

축적과 진보, 멋진 신세계

서울대학교 경제학부 원지호

2014.04.09

1. 서론

1) 컴퓨터 과학이 여는 세계

“우리 모두 이 사회가 어떤 사회인지 정의해봅시다!” 누군가 이렇게 외쳤을 때 나올 수 있는 대답은 한 가지가 아닐 것이다. 그러나 누구나 어느 정도는 공감할 수 있는 특징 중 하나는 우리 사회가 컴퓨터화 된 사회라는 점일 것이다. 요즘은 항상 주위를 둘러보면 누군가가 자판을 열심히 두드리는 모습을 볼 수 있다. 카카오톡이나 페이스북으로 대표되는 SNS를 통해 타인과 소통하는 모습이다. 이처럼 우리는 의사소통마저 ‘컴퓨터’라는 기계를 통해서 행하는 사회에서 살고 있다. 리포트를 쓰기 위해서 자판을 두드릴 때, 사무적인 작업을 할 때, 게임을 하거나 음악을 감상하는 등의 취미생활을 하는 때와 같은 다양한 상황에서 우리는 컴퓨터와 직면한다. 일상 속에서 컴퓨터를 직면하고 사용하는 우리 사회를 컴퓨터화 된 사회라고 지칭한다 해도 과언이 아닐 것이다. 그렇지만 컴퓨터를 때어놓고 생각하기 힘든 사회를 살아가면서도 컴퓨터라는 것이 정확히 무엇인지 아는 사람은 드물다. 기실 ‘컴퓨터’라는 것이 무엇인가라는 질문은 매우 당황스러운 질문임이 분명하다. 고도로 분업화된 사회에서 사회의 근간을 이루는 기술을 모두 이해하는 것이 가능한가는 제쳐두더라도 말이다. 그러나 ‘컴퓨터란 무엇인가’라는 질문은 단순한 게임 하나가 수백억의 가치를 창출하고, SNS 하나가 가지는 가치에 대한 기사를 보면서, 사무를 하면서도 이 컴퓨터화된 사회를 살아간다면 한 번쯤은 품게 되는 의문이기도 할 것이다. 과연 이 ‘컴퓨터’라는 기계는 무엇이고 어디에서 왔는가?

2) 거인의 어깨

“내가 더 멀리 볼 수 있었던 것은 거인의 어깨 위에서 세상을 바라봤기 때문이다.”

뉴턴의 유명한 말이다. 인간은 지식을 축적하고 이 지식을 바탕으로 새로운 기술, 이론을 창출한다. 이러한 지식의 축적과 전달을 인간의 주요한 특성이라고 말할 수도 있을 것이다. 다양한 기술들이 발전하고 나아가는 과정에서 항상 축적된 지식은 그 바탕이 되어왔다. 컴퓨터 또한 마찬가지이다. 현대의 컴퓨터는 공학만의 산물도 아니며, 어느 한 수학자만의 연구결과라고 할 수 없다. 컴퓨터는 수많은 공학자와 수학자의 연구를 기반으로 삼아 꽃을 피운 것이다. 이러한 측면에서 볼 때 그 토대와 역사적 맥락을 살펴보는 행위는 ‘컴퓨터’라는 개념을 이해하는 것에 기여할 수 있다. 본 보고서는 [Martin Davis](#)가 그의 저서 ‘The Universal Computer’에서 라이프니츠에서 튜링으로 이어지는 궤적을 정리한 내용을 바탕으로 컴퓨터의 초기 역사에 대해 알아보고 그들의 연구 결과가 튜링의 논문에 공헌한 바를 파악한 뒤, 컴퓨터 과학이 열어갈 세계에 대해 논의할 것이다.

2. 컴퓨터, 그 역사

1) 라이프니츠

철학자이자, 수학자로도 잘 알려진 라이프니츠는 컴퓨터의 역사에서도 빼놓을 수 없는 인물일 것이다. 젊을 적 아리스토텔레스의 논리학에 매료된 라이프니츠는 한 가지 원대한 이상을 품게 된다. 모든 기본 개념을 표현하는 문자 체계를 찾아내겠다는 꿈을 꾸는 것이다. 만일 이러한 문자 체계가 찾아진다면 문장의 참, 거짓이나 문장들 간의 논리적인 관계를 기호연산으로 파악할 수 있을 것이다. 라이프니츠에 있어서 그의 미적분 표기법이 가진 유용성은 이러한 생각을 크게 입증하는 듯 보였던 것 같다.

