

프린키피아의 뉴턴*

대구가톨릭대학교 자연과학부(수학전공) 이정선

Abstract

It is well known that a lot of mathematical theories of many famous mathematicians had scholarly effects on Isaac Newton. Nonetheless, his private internal view or attitude to natural philosophy is not so much known. In this paper we will approach him via his famous book *Principia* on physics and mathematics, considering the influences acted on him by mathematicians in the history of mathematics.

0. 서론

수학의 원전이 유클리드(Euclid, 기원전 300?)의 기하학을 다룬 책 *원론*(Elements) 13 권 이다시피 물리학의 원전은 뉴턴(Isaac Newton, 1642-1727)의 물체의 운동을 다룬 책 *프린키피아*(Principia) 3권[12]인데, 원제는 *자연철학의 수학적 원리*(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)이다(앞으로 제 I 권, 제 II 권, 제 III 권은 이 3권의 책을 나타냄). 따라서 1642년은 수학사에서 의미 있는 해인데, 천문학자인 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564-1642)가 죽고 미적분학의 확립자로서의 지위 문제로 인해 독일의 수학자 라이프니츠(1646-1716)와 경쟁하였던 물리학자요 수학자인 뉴턴이 영국에서 태어났기 때문이다. 오늘날에는, 뉴턴이 미적분학을 10년 먼저 발견하였으나 발간은 라이프니츠가 먼저 한 것으로 알려져 있다.

1685년에 제 I 권이 나오고 1687년에 마지막인 제 III 권이 나온 *프린키피아*는 그의 4대 저서¹⁾ 중 가장 위대한 저서로[3, 하], 역학계와 천체운동 현상(혹은 물리학과 천문학의 기본 원리들)이 수학적으로 기술되어져 있으며, 자연철학의 큰 전환점이 된다. 라이프니츠가 죽은 지 10년이 지난 1726년에 출판된 *프린키피아* 3판에서 뉴턴은 라이프니츠가 자기와 마찬가지로 미적분법을 발견했다는 언급이 있는 부분을 모두 삭제하였다[4].

* 본 연구는 2003학년도 대구가톨릭대학교 일반연구비 지원에 의한 것임.

1) *프린키피아*(Principia, 1685-1687), *유율법*(Method of fluxions, 1671), *광학*(Optics, 1704), *일반산술*(Arithmetica universalis, 1707)

한편, 그 당시의 혼란스런 상황을 이해하려면 그 때까지 지상역학과 천체역학 이 두 가지의 역학이 공존했다는 점을 염두에 두어야 하는데, 뉴턴은 이들을 중력의 법칙(혹은 만유인력의 법칙)이라는 단일 이론으로 통합한다. 중세기의 많은 학자들이 지상과 천체의 현상에 무엇인가 신비적 원인을 부여하려 했고, 하늘에 있는 것은 완전한 것이고 지상에 있는 것은 불완전한 것이라는 오랜 관념을 뉴턴은 프린키피아 제Ⅲ권의 철학추론 규칙 I에 “자연사물의 원인으로서는 그 현상들을 진정하고도 충분히 설명할 수 있는 것 이외의 것을 인정해서는 안 된다.”고 명기하여 과학적 사고방식으로 타파하였다[6].

1. 본론

뉴턴과 그의 역작 프린키피아, 뉴턴에게 지대한 영향을 끼친 3명의 학자 갈릴레이 갈릴레오, 케플러(Johann Kepler), 데카르트(Rene Descarte) 등에 대하여 기술하면 다음과 같다.

1.1 뉴턴

뉴턴은 1642년 영국에서 태어나, 어릴 때부터 기계모형의 고안과 실험에 뛰어난 재능과 즐거움을 나타내었고, 1661년 18세 때 케임브리지 대학교(Cambridge University)의 트리니티 대학(Trinity College)에 입학한 후, Stourbridge Fair에서 구입한 점성술에 관한 한 책으로 인해 수학 쪽으로 관심을 가지게 된다. 먼저 유클리드의 원론을 읽고 난 후 데카르트(1596-1650)의 기하학(La géométrie), 오투레드의 수학의 열쇠(Clavis), 케플러와 비에트의 작품들, 그리고 윌리스의 무한산술(Arithmetica infinitorum) 등 광범위한 독서를 한 것으로 알려져 있다. 원론에 실린 명제들은 자명하다고 생각하여 그의 스승 배로(Isaac Barrow)가 다시 한번 펴 보기를 권할 때까지 무시한 반면 기하학은 약간 어렵다고 생각하였다고 하는데, 아마 독창적인 수학 연구를 하도록 한 책은 데카르트의 기하학인 것 같다.

