

모든 경계를 넘어라

1. 내가 알게 된 것

튜링기계가 당대 수학계의 꿈이 불가능하다는 것을 증명하기 위한 과정에서 등장한 것을 처음 알게 되었다. 이전에도 앨런 튜링이 튜링기계를 물리적으로 만든 것이 아니라, 청사진으로만 제안했음은 알고 있었다. 그러나 튜링이 여건이 되지 않아 기계를 직접 제작하지 못한 것일 뿐, 그 설계도 자체가 당시 그의 목적인 줄로만 생각했다. 그러나 튜링은 기계적 방식으로 모든 수학적 사실을 만들어 낼 수 없다는 것을 증명하는 과정 속에서 철저한 사고실험의 도구가 필요했을 뿐이었다.

튜링기계는 탄생부터 그 한계에 의의를 두고 있다는 점도 매우 흥미로웠다. 튜링은 일종의 귀류법을 사용하여 모든 참인 명제를 만들어내는 기계는 존재하지 않는다는 것을 증명한다. 보편만능의 튜링기계를 멋지게 고안하여 전제한 후, 그것의 한계와 자기모순을 통해 환상을 깨버리는 것 모두를 튜링이 했다.

그러나 만능일 수 없는 튜링기계는 그 자체로도 충분히 매력적이었고, 이를 실제로 만들어보고자 하는 시도가 곳곳에서 이어졌다. 그 시도는 튜링에 의해 영향을 받은 것뿐 아니라, 그 이전부터 다양한 분야에서의 여러 도전들이 합쳐진 성과이기도 했다. 그런 축적 과정을 통해 컴퓨터는 점차 지금의 모습을 갖추게 되었고, 여전히 많은 사람들에게 의해 발전 중이다. 갈수록 컴퓨터는 많은 일을 하고 있다. 불가능한 것으로 증명되었던 보편만능의 기계를 통해 인간은 보편만능을 꿈꾸고 있다. 재미있는 역설이다.

2. 아직 모르겠는 것

튜링의 멈춤 문제 증명 과정에서 대각선 논법을 사용하는 부분이 명료히 이해되지 않는다. 칸토어의 대각선 논법 자체는 이해했고, 멈춤 문제를 푸는 튜링기계는 존재할 수 없다는 증명의 흐름도 전체적으로는 알 수 있었다. 하지만 대각선 논법을 위해 세로로 자연수로 번호 붙인 모든 튜링기계를 나열하고, 가로로 테이프에 올라온 입력들을 나열하는 부분에서 의문이 생겼다. 보편만능의 튜링기계가 테이프로 표현된 또다른 튜링기계의 작동을 따라하게 하기 위해, 테이프 하나에 모방할 튜링기계를 모두 나타냈었다. 그런데 테이프에 나타낸 튜링기계의 각 부품들 중에는 그 튜링기계가 읽는 테이프, 즉 입력과 헤더 표시도 존재했다. 대각선 논법을 위한 표에서 자연수로 번호 붙여진 모든 튜링기계들은 이렇게 각각의 입력을 이미 포함하고 있을 것이다. 동일한 작동규칙표를 갖고 서로 다른 입력을 갖는 튜링기계들은 부품 하나의 내용이 다른 것이므로 테이프 한 줄로 나타내면 서로 다른 자연수에 대응된다. 따라서 이들 역시 세로 한 줄로 나열될 수 있다. 이렇게 이해하던 와중, 대각선 논법의 표에 테이프에 올라온 입력들을 새롭게 가로로 나열하는 것은, 입력을 이중적으로 생각하는 것이 아닌가하는 궁금증이 생긴 것이다.

