

앨런 튜링

컴퓨터와 인공지능의 시작을 찾아서



김경진 변호사

새 시대의 생각을 열어간 사람

앨런 튜링은 컴퓨터가 널리 쓰이기 전에 기계가 무엇을 할 수 있는지 물었습니다. 어린 시절의 호기심은 수학 연구로 이어졌고, 전쟁 중에는 동료들과 함께 독일군의 암호를 풀었습니다. 전쟁이 끝난 뒤에는 컴퓨터 설계와 생명의 무늬를 연구했습니다. 그러나 영국은 그가 동성애자라는 이유로 그를 처벌했습니다. 그의 삶에는 새로운 지식을 향한 탐구와 한 사람을 지키지 못한 사회의 모습이 함께 담겨 있습니다.

튜링은 사람이 규칙에 따라 계산하는 과정을 하나씩 나누어 생각했습니다. 그 과정에서 여러 종류의 계산을 수행할 수 있는 보편 기계의 원리를 제시했습니다. 기계가 하는 일을 프로그램으로 바꿀 수 있다는 생각은 오늘날 컴퓨터를 이해하는 바탕이 되었습니다.

그는 기계가 사람과 대화하고 경험을 통해 배울 가능성도 탐구했습니다. 지금의 인공지능은 많은 연구자가 함께 쌓아 온 성과이지만, 튜링의 질문은 그 출발점 가운데 하나입니다. 이 책은 그의 삶을 따라가며 계산과 지능, 생명을 바라보는 생각이 어떻게 자라났는지 살펴봅니다.

튜링은 익숙한 일의 원리를 다시 묻고, 그 답을 수학과 실험으로 확인하려 했습니다. 우리가 그를 읽는 이유도 여기에 있습니다. 이미 주어진 기술을 배우는 데서 나아가 무엇을 새롭게 생각할 수 있는지, 새 시대의 생각을 열어간 한 사람에게서 배웁니다.

김경진 변호사

차례

제1장. 어린 시절의 호기심과 독학 (1912~1926)	9
1.1. 런던의 출생과 위탁 교육	11
1.2. 초기 학교 생활과 남다른 호기심	14
1.3. '거친 원석'의 천재성	17
제2장. 셔본 학교와 60마일의 자전거 여정 (1926~1931)	21
2.1. 대파업과 자전거 등교	23
2.2. 고전 교육과 과학 독학의 마찰	25
2.3. 독자적 지성의 형성	28
제3장. 크리스토퍼 모컴과 영혼의 본질 (1928~1930)	32
3.1. 영혼의 단편과의 만남	34
3.2. 갑작스러운 비극과 슬픔	37
3.3. 『영혼의 본질』 에세이	39
제4장 케임브리지 킹스 칼리지의 자유 (1931~1935)	44
4.1 킹스 칼리지 입성	46
4.2 독립적 수학 성과	50
4.3 학문적 자유와 동성애적 정체성	54

제5장 계산 가능 수와 보편 튜링 기계 (1935-1936)	59
5.1. 힐베르트의 결정 문제	60
5.2. 역사적 논문의 탄생	63
5.3. 정지 문제와 현대 컴퓨터의 원형	67
제6장. 프린스턴 유학과 오라클 기계 (1936-1938)	72
6.1. 처치와의 연구 및 박사학위	74
6.2. 오라클 기계와 서수 논리	76
6.3. 귀국 결정	79
제7장. 블레츨리 파크 입성과 암호 전쟁의 시작 (1938-1940)	83
7.1. 정부암호학교의 부름	85
7.2. 딜리 녹스와 폴란드 암호국이 남긴 선물	88
7.3. 블레츨리 파크의 괴짜 교수님	92
제8장. 암호해독기 봄브의 설계와 활약 (1939~1941)	96
8.1. 전기기계식 암호해독기 설계	98
8.2. 고든 웰치먼의 대각선 판 결합	102
8.3. 크립 공격과 실시간 해독	105
제9장. Hut 8, 해군 에니그마, 그리고 반부리스무스 (1940-1942)	110
9.1. Hut 8과 U보트 암호	112

9.2. 반부리스무스 통계법	115
9.3. 교수님의 책	118
제10장. 비밀 기술 교류와 딜라이라(Delilah) 프로젝트 (1942~1945)	121
10.1. 미국의 암호 해독 기관과 연구소 방문	123
10.2. 음성 암호화 장치 딜라이라	127
10.3. 침묵의 훈장(OBE)	131
제11장 NPL과 초창기 컴퓨터 ACE의 설계 (1945~1948)	134
11.1 국립물리연구소(NPL) 입사	136
11.2 ACE 보고서	138
11.3 관료주의의 벽과 케임브리지 안식년	141
제12장. 맨체스터 대학교와 최초의 프로그램 내장식 컴퓨터 (1948-1951)	146
12.1. 맥스 뉴먼의 초빙과 이동	147
12.2. 맨체스터 베이비와 Mark 1, 그리고 프로그래머 지침서	149
12.3. 페란티 상용 컴퓨터 컨설팅	153
제13장. 튜링 테스트: 기계는 생각할 수 있는가? (1950)	156
13.1. 철학적 전환과 『Mind』 논문	158
13.2. 모방 게임(Imitation Game)과 튜링 테스트	160
13.3. 인공지능(AI) 반론에 대한 해명	164

제14장. 형태발생학: 생명의 패턴을 수학으로 풀다 (1951-1952) 170

14.1. 왕립학회 피선	172
14.2. 반응-확산 방정식의 발견	174
14.3. 계산 생물학의 개척	177

제15장. 재판과 국가의 차별 (1952~1954) 182

15.1. 도난 사건과 '중대 외설죄' 기소	184
15.2. 잔혹한 선택: 화학적 강제 투여	187
15.3. 박탈된 비밀 등급과 고립	190

제16장. 튜링의 죽음과 뒤늦은 명예 회복 (1954년 이후) 194

16.1. 1954년 6월 8일의 비극	196
16.2. 뒤늦은 사과와 왕실 사면	199
16.3. '앨런 튜링 법'과 50파운드 신권	201

제17장. 인공지능의 역사와 발전 (1950년대~2020년대) 205

17.1. 다트머스 회의와 기호주의 AI의 태동 (1956~1970s)	207
17.2. AI 겨울과 연결주의의 반격 (1980s~2000s)	210
17.3. 딥러닝 혁명과 생성형 AI 시대의 개막 (2010s~2020s)	214

제18장. 2026년의 인공지능과 남은 과제 220

18.1. 2026년 10월, AI의 도약과 현주소	222
--	-----

18.2. 사회·산업 및 인간성의 재정의	227
18.3. 튜링의 철학적 질문 재방문과 미래 윤리	230

제1장. 어린 시절의 호기심과 독학 (1912~1926)



그림 1. 식물을 관찰하는 어린 튜링을 그린 삽화입니다.