흑사병이 돌던 1665~1666년에 광학, 화학, 수학 연구에 몰두하였고, 이 사이에 무한급수와 미적분을 발견하고, 1666년엔 중력이론의 발견이 시작되었다. 뉴턴이 미적분에 대한 논문을 처음 출판한 것은 1687년 프린키피아를 통해서였다. 이 저작은 순수수학에 속하는 연구도 많이 들어있는데, 특히 원뿔곡선에 관한 연구가 많다.

또한, 뉴턴은 젊은 시절 신학연구에도 큰 관심을 가져 1690년 이전에 벌써 예언서 연구를 시작하였다. 1690년 “성경의 두 가지 중요한 오점에 대한 역사적 설명”이나 “다니엘 예언서와 묵시록에 대한 고찰” 등의 논문을 썼고[6], 삼위 일체설을 바탕으로 한 당시의 정통종교를 거부하며 체제에 반항하기도 하였다[7].

뉴턴의 말년은 1703년 영국 학술원(Royal Society)의 원장이 되는 등 주로 대외활동으로 바빴고, 1727년 웨스트민스트 사원에 안장되었다[3하, 4, 6, 7, 8, 11].

잘 알려져 있듯이 뉴턴의 업적은 크게 미적분학을 확립한 수학적 업적과 만유인력을 발견한 물리적 업적 두 가지로 집약된다.

1.2 프린키피아

우선, 원론은 유클리드가 그 이전의 그리스 수학의 많은 저작을 체계적 형식으로 기록한 대작이며, 기하학뿐만 아니라 수론과 약간의 기하학적 대수의 내용도 포함되어 있다. 기하학의 논리전개에 필요한 증명 없이 사용하는 공리 및 공준 각 5 개를 설정하고, 사용되는 용어에 대한 정의를 명백히 한 후, 일반적 도형의 성질을 차례로 증명하는 공준적 형식체계를 갖춘 수학책임은 잘 알려져 있다.

일반적으로 물리학의 원전으로 알려진 뉴턴의 역작인 프린키피아는 세 권으로 구성되어 있는데, 그 당시의 관례대로 라틴어로 출간되었다. 뉴턴의 수학 저작 중 가장 먼저 출판된 것이나 씌어진 순서로 보면 가장 마지막 저작이다. 원저는 저술형식이 그리스의 기하학적 체계를 따라, 그 논술 양식도 유클리드의 원론이나 아폴로니우스(Apollonius, 기원전 260-200?)의 원추곡선론(Conic Sections) 8 권과 흡사하다. 초판 제 I 권의 서문에 프린키피아를 저술한 목적을 다음과 같이 말하고 있다.

나는 기교보다는 철학을 설계하며, 자연의 힘에 관하여 저술하므로, 이 저작을 철학의 수학적 원리라고 이름을 붙였다. 그리고 이 목적을 위하여 book I, II의 수학적 입증된 일반적인 명제들이 도출된다. 이들에 의해, book III에서 중력이란 것이 유도된다. 나는 자연의 나머지 여러 현상들도 역학의 원리로부터 같은 종류의 논리에 의해 유도할 수 있기를 바란다.

또한, 증명을 위해 채택된 기하학적 방법은 연구 수단으로서의 뉴턴의 해석학보다 기하학에 대한 편애를 나타내는 것은 아니다. 왜냐하면, 제 I 권의 끝 부분과 제 II 권의 몇몇 정리들을 발견하기 위해 우선 미적분학을 사용했다고 알려져 있기 때문이다[8]. 특히, 미적분의 가장 중요한 사용중의 하나가 제 II 권의 보조정리 II에 기술되어져 있다. 또, 아마도 보편적으로 잘 알려진 말, 곧 기하학 언어로 세련되고 설득력 있는 증명을 할 수 있었기 때문이었을 것이다[3하].

