한국수학사학회지 *The Korean Journal for History of Mathematics*
제25권 제1호 (2012년 2월), 15–27

Harriot(1560–1621)의 대수기호와 방정식의 근

Harriot's algebraic symbol and the roots of equation

신경희 Kyunghee Shin

16세기 후반과 17세기 전반에 활동했던 영국의 과학자이자 수학자인 Thomas Harriot은 대수기호를 독창적으로 만들어 사용하였고 일부는 오늘날에도 사용하고 있다. 또한 방정식에서 음수근 뿐만 아니라 복소수근도 받아들였는데 그의 이러한 관점은 당시로는 혁신적이었으며 나아가 방정식의 형태의 일반화에도 진일보한 모습을 보여주었다. 사후 유작 외에는 생전에 수학 저서가 한 권도 없는 탓에 Harriot 개인이나 그가 이루어 놓은 수학이 수학적 성취에 비하여 수학사나 수학교육에서 그에 대하여 소홀히 다루어진 감이 있다. 이 논문에서는 동시대 유명한 수학자였던 비에타와 데카르트의 대수기호와 방정식론을 비교함으로써 Harriot이 이루어놓은 수학을 알리고자 한다.

Thomas Harriot(1560–1621) introduced a simplified notation for algebra. His fundamental research on the theory of equations was far ahead of that time. He invented certain symbols which are used today. Harriot treated all answers to solve equations equally whether positive or negative, real or imaginary. He did outstanding work on the solution of equations, recognizing negative roots and complex roots in a way that makes his solutions look like a present day solution. Since he published no mathematical work in his lifetime, his achievements were not recognized in mathematical history and mathematics education. In this paper, by comparing his works with Viete and Descartes those are mathematicians in the same age, I show his achievements in mathematics.

Keywords: 해리엇(Harriot), 대수기호(algebraic symbol), 방정식의 근(the roots of equation)

1 서론

16세기 후반과 17세기 전반에 활동했던 영국의 과학자이자 수학자인 토마스 해리엇은 방정식 전개 과정에 대수기호를 독자적으로 만들어 사용하였고 오늘날에도 그 일부가 사용되고 있는 이 표기법은 당시에는 획기적이고 진일보한 사건이었다. 대수기호의 표기와 아이디어에 대한 우선권의 문제는 동시대 유명한 수학자였던 비에타와의 문제로서

MSC: 01A40, 01A45, 0803 ZDM: A30
제출일: 11월 11일 수정일: 1월 25일 게재확정일: 2월 3일

오늘날까지 학자들의 논쟁을 부추기고 있다.

또한 방정식에서 음수근 뿐만 아니라 복소수근도 받아들였는데 그의 이러한 관점은 당시로는 혁신적이었으며 오늘날 방정식 이론에 비하여 손색이 없는 태도였다. 나아가 방정식 표현의 일반화에도 진일보한 모습을 보여주었다.

사후 유작 외에는 생전에 만든 수학 저서가 한 권도 없는 탓에 해리엇 개인이나 그가 이루어 놓은 수학적 성취에 비하여 수학사나 수학교육에서 소홀히 다루어진 감이 있다.

이 논문에서는 먼저 방정식의 근으로서 음수를 받아들이기까지 어려웠던 과정을 수학사의 맥락에서 살피고 해리엇의 일생과 그의 자연과학, 수학의 위치를 알아본다. 그리고 동시대 유명한 수학자였던 비에타와 데카르트의 대수기호와 방정식의 근을 비교함으로써 해리엇이 이루어놓은 수학을 드러내고자 한다. 이는 당대의 수학사 연구에 편견 없는 한 명의 수학자를 조명하는 의미 있는 분석이 될 것이다.

2 방정식의 근과 대수기호의 역사

2.1 음수의 역사

음수가 수학자들에게 완전히 인정되기까지는 오랜 시간이 걸렸다. 수학자들은 음수를 받아들이는 것에 큰 어려움을 느꼈는데 아마도 음수에서 시각적이고 기하학적 의미를 찾기가 쉽지 않았고 또 그 연산 법칙도 이상했기 때문일 것이다[8, 9]. 16, 17세기는 음수에 대한 찬반 논란이 정점에 달했으며 18세기까지도 불합리하다는 이유로 음수를 받아들이지 않은 수학자들이 적지 않았다. 이러한 음수의 역사는 역으로 음수에 대한 해리엇의 선견을 드러내 보이는 과정이 될 것이다. 아카비[1]는 교사들을 위한 음수지도방법의 논문에서 역사적으로 오랫동안 수용하기 어려웠던 음수에 대한 역사를 연구하였다.