라이프니츠는 이러한 목표에서 더 나아가게 된다. 1673년, 라이프니츠는 사칙연산을 하는 기계를 설계한다. 이 기계에 대한 그의 글에서 그는 ‘노예처럼 계산작업에 시간을 낭비하는 것은 뛰어난 사람들에게는 가치 없는 일이기 때문이다’¹⁾라고 평한다. 이러한 라이프니츠가 정신 활동을 창조적인 사고에만 쏟을 수 있도록 해주는, 계산을 실행하는 기계를 구상하게 된 것은 자연스러운 귀결일 것이다. 바로 그 1년 뒤, 라이프니츠는 사칙연산과 같은 일반적인 산술만이 아니라 대수 방정식을 풀 수 있는 기계에 대해서 구상하게 된다. 또 그 1년 뒤, 논리적 추론을 기계적 절차에 견준 후 결국 추론을 계산으로 바꾸고 이러한 계산을 할 수 있는 기계를 만드는 것을 궁극적인 목표로 제시하게 된다. 훗날 ‘수리명제의 자동판별’이라고 불리게 될 문제가 탄생한 것이다. 라이프니츠의 연구와 튜링의 논문 사이에는 큰 간극이 존재한다. 그렇기에 라이프니츠의 연구가 튜링의 연구에 직접적인 영향을 미친 부분은 적을 수 밖에 없다. 그러나 라이프니츠의 기호에 대한 통찰이 없었다면, 훗날 힐베르트에 의해 ‘수리명제의 자동판별’이라고 문제화될 그의 꿈이 없었다면 튜링의 논문이 존재하기 힘들었을 것이다.

2) 부울과 프레게

조지 부울의 대에 와서 기호 논리학은 한층 발전하게 된다. 생계를 잇기 위해서 고생하는 와중에도 조지 부울은 과거 라이프니츠가 기호에 대해 가졌던 것과 비슷한 유형의 관심을 키워나갔고, 대수에 관련된 연구에 집중해나갔다. 이러한 부울의 연구는 차츰 결실을 맺어, <사고의 법칙 The law of Thought>이라는 논문을 발표하기에 이른다. 연구 속에서 조지 부울은 논리적 추론에서 사용되는 개체들을 집합으로 표현하거나 포함시킬 수 있다는 착상을 하게 되었다. 또한 이러한 집합들을 표기하고 연산하는 것에 기호를 사용하기 시작하였으며 이를 통해서 일반 대수에서의 연산과 유사함을 보여 주고자 하였다. 한 문자는 하나의 집합과 같기에 xy 와 같이 두 집합을 곱셈으로 나타낸다면 교집합과 같은 특성을 가졌다는 것을 밝혔고 한 집합에서 $XX=X$ 라는 점에 착안하여 0,1을 집합의 의미로 재해석할 수 있었다. 또한 일반 대수에서 다루는 덧셈과 뺄셈에 있어서도 덧셈은 합집합, 뺄셈은 여집합의 의미로 새로이 해석하였다. 이처럼 등장한 불 대수는 계산을 위한 규칙으로 사용될 수 있었고, 이는 비록 제한적인 범위였지만 라이프니츠가 꿈꾸었던 추론 계산법과 일맥상통하는 것이었다. 그러나 불 대수는 ‘모든 실패한 학생은 어리석거나 게으르다’와 같은 문장에서 알 수 있듯이, 모든 논리적 관계

1) 수학자, 컴퓨터를 만들다 마틴 데이비스 저, 박정일 장영태 역, 지식의 풍경, 18p

를 명확하게 표현할 수 없다는 한계점을 가지고 있었다.