프린키피아의 제 I 권은 표제가 물체의 운동인데, 잘 알려지지 않은 용어를 정의한 후, 공리 또는 운동의 법칙에서 뉴턴의 3 운동법칙²⁾이 소개된다. 물체의 운동을 논하면서, 케플러의 제 2, 3 법칙³⁾이 성립한다고 증명하였고, 또한 미분학의 개념도 보여준다. 제 1 장의 제목이 “뒤따르는 여러 명제의 증명을 돕기 위한 여러 양의 최초 및 최후의 비의 방법”인데 이

2) 제 1 법칙: 관성의 법칙, 제 2 법칙: 가속도의 법칙, 제 3 법칙: 작용 반작용의 법칙.

3) 케플러의 법칙은 모두 3가지로 그 내용은 다음과 같다. 제 1 법칙: 타원궤도의 법칙, 제 2 법칙: 면적속도 일정의 법칙, 제 3 법칙: 조화의 법칙

프린키피아의 뉴턴

는 함수의 극한정리를 시도한 것으로, 보조정리 7에서 “호, 현, 접선 사이의 궁극적인 값은 서로 같다”고 한다. 명제 19부터 29를 정리하면 실제 원뿔곡선을 구조적으로 서술한 조그마한 논문이 됨을 알 수 있다[3하].

제Ⅱ권은 표제가 물체의 운동(저항매질 속에서)이며, 주로 저항을 가진 매체 내에서의 물체의 운동 및 유체역학이 거론되고 데카르트의 소용돌이 가설이 잘못임을 그의 운동법칙으로 보인다. 또, 제Ⅱ권의 한 주석에서 보면, 뉴턴은 최초로 미적분을 연산한 것도 아니고 미분적분이 역관계에 있음을 최초로 깨달았던 것도 아님을 알 수 있다. 뉴턴의 미적분 발견은 대수함수든 초월함수든 관계없이 미분과 적분의 성질을 모든 함수에 적용할 수 있도록 하나의 일반적 산법으로 정리하였다는 의미이다[3하].

제Ⅲ권은 표제가 세계의 체계인데, 4개의 철학추론의 규칙에서 시작하여 제Ⅰ, Ⅱ권에서 얻은 정리들을 태양계의 주된 현상, 행성 및 그들의 위성의 질량과 거리를 결정하기 위해 적용하면서 만유인력을 다루고 있다. 명제 13에서 케플러의 제1 법칙이 증명된다.

한편, 뉴턴은 제Ⅲ권의 일반주석에서 “지금까지 현상들로부터 중력의 성질의 원인들을 발견할 수 없었고, 또 가설을 만들지 않는다(I frame no hypothesis). 그 이유는 현상으로부터 유도해 낼 수 없는 것들은 무엇이든지 간에 가설이라고 불러야 하기 때문이다. 또, 가설은 형이상학적이든 형이하학적이든 실험철학에서 아무런 위치를 차지 못한다. 특수한 명제가 현상으로부터 추론되고 난 후 귀납법에 의해 일반화되는 실험철학에 의해 자신은 물체의 불가입성, 가동성, 충격력, 운동과 중력의 법칙을 발견하였다.”고 한다. 그러나 마지막 부분인 일반 주석에서 ‘Being’(많은 학자들이 “신”으로 번역하고 있음)과 ‘Spirit’(“정기”나 “대영”으로 번역됨)에 대하여 언급하고 있다. 이들을 요약하여 도표화하면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 프린키피아에 관련된 주요 내용

프린키피아 관련분야	제Ⅰ권 물체의 운동	제Ⅱ권 물체의 운동 (계속)	제Ⅲ권 세계의 체계
물리학	뉴턴의 3 운동법칙 확립 (제 1, 2 법칙은 갈릴레이로부터 승계)	저항매질 내에서의 물체의 운동 및 유체역학 연구	중력의 법칙 확립
천문학	케플러의 제 2, 3 법칙 증명	데카르트의 소용돌이 우주론이 잘못임을 증명	케플러의 제 1 법칙 증명
수학	함수의 극한정리 시도 원뿔곡선에 관한 연구	유율법 언급	
신학			Being 예찬
철학			철학추론의 규칙 I ~ IV

1.3 뉴턴의 3거인

17세기 초 수학에 지대한 기여를 한 두 천문학자가 있는데 바로 이탈리아의 갈릴레오 갈릴레이와 독일의 요한 케플러(1571-1630)이다.