앨런 튜링은 한 살 무렵부터 부모와 떨어져 자랐습니다. 아버지의 근무지가 인도였기 때문에 앨런은 영국의 다른 가정에 맡겨졌고, 부모와는 주로 편지로 소식을 주고받았습니다. 학교에 들어간 뒤에는 엉뚱한 아이로 보이기 일쑤였습니다. 화려한 어린 시절은 아니었습니다.

이 아이는 훗날 수학자가 되어 암호를 해독했고, 컴퓨터 과학의 바탕을 세운 사람으로 꼽히게 됩니다. 오늘날 우리는 컴퓨터와 스마트폰, 인공지능과 함께 살아가는데, 이 기계들이 어떤 원리로 움직이는지를 처음으로 깊이 탐구한 사람 가운데 한 명이 앨런 튜링입니다. 이 장에서는 앨런이 태어난 1912년부터 중등학교

에 들어가는 1926년까지를 다룹니다. 부모와 멀리 떨어져 지낸 외로움 속에서 앨런의 호기심이 어떻게 자랐는지를, 남아 있는 기록을 따라 살펴봅니다.

1.1. 런던의 출생과 위탁 교육

앨런 마티슨 튜링은 1912년 6월 23일 영국 런던의 마이다 베일에서 태어났습니다. 태어난 곳은 워링턴 로지라는 건물이었고, 이 건물은 나중에 콜로네이드 호텔이 되었습니다. 지금 그 건물 바깥벽에는 파란색 둥근 표지판이 붙어 있습니다. 영국에서는 유명한 사람이 태어나거나 살았던 집에 이런 표지판을 붙이며, 이를 블루 플라크라고 부릅니다.

앨런이 런던에서 태어나기는 했지만 가족의 생활 기반은 인도에 있었습니다. 아버지 줄리어스 마티슨 튜링(1873~1947)은 인도에서 일하는 영국 공무원이었습니다. 그 무렵 인도는 영국이 다스리던 땅이었고, 영국은 인도를 다스리려고 자기 나라 사람을 뽑아 공무원으로 보냈습니다. 이 일을 맡은 조직이 인도 고등 문관, 영어 약자로 ICS입니다. 줄리어스는 인도 남동부의 마드라스 주에서 일했습니다. 앨런의 부모가 머물던 바닷가 도시 차트라푸르는 오늘날 인도 오디샤 주에 속합니다.

어머니 에델 사라 튜링(1881~1976)의 집안도 인도와 관계가 깊었습니다. 사라의 결혼 전 성은 스톤이었고, 아버지 에드워드 월러 스톤은 마드라스 철도의 수석 기술자였습니다. 스톤 집안은 아일랜드에 뿌리를 두고 있었습니다. 줄리어스와 사라는 1907년 10월 1일 아일랜드 더블린의 한 교회에서 결혼했고, 이듬해인 1908년에 첫아들 존 페리어 튜링을 얻었습니다. 앨런은 존보다 네 살 어린 둘째 아들입니다.

줄리어스와 사라는 아이들을 인도가 아닌 영국에서 키우기로 했습니다. 인도는 날씨가 덥고 병이 자주 돌아서 어린아이가 자라기에 힘든 곳이라고 여겼기 때문입니다. 아이들이 영국의 전통 있는 학교에서 공부하기를 바라는 마음도 컸습니다. 사라는 앨런을 낳으러 영국으로 돌아온 것도 그래서였습니다. 그러나 아버지

의 일터는 여전히 인도에 있었습니다. 앨런이 한 살쯤 되었을 때 부모는 다시 인도로 떠났고, 두 형제는 영국에 남았습니다.

형제가 맡겨진 곳은 잉글랜드 남쪽 바닷가 마을 세인트레오나즈온시였습니다. 이 마을 언덕길에 바스톤 로지라는 큰 집이 있었고, 그 집에 육군에서 은퇴한 워드 대령과 그의 부인이 살았습니다. 집에는 워드 부부의 아이들과 아이들을 돌보는 보모도 함께 지냈습니다. 이처럼 부모 대신 다른 가정이 아이를 맡아 기르는 것을 위탁 양육이라고 합니다. 앨런은 1913년 무렵부터 1921년까지, 곧 한 살부터 아홉 살 때까지 이 집에서 자랐습니다. 앨런의 탄생 100주년인 2012년 6월 23일에는 바스톤 로지에도 블루 플라크가 붙었습니다.

부모는 몇 해에 한 번씩 휴가를 얻어 영국에 왔고, 아들들은 그때만 부모 얼굴을 볼 수 있었습니다. 나머지 시간에 부모와 아이를 이어 준 것은 편지였습니다. 앨런은 부모의 품보다 남의 집 규칙에 먼저 익숙해져야 했습니다. 같은 집에 아이들이 여럿 있었지만, 앨런은 또래와 어울려 뛰노는 것보다 혼자 무언가를 들여다보는 시간을 더 좋아했습니다. 숫자와 기호, 지도와 계산이 앨런의 놀잇거리였습니다.

바스톤 로지 시절의 앨런에 관해서는 몇 가지 일화가 전해집니다. 먼저 앨런은 글자를 아주 빨리 깨쳤습니다. 어머니 사라가 남긴 기록에 따르면, 앨런은 『눈물 없는 읽기(Reading Without Tears)』라는 책으로 약 3주 만에 혼자 글 읽는 법을 익혔습니다. 누가 하나하나 가르쳐 주지 않아도 스스로 규칙을 찾아내는 아이였습니다.

이야기 하나를 끝까지 알고 싶어 하는 고집도 있었습니다. 어머니가 영국에 와 있던 1918년 무렵, 사라의 바스톤 로지에서 앨런에게 존 버니언의 『천로역정』을 소리 내어 읽어 주었습니다. 책 중간에 길고 딱딱한 종교 설명이 나오자 사라의 그 대목을 슬쩍 건너뛰었습니다. 그러자 앨런은 그렇게 빼먹으면 이야기 전체

가 망가진다고 크게 화를 냈고, 자기 방으로 뛰어 올라가 버렸습니다. 앨런에게 이야기는 처음부터 끝까지 이어진 하나의 짜임이었고, 한 조각이라도 빠지면 전체가 어긋난다고 본 것입니다.

