

## 400년의 축적

디자인학부 우경리

현대 문명사회에서 컴퓨터라는 도구를 없애고 나면 인간이 할 수 있는 일이 얼마나 될까? 그 결과를 상상하기가 어려울 정도다. 컴퓨터가 현대 문명에서 담당하는 역할이 너무나도 많기 때문이다. 대도시의 경제시스템은 컴퓨터에 의한 계산으로 발 빠르게 돌아가며, 현대의 군사 훈련은 컴퓨터를 이용한 모의 훈련을 통해 이루어지고 있다. 문화 발전에서도 컴퓨터의 활약은 눈부시다. 영화 산업에서 특수 효과 제작, 편집 등 수많은 파트는 컴퓨터 소프트웨어를 사용해 이루어지고 있으며, 음악 또한 컴퓨터를 이용한 제작으로 새로운 발전 가능성을 얻고 있다. 또한 컴퓨터를 동원해 제작된 인터랙티브 작품들은 미술에 대한 새로운 정의를 제시하고 있다. 이렇듯 컴퓨터는 인류의 삶에서 정말로 떼기 힘든 도구가 되었다. 놀라운 것은 이러한 컴퓨터의 용도는 지금도 개발되고 있으며, 앞으로도 넓혀질 범위를 가늠할 수 없을 만큼 무궁무진하다는 것이다.

그렇다면 이 놀라운 도구, 컴퓨터의 구상에 대한 단초는 어디서 마련된 것일까? 컴퓨터의 초기 디자인은 미국의 존 폰 노이만이 쓴 에드박 보고서 초안에 의해 제시되었다. 그런데 그의 디자인은 다른 수학자의 연구에 등장한 이론적 기계와 정말로 닮아 있었는데, 그것은 바로 알란 튜링이 구상한 보편 만능 기계이다. 1935년 그가 런던 수리학회에 제출한 <계산 가능한 수에 대해서, 수리명제 자동생성 문제에 응용하면서>라는 보고서에 나온 이 이론적 기계는 현대 컴퓨터의 기초 개념과 흡사했던 것이다. 그러나 튜링의 아이디어가 어떤 역사적 토대도 없이 그의 머릿속에 갑자기 떠오른 것은 아니다. 인류 문명의 발전과 더불어 진행된 수학, 논리학 분야의 지식 축적이 없었더라면 아마 우리가 매일 옆에 두고 살아가는 컴퓨터는 존재하지 않았을지도 모른다.

컴퓨터의 기원은 무려 17세기까지 거슬러 올라간다. 독일의 G.W.라이프니츠는 수학, 법학, 철학, 신학 등 다방면에 걸쳐 자신의 재능을 발휘하던 학자였다. 긍정적인 사고방식의 소유자였던 그는 어떤 원대한 꿈을 품기에 이르는데, 그것은 바로 “지식의 각 단면을 표현할 수 있는 만국 공용의 수리 언어”<sup>1)</sup>(p12)를 만드는 것이었다. 개념을 범주화시키는 아리스토텔레스의 논리학에 매료된 라이프니츠는 개념의 문자 체계를 만들어내고자 하는 꿈을 가지게 된다. “인간의 모든 사고 범위를 포괄하는 기호의 체계”<sup>2)</sup>(p27), 즉 보편 기호 체계를 만들고자 한 것이다. 여기서 그는 인간이 지닌 모든 지식을 수집해 체계화한 다음 그것들의 핵심 개념에 알맞은 기호를 부여한 후 이 기호들을 조합함으로써 자연 혹은 초자연적 세계에 대한 문제를 풀 수 있을 것이라 생각했고, 이는 곧 ‘추론 계산법’, 즉 오늘날의 기호 논리학에 대한 탐구로 이어졌다. 추

1) 마틴 데이비스. <라이프니츠에서 튜링까지-수학자, 컴퓨터를 만든다> 박정일, 장영태 번역. 지식의 풍경. 2005. p12

2) 같은 책. p27

론 계산법에 대한 탐구 과정 속에서 라이프니츠는 “논리적 개념을 다루는 규칙을 서술하게 될 대수학, 즉 논리 대수”<sup>3)</sup>(p31)를 제시한다. 아마 라이프니츠가 그를 후원해 주던 하노버 공작 가문의 가계도를 만드는 작업에 발목을 잡히지 않았더라면 그는 자신의 이상을 실현시키기 위한 작업에 더욱 몰두할 수 있었을 것이다.