또한, 임의의 명제를 고유의 자연수로 표현하는 괴델수가 가능한 것인지에 대해 언어학과 관련된 회의적인 고민이 있다. 어쩌면 명제의 개수는 자연수의 부분집합의 개수만큼 무한한 것일 수도 있다는 생각을 했기 때문이다. 명제를 괴델수로 표현할 수 있다는 것은 명제의 개수가 자연수의

개수만큼 무한하다는 것이다. 명제를 표현하는 데에 사용되는 문자의 개수는 한정되어 있다. 그 문자들에 고유번호를 붙이고 소수를 이용하면 하나의 자연수로 나타낼 수 있다. 그런데 정말 그런가? 물론 굉장히 합리적인 내용으로 여겨지지만, 한편 언어의 창조성을 고려하면 명제를 표현하는 언어 표현이 정말 자연수만큼만 무한하다고 할 수 있는지에 대해 의문이 생긴다. 물론 모든 언어 표현이 명제는 아니다. 하지만 창조성의 핵심은 한정된 양의 음운이나 어휘로 끊임없이 새로운 언어 표현을 만들어낼 수 있다는 것이다. 즉, A라는 아무리 크고 긴 의미를 담은 문장이 있어도, 항상 거기에 의미를 좀 더 추가한 문장 A*가 있을 수 있다. 그런데 이것은 단순히 어떤 자연수 다음에 그보다 1만큼 더 큰 새로운 자연수가 있다는 것 이상의 의미를 갖는다. 자연수의 집합은 1 다음에는 2, 2 다음에는 3, 같은 식의 선형적 구조를 갖는다. 하지만 A라는 문장이 담는 의미 a에 새로운 의미를 추가할 때에는, b라는 의미를 추가할 수도, c라는 의미를 추가할 수도 있다. 즉, 세상에 존재할 수 있는 의미 a, b, c, ...가 자연수의 개수만큼 무한하다고 해도, {a} 이후 {a, b}, {a, c}, ...만큼 다양하게 결합된 새로운 의미가 존재할 수 있는 것이다. 수업에서 칸토어의 대각선 논법을 통해 자연수의 개수에 비해 자연수의 부분집합의 개수가 더 큰 무한이라고 배웠다. 그렇다면 언어 표현의 개수, 또는 명제의 개수도 어쩌면 자연수의 부분집합의 개수에 대응되는 무한이라고 보는 것이 더 적절할 수 있지 않은가? 물론 내가 미처 생각지 못한 부분이 있을 것이다. 하지만 언어학을 공부하는 사람으로서 흥미롭게 상상해볼 수 있는 내용이었다.

3. 내가 느낀 것

컴퓨터가 주도하는 세상에 살고 있는 많은 사람들은 생각보다 컴퓨터를 모른다. 중장년층 이하 대부분의 사람들은 일상 생활에서 개인용 컴퓨터 및 스마트폰을 익숙하게 사용한다. 이미 인간 사회에서 컴퓨터는 사실상 모든 분야에 있어 매우 큰 역할을 하고 있다. 그런데 많은 사람들은 그 기반이 되는 컴퓨터의 원리에 대해서는 큰 관심을 두고 있지 않다. 이러한 수업을 접해본 적이 없는 나를 포함한 많은 사람들이 수업 초반부에 여러 질문을 하며 흐름을 따라가기 버거워하는 모습을 보고 느낄 수 있었다. 물론 모든 사람들이 우리가 사용하는 기기의 작동 원리에 대해 알아야 할 필요는 전혀 없다. 컴퓨터가 속내용을 감추며 차곡차곡 쌓아올려지며 발전되듯, 컴퓨터를 통해 확장된 삶을 살고 있는 사람들도 당장 내가 사용하는 소프트웨어 및 하드웨어가 표면적으로 어떻게 작동하는지만 알면 충분하기 때문이다. 그리고 그것을 통해 각자 더 나은 삶을 만들어갈 수 있으면 그만이다.

그러나 어떤 분야에서라도 주도적으로 미래를 만들어나가고 싶은 사람들은 때로는 겹겹이 쌓인 층의 경계들을 뚫어 저 밑의 속내용까지 내려가 봐야 한다. 다시 말해, 컴퓨터를 본질적인 수준부터 공부해보아야 한다. 컴퓨터는 인간이 하는 일들을 대신 더 효율적으로 더 잘 하기 위해 만들어졌고, 그렇게 발전하고 있다. 때문에 컴퓨터가 작동하는 방식은 인간이 사고하고 행동하는 방식이 집대성된 거대한 인간 사고 설계도라고 할 수 있다. 수업을 통해 컴퓨터의 원천을 공부하는 것은 과거와 현재, 미래의 세상을 이해하는 통찰력에 큰 도움이 될 것이라는 확신이 생겼다. 적극적으로 컴퓨터를 이해하고 컴퓨터로부터 도움을 받을 수 있는 사람은, 거기에 축적된 인류의 고민을 엿볼 수 있

다. 그렇다면 자신의 분야에서, 어쩌면 그 이상의 범위에서 놀라운 성취를 이뤄낼 수 있을지도 모른다. 그리고 그러한 성과들이 컴퓨터를 더욱 발전시킬 것이다.

