

400년의 축적, 안 것/모르겠는 것/느낀 것

신동수

<요약>

컴퓨터의 기원은 우연이었다. 앨런 튜링은 대수학자 힐베르트의 “기계적인 방식으로 수학의 모든 사실을 하나도 빠짐없이 만들어 낼 수 있다”라는 주장을 저만의 방식으로 반증했다. 튜링은 자기가 만든 테이프, 헤더, 규칙표라는 간단한 부품으로 구성된 장치를 통해 표현되는 것이 기계적 계산이라고 정의 내렸다. 한 가지 작업밖에 못하던 튜링기계는 보편만능의 기계(Universal Machine)를 거쳐 만능기계라 불리는 컴퓨터로 발전하였다. 튜링기계는 무한하더라도 자연수의 개수보다 많을 수 없는데, 이로 인해 모든 참인 명제를 만드는 튜링기계 존재하지 않음을 증명할 수 있다. 교수님의 수업을 듣고 컴퓨터과학이 여는 세계 책을 읽으며 많은 것을 배웠지만 그와 함께 궁금증도 늘었다. 먼저, 칸토어의 대각선논법에서 등장하는 무한의 크기 비교에 대해서 명확히 모르겠다. 또한 튜링기계는 과연 모든 기계적인 계산을 다룰 수 있을지 궁금하다. 이 수업을 들으며 정말 많은 것을 느끼고 생각하게 되었다. 첫 번째로 느낀 것은 튜링에 대한 존경이다. 두 번째로는 세상을 바라보는 새로운 시각을 하나 얻은 느낌이었다. 마지막으로 느낀 것은 컴퓨터를 발달시키는 데 있어 주의를 할 필요가 있다는 것이다.

<본문>

1. 내가 알게 된 것

컴퓨터의 기원은 우연이었다. 사람들은 처음부터 걱정하고 이러한 만능 기계를 만들려고 한 것이 아니었다. 앨런 튜링이라는 청년이 특정 문제를 증명하는 과정에서 사용한 기계적인 과정이 발달하여 지금의 컴퓨터가 된 것이다. 증명의 소도구 정도로 사용할 목적으로 만든 기계가 어떻게 보면 그 증명 자체보다 큰 영향력을 미래에 행사하게 될 줄은 튜링 본인도 몰랐을 것이다.

앨런 튜링은 대수학자 힐베르트의 “기계적인 방식으로 수학의 모든 사실을 하나도 빠짐없이 만들어 낼 수 있다”라는 주장을 저만의 방식으로 반증했다. 이것은 이미 괴델이라는 수학자가 거짓으로 증명해낸 바가 있으나, 이 증명에 만족하지 않은 젊은 튜링은 독특한 방법으로 접근하였던 것이다.

튜링은 자기가 만든 테이프, 헤더, 규칙표라는 간단한 부품으로 구성된 장치를 통해 표현되는 것이 기계적 계산이라고 정의 내렸다. 상당히 오만한 정의지만 실제로 우리가 아는 거의 모든 수학적 계산들이 튜링의 기계로 표현되므로 신빙성이 있다고 볼 수 있다. 지극히 제한적인 예시지만 0과1을 교차로 나타내는 기계, 0사이에 1의 개수가 순차적으로 늘어나는 기계, 특정한 패턴이 주

어질 때 그것을 복사하는 카피(copy)머신 등을 실제로 설계해보며 튜링기계의 능력을 조금이나마 이해할 수 있었다.

한 가지 작업밖에 못하던 튜링기계는 보편만능의 기계(Universal Machine)를 거쳐 만능기계라 불리는 컴퓨터로 발전하였다. 튜링기계는 테이프 한 개당 한 가지 작업에 대한 정보가 입력되어 있다. 따라서 어떠한 튜링기계의 작동 과정을 테이프에 기록만 한다면 다른 튜링기계에서도 그 작업을 모방할 수 있는 것이다. 예를 들어 튜링기계 A가 짝수 번째 칸의 수를 모두 0으로 바꾸는 작업을 한다고 하자. 그 기계 A에는 테이프가 있고 헤더가 있고 규칙표가 있을 것이다. 새로운 테이프를 가져와 A의 테이프의 정보를 3칸 주기로 기입하고, A의 헤더의 상태를 역시 3칸 주기로 기입하고, A의 규칙표를 그 다음 3칸 주기로 기입하면 한 테이프에 튜링기계 A의 모든 정보가 입력된다. 이제 이 테이프를 특수한 규칙표를 가진 다른 튜링기계(보편만능의 기계)로 실행하기만 하면 기계 A의 작동을 그대로 모방하게 되고, 이 특수한 튜링기계를 보편만능의 기계라고 부른다. 보편만능의 기계에 사용하기 위해 어떠한 튜링기계를 테이프에 기입할 때 필요한 기호는 17개면 된다. 구체적으로 살펴보면 상태(State)에서 온 숫자를 나타내기 위한 S, 테이프(tape)에서 온 숫자를 나타내기 위한 T, 이동 방향을 나타내기 위한 >, <, ||, 규칙표의 줄 구분을 위한 X, 마커로 필요한 *, 그리고 10진법의 숫자 0~9만 있으면 모든 튜링기계를 하나의 테이프에 압축시킬 수 있다.