이러한 라이프니츠의 시도는 19세기 영국의 조지 불의 독립적인 연구에 의해 더욱 발전하게 된다. 논리학에서의 논리적 추론 과정을 연구하던 불은 개체들의 집합을  $x, y$ 와 같은 문자를 통해 표현했으며, 이를 통해 추론 과정을 대수식에 따라 표현할 수 있는 방법을 마련하였다. 아리스토텔레스보다 더욱 복잡하게 발전한 논리 체계, 논리적 관계를 대수로 표현할 수 있는 체계를 마련한 그의 업적은 모든 데이터를 전기적 신호로 인식하는 현대 컴퓨터의 설계가 성립하는데 큰 밑바탕이 되었으며, 그의 성과는 불 대수(boolean algebra)라는 이름으로 오늘까지 이어져 내려오고 있다. 또한 “그의 위대한 성취는 논리적 연역이 수학의 한 갈래로 발전할 수 있다는 것을 완전히 증명한 것이었다.”<sup>4)</sup>(p60)

불의 논리 대수 이후 논리학과 수학에서는 또 다른 큰 성과가 각각 이루어졌다. 먼저 논리학적인 성과는 독일의 고틀로프 프레게가 수학에서 쓰이는 연역적 추론을 포함한 수리 논리학의 체계를 정립한 것이다. 불이 2차 명제로 지칭한 것, 즉 “다른 명제들 간의 관계를 표현하는 명제들”<sup>5)</sup>(p54)을 프레게는 더욱 구체화시켜 명제를 연결하는 관계들이 개별 명제의 구조를 해석하는 데 쓰일 수 있다고 보았으며, 이에 따라 개념 표기법을 구문론이라는 정밀한 규칙의 언어로 발전시켰다. 비록 프레게의 언어가 수학 및 논리학의 질서에서 적용 가능했기에, 즉 과학과 철학을 비롯한 모든 진리를 포괄하는 언어는 되지 못했다는 측면에서 라이프니츠가 상상한 언어로서의 조건을 충족시키진 못했으나, “그것은 정밀한 구문론으로 짜인 형식 인공 언어의 첫 번째 예”<sup>6)</sup>(p79)라는 점에서 큰 의미를 지닌다. 즉 그의 언어는 바로 현대 컴퓨터 프로그래밍 언어의 기원인 것이다.

프레게가 논리학에서 눈부신 성과를 만들어 냈으므로 컴퓨터의 프로그래밍 언어가 만들어지는 기반을 마련했다면, 수학 분야에서 이뤄진 놀라운 성과는 게오르크 칸토어에 의한 것이었다. 그것은 고대 그리스 시대부터 19세기 말까지 아리스토텔레스, 스콜라 학파, 가우스 등에 의해 신의 영역으로 금기시되어 온 ‘완결된’ 무한에 대한 탐구에서 비롯되었다. 칸토어는 인간이 가늠할 수 없다고 믿어져 왔던 무한을 완결된 전체로 다루며 이것을 계산의 범위에 포함시켜야 한다고 생각한 것이다. 그는 자연수의 기수보다 실수의 기수가 더 크다는 것을 대각선 논법을 동원하여 증명해 냈으므로 크기가 서로 다른 무한이 있음을 보였다. 비록 칸토어의 이러한 역설적 증명은 그의 스승 크로네커를 비롯한 여러 수학자들에게서 큰 비난을 불러일으켰지만, 칸토어의 업적은 후대에 괴델의 불완전성의 정리와 튜링의 멈춤 문제 해결의 불가능성에 대한

---

3) 위의 책, p31

4) 같은 책, p60

5) 같은 책, p54

6) 같은 책, p79

증명의 토대를 마련한다.

그러나 안타깝게도 프레게와 칸토어의 성과는 각각 버트런드 러셀이 제시한 역설과 연속체 가설에 의해 벽에 부딪치게 된다. 또한 20세기에 들어서면서 많은 수학자들은 수학이 과연 모든 문제를 해결할 수 있는가 고민하게 되었다. 이때 수학과 인간의 이성에 대한 확고한 믿음을 불어넣고자 한 독일의 다피트 힐베르트는 논리학을 형식화 시킴으로써, 즉 논리학을 메타적인 관점에서 바라봄으로써 하나의 형식 체계를 만들었고 이에 대한 사유를 통하여 논리학 형식 체계의 무모순성, 완전성, 결정 가능성의 개념을 정식화했다. 1900년 8월 파리에서 열린 국제 수학자 대회에서 그는 앞서 자신이 정식화시킨 개념과 관련하여 수학의 형식 체계가 무모순적임을 유한적인 방법으로 증명하고자 하는 힐베르트 프로그램과 함께 23개의 문제를 제시한다. 그가 발표한 문제들은 “1차 논리학-양화사가 술어가 아닌 개체만을 그 범위로 삼는 논리학-이 완전하나 하는 문제, 그리고 결정 문제, 즉 1차 논리학이 결정 가능하나 하는 문제를 정식화”<sup>7)</sup>(p325)해 내놓은 것이었다. 이러한 문제들을 20세기 수학자들에게 대대적으로 보인 힐베르트의 행동에는 모든 수학적 문제는 반드시 정확한 해법을 찾을 수 있다는 낙관적 믿음이 들어 있었다.

