

Exercise 1

컴퓨터, 추상의 물리적 구현

자유전공학부

권보람

요약

지금의 컴퓨터는 400년이라는 기간 동안의 인간 지식의 축적을 바탕으로 만들어졌다. 라이프니츠는 개념을 문자체계로 나타내는 것에 대한 꿈을 꾸며 컴퓨터에 대한 밑그림을 그렸다. 불과 프레게는 논리의 체계를 세워 인공언어의 바탕이 되는 논리적 표현방식을 제시하였다. 칸토어는 실무한에 대한 이론을 정립하는 과정에서 수학기계에 큰 반향을 일으켰으며, 칸토어가 제시한 대각선방법의 경우 튜링의 수학적 모델로 사용되었다. 힐베르트는 프로그램을 개발하고 이를 바탕으로 결정 문제를 제기하면서 라이프니츠의 꿈에 한발짝 더 다가갔다. 괴델의 불완전성 정리로 인해 결정문제는 불가능함이 드러나면서 힐베르트 프로그램은 종말을 고한다. 튜링이 괴델의 불완전성 정리를 바탕으로 힐베르트의 결정문제를 증명하는 과정에서 컴퓨터의 근본적인 디자인이 세상에 등장하게 된다. 컴퓨터는 순전히 공학의 산물로 받아들이기 쉽지만, 실상을 살펴보면 이러한 긴 시간동안의 인간의 사유가 없었다면 결코 발명할 수 없었던 작품이다. 현대인의 삶에 있어 컴퓨터는 시간과 장소에 상관없이 인간의 삶에 많은 즐거움과 편안함을 주고 있으며 예전에는 불가능했던 속도로 세계와 소통하며 인류 지식의 발전에 많은 기여를 하고 있다. 수업을 비롯해서 참고자료들을 통해 컴퓨터가 현재에 이르기까지의 과정을 살펴보면, 교수님의 말씀처럼 원조밥집을 찾아가는 즐거움과 두근거림을 느낄 수 있었다. 졸업요건을 채우기 위해서 자연과 기술의 핵심교양을 하나 의무적으로 들어야했기에 신청했고 3년째 되는 대학생활에 따분함을 느끼며 큰 기대 없이 들어갔던 수업이었지만, 아는 것의 즐거움을 느끼게 해준 좋은 기회가 되고 있다.

지금의 컴퓨터는 400년이라는 기간 동안의 인간 지식의 축적을 바탕으로 만들어졌다. 최초의 컴퓨터는 보통 1946년에 만들어진 ENIAC으로 알고 있기 때문에 단순히 생각해서 컴퓨터는 20세기에 등장하여 아직 100년도 안된 기계라고 생각하기 쉽다. 하지만 현대의 컴퓨터가 세상에 등장하기까지의 그 배경을 보게 되면 400년 전의 라이프니츠로까지 거슬러 올라가게 된다. 여기서는 튜링의 역사적인 논문에서 컴퓨터의 작동원리가 등장하기까지 수학자, 논리학자들의 숨은 노고를 살펴보고 어떠한 영향을 끼쳤는지 라이프니츠부터 역사의 흐름에 맞춰 살펴볼 것이다.

라이프니츠는 개념을 문자체계로 나타내는 것에 대한 꿈을 꾸며 컴퓨터에 대한 밑그림을 그렸다. 라이프니츠는 자신이 고안한 미적분학의 연산표기법을 포함하여 적절한 기호법이 다양한 학문에서 얼마나 결정적인 역할을 할 수 있는지 자각하고 있었기에, 그가 이를 확장하여 인간의 모든 사고범위를 포함하는 보편기호체계를 꿈꿨다는 것은 어찌 보면 당연할 것이다. 라이프니츠는 여기서 그치지 않고 더 나아가 추론계산법을 제시하여, 문장의 논리 구조를 단순화시켜 기호연산만으로 문장의 참, 거짓 여부를 판별할 수 있고 문장 간의 논리적 관계를 결정할 수 있는 기계를 만들 수 있을 것이라고 믿었다. 라이프니츠는 이를 구현하는 것에는 실패했지만 기호를 통해 논리적인 추론과정을 표현하는 것에 대한 아이디어를 제시하여 컴퓨터 논리의 기초를 다져놓았다.

불과 프레게는 논리의 체계를 세워 인공언어의 바탕이 되는 논리적 표현방식을 제시하였다. 불은 논리를 대수로 표현하였으며 프레게는 모든 연역적 추론들을 포함하는 논리체계를 세우고자 하였다. 특히 불은 논리명제들을 순수한 기호언어으로써 하나의 집합으로 표현하였으며, 집합에 적용되는 연산을 일정부분 숫자에 적용되는 연산으로 바꿀 수 있음을 알게 되었다. 이를 통해 불은 논리를 대수로 표현하여 그 체계 내부에서 논리 명제들의 연산이 가능함을 보였지만, 명제들 중에서 대수로 표현할 수 없는 것들이 존재한다는 한계는 극복하지 못했다. 프레게는 개념표기법에서 양화사라는 개념을 만들어내고 논리문장에 변수를 도입함으로써 어떤 연역적 추론도 수학적으로 정교하게 표현이 가능함을 보였다. 또한 프레게는 형식구문론을 통해, 기호의 의미를 이해하지 못하더라도 기호들이 배열된 방식만으로 연산이 가능함을 보여 순수하게 기계적인 조작으로 논리적 추론을 나타내는 것이 가능하다는 것을 밝혔다. 이처럼 불의 논리 대수와 프레게의 논리체계는 라이프니츠의 아이디어를 구체화시켜 튜링 기계의 작동원리와 기계적 조작에 큰 공헌을 하게 된다.