어려한 난점은 프레게에 의해 극복된다. 프레게의 연구를 통해서 비로소 논리 체계를 통해서 일반 수학에서 사용되는 모든 연역적 추론을 포괄 할 수 있게 된 것이다. 1879년에 프레게는 <개념 표기법 Begriffsschrift>이라는 소책자를 발표하였다. 부울이 일반 대수에서 출발한 것과 달리 프레게는 자신의 논리학을 기반으로 대수를 상부구조로 세우려고 했기에 혼란을 막을 수 있는 다양한 기호들을 도입하였다. 이러한 노력을 기반으로 프레게는 개념의 표기법을 '구문론'이라고 불리는 정밀한 규칙을 가지는 인공언어로 발전시킬 수 있었다. 그러나 프레게의 논리학은 많은 것을 표기할 수는 있었지만 원하는 결론이 어떻게 주어진 전제들에서 연역될 수 있는 계산 절차를 제공하지 못 한다는 한계에 봉착하게 된다. 이러한 부울과 프레게의 논리학이 가지는 한계에도 불구하고 이들의 연구는 수학을 논리적인 측면으로 환원하는 바탕이 되었고, 실제 컴퓨터를 구현하는데 사용되는 논리적 기초를 제공할 수 있었다.

3) 칸토어

후술하겠지만 컴퓨터의 발견은 '수리명제의 자동판별'이라고 불리는 문제의 해결을 위한 탐구의 부산물이었다. 훗날 튜링이 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 사용한 대각선 방법을 창안하고, 괴델이 이에 관해서 증명한 불완전성의 원리를 해설하는데 사용된 연속체 가설을 제기한 학자가 있으니 그가 바로 칸토어다. 칸토어의 연구주제는 그 당시 수학계에 많은 논란거리를 가져왔다. 과거 수학계에서는 이른바 '실무한'이라는 개념이 금기시 되어 있었지만 칸토어는 이러한 문제에 직접 뛰어든 것이다. 무한한 집합이 가지고 있는 원소의 개수를 일대일 대응 방식으로 비교할 수 있다는 생각은 라이프니츠에 의해 처음 제기되었다. 라이프니츠는 '전체는 부분 보다 크다'라는 유클리드로 부터 시작된 수학의 기초적인 원리를 받아들여 모든 자연수의 개수라는 개념을 모순으로 칭하고 무한 집합의 원소의 개수를 말하는 것은 의미 없다는 결론을 내린다. 그러나 칸토어의 경우 비슷한 문제에 봉착해 정 반대의 해석을 택했는데, 무한집합이 그 부분 집합과 똑같은 원소의 개수를 가질 수 있다는 결론을 받아들인 것이다. 이러한 결론에서 더 나아가 칸토어는 대수적인 수와 자연수, 자연수와 실수의 일대일 대응 관계를 연구하였고 이러한 맥락 속에서 대각선 방법이 탄생하게 되었다. 또한 이러한 과정에서 칸토어는 기수에 대해서 생각하기 시작하였고 자연수 집합과 같은 기수를 갖는 집합의 기수를 표현하는 '알레프 널'과 실수 집합의 기수를 표현하기 위해 사용된 'C'사이에는 어떤 기수도 없다는 연속체 가설을 제시하게 된다. 그리고 이러한 칸토어의 연구는 '모든 기수의 집합의 기수'에 관련된 역설에 부딪히기도 하고 다양한 논쟁을 낳으면서 당시 수학계에 큰 영향을 끼친다.

4) 힐베르트, 괴델

수학자 힐베르트가 보여준 가장 뛰어난 성취를 꼽자면 수학 기초론이라는 분야에 대한 것이 빠지지 않을 것이다. 그리고 '수리명제의 자동판별'의 문제는 이 분야에 대한 그의 연구에서 출발한다. 힐베르트는 수의 기초에 관해 연구하면서 기하학의 무모순성을 산술의 무모순성으로 환원하는데 성공하였다. 산술의 무모순성에 대해서 연구하던 힐베르트는 그가 메타수학 혹은 증명론이라고 부른 새로운 분야에 대해서 착상하게 된다. 메타수학을 도입한다면 증명 방식에 있어서 논쟁의 여지가 없는 방식으로 증명할 수 있었기에 이를 통해 그를 비판하는 푸앙

카레, 바일, 브로우워르 등의 의견을 넘어설 수 있었다. 이 과정 속에서 1차 논리학의 어떤 논리식이 한정된 수의 명확하고 효과적인 단계를 거치면서 그 논리식이 타당한지 아닌지를 결정할 방법을 제공할 수 있는지에 관한 문제, 즉 ‘수리명제의 자동판별 문제’ 혹은 결정 문제라고도 잘 알려진 문제가 탄생하게 된다. 라이프니츠의 꿈이 힐베르트에 대해 이르러 구체화 된 것이다.