앨런은 낱말을 직접 만들기도 했습니다. 바닷가 마을에서는 갈매기들이 먹이를 두고 시끄럽게 다투었는데, 앨런은 그 소리를 가리켜 '퀘클링(quockling)'이라는 말을 지어 붙였습니다. 이름이 없는 것을 만나면 스스로 이름을 붙인 것입니다.

1921년 영국에 돌아온 어머니는 아들이 달라졌다고 느꼈습니다. 예전에는 활발하고 재잘거리던 아이가 말수가 줄었고, 혼자 생각에 잠겨 지내는 아이가 되어 있었습니다. 오랜 시간 부모와 떨어져 지낸 일이 어린 마음에 흔적을 남겼을 것입니다. 그해 앨런은 워드 부부의 집을 떠났습니다. 어린 시절의 편지에는 궁금한 것을 스스로 알아보려는 모습이 나타납니다.

1.2. 초기 학교 생활과 남다른 호기심

앨런이 처음 다닌 학교는 세인트레오나즈온시 찰스 로드 20번지에 있던 세인트 마이클 학교였습니다. 앨런은 1918년부터 1921년까지, 여섯 살부터 아홉 살까지 이 학교를 다녔습니다. 수업 시간의 앨런은 산만해 보일 때가 많았습니다. 선생님이 시키는 방식을 그대로 따르기보다 자기 방식으로 문제를 풀었기 때문입니다. 그런데 이 학교의 교장 선생님은 앨런에게서 남다른 점을 알아보았습니다. 어머니 사라가 전한 바에 따르면, 교장 선생님은 지금까지 똑똑한 아이도 보았고 부지런한 아이도 보았지만 앨런은 천재라고 말했다고 합니다. 아홉 살도 안 된 아이에게 천재라는 말을 쓴 것입니다.

1922년 1월, 아홉 살이 된 앨런은 서섹스주 프랜트 마을에 있는 헤이즐허스트 학교에 들어갔습니다. 헤이즐허스트는 기숙 예비학교였습니다. 예비학교는 영국에서 큰 사립 중등학교에 들어가기 전에 다니는 학교이고, 학생들은 집을 떠나 학교 기숙사에서 먹고 자며 공부했습니다. 형 존도 이 학교를 다녔는데, 앨런이 입학했을 때 존은 가장 높은 학년이었고 앨런은 가장 낮은 학년이었습니다. 앨런은 이 학교에서 1926년 봄까지 지냈습니다.

헤이즐허스트에서 앨런의 성적은 눈에 띄지 않았습니다. 언어나 문학처럼 학교가 중요하게 여기는 과목에서는 보통이거나 조금 나은 정도였습니다. 그러나 교과서 밖에서 스스로 정한 주제에 빠져들면 사정이 달랐습니다. 그럴 때 앨런은 시간 가는 줄 모르고 한 가지 일에 매달렸습니다.

그런 주제 가운데 하나를 열어 준 것이 책 한 권이었습니다. 1922년, 열 살의 앨런은 미국 작가 에드윈 테니 브루스터가 쓴 『모든 어린이가 알아야 할 자연의 신비(Natural Wonders Every Child Should Know)』를 만났습니다. 이 책은 생물이 어떻게 태어나고 자라는지, 우리 몸이 어떻게 움직이는지를 과학의 눈으로 설명했습니다. 생명도 신비한 힘이 아니라 자연의 법칙에 따라 움직이는 일

종의 기계로 볼 수 있다는 생각이 담겨 있었습니다. 앨런은 이 책에 푹 빠졌습니다. 훗날 어머니 사라는 이 책이 앨런의 눈을 과학으로 처음 열어 주었다고 돌아 보았습니다.

앨런이 교과서 밖에서 무엇에 매달렸는지는 인도에 있는 부모에게 보낸 편지에서 확인할 수 있습니다. 이 편지들은 지금도 남아 있으며, 영국 케임브리지 대학교 킹스 칼리지의 기록 보관소에 보관되어 있습니다. 편지를 낱자순으로 읽어 보면 어린 발명가의 머릿속을 엿볼 수 있습니다.

가장 먼저 눈에 띄는 것은 글씨를 쓰는 도구입니다. 1923년 4월, 열 살의 앨런은 자기가 만든 만년필 이야기를 편지에 적었고, 잉크가 펜촉으로 어떻게 흘러 내려가는지 그림까지 그려 넣었습니다. 1923년과 1924년 사이에는 스스로 만든 잉크로 편지를 쓰면서 이것을 '특허 잉크'라고 불렀습니다. 타자기 안의 부품들이 어떻게 맞물려 움직이는지 궁리한 그림을 보내기도 했습니다.

1924년 여름과 가을에는 산과 지도에 마음을 빼앗겼습니다. 지도에는 높이가 같은 지점을 이어 그린 선이 있는데, 이를 등고선이라고 합니다. 앨런은 등고선으로 산의 높이를 어떻게 잴 수 있는지 계산해 보았고, 직접 그린 등고선 지도 두 장을 편지에 넣어 보냈습니다. 물 위에서도 달릴 수 있는 자전거라는 엉뚱한 생각을 적어 보낸 것도 이 무렵입니다.

1924년 9월부터 1925년 3월 사이에는 화학에 깊이 빠졌습니다. 앨런은 사람의 피 속에서 이산화탄소가 어떻게 변하는지를 편지에 적었고, 혼자 화학을 공부하고 싶다며 부모에게 실험 도구를 사 달라고 졸랐습니다. 앨런이 원한 것은 흙으로 구운 증류 그릇이었습니다. 증류는 액체를 끓여 생긴 김을 다시 식혀서 원하는 물질만 따로 모으는 방법입니다. 화학 반응의 규칙과 그 규칙에 맞지 않는 예외에 대해서도 여러 번 편지를 썼습니다. 바닷가에서 주운 해초를 태워 요오드라는 물질을 뽑아내는 실험을 했다는 이야기도 전합니다.

1925년 10월에는 한자리에 세워 둔 자전거의 페달을 돌려 축전지를 충전하는 장치를 생각해 냈습니다. 축전지는 충전해서 다시 쓸 수 있는 전지입니다. 사람의 다리 힘을 전기로 바꾸겠다는 생각이었습니다.

