들어 제2부와 제3부의 몇 몇 부분들은 순전히 기하학의 작도에 관한 부분인 데 비해서, 제3부의 대부분은 순전히 대수학의 내용을 담고 있다. 기하학과 대수학은 많은 부분에서 Descartes가 의도했던 것처럼 서로 응용되어지기도 했지만, 때로는 단순히 섞인 채 나열되기도 했다.

결론적으로 Descartes의 <Geometry>는 확실히 시대를 선도하는 혁명적인 역할--특히 대수학의 발전에 있어서--을 했음에도 불구하고 어떤 한계를 지니고 있었던 것이다. Mahoney는 이를 "낡고 전통적인 기하학적 방식과 새롭고 많은 면에서 혁명적이라 할 수 있는 대수학적 방식사이의 긴장관계(tension)"[10, p.15]라고 표현했다. 이러한 긴장관계, 또는 머뭇거림은 다른 곳에서도 찾아볼 수 있는데, 예를 들어 그는 해석기하학적 방법을 충돌이나 관성운동과 같은 물리적 문제를 푸는 데에 전혀 사용하지 않았다. Descartes가 곡선을 기하학적 곡선(geometrical curve)과 기계적 곡선(mechanical curve)으로 나누어서 다룬 것도 이러한 주저함의 결과였다.

이러한 "긴장관계"는 Pierre de Fermat(1601-1665)에게서도 찾아볼 수 있었다. Pascal이 "온 유럽에서 가장 위대한 수학자"라고 부른, 그리고 흔히 "아마츄어 수학자중 왕자"라고 일컬어지는 Fermat는 Toulouse시의 의원이었다. 그는 대부분의 여가시간을 고전의 발굴에 보냈는데, Apollonius, Pappus 등과 접하게 된 것도 바로 이러한 경로를 통해서였다. Fermat는 늘 자신이 고대 그리스 수학을 연구하고 있다고 말했지만, 사실은 종종 그 경계를 넘어 고대인들에게는 전혀 알려져 있지 않았던 영역을 다루었는데, 예를 들어 그는 구적을 다루면서 indivisible을 사용했으며, 접선의 문제에 접근하면서 미분의 개념에도 거의 도달했다.

Fermat는 그 시대의 어떤 수학자보다 대수학의 해석적 방법을 능숙하게 사용할 줄 알았다. 그는 <Introduction to Plane and Solid Loci(Isagoge)>에서 이전까지 알려진 모든 궤적을 두 개의 미지수를 포함하는 방정식으로 환원시켰다. <Introduction>의 부록과 후에 쓰여진 <Tripartite Dissertation>에서는 곡선의 수효를 엄청나게 많이 증가시켰고, 이 곡선들을 모두 대수적 방법으로 정리했다. 또 <Method of Maxima and Minima>에서는 방정식 이론을 곡선에 적용하여 일반적인 계산법으로 환원시켰다. 흔히 Fermat의 마지막 정리로 알려진 난제는 그후 300여년간 수학자들을 괴롭혔는데, 그가 얼마나 대수학에 정통했는지를 보여주는 좋은 예라 할 수 있다.

하지만 이렇게 고전 기하학 뿐 아니라 대수학도 자유자재로 사용할 줄 알았던 Fermat에게 있어서도 양자간의 긴장관계가 존재했다. 그 좋은 예가 바로 미적분법에 관한 그의 태도이다. Fermat의 수학을 살펴본 사람은 누구라도 이 위대한 수학자가 미적분법의 발명에 상당히 가까이 접근했었음을 알아차릴 수 있다. 실제로 18세기의 위대한 수학자이자 과학자였던 Laplace는 Fermat를 "미분법의 진정한 발명자"라고 불렀다. 하지만 끝내 Fermat는 미적분법의 발명자가 되지 못했다. 필자는 그 주된 이유가 Fermat가 기하학의 전통에서 완전히

자유로울 수 없었던 데에 있었다고 주장한다. 그가 구적을 구하는데 사용했던 indivisible이라는 개념과 접선을 구하는 데 사용했던 E가 모두 매우 작기는 했지만 엄연한 하나의 "양"이었다는 점, 구적을 구할 때 명확한 설명 없이 유한급수에서 무한급수로 넘어갔던 점등을 고려하면, 그가 아직 정확한 극한의 개념에 도달하지 못했다는 사실을 알 수 있다. Fermat가 대수학과 해석기하학의 발전에 크게 기여한 것은 분명한 사실이지만, 기하학적 사고가 그에게 일정한 한계를 설정했던 것이다.