그러나 쿠르트 괴델에 의해 이러한 꿈은 산산이 깨어지고 만다. 러셀과 화이트헤드의 연구(수학원리, PM)는 모든 수학을 논리학에 포함시킬 수 있다는 것을 보여주었다. 괴델은 수학의 무모순성에 대해서 탐구하면서 이러한 수학 원리(PM)에 관한 뛰어난 연구결과를 내놓았다. ‘U는 PM안에서 증명될 수 없다.’라는 특정한 명제 U가 있다면 이는 외부관점에서 볼 때 이러한 명제가 참이라는 것을 알 수는 있지만 PM이라는 체계 안에서는 증명할 수 없다는 것이다. 이와 같은 논의가 발전하여 괴델은 수학적 진리의 범위는 어떤 주어진 형식 체계에서 증명될 수 있는 것을 넘어선다는 결론을 내릴 수 있었다. 결국 수학에 관한 형식체계가 근본적으로 불완전함이 밝혀지게 되었고 힐베르트 프로그램은 끝을 맞게 된다. 이러한 쿠르트 괴델의 증명은 추후 튜링이 자신의 논문을 작성하게 되는 계기가 된다는 점에서도 큰 의미를 갖는다.

5) 1936, 튜링 그리고 폰 노이만

1936년, 튜링은 <계산 가능한 수에 대하여 수리명제 자동판별 문제에 응용하면서 Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem>라는 논문을 발표한다. 튜링기계라고 불리는 컴퓨터의 기초가 되는 아이디어가 담겨있는 논문이자, 쿠르트 괴델이 증명한 내용을 다른 방식으로 증명한 논문이었다. 힐베르트는 결정 문제의 해결을 모든 인간의 연역적 추론을 단순한 계산으로 환원하는 알고리즘을 찾는 것에 있다고 보았다. 괴델의 불완전성의 정리에 대한 수업을 들은 튜링은 문제의 해결을 계산과 알고리즘의 측면에서 시도 해보고자 노력하였고 이것이 논문의 시작이었다. 튜링은 계산을 하는 사람의 모습을 본떠서 하나의 기계를 만들어 내는데 이것이 튜링기계였다. 사람이 기호에 집중하고 기호를 쓰고 마음 상태에 따라서 다음 행동이 결정되는 모습을 무한히 많은 칸을 가진 테이프와 유한한 기호들, 테이프에 기록된 기호를 읽거나 쓰는 장치와 그 유한한 상태로 치환한 튜링기계는 알고리즘을 수행할 수 있는 기계였다. 튜링은 이러한 튜링기계를 통해서 계산가능한 수를 정의하였다. 그리고 이는 힐베르트의 생각과 일맥상통하는 것이었다. 또한 이러한 각각의 튜링기계를 테이프에 인코딩하여 사용할 수 있는 보편 만능의 기계를 고안한다. 그리고 칸토어의 대각선 논법을 활용하여 멈춤문제를 해결할 수 있는 튜링기계가 존재하지 않음을 보였다. 모든 명제의 참/거짓을 기계적으로 판단할 수 있다면 그것을 이용하여 멈춤 문제를 풀 수 있기 때문에 멈춤문제를 풀 수 없다는 것을 보여줌으로써 튜링은 모든 명제의 참/거짓을 기계적으로 판단 할 수 없다는 것을 증명해낼 수 있었던 것이다. 그리고 이 과정 속에서 현대 컴퓨터의 기본 개념이 되는 튜링기계가 탄생하였다.