3세기 경 그리스의 대수학자 디오판투스(Diophantus)는 일차 방정식의 근으로 음수가 등장하지만 불합리하다(absurd)는 이유로 이를 근으로 인정하지 않았다. 양의 유리수만을 인정했고 그 외의 것은 풀이가 불가능하다고 했다. 7세기 전반에 브라마굽타(Brahmagupta) 역시 부호끼리의 곱셈법칙을 논의하였지만 2차 방정식에서 음수근을 받아들이지 않았다. 이후 부호끼리의 곱셈법칙은 인도 전역에 알려졌고 9세기 알콰리즈미(Al-Khowarizmi)는 2차 방정식의 음수근을 양수근과 같이 적고 있다. 하지만 이에 대한 아무런 언급이 없어 진정한 이해를 했는지는 의심스럽다.

유럽에서는 13세기 초 피보나치는 음수를 방정식의 근으로 받아들이지 않았지만 부호를 사용하는 대신에 돈을 잃은 것이나 혹은 남에게 빌려준 돈으로 해석하면서 물리적인 의미를 부여하였다. 15세기 후반 파치올리(Pacioli)는 $(7-4)(4-2) = 3\times 2 = 6$등의 계산에서 음의 부호를 사용하였지만 음수에 대한 의미를 알고 있지는 않은 것으로 보인다.

16세기 중반 뛰어난 대수학자로 알려진 독일의 스티펠(Stifel) 역시 '음수는 없는 것보다 작다' 면서 불합리한 수라 하였다. 카르다노(Cardano)는 1545년 자신의 저서에서 음수와 음수의 곱은 양수로 음수의 존재성은 인지하고 있었으나 음수를 진짜가 아닌 상상의 수(fictitious)로 표현함으로서 확신을 갖지 않았고 봄벨리(Bombelli)는 1572년 $m-n$에 '두 수 m과 n은 양수이다' 라는 조건을 덧붙이면서 음수에 대한 완전한 이해가 부족함을 보였다. 이 무렵 비에타 역시 두 양의 뺄셈 뿐 아니라 배분 법칙 등 여러 가지 대수법칙을 1591년 간행된 <해석학 기초, In Artem Analyticem Isagoge>에서 설명하고 있지만 음수에 대하여 구체적인 언급은 하지 않고 있다. 방정식의 계수에 문자를 사용하면서 양수라는 제한을 두었던 것이다.

마침내 1659년 독일의 후드(Hudde)는 이전과는 다른 의견을 보이고 있는데 음수와 양수에 대하여 별 차이를 두지 않은 것이다. 이 점에서 해리엇도 후드와 같은 견해를 보이고 있다. 여기서 해리엇이 방정식의 근으로도 음수를 받아들이고 충분한 이해를 하였는가의 사실은 여러 문헌에서 상반되게 논의되고 있다[1, 2, 8, 9]. 데카르트는 부분적으로 음수를 수용하였다. 그는 음수근을 가짜 근이라고 불렀으며 이는 음수가 없는 것보다 더 작기 때문이라고 하였다. 방정식에서 음수근이 나오면 반대 부호를 갖는 양수가 진짜 근이라 하였다.

위의 논의에서 부분적으로 의견이 달리 진술될 수 있지만 완전하게 음수를 인정하고 자유롭게 사용하게된 것은 17세기가 되어서야 이루어졌다. 17세기 중엽 수학에도 실용주의가 팽배해지고 이는 대수법칙에도 모순 없는 이론을 설계하게 만들었고 이미 음수에 대한 사용은 자유로웠다. 하지만 이때도 음수에 대한 깊은 논리적 고려나 시도는 미흡하였다. 음수에 대한 개념이나 논리적 기초가 확실하지 않았기 때문에 수학자들은 정당성의 문제를 회피하거나 그 사용에 이의를 제기하였다. 달랑베르도 '만약 음수근이 나오는 문제가 있다면 조건을 잘못 읽은 것이다.' 라고 주장하면서 '음수근을 얻는다면 그 반대 부호의 값이 정답이다' 라고 까지 말하였다[1, 8]. 영국의 수학자 마세레스(Maseres)는 1759년 자신의 저서 <대수에서 음수사용에 대한 논문>에서 음수를 이해할 수 없고 여러 가지 모순을 일으키는 제거해야할 것으로 무시하였고 오일러조차도 한 때 월리스와의 편지교환에서 '음수는 무한보다 크다' 라고 오판하였지만 후에 자신의 저서에서 이를 수정하였다. 이는 수열 — $1/4, 1/3, 1/2, 1/1, 1/0, 1/-1, 1/-2, 1/-3,$—에서 생각한 것으로 후에 또 다른 수열 — $1/9, 1/4, 1/1, 1/0, 1/1, 1/4, 1/9,$ —을 제시하면서 자신의 의견을 수정하였다. 파스칼은 '0에서 4를 빼면 결국 0이 된다' 고 하였고 그의 친구였던 아르노(Arnauld)는 $-1 : 1 = 1 : -1$에 의문을 제기하면서 어떻게 큰 것에 대한 작은 것의 비가 작은 것에 대한 큰 것의 비와 같을 수 있느냐고 하였다.