편지에는 발명과 실험 이야기만 있는 것이 아닙니다. 앨런은 체스에도 빠져들었습니다. 체스는 정해진 규칙 안에서 가장 좋은 수를 찾아 나가는 놀이입니다. 말 하나하나가 움직일 수 있는 길이 정해져 있고, 한 수를 두면 그 뒤에 일어날 일이 줄줄이 달라집니다. 앨런은 학교 체스 대회에 나갔고, 1924년 11월에는 그 대회에 나간 이야기를 엽서에 적어 부모에게 보냈습니다. 학교 토론 모임에도 참여했습니다. 훗날 튜링은 컴퓨터로 체스를 두는 방법도 궁리했습니다.

만년필, 잉크, 타자기, 지도, 화학, 축전지, 체스를 차례로 놓고 보면 열 살 남짓한 아이의 관심은 이리저리 흩어진 것처럼 보입니다. 그러나 이 관심들에는 공통점이 있습니다. 잉크가 흘러 내려가는 길, 타자기 부품이 맞물리는 방식, 화학 반응의 규칙과 예외를 편지에 적은 데서 드러나듯이, 앨런은 늘 사물이 어떤 원리로 움직이는지를 알고 싶어 했습니다. 겉모습보다 속에 숨은 규칙을 찾는 것이 앨런의 호기심이 향하는 곳이었습니

1.3. '거친 원석'의 천재성

원석은 땅에서 막 캐낸 보석 돌입니다. 겉은 울퉁불퉁하고 흙이 묻어 있어서 얼핏 보면 평범한 돌과 다르지 않지만, 갈고 다듬으면 그 안에서 빛이 납니다. 어린 앨런 튜링이 이런 원석이었습니다. 남들 눈에는 엉뚱하고 서툰 아이였으나, 그 안에는 세상을 자기만의 방식으로 이해하려는 힘이 숨어 있었습니다.

앨런이 서툴러 보인 데에는 그 시절 학교의 기준도 한몫을 했습니다. 당시 영국의 사립학교들은 라틴어와 그리스어, 옛 문학을 공부하고 단체 생활의 규칙을 잘 지키는 학생을 길러 내려 했습니다. 과학과 수학은 그보다 낮은 대접을 받았습니다. 하키나 럭비 같은 단체 운동도 중요하게 여겼습니다. 앨런이 좋아하는 것과 학교가 중요하게 여기는 것은 처음부터 어긋나 있었습니다.

실제로 앨런은 학교가 바라는 모범생과 거리가 멀었습니다. 글씨는 삐뚤빼뚤해서 알아보기 어려웠고, 물건을 가지런히 정리하는 일에도 서툴렀습니다. 여럿이 함께하는 운동 경기는 더욱 어려워해서, 이런 경기에 좀처럼 마음을 붙이지 못했습니다.

이런 모습을 잘 보여 주는 그림이 한 장 남아 있습니다. 1923년 어머니 사라가 그린 연필 그림입니다. 그림 속 운동장에서는 아이들이 하키 공을 쫓아 뛰어다닙니다. 앨런만은 경기에서 조금 떨어진 곳에 몸을 숙이고 땅에 핀 데이지꽃을 들여다보고 있습니다. 사라는 이 그림에 '하키, 또는 데이지가 자라는 것 지켜보기'라는 제목을 붙였습니다. 어머니 눈에도 아들은 공보다 꽃이 어떻게 자라는지를 더 궁금해하는 아이였습니다. 약 30년 뒤, 어른이 된 튜링은 식물이 자라면서 잎과 꽃이 어떤 모양과 순서로 자리를 잡는지를 수학으로 연구했는데, 그 연구에서 다른 식물 가운데 하나가 데이지였습니다.

수업에서 부딪친 까닭은 공부하는 방식에 있었습니다. 앨런은 남이 정해 놓은 답을 외우는 일을 싫어했습니다. 대신 가장 기초가 되는 원리에서 출발해 한 단계씩 스스로 답을 찾아 나가려 했습니다. 이런 태도를 '첫 원리에서 생각하기'라고 부르기도 합니다. 이 방식은 시간이 오래 걸리고, 선생님이 원하는 풀이 형식과 다를 때가 많았습니다. 그래서 학교에서는 자주 부딪쳤습니다. 하지만 스스로 찾아낸 원리는 앨런의 머릿속에 단단히 자리를 잡았습니다.

이 방식이 교실 밖에서 어떻게 쓰였는지를 보여 주는 이야기가 있습니다. 어린 앨런이 가족과 함께 야외에 나갔을 때의 일입니다. 앨런은 꿀벌들이 날아가는 모습을 한참 지켜보았습니다. 꿀벌은 꽃에서 꿀을 모은 뒤 벌집을 향해 거의 곧게 날아갑니다. 앨런은 여러 곳에서 벌들이 날아가는 방향을 살핀 뒤, 그 방향을 선으로 이어 보았습니다. 선들이 서로 만나는 곳에 벌집이 있을 것이라고 생각한 것입니다. 앨런은 그 지점에서 야생 꿀을 찾아냈고, 가족에게 꿀을 가져다주었습니다. 어른들은 그저 날아다니는 벌을 보았지만 앨런은 벌의 움직임 속에서 규칙을 보았고, 그 규칙을 도형과 계산으로 바꾸어 답을 얻었습니다.

앨런이 남과 다르게 보인 이유는 여기에 있습니다. 대부분의 아이들은 어른이 알려 주는 방법을 배우고 따릅니다. 앨런은 어른의 설명보다 자기 눈으로 본 것과 자기 머리로 따져 본 것을 더 믿었습니다. 낱말이 없으면 낱말을 만들었고, 실험 도구가 없으면 사 달라고 편지를 썼고, 궁금한 것이 생기면 책을 찾아 혼자 읽었습니다. 갈매기 소리에 이름을 붙이고, 펜 속의 잉크 길을 그리고, 벌의 비행 경로를 선으로 이은 일은 모두 같은 마음에서 나왔습니다. 세상이 어떻게 움직이는지 그 바탕을 알고 싶다는 마음이었습니다.

물론 이런 아이를 키우고 가르치는 어른들은 걱정이 많았습니다. 어머니 사라는 아들이 학교생활에 잘 적응할 수 있을지 걱정이 컸습니다. 학교가 길러 내려는 학생의 모습과 앨런의 관심이 어긋나 있었으니, 그 걱정에는 까닭이 있었습니다.