또한 Fermat는 미적분법의 기본이 되는 접선과 구적의 역관계에 대해서도 전혀 언급하지 않았다. 아마도 그는 이러한 역관계를 알고는 있었던 것 같은 데, 그럼에도 불구하고 그의 저서 어디에서도 이 관계에 주의를 기울인 대목은 찾을 수 없다. 결국 Fermat에게 있어서 접선과 구적은 서로 별 개의 해석기하학 문제였으며, 그는 이 "두 문제"에 대해서 각각 해답을 얻어내려 했던 것이다. 바꾸어 말하자면, Fermat는 후에 Newton의 경우처럼 이 두 방법을 함께 고려해야 할 "필요성"이 없었던 것이다. 미적분법의 발명을 위해서는 대수학의 발전이외에도 또 다른 외부에서의 자극이 필요했다.

III.

Descartes, Fermat로 대표되는 17세기 전반과 Newton, Leibniz로 대표되는 17세기 후반사이의 시기를 Boyer는 "이행기"라고 부르고 있다[4, p.404]. 이 시기에는 영국과 네덜란드, 이탈리아를 중심으로 일단의 수학자, 과학자, 엔지니어들이 대수학과 미적분법의 발전에 크게 공헌했다. 이들은 Descartes나 Fermat와는 달리 대수학과 기하학 모두를 껴안으려 하기보다는 각자의 기호에 따라서 양자 중 하나를 선택해서 집중적으로 연구하는 경향이 있었다.

네덜란드의 Frans van Schooten(1615-1660)과 그의 제자들, 그리고 잉글랜드의 John Wallis(1616-1703)는 대수학을 선호했다. van Schooten은 Descartes의 <Geometry>를 당시 보편적 학술어였던 라틴어로 번역하여 대수학의 전파에 큰 공헌을 했다. 그의 제자였던 John de Witt와 Johann Hudde도 판별식에 관한 논문과 다항식에 관한 논문을 각각 발표했다. 영국 옥스퍼드대학 교수였던 Wallis는 해석기하학 내용을 담은 <Tractatus de sectionibus conics>와 무한문제를 다룬 <Arithmetica infinitorum>을 출판하여 해석학의 발전에 크게 공헌했다. 그는 <Tractatus>에서 가능한 곳에서는 어디에서나 기하학의 개념을 대수학적인 것으로 바꾸었는데, 고전기하학의 기반인 비례(proportion)마저도 별다른 설명 없이 산술적으로 취급했다. 또, <Arithmetica>에서는 구적을 다루면서 기하학적인 고려를 전혀 하지 않고 무한히 많은 indivisible과 수치를 직접 연결시켜서 Fermat가 얻은 것과 같은 결과를 얻었다. 고전기하학의 특징인 논리적 엄격함을 무시한 Wallis의 이러한 과격한 태도는 결과적으로 대수학의 발전에 큰 도움을 주었다.

스코틀랜드의 James Gregory(1638-1657)와 잉글랜드의 Isaac Barrow(1630-1677)는 보편적 언어로써 기하학을 선호했다. 특히 케임브리지대학 초대 Lucasian 수학교수였던 Barrow

는 대수학은 수학이라기보다는 논리학의 한 분야로 취급되어져야 한다고 믿었다. 그는 접선과 구적을 다룰 때 Wallis식의 대수적 방법을 단호히 배격하고, 대신 Torricelli가 제안한 운동학적 개념(kinematic view)을 채택하여 기하학적 양들은 점들의 지속적인 흐름에 의해서 생성된다는 자신만의 독창적인 개념을 형성했다. 이는 후에 그의 뒤를 이어 제2대 Lucasian 교수가 되는 Newton에게 큰 영향을 준다. Barrow는 접선과 구적, 그리고 이들 사이의 역관계를 알고 있었던 것 같지만 미적분법의 발명에는 도달하지 못했는데, 기하학에 대한 집착, 다시 말하자면 논리적 엄격함에 얽매여서 더 이상 나아갈 수 없었던 것이다.