갈릴레이의 주요 업적[3상]은 1632년의 천문학에 대한 논문 **천문대화**(The Two Chief Systems)와 1638년의 물리학에 관한 논문 **신과학 대화**(The Two New Sciences)로 구분할 수 있는데, 이 두 논문 곳곳에 수학과 관련된 무한대와 무한소의 성질이 자주 언급되고 있다. 갈릴레이는 자신이 세운 동역학에 무한대보다 무한소가 필수적이라는 점을 깨달았다. 자유 낙하하는 물체가 무게에 비례하지 않음을 실증하였고, 만약 균등한 가속도로 낙하한다면 속도, 시간, 공간의 관계식을 유도할 수 있다고 하였다. 암묵적으로 뉴턴의 첫 2 운동의 법칙을 사용하여 투사체의 궤도가 포물선임을 보였다[8].

케플러[10]는 1571년 가난한 신교도의 가정에서 태어나 그의 스승인 스웨덴 천문학자 티코 브라헤(Tycho Brache)의 방대하고 매우 정확한 천문학적 자료를 물려받아, 1609년에 행성운동의 처음 두 법칙을, 1619년에는 세 번째 법칙을 경험적으로 발견하게 된다. 이 행성운동의 법칙은 천문학과 수학에 있어서 획기적 사건으로 기록되고 있는데, 그 이유는 뉴턴이 그것을 증명하려고 노력하던 중에 현대 천체역학을 창조하게 되었고, 과학에서 지금까지 만들어진 가장 괄목할 만한 귀납법중의 하나이기 때문이다.

케플러 역시 미적분학의 한 선구자인데 행성운동의 제2 법칙에 포함된 면적을 계산하기 위하여 조각한 형태의 적분을 사용해야만 했다. 직선은 무한대에서 끝나고, 두 평행선은 무한대에서 만나는 것으로, 포물선은 타원 또는 쌍곡선에서 한 초점이 무한대로 갈 때의 극한 경우로 간주되어 진다고 그의 연속성의 원리⁴⁾를 주장하여 설명하였다.

또한 원뿔곡선 중 타원과 포물선을 각각 천문학과 물리학에 응용할 수 있다고 동시에 발견한 것은 주목 할만하다. 순수 수학이 전혀 기대하지 않았던 응용을 언제 갖게 될지는 누구도 알 수 없는데 웨웰(William Whewell)이 “만일 그리스인이 원추곡선론을 발달시키지 않았다면 케플러는 프톨레마이오스(Claudius Ptolemy)를 앞지를 수 없었을 것이다.”라고 말한 점은 기억할 만하다.

아울러, 데카르트는 1637년 3권의 부록이 딸린 **방법서설**(Discours de la méthode pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences)을 발간하게 되는데 그 중 부록 제3권 기하학이 해석기하학을 다루고 있다[10]. 1644년에는 약간의 부정확한 자연의 법칙과 모순되는 소용돌이 우주론을 담고있는 **철학의 원리**(Principia philosophiae)를 출간하나, 뉴턴이 **프린키피아**에서 물체의 운동에 관한 이론으로 그 소용돌이 우주론은 잘못임을 증명하게 된다.

4) 연속성의 원리(Principle of continuity)[10]: 보통의 점이나 직선이 가지고 있는 많은 성질들을 가지는 어떤 이상점(ideal points)이나 이상 직선(ideal lines)이 평면상의 무한대에서 존재함을 가정.

[3]에 의하면, 뉴턴이 훅(Robert Hook)에게 “내가 데카르트보다 앞서 보게 되었다고 한다면 그것은 내가 위대한 사람들의 어깨를 딛고 있기 때문이다.”라고 써 보냈다. 즉, 그는 세 거인의 업적을 이어 받았다고 한다[2]. 데카르트로부터는 해석기하학을, 케플러로부터는 22년 간의 관측으로 얻어진 행성 운동의 세 법칙을, 갈릴레이로부터는 뉴턴 역학의 기본이 되는 세 운동법칙의 첫 두 개를 물려받았다. 케플러의 세 가지 행성운동 법칙과 뉴턴의 세 가지 운동법칙의 자세한 내용은 [1]을 참조하기 바란다.