19세기에 와서도 이러한 논쟁은 끝나지 않았는데 드 모르간(De Morgan)은 '0보다

작은 수는 있을 수 없다' 며 위 달랑베르와 같은 주장을 하였다.

일찍이 돈의 손실로 음수에 의미를 두었던 13세기 피보나치 이래로 음수를 수학적으로 받아들이게 된 계기는 자기모순 없는 논리적인 형식주의를 받아들이게 된 결과이다. 화이트헤드(Whitehead)와 러셀(Russell)은 걸작 <자연철학의 수학적 원리, Prinkipia> 에서 '기호(symbol)를 연산자(operator)로 받아들이면 모든 제한이 사라질 것이다' 면서 '방정식 $x + 1 = 3$의 근은 $x = 3 - 1 = 2$이듯이 $x + 3 = 1$의 근은 $x = 1 - 3 = -2$로 $x + a = b$의 근은 $x = b - a$로 하면 될 것 아닌가?' 라고 반문하고 있다. $+$와 $-$를 기호가 아닌 일종의 연산자로 생각하면 하등 어색할 것이 없고 불합리한 것이 사라진다고 역설하였다. 직관적이고 무의식적으로 음수를 의미 있는 것으로 바라보는 피보나치 관점과 유클리드 기하가 논리정연하고 모순 없는 형식을 받아들인 것과 같이 대수연산 결과 얻어진 음수와 복소수도 형식적으로 받아들이자는 철학이 상호보완적으로 완성된 결과였다. 전자는 직관적이고 종합적인 이해를 존중하고 후자는 공리에서 시작하는 분석적인 형식주의를 대변한다.

2.2 대수기호의 역사

수학 기호의 표기는 고대수학이 근대수학으로 넘어가기 위해 꼭 필요한 수단이었다. 결과적으로 수학 표기법의 발달은 수학의 발전을 가져왔다. 16세기 유럽에서 수학적 기호들이 봇물 터지듯 창안되고 사용되기 시작하였다. 1489년 비드만(Widmann)의 <상업 산술, Mercantile>에 $+$와 $-$기호가 처음 등장한다. 이 책에는 '더한다', '뺀다' 혹은 양수, 음수의 용어 대신에 상업문제에서 '초과한다', '모자란다' 라고 나타내었으며 이것을 대수기호로 처음 사용한 사람은 1514년 네덜란드의 호이케(Hoecke) 이었다. 1557년 영국의 수학자 레코드(Recorde)는 자신의 대수논문 <Witte의 숫돌, The Whetstone of Witte>에서 등호 '=' 를 처음 소개하면서 양 쪽이 같다는 것은 두 개의 선이 평행하다는 의미라고 설명하였다. 당시는 등호의 길이가 가로로 약간 더 길었다. 혹은 위아래로 평행선을 두 개 그어 등호를 나타내기도 하였고 기호 '∞' 도 1700년대까지 사용되었다. 덧셈과 뺄셈보다 늦게 등장한 곱셈기호는 해리엇의 <해석술의 실제, Artis analyticae praxis>에서 '●' 으로 사용하지만 오트레드(Oughtred)는 '$\times$' 을 사용하였다[4]. 부등호의 창시자라고 일컫는 해리엇은 오트레드의 기호보다 좀 더 편리한 대칭 기호를 고안하였다. <해석술 실제>에는 요즘의 '$>$' 혹은 '$<$' 로 표기되어 있는데 실제 자신의 필사본에는  와  으로 표기되어 있다[10, 11]. 이 시기에 오늘날의 나눗셈 기호 '$\div$' 가 란(Rahn)의 대수 책에, 루돌프(Rudolff)의 논문에 근호 '$\sqrt{\ }$' 등이 처음 사용되었다[4, 10].

3 토마스 해리엇

해리엇은 실질적인 영국의 최초의 대수학자로서 방정식의 풀이와 부등호 등 대수적 기호를 도입하였다[4, 10]. 레코드가 창안한 것으로 알려진 등호(=)는 해리엇이 적극적으로 사용한 덕분에 잘 알려지게 되었다.

1631년 동료들에 의해서 출판된 해리엇의 유작 <해석술 실제>는 1637년 데카르트 저서에 언급함으로써 세상에 알려졌다.