칸토어는 실무한에 대한 이론을 정립하는 과정에서 수학기계에 큰 반항을 일으켰으며, 칸토어가 제시한 대각선방법의 경우 튜링의 수학적 모델로 사용되었다. 칸토어는 실무한에 대한 새로운 이론을 정립하고자 하였는데, 그 과정에서 많은 수학자와 철학자, 신학자들에게 비난을 받았다. 칸토어는 이러한 주변상황에 굴하지 않고, 자신의 힘으로 무한의 세계를 개척해 나갔고 대각선방법을 통해 무한집합에도 크기가 있음을 밝혀낸다. 하지만 칸토어는 자신이 사용했던 무한집합의 기수(초한)에 대한 집합을 생각하는 과정에서 역설이 생겨났고, 러셀로부터 제기된 '모든 집합들의 집합의 존재가능성'으로 인해 당시의 수학은 토대가 흔들리는 위기를 맞이하게 된다. 이 때문에 이전까지 자명하다고 판단했던 명제들과 수학적인 가치에 대한 의심이 생겨났고 이를 극복하는 과정에서 힐베르트의 프로그램이 등장한다. 이후 튜링은 힐베르트 프로그램이 불가능함을 그의 역사적인 논문에서 칸토어의 대각선방법을 사용하여 보이는데, 이는 컴퓨터의 발전에 있어 칸토어의 공헌 또한 무시할 수 없다는 것을 보여준다.

힐베르트는 프로그램을 개발하고 이를 바탕으로 결정 문제를 제기하면서 라이프니츠의 꿈에 한 발짝 더 다가갔다. 힐베르트는 수학기초론과 관련하여 수학의 확고한 토대를 쌓고자 하였는데 그 일환으로 그는 기하학의 기초라는 책에서 새로운 공리들을 제시하여 그의 공리체계에 일관성이 있으며 모순이 없음을 증명하여 기하학의 논리체계를 규명하였다. 하지만 무모순성의 증명에 있어 다른 체계로의 환원하는 방식을 통한 상대적인 증명에 그쳤기에, 가장 근원적인 산술의 무모순성의 증명이 필요하게 되었다. 그는 자신과 대립하던 수학자들의 비판을 넘어서고자, 논쟁의 여지가 없는 실행 가능한 사실만을 대상으로 유한의 방법들만 사용하여 이를 증명하고자 하였다. 이 과정에서 힐베르트는 수학전체와 논리학을 형식적인 체계로 환원하여 체계 외부에서 보았을 때는 의미를 고려하지 않고 식과 기호조작이 가능한 프로그램을 생각한다. 그는 이 프로그램에서 공리화된 체계가 모순이 없고 완전하며 결정가능함을 증명하겠다는 목표를 제시한다. 힐베르트의 꿈은 괴델의 불완전성 정리와 함께 깨졌지만, 결정문제가 알고리즘들의 집합을 적용하여 항상 판정할 수 있을 것이라는 그의 생각은 튜링기계에서 알고리즘의 역할에 많은 기여를 하였다.

괴델의 불완전성 정리로 인해 결정문제는 불가능함이 드러나면서 힐베르트 프로그램은 종말을 고한다. 괴델은 불완전성 정리에서 힐베르트의 메타수학에서 형식 논리 체계 외부에서 바라보면 참이라고 보일 수 있지만 체계 내부에서는 증명될 수 없는 결정불가능한 명제들이 있음을 밝혀 힐베르트 프로그램을 무너뜨린다. 괴델은 이 과정에서 기호들을 자연수에 대응하게끔 하는 방법을 생각했고 이를 통해 형식논리체계 외부에서 기호열로 표현되는 것을

체계 내부에서 자연수로 부호화하는 방식으로 메타수학적 개념들을 인공지능으로 구현하는 방법을 보여주었다.