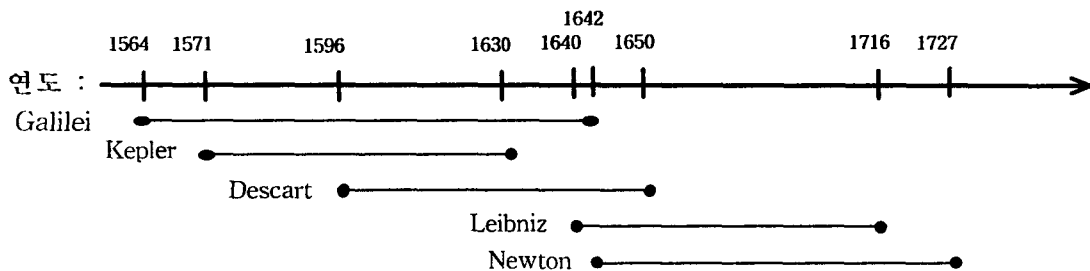
이들 3거인은 공통적으로 당시의 종교적 억압을 겪는다. 갈릴레오는 천문대화에서 지동설을 지지하다가 1633년 종교재판소에 소환되어 비록 생애 내내 독실한 가톨릭 신자였지만 이단이라는 유죄판결을 받으면서 과학적 발견들을 철회하여야만 했고 종교재판소의 감시 아래 실제 죄수인 채로 1642년 생을 마감한다.

케플러는 어머니가 마법을 쓴다고 고발 투옥되었고 자신은 가까스로 이단선고를 피하는 등의 신교도로서의 박해를 받았고, 별점을 쳐주면서 생계를 유지하였다.

데카르트는 우주에 대한 물리적 설명서인 천체론(Le monde)을 집필했지만 교회측이 갈릴레오에게 유죄판결을 내렸다는 소식을 듣고 신중하게 포기하고 미완성인 채로 남겨두었다.

뉴턴의 거인들이 살았던 시대는 다음 <표 2>와 같고, 대비되는 라이프니츠를 포함시켰다. 유클리드는 고대 그리스 수학자이므로 생략한다.

<표 2> 뉴턴의 거인과 라이프니츠



2. 결론

뉴턴은 제 I 권의 한 주석에서 “잘 알려지지 않은 말은 정의를 하고, 이어질 논설에서 그들이 이해되도록 한다는 의미에서 설명하였다. 시간, 공간, 장소, 운동 등은 잘 알려져 있어 정의하지 않는다”고 기술하고 있는데 이는 유클리드의 원론이 그에게 끼친 영향인 것 같다. 다음에 소개될 4가지 관점에서 뉴턴이 딛고있는 세 거인은 유클리드를 포함시켜 4거인으로 하여야 한다.

- (1) 프린키피아는 원론 제 1 권처럼 예비적인 정의, 공준, 공리들로 시작하며 그 체계가 원론과 유사하다는 점.
- (2) 비록 그는 원론을 너무 자명한 것[11]으로 간주하였다고 하나 후에 초등기하학을 생각한 것을 자신의 착각이라고 생각하였고 다음과 같이 그 슬픔을 나타내었다는 점.
「나는 비상하게 훌륭한 작가의 작품에 주의력을 집중하듯 유클리드의 원론에 몰두했어야 마땅할 터인데, 그 전에 이미 데카르트와 그 밖의 대수학자의 저서에 눈을 빼앗기고 말았다.」 [5]
- (3) 제 I 권의 보조정리 11 다음의 주석에서 점차로 감소하는 여러 양들의 궁극적 비율을 논하면서 유클리드가 원론 제 X 권에서 무리수에 관해 증명한 것에 위배된다고 지적한 점이나, 제 I 권 명제 81에서 원론 제 2 권의 명제 6 및 12를 증명에서 사용한 점.
- (4) 유율법에 의해 발견되었음에도 불구하고 그 정리들을 군데군데 약간의 단순한 극한 개념을 써서 순전히 고전적인 그리스 기하학을 이용하여 증명하였다는 점[11].