3.1 해리엇의 일생

1560년 영국 옥스퍼드에서 태어난 토마스 해리엇은 옥스퍼드 대학을 20세 되던 해에 졸업하였다. 부모 등 가정사나 어릴 적 그에 대해 알려진 것이 별로 없다. 해리엇은 평생 두 명의 후견인 아래서 일을 하였는데 롤리(Walter Ralegh)경과 헨리(Henry Percy) 백작이 그들이다. 대학을 졸업하고 곧 후견인 롤리 경의 수학 개인교사가 되었고 항해술등 당시 미국 신천지 개척에 필요한 강의 뿐 만 아니라 롤리 경의 일행과 함께 북아메리카의 신천지 탐험에 참가하였다. 1589년 발간된 '신천지 버지니아에 관한 보고서'에는 항해에 필요한 선박의 디자인과 제작, 선원을 뽑고 훈련하는 등 아메리카 원정대의 실질적인 참모 역할을 훌륭히 해냈다는 찬사를 받았다[4, 6, 9]. 뿐만 아니라 원주민들의 생활습관과 종교, 언어, 물건 등의 매매 방법 등도 소상히 기록하고 있어 이후 신대륙 개척자들의 필독서로 자리매김하게 되었다. 이 책은 그가 생전에 손수 만든 유일한 책이다. 이후 롤리 경이 정치적 혼란에 휩싸이자 18년간 보금자리였던 롤리 경의 곁을 떠나 1598년 경 부터 새로운 후견인인 헨리백작의 도움을 받게 된다. 롤리경은 헨리백작에게 해리엇을 '마법사 백작'이라고 소개할 만큼 그가 해온 일에 대하여 적극적인 믿음과 찬사로 그를 추천하였다. 헨리의 도움으로 숙식제공은 물론 과학 실험실을 확보, 수학 동료 워너(Walter Warner)와 휴즈(Thomas Hughes)등 소위 '수학의 세 박사'와 함께 안정적인 연구에 몰입할 수 있었다.

1605년 후견인 헨리백작 역시 정치적인 이유로 옥고를 치루는 과정에서 해리엇도 혐의를 받았으나 이내 풀려났다. 이후 수학과 천문학 역학 광학 등의 자연과학에 끊임없는 연구와 관찰에 정진하여 당시 대가들에 비하여 결코 기울지 않는 많은 업적을 남겼다[4, 6, 7, 12]. 1613년 경, 태양의 흑점을 발견하고 관찰하면서 태양의 자전주기를 계산할 수 있는 자료를 얻었지만 이때는 해리엇의 연구에 대한 열정이 마지막을 고하는 시기이기도 했다. 후견인의 불행한 죽음과 연이은 친구들의 죽음, 그리고 결정적으로 본인 자신의 코에 생긴 암으로 1621년 세상을 떠날 때까지 5년 이상의 투병생활이 계속되었다[11].

이러한 수학과 과학에 찬란한 업적에도 불구하고 해리엇은 그에 관련한 그 어느 출

판물도 자신의 생애에 남기지 않았다. 버지니아 보고서에서 보여준 그의 철저한 성격은 좀 더 완전한 책이 될 때까지 미루게 되었고 혼란스러운 사회 정치적인 분위기 속에서 결국은 생전에 책을 출판할 기회를 얻지 못한 것으로 보인다.

3.2 해리엇의 자연과학

해리엇이 생전에 관찰하고 연구한 것을 적은 필사본은 수학에 관련한 책이나 내용보다는 대부분 자연과학에 관한 것들이 많다. 자연과학에 대한 그간의 업적을 살피는 것은 그를 이해하는데 도움이 될 것이다.

해리엇은 당시 실제적이고 심오한 과학지식을 갖추고 있었고 수학이외에도 천문학 광학 역학 등에 많은 업적을 남겼다. 당시 혜성이 발견되면서 관심을 갖게 된 천문학은 그에게 또 다른 연구의 즐거움을 안겨 주었다. 후에 핼리혜성으로 일컬어진 별을 1607년부터 관찰하기 시작하였다. 1609년 당시 새로 만들어진 망원경을 이용하여 달의 움직임을 관찰하였고 이는 갈릴레이보다 다소 앞선 것이었다. 또한 목성이 움직이는 괘도와 주기 등을 관찰 계산하였으며 이 관찰은 1610년과 1612년 사이에 이루어졌다. 목성의 관찰은 태양의 흑점을 발견하는 계기가 되었고 이로써 해리엇은 태양의 흑점을 관찰한 첫 번째 사람이 되었다. 이에 대해서 1610년부터 1613년 사이에 무려 199번의 관찰 기록을 가지고 있다[9, 11].

또한 이보다 앞서 1597년에 렌즈 굴절에 관한 사인법칙을 발견하였는데 이에 대한 창시자라고 일컬어지는 스넬(Willebrord Snell)보다 무려 20년이나 앞선 것이다[11]. 빛의 분광은 다양한 색을 만들어냄을 발견한 해리엇은 무지개에 관한 이론을 발전시켰다. 당시 이 사실을 접한 케플러는 해리엇에게 편지를 보냈으나 아이디어를 주고받지는 않았다. 이는 아마도 자신의 업적이 그에게 그대로 전해지는 것을 불편하게 생각했을 수도 있고 혹은 후에 자신의 건강이 좋아지면 책으로 출판할 생각을 가지고 있을 수도 있었다[14]. 역학에서도 무저항 상태에서 포물선 궤도의 자유낙하 운동을 갈릴레이보다 먼저 연구하기 시작하였다. 포탄궤도가 수평성분과 수직성분의 합으로 진행되어 결국에 포물선이 된다는 것을 발견하였다. 항해에 관련된 다양한 실제문제를 이론화하여 나타내었고 관찰하여 얻은 계산은 너무 정확하여 유럽에서 최고의 전문가라는 찬사를 받았다[6].