튜링기계는 무한하더라도 자연수의 개수보다 많을 수 없는데, 이로 인해 모든 참인 명제를 만드는 튜링기계가 존재하지 않음을 증명할 수 있다. 언뜻 생각하면 전혀 관계 없는 사실을 이유로 증명을 하는 것 같아 보이지만 이것은 직관적인 증명이 아니라 한 단계를 거친 간접적인 증명방법이기 때문이다. 모든 참인 명제를 만드는 튜링기계 A가 존재한다면 멈춤문제를 판단하는 기계 H도 존재할 것이다. 하지만 칸토어의 대각선 논법을 사용하면 H가 존재할 경우 튜링기계의 수가 자연수보다 많게 된다. 이는 명백한 모순으로 H가 실은 존재하지 않는다는 것을 의미하고 결국 A도 존재하지 않음을 알 수 있다.

2. 내가 모르겠는 것

교수님의 수업을 듣고 컴퓨터과학이 여는 세계 책을 읽으며 많은 것을 배웠지만 그와 함께 궁금증도 늘었다. 원래 아는 것이 많아질수록 모르는 것도 많아진다는 말이 있듯이 컴퓨터의 기원에 대한 지식이 늘자 내가 무엇을 모르는지 인지하게 되었다.

먼저, 칸토어의 대각선논법에서 등장하는 무한의 크기 비교에 대해서 명확히 모르겠다. 튜링기계는 자연수만큼 있고 멈춤문제 기계가 존재할 경우 대각선논법에서 튜링머신의 개수가 자연수보다 많아서 모순이 발생한다는 것은 이해가 된다. 하지만 무한히 많은 두 수를 그냥 유한한 수와 같은 방식으로 비교를 해도 되는지가 의문이다. 예를 들어 자연수의 개수는 무한하고 0 이상의 정수의 개수 역시 무한하다. 0 이상의 정수는 자연수를 포함하는 개념이고 0이라는 수가 추가되므로 개수가 더 많다고 할 수 있을까? 만약 많다고 한다면 정확히 1개 더 많다고 할 수 있을까? 튜링기계의 예에서 모든 튜링기계와 다른 1개의 이질적인 튜링기계를 찾았다는 이유로 모순을 선언한

것을 보면 무한보다 1개 많은 것도 엄연히 많은 것이라고 유추해볼 수 있겠다. 그렇다면 포함관계가 완벽하지 않은 두 무한집합의 크기는 어떻게 비교를 할까? 예를 들어 홀수의 개수와 짝수의 개수를 비교하면 1과 2, 3과 4 이런 식으로 대응이 되어 개수가 같을 것 같다는 느낌이 들면서도 2와 3, 4와 5 이런 식으로 대응을 시키면 1이 남아 홀수가 하나 더 많은 것 같기도 하다. 다른 예로 2의 배수와 3의 배수의 개수를 비교해보았다. 이 경우에는 10이하에서도 2의 배수가 많고 100이하에서도 2의 배수가 많고 1000이하에서도 2의 배수가 일정한 비율로 많으므로 이것을 무한히 연장해도 일정한 비율로 2의 배수가 많을 것이라고 판단이 된다. 이러한 경우에는 무한보다 유한히 많으면 안 되고 무한히 많을 경우에만 크기 비교가 가능한 것 같기도 하다. 이렇듯 무한의 크기 비교에 대해서는 궁금한 부분이 많다.

또한 튜링기계가 과연 모든 기계적인 계산을 다룰 수 있을지 궁금하다. 튜링이라는 학생이 자신이 만든 간단한 장치로 감히 "기계적인 계산"을 정의하려 했다는데 그것은 아직까지도 반증되지 않았다. 즉 튜링기계로 표현되지 않는 기계적인 계산을 찾지 못했다는 것이다. 하지만 그렇다고 해서 정말로 모든 기계적 계산을 다 다룰 수 있을 것 같지는 않다. 궁금한 것은 왜 아직 모든 기계적인 계산을 표현할 수 있다고 증명이 되지도 않은 것을 반례를 찾지 못했다는 이유로 사실로 간주하는지 이다. 힐베르트의 과제가 불가능하다는 것을 괴델이 먼저 증명을 했기 때문에 첫 번째 증명은 아니지만 앨런 튜링의 증명 역시 다른 방식의 증명이라는 인정을 받았다. 그 말은 튜링의 기계장치가 기계적 계산의 정의로 나름대로 인정되었다는 것인데, 불명확한 가정을 토대로 한 증명이 어떻게 깐깐하기로 유명한 수학자들에게 받아들여졌을까 궁금하다. 실제로 인류는 지금까지 수많은 법칙을 깨고 새로운 사실을 발견해왔다. 불완전한 정보로 인한 편협된 사고방식으로 잘못된 결론을 내렸다가 새로운 정보의 유입으로 결론을 수정한 경우가 많았던 것이다. 마젤란이 그랬고 콜럼버스가 그랬다. 이처럼 미래에는 참신한 누군가가 튜링의 오류를 지적하며 새로운 발견을 하지 않을까 조심스레 예상해본다.