그렇기에 이번 학기에 컴퓨터의 근원을 파고들게 된 것은 나의 공부 태도와 학습 계획에 큰 의의를 갖는다. 이후 내가 어떤 일이나 공부를 하더라도, 컴퓨터를 이해할 필요가 있다는 생각은 이전부터 갖고 있었다. 그래서 프로그래밍 언어 몇 가지를 따로 공부하기도 했고, 컴퓨터공학부 전공을 고민하며 ‘컴퓨터과학이 여는 세계’를 수강해보기로 결정했었다. 하지만 그런 나조차도 막상 컴퓨터의 아버지로도 불리는 앨런 튜링이 왜 튜링기계를 상상했는지, 그리고 튜링기계가 어떻게 지금의 컴퓨터와 연결되는지는 딱히 궁금해한 적이 없었다. 컴퓨터가 튜링기계의 아이디어로부터 차곡 차곡 쌓아올려졌다면, 나는 그 한참 위의 프로그래밍 언어와 그것을 다루는 코딩 정도까지만 파고 들었던 것이다. 코딩은 구상한 알고리즘을 컴퓨터가 이해할 수 있는 언어로 바꾸는 것이다. 하지만 지금 사용되는 C, 파이썬, 자바 등의 컴퓨터 언어들은 이미 컴퓨터를 쉽게 다룰 수 있도록 한참 나중에 개발된 것이다. 그곳에만 머물던 내가 수업을 통해 컴퓨터의 원천을 들여다볼 필요성을 느꼈고, 직접 내려가볼 열쇠와 용기를 얻을 수 있었다. 사실 컴퓨터공학부 전공 수업들에서 전기전자회로, 논리설계 등 컴퓨터의 본질적인 내용들까지 깊이 있게 다룬다는 것에 대해 그 필요성에 대한 회의감을 갖기도 했다. 뿐만 아니라 해당 분야에 대한 공부에 큰 부담감을 갖기도 했다. 하지만 이제는 그랬던 내 태도가 훌륭한 고전을 멀리하고 실용서적만 찾는 유치함이 아니었는가 하는 반성을 하게 되었다.

컴퓨터과학에 대한 이야기들을 통해 학문 경계를 넘나드는 사고의 즐거움을 직간접적으로 느끼고 있다. 이번 학기에 나는 언어학 전공인 의미론과 컴퓨터언어학을 공부하고 있으며, 이에 더해 이산수학과 프로그래밍연습에 도전하고 있다. 그 속에서 ‘컴퓨터과학이 여는 세계’가 이러한 학문들 간의 연결다리 역할을 해주고 있다고 생각하게 되었다. 튜링기계로부터 시작하는 컴퓨터 원천에 대한 탐구와 C 언어에 대한 공부를 하는 것이 컴퓨터를 다양한 층위로 살피게 해줄 뿐 아니라, 학자들의 증명 속에서 내가 배우는 많은 분야들이 교차되는 것을 알 수 있었기 때문이다. 선생님이 다양한 전공의 학생들에게 여러 모로 도움이 되는 수업을 하고 싶어하신다고 느꼈다. 어려운 개념과 증명 과정들을 최대한 쉽게 풀어 전달해주셨고, 덕분에 내가 익숙한 것들과 더 잘 연결지어 생각해볼 수 있었다. 의미론은 철저히 심리적인 영역이라 할 수 있는 언어의 의미를 다룬다. 하지만 그 표면에 나타난 문장들이 기저에 어떤 의미를 담고 있는가를 여러 개념과 기호로 정리하고 그 관계들과 세계와의 대응을 엄밀히 분석한다. 이 과정에서 함수, 명제논리 등을 사용하여 논리학, 이산수학 등과의 긴밀한 관련이 생기며, 실제로 이산수학에서 배우는 많은 내용을 의미론에 적용해볼 수 있다. 그리고 이러한 경험이 괴델의 증명을 이해하는 것에 은근한 도움을 주었다. 더 나아가 명제를 괴델수로 나타나는 것에 대해 비판적으로 생각해볼 기회를 가질 수 있었다. 물론 나의 생각이 틀렸을 가능성이 크다. 하지만 이러한 경험들 자체가 내가 최근 관심을 크게 갖고 있는 자연언어처리를 다루는 컴퓨터언어학 수업의 흥미를 돋구기에 충분했다.