이와 같이 과학 전반에 걸친 해리엇의 심오한 관찰과 연구의 성과는 자신의 관점을 끝까지 밀고나가는 강인한 정신과 끝없는 노력 때문이었다.

3.3 해리엇의 수학

해리엇은 많은 업적에도 불구하고 당대에 자신이 손수 쓴 출판물이 없기 때문에 그의 업적은 과소 평가받고 있다. 해리엇 사후 10년이 지난 1631년 수학적 동지였던 워너 등

그의 동료들에 의해 <해석학의 실제, Artis Analyticae Praxis>가 출판되었다. 원래는 당시의 유명한 수학자로 일컬어지던 토폴리(Nathaniel Torporley)가 이 일을 해주기를 원했으나 비에타와의 친분 때문에 완성하지 못한 것으로 알려지고 있다. 현재 영국의 도서관에 보관되어있는 필사본은 논리적 순서가 일정치 않고 앞뒤 연결성도 부족하다. 또한 필사본과 그것을 원본으로 만들어진 출판물인 <해석학의 실제>와는 내용상 차이가 있다[11]. 해리엇 사후 수학자들의 편집과정에서 해리엇의 수학적 내용이 잘못되었다고 판단하여 임의로 수정한 결과로 보인다. 그 이유로 수학사를 다루는 여러 문헌에서 해리엇에 대한 평가가 다양하게 나타난다. 음수를 받아들이지 않았다거나 복소수근도 의미없는 수라고 생각하였다는 내용들이 그것이다. 최근의 연구들은 양쪽을 비교하면서 해리엇의 필사본을 우선시하여 그를 재평가하고 있다. 그의 사후 260여년이 지난 1883년, 실베스터는 케일리에게 보낸 편지에서 '해리엇은 대수를 해석학에 소개한 현대수학의 아버지' 라고 경의를 표하고 있다[5, 11].

대수기호

대부분의 문헌에는 부등호 '<' 와 '>' 를 해리엇이 처음 사용한 것으로 되어 있으나 실제 는 '<' 와 '>' 대신 와 이 사용되고 있다. 또한 레코드(Robert Recorde)가 만든 등호가 그의 책에서 같이 사용되었다. 이 때문에 이 등호는 많은 사람들에게 널리 확산되는 계기가 되었다.

<해석학의 실제>의 편집을 맡은 워너는 해리엇이 풀어놓은 방정식에서 틀린 부분을 지적하고 그 이유를 쓰기도 하였다. 비록 지수 사용은 하지 않았지만 해리엇의 대수기호 사용은 탁월했음을 알 수 있다. 비에타는 일찍이 미지수를 모음으로 기지수를 자음으로 사용하였다. 해리엇은 이것을 편리하다 생각되어 자신의 방정식 풀이과정에 비에타의 것을 사용하였다. 또한 단어와 그의 생략형 기호 등을 사용하여 방정식을 전개하였다. 예를 들어 현재의 a^4을 나타내고자 할 때는 $aaaa$로 표현하였다.

다음 계산 과정은 그의 필사본 중에서 인용한 것이다[11]. 처음 3개의 항을 곱하는 과정에서 기호 '┘' 는 곱셈기호로 사용하였음을 알 수 있다. 이는 요즘의 세로곱셈에서 쓰이고 있는 기호와 비슷하다.

$$
\begin{array}{l}
\left.\begin{array}{l} b-a \\ c-a \\ df+aa \end{array}\right| \text{ㅍ} \\
\hline
bcdf - bdfa + dfaa - baaa \\
\qquad - cdfa + bcaa - caaa + aaaa \\
\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad \text{ㅍ}\ 0000
\end{array}
$$

위의 식 오른 쪽 기호 $\amalg$는 등호로 왼쪽 위 3개의 식을 곱하면 아래의 전개식이 됨을 표현하고 있다. 맨 아래 0을 4번 씀으로써 동차식을 강조하고 있다. 0도 동차식의 다른 문자등과 마찬가지로 계산 가능한 실재로 다루고 있음을 알 수 있다[1].

$$
\begin{array}{ll}
\multicolumn{2}{l}{Ergo:} \\
\quad bcdf \amalg & a \amalg b \\
\quad + bdfa - bcaa + baaa & a \amalg c \\
\quad + cdfa - dfaa + caaa & aa \amalg - df \\
\quad - aaaa & a \amalg \sqrt{\quad - df}
\end{array}
$$

위의 식을 이항한 것인데 오른쪽은 역으로 맨 처음 전개하기 전의 식에서 근을 구하고 있다. 대담하게도 음수근과 허수근을 양수근과 동등하게 다루고 있음을 확인할 수 있다. 당시 수학자들은 음수근을 무시하거나 존재는 인지하더라도 불합리하다고 버리는 경우가 대부분이었는데 해리엇의 음수근과 허수근에 대한 이 같은 태도는 기존의 수학에 대한 새로운 도전이었다.