한편, (2)는 데카르트가 그에게 크나큰 영향을 끼쳤음을 알 수 있는 근거가 되기도 한다.

마지막으로, 뉴턴이 가진 'Being'에 대한 내용을 알아보자. 뉴턴은 프린키피아의 제Ⅲ권의 끝 부분의 일반주석(general scholium)에서 소용돌이 운동의 가설(hypothesis of vortices)에 의해선 절대 설명되어지지 않는 혜성의 규칙적인 운동을 인지하고서, 태양, 행성 및 혜성의 아주 아름다운 계(system)가 예지와 힘을 가진 신의 의도와 지배로서만 발생할 수 있다고 기술하고 있다. 그리고 마지막 부분에서, 'Spirit'에 대해선 몇 마디로 설명할 수 없고, 그 작용법칙을 정확하게 결정하고 증명할 충분한 실험을 갖고 있지 않다고 한다.

이를 [4]에 의하면, 그 당시 공존하고 있던 2 개의 역학 즉 지상역학과 천체역학이 제Ⅲ권의 낙하하는 물체에 미치는 힘과 궤도를 도는 행성에 미치는 힘은 같다는 설명에 의하여 합쳐져 하나가 된다. 그러나, 이것을 엮어주는 중력은 여전히 의문으로 남아 뉴턴은 우주를 보호하는 존재로 신을 끌어 드린다고 기술되어져 있다. 그러나 이는 뉴턴이 서문에서 '나는 자연의 나머지 여러 현상들도 역학의 원리로부터 같은 종류의 논리에 의해 유도할 수 있기를 바란다'고 말한 입장에서,

- (1) 당시의 정통종교를 거부하며 체제에 반항하기도 하였다는 점[7],
- (2) 자신의 3거인 모두가 종교적 박해를 받았다는 것을 모를 리 없는 점,
- (3) 데카르트의 신의 섭리주의에 대항했던 태도와는 너무나도 상반된 면을 제Ⅲ권 1 절의 철학주론 규칙 1을 통하여 본다는 점[6],
- (4) 제Ⅲ권은 표제가 '세계의 체계'(The system of the world)인데, 마지막 부분인 일반

프린키피아의 뉴턴

주석에서 실험철학으로 가설을 사용하지 않고 운동의 법칙과 중력의 법칙을 발견하였다고 한 점,

- (5) 또 일반주석 마지막 부분에서 전기적 탄성적 Spirit가 작용하는 법칙들을 몇 마디로 설명할 수 없을 뿐만 아니라 정확한 결정이나 증명을 위해 요구되어 지는 충분한 실험을 가지지 못했다고 기술하고 있는 점

등을 볼 것 같으면 그가 언급한 'Being'이나 'Spirit'는 아마도 "아직까지 실험에 의해 과학적으로 규명하지 못한 것"으로 보는 것이 타당하고 과학으로 모든 것을 규명할 수 있고 규명하여야 한다는 암시 혹은 주장으로 본다.

참고 문헌

1. Serway, R. A./대학물리학 교재편찬 위원회 옮김, 대학물리학, Bookshill, 1996.
2. 박세희, 수학의 세계, 서울대학교 출판부, 1985.
3. Boyer, C. B., Merzbach, U. C./양영오 조윤동 옮김, 수학의 역사," 경문사, 상하 2권, 2000.
4. Mankiewicz, R./이상원 옮김, 문명과 수학, 경문사, 2002.
5. Florian Cajori/정지호 역, 캐조리 수학사, 창원사, 1977.
6. Newton, I./조경철 옮김, 프린키피아, 3권, 서해문집, 1999.
7. 최상돈, 프린키피아의 천재(The Life of Isaac Newton by R. S. Westfall, 1993), 2001. (주)사이언스북.
8. Ball, W. W. R., *A Short Account of the History of Mathematics*, Dover, 1960.
9. Bourbaki, N., *Elements of the History of Mathematics*, Springer-Verlag, 1984.
10. Hofmann, J. E., *The History of Mathematics to 1800*, Littlefield, Adams & Co., 1967.
11. Howard Eves, *An Introduction to The History of Mathematics*, The Saunder Series, 1990.
12. Newton, I., *The Principia*, (Translated by Andrew Motte), Great mind series, Prometheus Books, 1995.