어린 시절의 편지에는 사물의 원리를 궁금해하고 직접 실험하려는 모습이 남아 있습니다. 훗날 튜링은 어떤 계산을 기계로 할 수 있는지, 기계가 생각할 수 있는지를 연구했습니다. 이 질문들을 어린 시절의 외로움이나 어느 한 경험만으로 설명하기는 어렵습니다.

열세 살이던 앨런은 공통 입학시험을 거쳐 1926년 영국 남서부 도싯주에 있는 셔본 학교에 들어가게 되었습니다. 셔본은 수백 년 역사를 지닌 기숙학교였습니다. 앨런은 헤이즐허스트를 떠나 새로운 학교로 향했습니다.

제2장. 셔본 학교와 60마일의 자전거 여정 (1926-1931)



그림 2. 자전거로 셔본 학교에 가는 여정을 재구성했습니다.

1926년 봄, 열세 살의 앨런 튜링은 새 학교에 들어갈 준비를 하고 있었습니다. 영국 남서쪽 도싯주의 작은 도시 셔본에 있는 셔본 학교였습니다. 셔본 학교는 수백 년 역사를 지닌 기숙학교였고, 학생들은 학교 안 기숙사에서 먹고 자며 공부했습니다. 앨런이 지낼 기숙사는 웨스트콧 하우스였습니다.

영국에서는 이런 학교를 '퍼블릭 스쿨'이라고 부릅니다. 이름만 들으면 누구나 다니는 공립학교 같지만, 실제로는 학비가 비싼 사립 기숙학교입니다. 그 무렵 퍼블릭 스쿨은 나라와 제국을 이끌 인재를 길러 내는 곳으로 여겨졌습니다. 학생들은 라틴어와 그리스어를 배우고, 옛 시와 역사를 익히고, 럭비나 크리켓 같은

단체 경기를 하면서 규칙과 예절을 몸에 익혔습니다. 수학과 과학은 이런 공부보다 한 단계 낮은 과목으로 보는 분위기가 강했습니다.

앨런은 1926년 5월부터 1931년 7월까지 이 학교에서 지냈습니다. 그는 선생님이 알려 주는 풀이를 그대로 따라 하기보다 무엇이든 처음부터 스스로 따져 보는 학생이었고, 그래서 선생님들과 자주 부딪혔습니다. 그러나 바로 이 시기에 앨런은 혼자 힘으로 아인슈타인의 상대성 이론을 공부했고, 훗날 수학자로 자라는 데 바탕이 될 생각의 뿌리를 내렸습니다. 셔본에서 보낸 5년은 자전거 한 대에서 시작되었습니다.

2.1. 대파업과 자전거 등교

그 무렵 앨런의 부모는 프랑스에 살고 있었습니다. 셔본 학교의 새 학기는 1926년 5월 4일에 시작할 예정이었습니다. 앨런은 혼자 프랑스 생말로 항구에서 배를 타고 영국해협을 건너 영국 남쪽의 항구 도시 사우샘프턴에 닿았습니다. 원래 계획대로였다면 여기서 기차를 타고 셔본으로 가면 되었습니다.

그런데 그날 영국 전체가 멈춰 서 있었습니다. 1926년 5월 4일에 영국 전국 대파업이 시작되었기 때문입니다. 파업의 출발점은 탄광이었습니다. 탄광 주인들이 광부의 임금을 깎고 일하는 시간을 늘리려 하자 광부들이 맞섰고, 다른 분야 노동자들도 광부 편에 서서 함께 일을 멈추었습니다. 철도 노동자, 버스 운전사, 항구 노동자, 인쇄공까지 수많은 사람이 일터에 나가지 않았습니다. 기차가 서고 신문도 제대로 나오지 못했습니다. 이 파업은 5월 12일까지 9일 동안 이어졌습니다.

기차가 다니지 않으니 셔본까지 갈 방법이 마땅치 않았습니다. 사우샘프턴에서 셔본까지는 약 60마일입니다. 기록에 따라 60마일, 63마일, 65마일로 조금씩 다르게 적혀 있습니다. 1마일은 약 1.6km이므로 100km에 가까운 거리이고, 서울에서 천안까지 가는 길과 비슷합니다. 어른에게도 하루에 자전거로 달리기에는 벅찬 거리입니다.

많은 학생이 파업이 끝날 때까지 집에서 기다렸습니다. 앨런은 다른 길을 골랐습니다. 자전거를 타고 학교까지 가기로 한 것입니다. 어머니 사라 튜링은 훗날 아들의 전기를 쓰면서 이 일을 자세히 적었습니다. 그 기록에 따르면 앨런은 낮 무렵 사우샘프턴에 내리자 먼저 기숙사 사감인 지오프리 오핸런 선생님에게 다음 날 도착하겠다는 전보를 보냈습니다. 그러고는 큰 짐가방을 따로 부치고 지도 한 장을 챙겨 자전거에 올랐습니다. 앨런에게는 처음 가 보는 길이었습니다.

앨런은 이 길을 이틀에 나누어 달렸습니다. 자전거로 가 보겠다고 했을 때 어머니가 60마일을 하루 만에 다 가지는 말라고 당부했기 때문입니다. 어머니는 아들이 다음 날 아침 일찍 수업에 들어가야 할지도 모른다고 걱정했습니다. 앨런은 그 말을 따라 도중에 블랜드퍼드의 크라운 호텔에서 하룻밤을 묵었습니다. 저녁과 잠자리, 아침 식사를 합친 값은 6실링밖에 들지 않았고, 다음 날 아침에는 호텔 직원들이 모두 나와 그를 배웅했습니다. 혼자 자전거를 타고 낯선 길을 달려 온 열세 살 소년이 호텔 사람들 눈에는 신기해 보였던 모양입니다. 앨런은 이 일을 부모에게 보낸 편지에 적었습니다.

앨런은 1926년 5월 5일에 셔본 학교에 도착했습니다. 자전거를 타고 학교에 온 이야기는 지역 신문에도 실렸습니다.