방정식에서의 근

방정식의 근을 다루는데 있어 그의 필사본의 내용과 사후 그의 동료들이 출판한 <해석학의 실제> 의 내용과는 상당히 차이가 있다. 위 필사본에서 확인하였듯이 해리엇은 음수근을 양수근과 똑같이 사용하고 있으며 더욱 놀라운 것은 허수근도 받아들이고 있다는 사실이다. 음수근에 대한 아무런 설명이 없이 그대로 사용하였고 복소수는 '이성으로 이해할 수 있는(noetic)' 이라는 해석을 덧붙이고 있다[13]. 아래 4차 방정식의 풀이에서 다음 4개의 근을 제시하고 있다.

$$
\begin{array}{l}
5 \amalg a, \quad -7 \amalg a \\
a \amalg +1 + \sqrt{-32}, \quad a \amalg +1 - \sqrt{-32}
\end{array}
$$

양수근과 음수근 그리고 2 개의 복소수 근을 아주 자연스럽게 받아들이고 있는 것이다. 이 밖에도 필사본에는 여러 개의 허수 근이 주어지는 방정식을 다루고 있다.

다음 4차 방정식은 그의 필사본에서 발췌한 것이다[14].

$$
\begin{array}{c}
aaaa - 6aa + 136a = 1155 \\
\hline
aaaa - 2aa + 1 = 4aa - 136a + 1156
\end{array}
$$

위의 식은 4차 방정식 $a^4 - 6a^2 + 136a = 1155$ 의 근을 구하는 과정이다. 좌변을 2차의 완전제곱으로 바꾸고 그 결과 우변 역시 1차의 완전제곱식이 된다. 그 다음 양 변에 제곱근

1) 하지만 0을 모든 식에서 동차의 개수만큼 적지는 않았다[10, pp. 200–201]

을 씌우는데 2개로 나누어 ± 두 식을 다시 한 번 완전제곱 형태로 바꾸어 계산하고 있다. 놀라운 것은 두 식의 마지막에서 복소수를 자연스럽게 받아들이고 있는 사실이다.

$$
\begin{array}{l}
aa - 1 = 2a - 34 \\
33 = 2a - aa \\
aa - 2a = -33 \\
a - 1 = \sqrt{-32} \\
a = 1 + \sqrt{-32} \\
a = 1 - \sqrt{-32} \\
\hline
aa - 1 = 34 - 2a \\
aa + 2a = 35 \\
aa + 2a + 1 = 1 = 35 \\
a = \sqrt{36} - 1 = 5 \\
\hline
-a - 1 = \sqrt{36} \\
a = -\sqrt{36} - 1 = -7
\end{array}
$$

하지만 출판물 <해석학의 실제> 에는 음수근을 포함하는 방정식 문제에서 음수근을 무시하고 있으며 쓸모없는 것으로 다루고 있다. 음수의 제곱근은 '설명이 되지 않는' 혹은 '불가능한' 이유를 들어 근에서 제외시키고 있다. 이는 해리엇 사후 그의 동료들이 편집하는 과정에서 원 저자의 수학을 완전히 이해하지 못한 상황에서 필사본과는 다르게 자신들의 의견을 담아 나름 수정한 것으로 짐작된다. 이를 원인으로 이후 수학사 등 여러 문헌에는 해리엇이 음수근과 복소수 근을 받아들이지 않은 것으로 기록되고 있다[9].

그 밖의 수학에 대한 업적

방정식의 근과 대수 기호 외에 해리엇의 필사본에서 찾아낸 수학 내용들이 근래에 연구되고 있다. 아르키메데스를 심도 있게 공부한 결과로 원뿔곡선과 관련된 문제와 천체의 관찰과 연결된 원과 구형의 문제들이 있다. 당시 Alhazen 문제로 알려진 원 위의 고정점에서 원의 지름을 최대로 절단하는 현을 찾는 극대문제를 무한소 개념을 사용하여 해결하였다. 이는 배로우(Barrow)보다 한참 앞선 것으로 알려졌으나 최근의 연구는 해리엇이 무한소 개념을 정확히 알고 사용하였는지에 대한 논란의 여지가 있음을 보이고 있다[12]. 또한 해리엇의 필사본에는 이항 연산 기호, 피타고라스 수, 미적분과 아주 유사한 계산, 등각 나선의 길이 구하기 등과 같은 순수수학이 담겨있다[7, 11].