한편, 위의 엄격한 수학자들(비록 아마추어들이었지만)과는 다른 관점에서 대수학과 미적분법의 발명에 공헌한 일단의 무리가 있었다. 이들은 모두 과학혁명기의 가장 첨예한 문제였던 "운동"에 깊은 관심을 가지고 연구했던 사람들이었다. 이미 16세기에도 유체정역학의 발달에 공헌한 Simon Stevin(1548-1620)이나 동역학의 창시자라 할 수 있는 Galilei Galileo(1564-1642)가 극한과 급수문제에 관심을 갖고 있었다. 하지만 이들이 활동했던 시기가 대수학이 막 발전을 시작했던 16세기 후반이었기 때문에, 이들은 기하학의 굴레에서 벗어날 수 없었다. 근대 천문학의 발달에 큰 공헌을 한 Johannes Kepler(1571-1630)도 천체의 운동을 연구하면서 접선과 구적을 다루었는데, 그도 역시 기하학의 형식에서 자유로울 수 없었다[5].

17세기 중반에 활동했던 Evagelista Torricelli(1608-1647)와 Christiaan Huygens (1629-1695)는 Galileo나 Kepler보다 훨씬 자유롭게 대수적 기법을 사용하여 여러 가지 운동을 분석하는 데에 적용했다. Torricelli는 스승이었던 Galileo의 영향으로 운동에 관심을 갖게 되면서 parabola, spiral, cycloid 등과 접하게 되었다. 그는 움직이는 물체가 그리는 곡선의 접선으로서의 순간속도, 그리고 곡선의 세로축의 합(구적)인 움직인 거리등을 연구했는데, 이 과정에서 접선과 구적의 역관계를 알게 된 것 같다. Huygens는 Descartes의 영향을 깊이 받은 철학자로 Descartes가 미완성으로 남긴 충돌에 관한 법칙을 완성했을 뿐 아니라, 원심력과 구심력, 진자의 운동, cycloid운동 등에 관해 많은 연구를 했다. 이렇게 여러 가지 운동을 분석하면서 Huygens도 접선과 구적의 역관계를 알게 되었지만, 미적분법의 발명에는 이르지 못했다.

필자는 운동을 연구했던 이들 지식인들이 미적분법의 발명에 이르지 못했던 주요한 원인을 이들이 대학에서 받은 전통적인 기하학 체계에서 완전히 자유롭지 못했다는 데에서 찾고자 한다. 즉 이들은 운동을 연구하면서 위의 수학자들보다는 상대적으로 자유롭게 대수적 기법을 사용했으나, 전통적인 기하학의 형식과 논리로부터 완전히 자유롭지는 못했던 것이다. 대학교육을 받지 못했던 엔지니어 Stevin이 시대를 앞서서 훨씬 "자유롭게" 극한과 급수문제를 대수적으로 다루었던 점은 이를 잘 보여준다. 그렇다면 전통적인 기하학뿐 아니라 지난 세기동안 이룩했던 대수학의 발전에도 정통하면서, 보다 자유스러운 태도로 융통성을 발휘할 수 있는 사람이 나타난다면 Boyer가 "기대의 한 세기[3, pp.96-186]"라고 부른 시기를 마감할 수 있지 않을까?

IV.

대수학과 기하학의 경계를 마음대로 뛰어넘을 수 있는 이러한 융통성을 과학혁명기가 낳은 가장 위대한 과학자 Isaac Newton(1646-1716)이 가지고 있었다. Newton은 케임브리지대학 학생이었던 1664-65년에 이미 이항식이론을 발견했고, 1665년부터는 변화율(rate of change)을 무한급수와 함께 고려하기 시작했다. 그리고 1669년에 작성된 <De analysi per aequationes numero terminorum infinitas(1711년에 출판됨)>이라는 논문에서 수학사상 처음으로 접선과 구적의 역관계를 명확하게 보여주었다. Newton은 자신이 발견한 이항식의 전개를 통해서 미적분법의 이 기본관계를 밝혔던 것이다. 즉 그가 처음으로 접선과 구적의 역관계에 도달하게 된 것은 순전히 해석적, 또는 대수적 방법에 의한 것이었다. <De analysi>는 Newton이 스승이었던 Barrow의 영향에도 불구하고, 그리고 줄곧 자신을 순수한 기하학자라고 불렀던 데에도 불구하고, 대수학을 자유자재로 이용할 수 있었음을 잘 보여 주었다.