이 여행은 앨런이 어떤 사람인지 잘 보여 줍니다. 그는 길이 막혔다고 멈추어 서지 않았습니다. 지도를 펴고 거리를 가늠하고, 하룻밤 쉬어 갈 곳을 정하고, 자기 다리로 페달을 밟았습니다. 정해진 방법이 없으면 스스로 방법을 찾아내는 이 태도는 앨런이 평생 지닌 모습이었습니다. 튼튼한 다리 역시 평생 그의 자산이었습니다. 앨런은 어른이 된 뒤 장거리 달리기에 빠졌고, 올림픽 대표 선발을 넘볼 만 큼 마라톤 실력을 쌓았습니다.

이 자전거 여행은 학교 안에서도, 학교 밖에서도 오래 기억되었습니다. 어머니의 기록에 따르면, 한두 해 뒤 앨런의 성적이 바닥으로 떨어졌을 때 사감 선생님은 칭찬할 점을 찾다가 그래도 이 아이는 자전거를 타고 여기까지 왔다고 말했습니다. 그리고 꼭 100년이 지난 2026년 5월에는 셔본 지역 학교의 학생과 교사들이 앨런의 여행을 다시 따라 달렸습니다. 그들은 사우샘프턴에서 셔본까지 100km를 자전거로 달려 5월 5일 오후 6시에 셔본에 도착했고, 시내 거리에서 작은 행진을 하며 이 날을 기념했습니다.

2.2. 고전 교육과 과학 독학의 마찰

셔본에서 받은 첫 학기 성적표는 나쁘지 않았습니다. 사감 오한런 선생님은 앨런을 두고 독창적이고 무척 흥미로운 아이라고 적었고, 교장 노웰 스미스는 아주 만족스러운 출발이라는 말을 덧붙였습니다. 같은 시기 다른 기록에는 앨런이 혼자 지내기를 좋아한다는 평가도 있습니다. 선생님은 그 까닭을 성격이 어두워서가 아니라 수줍음이 많아서라고 보았습니다.

시간이 지나자 문제가 하나둘 드러났습니다. 셔본의 수업은 라틴어와 그리스어가 중심이었습니다. 라틴어는 고대 로마 사람들이 쓰던 말이고, 그리스어는 고대 그리스 사람들이 쓰던 말입니다. 학생들은 두 언어의 문법을 외우고, 옛 시와 연설문을 번역하고, 직접 라틴어 문장을 지었습니다. 앨런은 남이 정해 놓은 문법 규칙을 외우는 일에 흥미를 느끼지 못했고, 라틴어와 영어 과목에서 반에서 꼴찌에 가까운 성적을 자주 받았습니다. 글씨는 알아보기 힘들었고, 공책은 잉크 얼룩투성이였습니다. 선생님들은 앨런의 지저분한 공책과 어수선했던 생활 습관을 거듭 지적했습니다.

마찰은 앨런이 좋아하는 과목에서도 생겼습니다. 앨런은 수학을 좋아했지만 교과서에 나온 방법대로 풀지 않았습니다. 문제를 받으면 그 문제가 무엇을 묻는지부터 따져 보고, 자기가 생각해 낸 길로 답을 찾았습니다. 답이 맞아도 선생님들은 정해진 풀이가 아니라는 이유로 좋은 점수를 주기를 망설였습니다. 화학 실험실에서도 앨런은 선생님이 시킨 실험보다 자기가 궁리한 실험에 빠져 주의를 받곤 했습니다.

학교는 이런 앨런을 걱정스럽게 바라보았고, 교장은 앨런의 부모에게 편지를 보냈습니다. 앨런 튜링의 전기를 쓴 앤드루 호지스가 소개한 이 편지에는 이런 내용이 담겨 있습니다. "저는 그가 두 의자 사이로 떨어지지 않기를 바랍니다. 퍼블릭 스쿨에 남으려면 그는 교양 있는 사람이 되는 것을 목표로 삼아야 합니다. 오

로지 과학 전문가가 되려 한다면 그는 퍼블릭 스쿨에서 시간을 낭비하고 있습니다."

두 의자 사이로 떨어진다는 말은 영국 속담으로, 두 가지를 다 잡으려다 둘 다 놓친다는 뜻입니다. 교장이 말한 교양 있는 사람이란 라틴어 시를 읽고 고전을 인용할 줄 아는 신사였습니다. 그런 눈으로 보면 수학과 과학만 파고드는 앨런은 반쪽짜리 학생이었습니다. 앨런은 학교가 원하는 모습에 자신을 맞추지 않았습니다. 그렇다고 학교와 크게 다투지도 않았습니다. 그는 수업이 끝나면 조용히 자기가 좋아하는 공부로 돌아갔습니다.

그 공부는 학교 수업보다 훨씬 앞서 있었습니다. 1927년만 해도 앨런은 학교에서 미적분의 기초조차 배우기 전이었습니다. 미적분은 어떤 양이 변하는 빠르기와 곡선이 둘러싼 넓이 같은 값을 계산하는 수학 분야입니다. 그런데도 그는 어려운 수학 문제를 혼자 풀어냈습니다. 어떤 값을 끝없이 이어지는 덧셈으로 나타내는 공식을 스스로 찾아낸 일도 있었습니다. 대학에서 미적분을 배운 사람이나 다름 만한 내용이었습니다.

열다섯 살 무렵에는 알베르트 아인슈타인의 상대성 이론을 혼자 공부하기 시작했습니다. 상대성 이론은 아인슈타인이 1905년과 1915년에 발표한 이론으로, 시간과 공간이 보는 사람의 움직임에 따라 달라질 수 있다는 내용을 담고 있습니다. 당시 대학교수들도 어렵다며 고개를 젖던 이론이었습니다. 앨런은 아인슈타인의 글을 읽고 그 내용을 이해했을 뿐 아니라, 책에 분명하게 적혀 있지 않은 점까지 읽어 냈습니다. 아인슈타인이 200년 넘게 물리학의 기초였던 뉴턴의 운동 법칙을 의심하고 있다는 사실을 스스로 알아챈 것입니다.

앨런은 자신이 이해한 내용을 어머니와 나누고 싶어 했습니다. 열다섯 살 반이 되었을 때, 그는 빨간 표지의 작은 노트에 상대성 이론을 장별로 정리했습니다. 제목은 『알베르트 아인슈타인의 상대성 이론 요약』 이었고, 분량은 31쪽이었

습니다. 앨런은 이 노트를 어머니에게 선물했습니다. 노트에는 상대성 이론의 내용뿐 아니라 이 이론을 어떤 순서로, 어떤 마음가짐으로 읽어야 하는지에 대한 앨런의 생각도 들어 있었습니다. 이 노트는 지금 케임브리지 대학교 킹스 칼리지 기록보관소에 남아 있습니다.