4 비에트, 데카르트와의 비교

당시 유럽에는 해리엇보다 20년 먼저 태어난 비에트(1540–1603)라는 아마츄어 수학자가 인정을 받고 있었다. 문자를 사용하는 대수학의 실제 창시자로 알려져 있는 그는 해석학자이자 대수학자이면서 기하학에도 관심이 많았다. 수학에서 조직적으로 문자를 사용한 최초의 수학자이고 이전까지는 숫자를 넣어 방정식의 근을 구했다면 비에트는 일반적인 2차 방정식을 다루었다. 이전까지의 대수학을 수치계산(Logistica numerosa)이라하고 문자를 사용한 대수학은 유형계산(Logistica Speciosa)이라 하였다. 실제 대수학의 역사는 비에트를 기준으로 큰 획을 긋는 이전과 이후의 대수로 나누는 것을 인정하고 있다.

비에트는 방정식을 표현하는데 3차는 C, 2차는 Q 그리고 미지수 자신은 N 의 문자를 사용하였다. 이는 당시 라틴어의 첫 발음을 빌어 사용한 것인데 문자와 생략형을 어느 정도는 사용하고 있었지만 비에트의 이러한 표현 방법은 획기적인 것이었다. 하지만 해리엇은 한 단계 나아가 같은 문자의 반복으로 차수를 나타내는 진일보하는 방정식 표현을 구사하였다[9]. 한편 해리엇보다 36년 이후에 태어난 데카르트(1596–1650)는 좀 더 진보된 수학의 형태를 보여주었다. 17세기 이후부터 수학은 정치적 경제적 또는 기술의 힘보다 자체적인 논리에 의해 발전했다. 이 시대의 가장 저명한 수학자인 데카르트는 철학적 문제를 다룬 <방법서설> 의 부록 중 총 3권의 논문 <기하학> 을 통하여 그의 수학적 면모를 읽을 수 있다. 추리의 확실성과 명증성 때문에 수학을 좋아하였고 수학위에 다른 모든 학문을 세우려 하였던 데카르트는 합리적 사고방식을 자연연구에 사용하였다. 해석기하학의 발견은 인류사상에서 데카르트의 가장 위대한 공헌이다. 대수학과 기하학을 결부시킨 해석기하학은 공간과 공간적 관계에 관한 우리의 모든 지식이 하나의 새로운 언어, 즉 수의 언어로 옮겨질 수 있고 또 이 옮김과 변형에 의하여 기하학적 사상의 참된 논리적 성격을 보다 명료하게 이해할 수 있게 해주었다[3]. 페르마와 함께 해석기하학을 창안해 내었지만 데카르트 역시 음수근을 완전하게 받아들일 준비가 되어있지는 않았다.

한편 디오판투스 시대부터 생략기호를 사용하였던 방정식 표현은 16, 17세기에 이르러 보다 다루기 쉽게 변하기 시작하였다. 지금의 3차 방정식 $x^3 - 8x^2 + 16x = 40$을 당시 비에타는

$$1C - 8Q + 16N \quad \text{aequ.} \quad 40.$$

로 나타낸 반면, 해리엇은 다음과 같이 나타내었다.

$$aaa - 8aa + 16a = 40$$

한편 데카르트는

$$x^{3^*} - 8x^{2^*} + 16 \quad \propto \quad 40$$

로 나타내어 해리엇보다 현대적 표현에 가깝다. 하지만 3차나 4차는 x^{3^*}, x^{4^*} 혹은 x^3, x^4 등으로 표현했지만 2차의 x^2 대신에 오랫동안 xx로 표현한 흔적이 남아있다[4, 9].

비에타는 근과 계수와의 관계를 일부 통찰했다. 현대 표현대로 '3차 방정식

$$x^3 - (u + v + w)x^2 + (uv + vw + wv)x - uvw = 0$$

의 근은 u, v, w 3개를 갖는다.' 라고 말하였다. 하지만 실제 방정식의 풀이에서는 양수근만을 취함으로써 근과 계수와의 관계에 대한 자신의 이론이 완벽하지 못했음을 드러내 보이고 있다.

해리엇은 'a, b, c가 3차 방정식의 근일 때 3차 방정식은 $(x - a)(x - b)(x - c) = 0$으로 나타낼 수 있다' 라는 것을 관찰함으로써 고차 방정식을 만들 수 있는 논리를 일반화 시켰다. 이는 방정식 차수의 일반화라는 시대를 앞서가는 진일보한 사고임에 틀림없다.