튜링기계를 능가하는 방식으로 작동하는 기계가 널리 발전된 미래에 대한 열망을 갖게 되었다. 튜링기계는 기본적으로 모방을 잘 하고, 시키는 것을 잘 하는 도구이다. 정말 보편만능의 기계가 되기 위해서는, 처음 접하는 상황에 알아서 적응해 적절한 반응을 할 수 있어야 한다. 이는 언어

학에서 많이 언급되는 노엄 촘스키의 변형생성문법과 관련되는 능력이라고 할 수도 있다. 인간의 언어 능력은 한 번도 들어보지 못한 새로운 문장을 무한히 많이 만들어내고 이해할 수 있다는 것이 변형생성문법의 핵심이다. 최근 중요시되는 기계학습은 어쩌면 이런 컴퓨터를 만들기 위한 시도일 것이다. 아직은 걸음마 단계라고 할 수 있지만, 누군가 곧 혁신적인 해결책을 생각지도 못한 곳에서 제시할지도 모른다. 그런 미래는 아마 생각보다 훨씬 가까이 있을 것이다. 이미 튜링과 많은 학자들에 의해 컴퓨터라는 강력한 지속 발전 능력의 도구가 생긴 지금이기에, 레이 커즈와일의 수확 가속의 법칙에 의해 더욱 빠르게 발전할 가능성이 크기 때문이다.¹

그런 발전의 돌파구는 각종 경계를 넘는 힘에 있다고 생각한다. 현재 편리한 도구와 사고에 머물지 않고 때로는 고전적인 원리까지 과감히 파고들어가는 것. 익숙한 분야에 고립되지 않고 다양한 분야를 경험하고 더 높은 곳에서 서로가 연결되는 것을 느끼는 것. 그런 대담함이 없는 공부를 하는 사람은 시키는 것을 잘 하는 튜링기계의 수준에 머물고 있는 것일 수도 있다. 하지만 그런 노력은 컴퓨터가 더 잘 하기에, 앞으로의 시대에서는 금방 설 자리를 잃고 말 것이다. 튜링기계를 넘어서는 컴퓨터를 위해서는 인간부터 새로운 탐구법에 익숙해져야 한다. 튜링은 이미 한 번 증명된 것을 다시 한 번 다른 방식으로 증명하려 했다. a에서 b로 가는 길에 굳이 z를 거쳐 돌아가보는 힘을 가졌을 때, 우리는 진정한 인공지능을 가진 컴퓨터를 만날 수 있을지도 모른다.² 인공지능은 새로운 사고의 틀을 제시하고 주체적인 문제 해결이 가능한 컴퓨터일 수도 있고, 세상은 또 한번 완전히 바뀔 수 있다. 그 때쯤 되면 ‘기계적이다’라는 말의 뜻도 달라질 것이다.

컴퓨터과학이 열어준 세계는 모든 경계를 넘기를 장려하고, 그럴 만한 충분한 동기와 용기를 갖게 하는 세계였다. 나도 그렇게 해보고 싶고, 할 수 있다는 생각. 영화 ‘이미테이션 게임’에서 앨런 튜링은 다음과 같이 말한다. "아무것도 아니라고 생각했던 사람이, 아무도 생각할 수 없는 일을 해 내거든."

¹ Tim Urban(2015), "The AI Revolution: The Road to Superintelligence", <https://waitbutwhy.com/2015/01/artificial-intelligence-revolution-1.html>, 2017.4.4.

² Rod Judkins(2016), "The Art of Creative Thinking: 89 Ways to See Things Differently", TarcherPerigee.