한편, Newton은 1671년경에 쓴 것으로 믿어지는 <Methodus fluxionum et serierum infinitarum>에서 다른 방법을 사용하여 <De analysi>와 같은 결론을 얻어냈다. 1736년에야 출판된 이 논문에서 그는 x와 y를 각각 유동적인 양들(flowing quantities, 또는 fluents)로 보고 이 양들의 아주 짧은 시간 변화에 따른 x, y의 변화량, $\dot{x}o$, $\dot{y}o$ (여기서 o는 무한히 작은 시간 구간을 가리키고, $\dot{x}$와 $\dot{y}$는 x, y의 fluxion들임)로 <De analysi>의 방법을 대신했다. 여기서 Newton은 단순한 숫자 비의 변화보다 물리적 양의 변화를 선호했다고 볼 수 있는데, 대수적 방법으로 발견한 미적분법을 기하학적 언어와 방법으로 재해석했다고 할 수 있다. 이는 그가 대수학과 기하학의 경계를 자유자재로 넘나들었던 것을 보여준다. 하지만 그 이후 기하학으로의 경도가 심해져서 1676년 작성한 <De quodratura curvarum(1704년에 출판됨)>이나 1673년-1683년 동안 강의를 목적으로 쓴 <Arithmetica universalis>에서는 그의 보수적 태도로의 전환이 여지없이 드러난다.

이렇게 발명된 미적분법이 처음으로 그 모습을 외부로 들어내고 위력을 발휘하게 된 것은, 1687년 출판된 <Principia>에서였다. Newton은 "힘(force)"이라는 새롭고 보편적인 개념을 도입하여 두 물체의 지속적인 운동, 원심력, 구심력 등을 성공적으로 설명했는데, 여기에 동원된 것이 바로 접선과 구적의 역관계였다. 그는 이 새로운, 그리고 강력한 수학적 "도구"를 사용하여 Kepler의 세 법칙을 수학적으로 유도해낼 수 있었고, 달을 비롯한 천체의 운동을 그전보다 훨씬 정확하게 예측할 수 있었던 것이다.

<Principia>는 Euclid의 <Elements> 체계를 그대로 모방했을 뿐 아니라 사용한 언어도 순전히 기하학적인 것이었다. 하지만 제2부에서 유체역학을 설명할 때 상당히 많은 해석적 방법을 사용했고, 많은 수의 포물선, 타원, 쌍곡선 등을 분석했던 점등을 고려한다면, 그 외형적 형태야 어떻든 Newton이 대수적인 방법을 여전히 자유롭게 사용했다는 사실을 알 수 있다. 시간이 지남에 따라서 전통적인 기하학에 대한 개인적인 선호가 깊어진 것은 사실이지만, 그는 언제나 자신이 젊어서 이룩했던 대수학에서의 급진적인 성과들을 충분히 이용할

수 있었던 융통성 있는 과학자였다.

*Gottfried Wilhelm Leibniz(1646-1716)*도 *Newton*과는 독립적으로 *1676*년경 접선과 구적이 역관계임을 알아냈다. 그는 무한급수와 조화삼각형의 연구로부터 접선과 구적이 서로 역관계일 수 있다는 암시를 얻어냈고, Pascal이 구적에 사용한 도표와 Barrow가 접선문제에 사용한 도표사이에 놀랄만한 유사성을 발견하고 역관계에 대한 확신을 가졌던 것이다. 위대한 철학자였던 그는 이 새로운 수학적 발견을 효과적으로 표현할 수 있는 "보편적 기호"를 발명하고자 노력했는데, 얼마동안 시행착오를 거친 후 x와 y의 가능한 한 가장 작은 양을 나타내는 기호로 dx와 dy를, 그리고 어떤 곡선 밑의 세로좌표의 합(즉 구적)을 나타내는 기호로 $\int y\ dx$라는 기호를 고안했다. 그는 자신의 새로운 기호들을 사용해서 1684년 출판된 <Nova methodus pro maxim et minimis>에서는 미분법을, 그리고 1686년 출판된 <Acta eruditorum V>에서는 적분법을 각각 기술했다. 특히 <Acta>에서는 구적을 접선의 역방법 중 특별한 경우로 보았으며, 더 넓은 의미에서 미분법과 적분법 사이의 역관계를 강조했다. 그는 철학자로서 이들 역관계가 "보편적"이라는 과감한 결론에 도달할 수 있었던 것이다. Leibniz는 수학을 논리학의 한 분야로 보았던 것이다.