한 개의 방정식은 여러 가지로 표현될 수 있다. 이항하여 부호를 바꾸거나 동류항끼리 계산되기 전의 형식으로 혹은 순서를 바꿔서 나타낼 수 있지만 동류항을 합치고 내림차순으로 정리하여 좌변으로 모든 항을 옮기면 우변은 0이 된다. 이것은 방정식의 표준형이 되고 그에 맞는 방정식의 해법이 정해진다. 지금의 방정식 풀이를 생각하면 당연한 과정이지만 16세기나 17세기 당시에는 경우마다 다른 풀이 과정이 있었다. 이는 음수를 받아들이지 않는 분위기에서 음수가 나오는 경우 이항하여 모든 수를 양수로 표현해야하는 번거로움 때문이었을 것이다. 프랜드(Frend)는 1796년 자신의 저서 <대수학 원리>에서 이차방정식을 다음 4가지 경우로 나누었다[1].

$$x^2 = b$$
$$x^2 + ax = b$$
$$x^2 - ax = b$$
$$ax - x^2 = b$$

이는 음수를 받아들이지 않은 상태에서 음수가 생기는 경우 이항하여 음수를 제거해야 했기 때문이다. 해리엇은 음수근을 양수근과 똑같이 취급하였으므로 굳이 여러 형태의 방정식이 필요 없었다. 표준형 하나면 충분했고 인수분해라는 편리한 과정만을 생각하면 그만이었다. 후에 데카르트는 이를 대단한 것으로 여겨 '해리엇 원리' 라고 일컬었다.

5 결론

해리엇의 수학적 업적은 당대의 대가들과 어깨를 나란히 하는 것이었지만 실제 알려져 있는 것은 그것에 훨씬 미치지 못하고 있다. 이는 생전에 자신의 업적을 책으로 출판한 적이 없는 비극에서 연유한다. 해리엇은 이론과 실제적인 또한 방법론과 기호면에서 영국의 수학을 유럽의 발전된 수학의 주류 속으로 이끈 탁월한 수학자였고 자신은 이미 주류의 한 사람이었다. 당대 스테빈, 봄벨리, 스티펠, 비에타 후에 월리스, 데카르트까지 그가 인용한 수학과 그를 인용한 수학에서 이미 그는 역사의 한 획을 그은 수학자이다.

본 논문에서는 그간 알려져 있지 않았던 그의 수학적 업적 특히 대수적 기호와 방정식에서의 음수근과 복소수 근을 일찍 받아들였던 내용들을 살피고 비에타, 데카르트와 비교함으로써 해리엇의 수학적 위상을 제자리로 돌려놓고자 하였다.

당시 방정식의 음수근을 받아들이기를 꺼려하는 분위기에서도 해리엇은 복소수 근까지 사용하면서 이는 '이성적으로 받아들여야만 이해할 수 있는 근' 이라 하였다. 방정식의 근과 계수와의 관계를 간단히 표현하였고 일반화 하였다. 대수적 기호의 표현은 당시 유명했던 비에타의 그것보다 보다 현대적이었다. 부등호 '>' 와 '<' 의 최초 사용은 여러 문헌에서 해리엇의 공으로 돌리고 있으나 비에타의 것을 해리엇이 사용했는지 거꾸로 해리엇이 먼저 고안하고 비에타가 이용했는지에 대해서는 아직까지 논란의 여지를 가지고 있다.

참고 문헌

1. Abraham Acavi, History of Mathematics as a Component of Mathematics Teachers Background, Ph. D. thesis: Part II, Rehovot, Israel, July 1985.
2. Abraham Acavi, "Teaching and Learning Algebra: Past, Present and Future", *Journal of Mathematical Behavior 14*, 1995, pp. 145–62.
3. Rene Descartes , 『방법서설, 성찰, 데카르트연구』, 2010년 최명관 옮김, 도서출판 창, 1637.
4. David M. Burton, 『The History of Mathematics』, Mc Graw Hill, 2003.
5. J. Fauvel, "J.J. Sylvester and the papers of 'Old Father Harriot", *'The Harrioteer*, September, 1996.
6. J. J. Roche, "Harriot' s Regiment of the Sun' and Its Background in Sixteenth-Century Navigation", *The British Journal for the History of Science*, Vol.14, No3(1981), pp. 245-261.
7. J. V. Pepper, "The study of Thomas Harriot's manuscripts. II. Harriot's unpublished papers". *History of Science*, 6(1967). pp. 17–40.
8. M. Kline , 『수학의 확실성』, 2007년 심재관 옮김, 사이언스북스, 1980.
9. Florian Cajori, 『수학의 역사』, 1983년 정지호 옮김, 창원사, 1896.
10. Florian Cajori, 『A History of Mathematical Notations』, Dover Publications, Inc., 1928.
11. M. Seltman & E. Mizzi, "Thomas Harriot: Father of English Algebra?", *Math. Intelligence*, 19(1)(1997), pp. 46–49.

12. P.C. Fenton, "An Extremal Problem in Harriot's Mathematics", *Historia Mathematica* 16(1989), pp. 154–163.
13. RCH Tanner, "Thomas Harriot as mathematician", *A legacy of hearsay. II*, Phisis IX(1967), pp. 257–292.
14. `http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/Biographies/Harriot.html`

신경희 아주대학교 교육대학원
Graduate School of Education, Ajou University
E-mail: shinmat@ajou.ac.kr