3. 내가 느낀 것

이 수업을 들으며 정말 많은 것을 느끼고 생각하게 되었다. 하루 24시간 동안 핸드폰 다음으로 오랜 시간 함께하는 전자제품인 컴퓨터지만 그 동안 너무 아는 것이 없었던 것 같다. 인터넷 서핑, 게임, 문서작업, 파워포인트 등 일상적인 생활에서의 컴퓨터 활용은 상당히 능숙하고 관심이 있었다. 하지만 컴퓨터의 원리가 무엇인지, 컴퓨터의 기원이 무엇인지 등과 같은 것은 순간적으로 궁금했던 적은 있지만 알아보려고는 노력조차 한 적이 없다. 이 수업에서 처음으로 그러한 정보를 얻자 많은 감정이 교차했다.

첫 번째로 느낀 것은 튜링에 대한 존경이다. 앨런 튜링은 업적이 뛰어난 것도 있지만 내가 존경하는 것은 그의 학업에 임하는 태도이다. 교수님께서도 그가 그리 대단한 천재가 아니었다는 것을 강조하시며 우리보고 천재가 아니라는 이유로 도전을 포기하지 말라고 하셨다. 그래도 튜링의 업적을 보면 어느 정도 천재였던 것 같다는 생각은 들지만, 사실 앨런 튜링이 천재였는지 아니었

는지는 나의 관심사가 아니다. 그의 지능과 상관없이 그가 확실히 지금의 나보다 뛰어난 점은 괴델의 증명을 보고 다른 방식으로 증명을 해볼 시도를 했다는 점이다. 현재의 나를 보면 과제를 하고 시험공부를 하기 급급한 수동적인 학습을 하고 있다는 생각이 들었다. 진정한 변화를 가져 오기 위해서는 조금 더 능동적인 방식으로 학습하고 생활하는 것이 필요하다고 생각한다.

두 번째로는 세상을 바라보는 새로운 시각을 하나 얻은 느낌이었다. 굉장히 단순하지만 튜링기계를 실제로 설계해보며 예제 이외의 것들도 기계적으로 해결할 수 있을 것 같다는 자신감이 마구 들었다. 생활 속에서 기계로 하면 더 편할 것을 왜 아직 하고 있지 않을까를 은근히 찾게 되었다. 그러한 아이디어들을 바로 실천하여 만들어보는 사람이 튜링 같은 인물상인데 나는 아직 그 단계에는 이르지 못했다. 이것은 비단 실천성의 문제만은 아닌데 나의 튜링기계 설계 경험이 거의 전무한 탓에 조금만 복잡한 과정과 마주해도 어떻게 할지 감이 잘 안 오기 때문이다. 앞으로 이쪽 방향으로 계속 공부를 하면 떠오르는 아이디어를 바로 튜링기계로 구현해낼 수 있는 날이 오리라 기대해본다.

마지막으로 느낀 것은 컴퓨터를 발달시키는 데 있어 주의를 할 필요가 있다는 것이다. 컴퓨터는 효율적이고 합리적이지만 윤리적이지는 않기 때문이다. 요즘 이세돌과 알파고의 대국이 화제가 되며 인공지능(AI)에 대한 사람들의 관심이 급격히 올랐다. 대부분은 알파고의 4승이라는 결과에 놀라며 인공지능이 벌써 인간의 지능을 뛰어넘은 것에 대해 조금은 불안한 마음을 가지고 있을 것이다. 우리의 이러한 막연한 불안감은 영화 아이로봇이나 터미네이터 등에서 너무 발달하여 통제되지 않는 인공지능의 모습을 목격한 데서 온다. 하지만 이러한 인공지능의 모습은 영화의 허무맹랑한 소리가 아니라 실제 우리의 미래일 수도 있다. 사람들이 인공지능을 만들 때는 기본적으로 인간에게 해를 끼치지 않도록 명령을 입력하겠지만 이를 정교하게 하지 않으면 우리가 생각하던 것과 다른 결과를 가져올 수 있다. Nick Bostrom이라는 철학자가 TED 강연에서 한 말이 있다. 미래의 어느 시점에는 분명히 인공 지능이 인간의 지능을 뛰어넘을 것인데, 그렇게 되면 지금 우리가 동물원에서 동물을 보호 하듯이 인공지능이 우리를 보호하는 상황이 올 것이라고 한다.¹ 현재 인류는 컴퓨터의 발전으로 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 하지만 앞으로도 컴퓨터의 발전이 인류의 발전으로 남을지, 아니면 컴퓨터만의 발전이 될지는 알 수 없는 일이다. 따라서 그러한 일이 벌어지기 전에 미리 주의하는 것이 좋다고 생각한다.

¹ Nick Bostrom, <컴퓨터가 인류보다 똑똑해진다면 무슨일이 벌어질까?>,>

https://www.ted.com/talks/nick_bostrom_what_happens_when_our_computers_get_smarter_than_we_are?language=ko