Leibniz의 경우에도 Newton과 마찬가지로 한 수학체계가 그를 제한시킬 수 없었음을 보여준다. 처음 그가 미적분법에 접근하게 된 것은 Pascal과 Barrow의 기하학적 방법을 통해서였지만, 일단 역관계에 대해서 확신을 얻게된 후에는 자신이 창안한 새로운 기호들을 사용해서 대수학적으로 문제를 다루었던 것이다. 또한 Newton의 경우와 마찬가지로 그도 미적분법을 일반적인 방법으로 다룰 수 있는 융통성을 갖추고 있었다. 그가 창안한 기호법을 오늘날에도 사용하고 있는 점을 고려한다면 오히려 Newton을 앞선다고도 할 수 있다.

하지만 Newton과 Leibniz에 의해서 "발명"된 미적분법은 완성된 형태의 것은 아니었다. 그들은 지난 한 세기 동안 독립적으로 다루어졌던 접선과 구적이 서로 역관계라는 것을 명확히 밝혔고, 미적분법에 필수적인 기본개념과 기호 등을 제시했으며, 그 응용가능성을 보여주었을 뿐이다. 따라서 미적분법의 완성을 위해서는 여전히 해결되어야 할 많은 난제가 남아 있었는데, 예를 들면 극한에 관한 명확한 규명 등이 숙제로 남았다. 결국 현재 교과서에 실려있는 형태의 미적분법은 그 후 한 세기, 즉 18세기 동안 수많은 수학자, 과학자, 철학자들이 꾸준히 연구한 결과였다.

V.

이상에서 필자는 과학혁명기의 대수학의 발전과 미적분법의 발명을 살펴보았다. 필자는 과학혁명기의 대표적인 업적 중 하나인 미적분법의 발명이 대수학의 발전에 크게 의존했으며, 그 과정에서 전통적인 기하학과 긴장관계를 유지할 수밖에 없었음을 보였다.

필자는 다음과 같은 몇 가지 점을 덧붙여 지적하고자 한다. 첫째, 대수학의 발전은 과학혁

명기 위대한 사상가들의 사회적 지위와 명성에 크게 의존했다는 점이다. 상인들의 계산 테크닉에 불과했던 대수학이 학문적 언어로 받아들여질 수 있었던 것은 Viète, Descartes, Fermat, 그리고 후에는 Huygens, Newton, Leibniz와 같이 사회적으로 존경받는 지식인들 덕분이었다. 이들은 대수학의 유용성을 알아차리고 이를 적극적으로 사용함으로써 대수학이 널리 퍼지는 데에 크게 공헌했다. 다시 말하자면 대수학의 전파와 학문세계로의 편입은 대수학 자체의 유용성 때문이라기보다는 그것을 사용했던 사람들의 사회적 지위와 명성에 더 크게 의존했던 것이다.

둘째, 대수학과 미적분법의 발전은 수학 외적인 자극에 크게 영향을 받았다. 가장 중요한 것으로 과학혁명기의 가장 첨예한 문제였던 운동문제를 지적할 수 있다. 고대나 중세의 역학과는 달리 근대 역학은 순간운동이 아니라 지속적인 운동을 기술해야만 했고 타원을 비롯하여 여러 형태의 원운동을 설명해야만 했는데, 이를 위해서 접선과 구적이 관심을 끌게 되었다. 즉 운동을 연구하는 학자들은 하나의 계산수단으로서 접선과 구적을 다루게 되었고, 그 과정에서 대수학의 해석적 방법에 크게 매료되었으며, 그 결과 이들간의 역관계에 접근할 수 있었던 것이다. 미적분법이 형식이나 논리상의 불완전함에도 불구하고 쉽게 받아들여지게 된 것도 결국은 그것이 천체의 운동을 비롯한 운동문제를 성공적으로 설명해냈기 때문이다. 역으로 미적분법의 발명과 그 수용은 대수학의 전파에도 큰 공헌을 했다.