앨런의 관심은 상대성 이론에서 멈추지 않았습니다. 그는 영국 천문학자 아서 에딩턴이 1928년에 펴낸 『물리 세계의 본질』을 읽었습니다. 에딩턴은 1919년 일식 관측으로 아인슈타인의 이론이 맞다는 증거를 찾아낸 과학자입니다. 앨런은 이 책을 통해 양자역학을 만났습니다. 양자역학은 원자처럼 아주 작은 세계에서 물질이 어떻게 움직이는지 설명하는 새로운 물리학입니다. 1929년 무렵 앨런은 부모에게 보낸 편지에서 오스트리아 물리학자 에르빈 슈뢰딩거의 양자 이론과 파동 방정식에 관한 글을 찾아 읽고 싶다고 썼습니다. 열일곱 살 학생이 그 시대 물리학의 가장 앞선 연구를 직접 읽으려 한 것입니다.

상대성 이론과 양자역학을 공부하면서 앨런은 큰 물음을 품게 되었습니다. 세상은 정해진 법칙대로만 움직이는지, 물질과 마음은 어떤 관계에 있는지, 우리 몸과 생각을 움직이는 수학적 원리는 무엇인지와 같은 물음이었습니다. 이러한 물음은 훗날 앨런이 생각하는 기계를 상상하는 길로 이어졌습니다.

2.3. 독자적 지성의 형성

선생님들과 자주 부딪혔다고 해서 앨런의 학교생활이 외롭거나 뼈딱하기만 했던 것은 아닙니다. 앨런은 자기 방식으로 학교의 여러 활동에 참여했고, 학교 공동체 안에서 조금씩 자기 자리를 찾아 갔습니다.

입학 초기의 기록부터 그런 모습이 보입니다. 앨런은 셔본에 들어간 뒤 첫 세 학기 동안 학교 예배당 합창단에서 노래했습니다. 맑은 소리는 변성기 전 소년이 내는 높은 음역인 트레블이었습니다. 그는 학교 음악회에도 참여했는데, 1926년 12월 20일에 열린 음악회 프로그램에는 트레블 단원으로 무대에 선 앨런의 이름이 남아 있습니다. 1927년 11월 7일에는 학교 예배당에서 견진성사를 받았습니다. 견진성사는 기독교 신자가 자신의 신앙을 스스로 확인하는 의식입니다. 수학과 과학에만 빠져 있던 것처럼 보이는 앨런도 예배당에서 노래하고 학교 의식에 참여하면서 학교의 한 구성원으로 지냈습니다.

운동에서는 취향이 분명했습니다. 앨런은 럭비나 크리켓 같은 단체 경기를 즐기지 않았고, 골프와 장거리 달리기처럼 혼자 하는 운동을 좋아했습니다. 그래도 기숙사 대표로 기숙사 대항 럭비 경기에 두 번 나가 맑은 땀을 해냈습니다.

1928년 무렵부터 앨런은 한 학년 위 선배인 크리스토퍼 모컴과 가까워졌습니다. 두 사람은 과학과 수학 이야기를 나누며 서로에게 큰 영향을 주었습니다. 모컴은 앨런이 처음으로 마음을 깊이 연 친구였습니다. 그러나 모컴은 1930년 2월에 갑자기 세상을 떠났습니다.

상급생이 된 앨런은 학교 도서관을 자주 찾았습니다. 1928년 10월부터 1931년 5월까지 그는 도서관에서 책 33권을 빌렸는데, 그 가운데 소설은 3권뿐이었습니다. 1930년 11월 4일에는 『이상한 나라의 앨리스』를 쓴 루이스 캐럴의 책 세

권을 한꺼번에 빌렸습니다. 루이스 캐럴은 동화 작가이면서 논리학과 수학을 함께 연구한 수학자였습니다.

이 무렵 앨런은 혼자 공부하는 데 그치지 않고 학교 안에서 맡는 역할도 넓혀 갔습니다. 그는 다른 학생들의 수학 숙제를 자주 도와주었고, 사감 선생님은 이런 모습을 좋게 보았습니다. 1930년 가을 학기에는 학교 선도부원이 되었습니다. 선도부원은 학교의 질서를 돌보고 후배들을 이끄는 상급생입니다. 같은 학기에 그는 '더퍼스'라는 학생 토론 모임에 들어가 「다른 세계들」이라는 제목의 글을 발표했습니다. 과학 모임인 '연금술사회'에서도 활동했습니다.

수업 시간에 표준 풀이를 따르지 않던 학생은 학교의 수학상과 과학상을 거의 모두 받으며 졸업했습니다. 셔본 학교 기록에 남은 앨런의 수상 내역은 다음과 같습니다.

1926년 하급반 커비 수학상 1927년 라이언 시험상 1928년 중급반 플럼프트리 수학상 1930년, 1931년 디비 수학과학상 1930년, 1931년 크리스토퍼 모컴 자연과학상 1931년 킹스 메달 수학상 1931년 웨스트콧 하우스 굿맨 졸업 장학금

이 가운데 크리스토퍼 모컴 자연과학상은 세상을 떠난 모컴을 기리기 위해 그의 가족이 만든 상입니다. 앨런은 이 상을 두 해 연이어 받았습니다.

앨런은 1931년 7월에 셔본 학교를 졸업했습니다. 몇 해 전 그를 걱정하던 학교의 평가는 크게 달라져 있었습니다. 교장 찰스 보이(Charles Boughey)는 마지막 성적표에 앨런을 재능이 뛰어나고 훌륭한 소년이라고 쓰고, 그가 앞으로 걸어갈 길을 큰 관심을 갖고 지켜보겠다고 적었습니다. 그는 앨런이 다정하고 친절했으며 선도부원 역할도 잘 해냈다고 평가했습니다.

5년 동안 앨런을 가장 가까이에서 지켜본 사감 오한런 선생님도 편지를 보냈습니다. 그는 앨런이 보여 준 도움과 충실함, 그리고 함께 지내며 준 즐거움에 고맙다고 썼습니다. 그리고 지금 세대가 살아 있는 동안 튜링이라는 이름이 오래 기억될 것이라고 장담했습니다.