그런데 1931년 쿠르트 괴델이 수학의 불완전성을 밝힘으로써 수학자들의 앞날에 절망이 찾아온다. 그는 “1차 논리학이 완전하다는 것(괴델의 “완전성 정리”)과 페아노 산수가 불완전하다는 것(괴델의 불완전성 정리), 그리고 페아노 산수 내부에서는 페아노 산수가 무모순이라는 것을 증명할 수 없다는 것을 증명”<sup>8)</sup>(p325)하였는데, 여기서 그는 칸토어의 대각선 논법을 사용하여 “‘증명 불가능하다고 주장되어지는 명제’와 ‘그 주장을 하는 명제’가 동일한 것이 되게끔”<sup>9)</sup>(P167)함으로써 명제가 참인지 거짓인지 결정할 수 없는, 즉 결정 불가능한 명제가 존재할 수 있음을 보였다. 즉 그는 힐베르트 프로그램의 믿음과 달리 수리 명제의 참, 거짓을 기계적인 방법으로 판별하는 것은 불가능하다는 사실을 증명한 것이다.

20세기 초 영국의 앨런 튜링은 괴델이 증명해낸 수학의 불완전성에 다시 한 번 췌기를 박는다. 케임브리지 수학과를 우등으로 졸업한 그는 1935년 봄 학기의 수학 기초론 수업에서 나온 괴델의 불완전성 정리를 듣고는 힐베르트가 생각한 프로그램, 즉 어떤 수학적 추론이든 만들어낼 수 있는 기계적인 방법이 존재할 수 없음을 다른 방식으로 증명하고자 결심한 것이다. 그는 우선 자신의 증명에 앞서 기계적인 방법이 무엇인지를 정의 내리는데, 이를 위해 다섯 가지의 부품-“무한히 많은 칸을 가진 테잎, 테잎에 기록되는 기호들(“A”, “B, ” " C” 등. 유한 개), 테잎에 기록된 기호를 읽거나 쓰는 장치, 그 장치의 상태들(“Q1”, “Q2” 등. 유한 개), 그리고 기계의 작동 규칙표”<sup>10)</sup>(p5)를 정의한다. 그리고 그는 이러한 부품들을 활용한 기계적인 방식이 광범위한 영역을 포함한다는 사실을 증명하기 위해 하나의 보편 기계를 구상한다. 그리고

7) 위의 책, p325

8) 같은 책, p325

9) 같은 책, p167

10) 이광근. 「현대 컴퓨터의 모델, 튜링기계의 고안」. 「20세기 10대 과학사건」. 과학창의재단. 2010. p5

이 궁극의 보편 기계로도 해결할 수 없는 문제가 존재함을 보임으로써, 즉 칸토어의 대각선 방법을 응용해 멈춤 문제를 풀 수 있는 보편 기계가 없음을 보임으로써 자신의 증명을 훌륭히 해낸다.

그런데 그가 자신의 증명을 위해 구상한 이 보편 만능의 기계는 현대 컴퓨터의 핵심적인 능력을 최초로 보인다. 즉 모든 일을 해낼 수 있는 단일 장치의 능력을 보여준 것이다. 앞서 언급했듯 튜링이 작성한 논문은 보편 만능의 기계의 설계도에 대한 것이 아니라, 괴델의 불완전성의 정리를 또 다른 방식으로 증명하기 위해 쓰인 것이었다. 수학의 불완전성에 확인 사살을 날리기 위해 작성된 보고서가 인간 역사에 다시 없을 만능의 도구를 만드는 기초가 된 것은 아이러니하지 않을 수 없다. 인간이 수립한 학문 체계의 한계를 되짚는 보고서가 오히려 인류 문명의 발전에 지대한 공헌을 하는 도구를 만드는 단초가 된 것이다. 게다가 17세기와 20세기의 학문적 성과를 서로 연결시켜 보면 “앨런 튜링은 라이프니츠를 기쁘게 할 만한 무언가를 발견하였다. 즉 그는 가능한 어떤 계산도 그 자체로 수행할 수 있는 하나의 단일한 보편 기계를 고안하는 것이 원칙적으로 가능하다는 것을 알아낸 것이다.”<sup>11)</sup>(p87)

지금까지 살펴본 컴퓨터 개념의 탄생 과정을 통해서 우리는 컴퓨터가 만들어지는 데에, 심지어 기초적인 개념이 성립하는 데에만도 수 세기에 걸친 지식의 축적이 있어 왔음을 알 수 있다. 컴퓨터는 단순히 역사의 어느 순간에 한 사람의 생각에 의해 갑자기 만들어진 발명품이 아니라, 수학, 공학, 논리학을 비롯한 수많은 학문이 몇 세기 동안 축적되어 생겨난 역사적 결과물인 것이다. 또한 이렇게 되짚어 보는 컴퓨터의 역사가 보여주는 또 다른 사실은 바로 학문 체계가 유기적으로 연결이 되어 있다는 것이다. 수학이 논리학을 낳고 그 형식 체계가 공학과 만나 인류 역사에 다시 없을 창조적인 도구를 탄생시키는 과정은 분명 경이롭다. 서로 다른 범주에 들어 있는 학문들이 한편으로 서로 연결되어 있으며 그것을 알아보고 새로운 창조의 발판으로 삼은 현인들이 있었기에 오늘의 인류 문명이 존재하는 것이다.