셋째, 과학혁명기의 대수학과 미적분법의 발달과정을 살펴보면 수학의 발달과정이 다른 자연과학과는 상당히 다르다는 것을 알 수 있다. 과학혁명기 동안 천문학, 역학, 생리학 등 많은 분야들이 고대와 중세의 낡은 전통을 버리고 새로운 내용과 방법을 채택했던 데 비해서, 수학은 전통적인 기하학과 새로이 부상한 대수학간에 긴장관계가 있기는 했지만, 어느 한편의 일방적인 승리로 마감되지 않았던 것이다. 바꾸어 말하자면 수학은 과학혁명기동안 Thomas Kuhn이 얘기한 패러다임의 변화와 같은 급격한 단절을 겪지 않았다. 기하학은 대수학의 해석적 방법을 도입하여 해석기하학이라는 새로운 영역을 개척했으며, 대수학은 기하학의 영향으로 보다 엄밀한 형식을 갖추고 이론적인 발전을 하게 되었다. 따라서 17세기의 위대한 사상가들이 기하학과 대수학 사이에서 융통성을 보이다가도 때로는 머뭇거렸던 것은 이상한 일이 아니다. 양자가 모두 유용했기 때문이며, 미적분법의 발명이 바로 그 좋은 예라 할 수 있다. 이런 점에서 수학은 다른 자연과학 분야보다도 누적적인 경향이 훨씬 강하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. Margaret E. Baron, *The Origins of the Infinitesimal Calculus,* Oxford: Pegamon Press, 1969.
2. E. T. Bell, *Men of Mathematics,* New York: Simon & Schuster, 1986.

3. Carl B. Boyer, *The History of the Calculus and Its Conceptual Development,* New York: Dover, 1959.
4. Carl B. Boyer, *A History of Mathematics,* New York: John Wiley & Sons, 1968.
5. J. Bruce Brackenridge, *The Key to Newton's Dynamics,* Translated by Mary A. Rossi, Berkeley: University of California Press, 1995.
6. René Descartes, *The Geometry,* Translated from the French and Latin by David E. Smith & Marcia L. Latham, New York: Dover, 1954.
7. E. J. Dijksterhuis, *The Mechanization of the World Picture: Pythagoras to Newton,* Translated by C. Dikshoorn, Oxford: Oxford University Press, 1961.
8. Charles C. Gillispie, ed. *Dictionary of Scientific Biography,* New York; Scribner, 1972-1980.
9. Morris Kline, *Mathematics in Western Culture,* Oxford: Oxford University Press, 1953.
10. Michael S. Mahoney, Die Anfänge der algebraischen Denkweise im 17 Jahrhundert, *Rete* 1 (1972), 15-31.
11. Michael S. Mahoney, *The Mathematical Career of Pierre de Fermat, 1601-1665,* Princeton: Princeton University Press, 1973.
12. Michael S. Mahoney, Infinitesimals and Transcendent Relations: The Mathematics of Motion in the Late Seventeenth Century, *Reappraisals of the Scientific Revolution.,* eds. David C. Lindberg & Robert S. Westman, Cambridge: Cambridge University Press, 1990, 461-491.
13. Isaac Newton, *Principia.* Translated by Andrew Motte and revised by Florian Cajori, Berkeley: University of California Press, 1934.
14. David E. Smith. *History of Mathematics.* vol. 2, New York: Dover, 1958.
15. Dirk J. Struik. *A Concise History of Mathematics.* 4th revised edition, New York: Dover, 1987.
16. Dirk J. Struik, ed. *A Source Book in Mathematics 1200-1800.* Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1969.
17. René Taton, The Mathematical Revolution of the 17th Century, *Reason, Experiment and Mysticism in the Scientific Revolution,* eds. M. L. Righini Bonelli & W. R. Shea, New York: Science History, 1975, 283-290.