그러나 이러한 튜링기계가 단순히 아이디어로만 머물렀다면 우리는 지금의 컴퓨터화 된 문명 사회를 경험하고 있지 못했을 것이다. 이러한 컴퓨터의 실현에 있어서는 다양한 공학자들이나 다른 수학자들의 노력이 뒤따랐는데 그 중 대표적인 인물이 폰 노이만이다. 물론 폰 노이만이 튜링의 논문에 직접적인 영향을 받았는지에 대한 증거는 희박하다. 그러나 그 둘이 서로 친분이 있는 사이였다는 점을 고려해 볼 때 튜링의 논의를 접했을 것이라고도 유추해 볼 수 있을 것이다. 폰 노이만은 비슷한 시기에 스스로 general-purpose computer를 설계하였는데 이

는 튜링 기계와 극히 유사하며 general-purpose computer의 메모리가 무한하다면 이는 튜링기계를 모사할 수 있었다. 그리고 이 개념을 통해 폰 노이만은 공학자들과 함께 현재 최초의 컴퓨터로 널리 알려진 에니악을 탄생시켰다. 그러나 그 이후 컴퓨터가 거듭 진보해오고 있음에도 불구하고 튜링의 아이디어를 넘어서는 컴퓨터의 구조는 아직까지 등장하고 있지 않다.

3. 결론

1) 축적과 과학의 진보

컴퓨터라는 개념의 발생은 튜링소년의 뛰어난 재능 및 창의성의 부산물이라고 할 수 있지만 전적으로 그 혼자만의 성취는 아니었다. 서론에서 언급했던 것처럼 그보다 앞선 수학자 및 논리학자들의 연구가 400여년에 걸쳐 축적된 결과였던 것이다. 물론 라이프니츠는 본인의 꿈이 컴퓨터라는 기묘한 산물을 만들어낼지 예측하지 못 했겠지만 말이다. 현재를 살아가는 우리들은 특정 기술이나 학문의 산물들을 단지 받아들이고 사용할 뿐이다. 그러나 인류의 문명이 누적적임을 파악하고 그 역사를 살펴보는 것은 단지 그 기계의 사용법이나 원리를 파악하는 것을 넘어선 지점을 보여줄 수 있다. 기술은 하늘에서 그저 주어지지 않는다. 누군가가 그에 대해서 연구했기에, 누군가가 그것을 필요로 했기에 발전된 것이다. 라이프니츠의 꿈이 점차 발전하고 다른 학자들의 연구결과와 연계되어 컴퓨터라는 산물을 낳게 된 것처럼, 하나의 기술이 발전하는 과정 속에는 그 당시 인류가 바라고 있던 꿈과 욕망이 내재되어 있다. 그렇기에 하나의 과학기술이 발전된 역사를 이해하는 것은 그 당시 인간의 삶과 욕구를 읽어내는 행위이기도 한 것이다. 결국 과학기술이 정립된 역사를 파악하는 것은 학생으로서 학문을 하는데 있어 그것이 발전하는 과정을 파악하는 것 뿐 만 아니라, 인간에 대한 이해를 증진시킬 수 있는 과정인 것이다.

2) 멋진 신세계

컴퓨터 과학이 연, 디지털 기술이 열어가고 있는 세상은 혼란스럽기 짝이 없다. 인간이 할 수 있는 많은 측면이 기계에 의해 대체되어가고 있으며 이에 관한 논란이 지속되고 있다. 그러나 이것이 반드시 암담한 미래만을 보여주는 것은 아니다. 현대사회의 이러한 혼란은 과거 산업혁명 당시와 비슷하다. 그 당시 인간이 기계에 밀려날 것이라는 인식이 팽배했지만 인류의 삶은 나아져왔다. 이처럼 기술의 발전은 기존의 많은 영역을 해체시키지만, 많은 기회를 제공하기도 한다. SNS, 컴퓨터 게임과 같은 새로운 시장이 개척되어 가고 있으며 인간 개개인이 가진 생산성은 비약적으로 향상되었다. 디지털 기술의 발전은 이미 거부할 수 없는 하나의 조류가 되어가고 있다. 피할 수 없으면 즐기라는 말처럼 기술의 진보를 배격하기 보다는 인간과 기계가 팀을 이루어 보여줄 수 있는 놀라운 성과를 이해하고 새로운 기회에 도전해 나간다면 지금 다가오고 있는 실로 멋진 신세계의 주역이 될 수 있을 것이라 생각해본다.