그런데 앞서 살펴본 컴퓨터의 역사에서도 알 수 있듯 지난한 창조의 과정에는 반드시 완벽한 성공만이 있는 것이 아니다. 라이프니츠는 컴퓨터의 기원이 될 만한 아이디어를 생각했음에도 그것을 완벽하게 구체화시키는 데까지 도달하진 못했고, 인간의 사고에 대한 힐베르트의 낙관은 괴델의 증명에 의해 쓴맛을 보아야 했다. 특히 괴델이 밝혀낸 수학의 불완전성은 당시 수학자들의 꿈을 산산조각 냈을 만한 성질의 것이었다. 그러나 이 불완전함의 오점 속에서 인류 역사의 새로운 싹이 틈 줄이야 누가 알았겠는가! 역사 전체를 통틀어 보면 머나먼 옛날의 기록은 새로운 창조의 단초가 되기도, 다른 시대 혹은 현재를 꿰뚫어보는 힘을 제공하기도 한다. 그러기에 우리는 역사를 배우고 이를 토대로 새로운 작업을 해 나가야 하는 것이다.

사실 새로운 창조를 실현하는 것, 또는 혁신을 만들어내는 것은 얼핏 들으면 낭만적 일지라도 실현시키기는 너무나 힘든 일이다. 또한 인류 역사의 전개 과정에서 항상

---

11) 마틴 데이비스. <라이프니츠에서 튜링까지-수학자, 컴퓨터를 만든다> 박정일, 장영태 번역. 지식의 풍경. 2005. p87

발전만이 있었던 것은 아니다. 그럼에도 불구하고 인간은 앞으로 나갈 수밖에 없다. 산다는 것이 무가치함과 지리멸렬한 싸움이고, 그 모든 노력으로 바뀐 세상도 결국 무로 돌아가기에 소용없다고 해도, 결국 우리가 죽음에 이르지 않는 한 현실은 지금 우리가 인식하고 살아가는 이 세계 안에 존재하기 때문에, 즉 인간이 써내려갈 수 있는 학문, 성립할 수 있는 창조적 세계를 비롯한 모든 것이 전부 이곳에 있기 때문이다. 컴퓨터의 기원으로 거슬러 올라가는 여행 또한 끊임없이 나아간 인간들이 지은 거대한 학문의 역사를 들춰 보는 것과 같다. 그 여정에서 우리가 마주치는 것은 생각하는 인간이 지닌 힘이고, 추상적인 사유의 위대함이다. 필자는 지금 인간의 이성만을 무조건적으로 예찬하려는 것이 아니다. 이성 중심의 사고에 의해 주도된 질서가 세계 역사에서 어떤 비극을 남겼었는지는 산업 혁명의 폐해와 두 번의 세계 대전을 통해 확인할 수 있다. 또한 그 비극은 지금도 진행 중인지도 모른다. 다만 필자는 생각하는 인간은 자기 자신을, 자신이 속한 사회를 돌아볼 수 있는 통찰력을 지닌 존재임을 믿는다. 생각하는 인간은 자신이 걸어온 길을 되돌아보고 자신이 걸어갈 길을 수정할 수 있다. 만약 인간이 인류와 자연, 그리고 세계의 긍정적인 발전을 개내기 위해 파고들 지점이 있다면 그것은 파고들만한 가치가 있는 것이며, 인류의 궤적이 올바른 길에서 빗나가고 있음을 발견한다면 그것은 바로잡혀야 한다. 만약 지금 우리의 현실이 인류가 써내려가는 비극만으로 가득 채워져 있다면 우리는 그것을 바꿀 수 있어야 한다. 왜냐하면 인간 존재와 그 유산은 결국 이 세계 안에, 현실 속에 있기 때문이다. 우리는 그 방법을 알기 위해 끊임없이 살고 계속해서 배워야 한다.

## 참고문헌

마틴 데이비스. <라이프니츠에서 튜링까지-수학자, 컴퓨터를 만들다> 박정일, 장영태 번역. 지식의 풍경. 2005.

이광근. 「현대 컴퓨터의 모델, 튜링기계의 고안」. 「20세기 10대 과학사건」. 과학창의재단. 2010