튜링이 괴델의 불완전성 정리를 바탕으로 힐베르트의 결정문제를 증명하는 과정에서 컴퓨터의 근본적인 디자인이 세상에 등장하게 된다. 괴델로 인해 라이프니츠의 궁극적인 꿈의 실현은 불가능하다는 것이 밝혀지는데, 튜링은 이를 괴델의 논증방법을 활용하여 튜링 자신이 정의한 기계적인 방식으로 다시 증명한다. 튜링의 역사적인 논문에서 처음 등장하는 튜링기계는 칸이 나뉘어진 무한한 길이의 테이프 위에 기호를 써서 계산을 하는 기계로, 테이프의 읽어들이는 기호와 기계의 상태에 따라 행동이 결정되는, 어찌 보면 간단하면서도 추상적인 기계였다. 튜링은 이를 사용하여 모든 수학적 계산이 가능함을 보였으며, 이 기계에서 할 수 없는 작업, 즉 계산이 불가능한 문제가 존재한다는 것을 칸토어의 대각선정리를 활용하여 밝혔다. 튜링의 기계는 계산을 알고리즘에 따라 수행하게끔 하였으며, 기계가 읽을 수 있는 인공지능을 활용하여 논리적 계산이 가능하게끔 하였다는 점에서 현재의 컴퓨터의 청사진을 그렸던 것이다.

컴퓨터는 순전히 공학의 산물로 받아들이기 쉽지만, 실상을 살펴보면 이러한 긴 시간 동안의 인간의 사유가 없었다면 결코 발명할 수 없었던 작품이다. 라이프니츠가 보편기호체계와 추론계산법의 꿈을 제시하지 않았다면, 불과 프레게가 논리학의 체계를 세우지 않았으면, 칸토어의 무한에 대한 접근이 없었으면, 힐베르트가 수학의 토대를 굳건히 하기위해 프로그램의 개발과 결정 문제를 제기하지 않았으면, 괴델의 증명이 없었으면 튜링의 논문이 등장하는 것은 없었을 것이다. 이러한 인류지식의 집대성이 있었기에 튜링기계는 공학기술과의 접목을 통해 현실화 되고 발전할 수 있었던 것이다.

현대인의 삶에 있어 컴퓨터는 시간과 장소에 상관없이 인간의 삶에 많은 즐거움과 편안함을 주고 있으며 예전에는 불가능했던 속도로 세계와 소통하며 인류 지식의 발전에 많은 기여를 하고 있다. 이러한 컴퓨터가 애초에 인간의 편익을 위한 실용적인 도구로 개발된 것이 아니라 추상적인 영역을 물리적으로 구현하는 과정에서 나온 부산물이라는 것이 매우 놀랍다. 공학자들의 업적을 폄하하려는 것은 아니지만 컴퓨터의 핵심은 기술이 아니라 그 근간이 되는 아이디어가 아닌가 싶다. 그렇기 때문에, 추상적인 영역에 머무르던 인간의 이성과 논리적 계산을 기호와 논리를 통해 나타낼 수 있도록 작동원리와 인공지능어를 제시한 수학자, 논리학자들의 위업이 무엇보다도 눈부시게 느껴진다. 또한 각 개인의 차원에서는 단순히 몇 가지 수학적 사실의 발견과 증명에 불과하더라도 그것의 축적은 현대 문명에 엄청난 영향을 끼치는 발전으로 이루어질 수 있는 것에서 인간의 힘은 그 지식을 후대에 전달하여 항상 더욱 높은 수준으로 발전해나가는 것에 있다는 것을 다시 한번 느낄 수 있었다.

수업을 비롯해서 참고자료들을 통해 컴퓨터가 현재에 이르기까지의 과정을 살펴보면 서 교수님의 말씀처럼 원조밥집을 찾아가는 즐거움과 두근거림을 느낄 수 있었다. 수업을 들을 당시에는 특별히 어려운 부분이 없었기에 가벼운 마음으로 과제를 시작했었다. 하지만 관련된 수학자들의 업적을 실제로 살펴볼 때 무슨 얘기를 하는 건지 전혀 감을 잡을 수가 없고 난해하다는 느낌을 받아 당황했었다. 이해를 위해 여러 자료를 찾는 과정에서 많은 고통을 받았지만 새로운 것을 알아간다는 기쁨 또한 느낄 수 있었다. 전혀 연관이 없을 것만 같았던 인물들의 업적이 서로 얽혀 하나의 컴퓨터로 탄생하는 그 모습에서 경이로움까지 느낄 수 있었다.

졸업요건을 채우기 위해서 자연과 기술의 핵심교양을 하나 의무적으로 들어야했기에 신청했었고 3년째 되는 대학생활에 따분함을 느끼며 큰 기대 없이 들어갔던 수업이었지만, 아

는 것의 즐거움을 느끼게 해준 좋은 기회가 되고 있다. 올해 초에 컴퓨터활용능력 자격증을 따고 나름대로 컴퓨터를 잘 활용한다고 생각해왔는데, 이번 수업과 과제를 통해서 이것은 단순히 소프트웨어 몇 개를 활용할 줄 안다는 것에 불과하다는 것을 알게 되었다. 이때까지 많이 사용해온 컴퓨터에 대해, 이것이 본질적으로 어떠한 기계인지에 대한 것은 전혀 알지 못했고 알려고도 하지 않았던 내 자신이 부끄럽게 느껴지기도 했다. 요즘 바쁜 관계로 영화도 못 보고 살았었는데 튜링의 눈부신 업적과 비극적인 죽음에 대한 내용을 담은 이미테이션게임은 꼭 챙겨봐야겠다.