세월이 흐른 뒤인 1966년에 셔본 학교는 새로 넓힌 과학관에 '앨런 튜링 실험실'이라는 이름을 붙였습니다. 셔본 학교 기록에 따르면 앨런 튜링의 이름을 딴 세계 최초의 건물이었습니다. 오늘날 튜링이라는 이름은 컴퓨터와 인공지능을 배우는 사람이라면 누구나 아는 이름입니다.

셔본에서 보낸 5년은 앨런에게 쉬운 시간이 아니었습니다. 학교는 라틴어를 잘하는 신사를 원했고, 앨런은 수학과 과학의 원리를 처음부터 스스로 따져 보고 싶어 했습니다. 그 사이에서 앨런은 꾸중을 듣고, 낮은 점수를 받고, 이상한 아이라는 말을 들었습니다. 그래도 그는 자기 생각을 버리지 않았습니다. 아인슈타인과 에딩턴의 책을 혼자 읽었고, 합창단에서 노래했고, 친구들의 숙제를 도왔으며, 수학과 과학 분야에서 여러 차례 상을 받았습니다. 60마일을 혼자 달려 학교에 온 소년은 5년 뒤 자기만의 생각하는 방법을 갖춘 젊은이가 되어 학교를 떠났습니다. 1931년 10월, 앨런은 케임브리지 대학교 킹스 칼리지에 들어가 수학자로서 새로운 걸음을 내디뎠습니다.

제3장. 크리스토퍼 모컴과 영혼의 본질 (1928~1930)



그림 3. 튜링과 모컴이 함께 공부하는 모습을 재구성했습니다.

셔본 학교에 다니던 앨런 튜링은 혼자 지내는 시간이 많았습니다. 라틴어와 그리스어 시간에는 딴생각에 빠졌고, 수학 문제는 교과서에 나온 방법을 따르지 않고 자기 방식으로 풀었습니다. 선생님들은 그런 튜링을 고집 세고 산만한 학생으로 보았고, 친구들도 튜링이 왜 화학 약품과 별자리 이야기에 그토록 빠져 있는지 이해하지 못했습니다. 튜링에게는 머릿속 생각을 마음껏 나눌 상대가 좀처럼 없었습니다.

1928년 가을, 열여섯 살이던 튜링 앞에 한 소년이 나타났습니다. 두 사람이 함께 한 시간은 1년 반이 채 되지 않습니다. 그러나 이 짧은 만남과 갑작스러운 이별은

튜링의 삶을 크게 바꾸어 놓았습니다. 사람의 마음이란 무엇이고 마음과 몸은 어떻게 이어져 있는가 하는, 튜링이 평생 붙든 질문이 바로 이 시기에 시작되었습니다.

3.1. 영혼의 단짝과의 만남

그 소년의 이름은 크리스토퍼 콜란 모컴(Christopher Collan Morcom)입니다. 모컴은 1911년 7월 13일 영국 우스터셔주 포크버리의 '클록 하우스(The Clock House)'에서 태어났습니다. 튜링보다 한 살 많았고 학년도 하나 위였습니다. 모컴의 집안은 과학과 인연이 깊었습니다. 아버지 레지널드 모컴은 기계 회사를 이끄는 공학자였고, 외할아버지 조지프 스완은 백열전구를 개발한 과학자 가운데 한 사람으로 이름이 높았습니다. 형 루퍼트도 셔본 학교에서 수학상을 받은 뒤 케임브리지 대학교 트리니티 칼리지에 들어갔습니다.

모컴은 1925년 5월 장학생으로 셔본 학교에 들어와 라이언 하우스라는 기숙사에서 지냈습니다. 튜링이 지내던 웨스트콧 하우스와는 다른 기숙사였습니다. 모컴은 수학과 과학에 뛰어났고 천문학 지식도 남달랐습니다. 밤이면 망원경을 기숙사 방으로 들고 올라가 별을 관찰했고, 그 기록을 바탕으로 자기만의 별 지도를 그렸습니다. 사진 찍기와 음악 듣기도 좋아했습니다.

공부만 하는 학생은 아니었습니다. 모컴은 장난기도 많아서, 1928년 겨울 학기에는 풍선 여러 개에 가스를 채우고 밀랍 먹인 끈으로 도화선을 달아 바람에 날려 보냈습니다. 수업하는 선생님을 몰래 사진으로 찍어 선물한 일도 있었는데, 그 선생님은 이를 무례로 여기지 않고 존경의 표시로 받아들였습니다.

그런 모컴에게는 남모르는 걱정이 하나 있었습니다. 어릴 때 병균이 든 소젖을 마시고 소결핵에 걸린 것입니다. 소결핵은 소에게서 사람에게 옮는 결핵입니다. 그 뒤로 모컴의 집에서는 소 대신 염소를 길러 젖을 얻었습니다. 모컴은 셔본에 온 첫해에도 큰 수술을 받고 두 학기 동안 학교를 쉬었습니다. 그래도 금세 공부를 따라잡아 1927년에는 수학상을 받았습니다.

튜링이 모컴과 가까워진 것은 1928년 9월입니다. 이때 튜링은 수학과 과학을 공부하는 6학년 하급반(Lower Sixth)에 올라가 모컴과 같은 수업을 듣기 시작했습니다. 두 사람을 이어 준 것은 행성의 궤도에 관한 질문 하나였습니다. 그 이야기는 축구 경기의 쉬는 시간에도 이어졌고, 두 사람은 화학 실험에도 함께 관심을 쏟았습니다. 대화 주제에는 끝이 없었습니다. 다른 학생이 먹는 요오드 소금의 성분을 따지다가 별의 나이로 넘어가기도 했습니다.

두 사람이 함께 공부하는 자리도 차츰 늘어났습니다. 수요일 오후마다 학교 도서관에서 만나 각자 연구한 내용을 나누었고, 1929년 봄과 여름 학기에는 화학 선생님 앤드루스에게 유기 화학을 따로 배웠습니다. 수업 중에 둘만 알아보는 기호로 쪽지를 써서 수학 아이디어를 주고받았다는 이야기도 전합니다. 음악을 좋아한 모컴은 수학 선생님 에퍼슨이 운영하던 축음기 음악 모임에 튜링을 데려가기도 했습니다.

튜링에게 모컴은 처음으로 말이 통하는 친구였습니다. 튜링의 조카 더멋 튜링은 훗날 모컴을 두고, 방정식과 천문학에 빠진 튜링을 이상하게 보지 않은 사람이었다고 설명했습니다. 그렇다고 두 사람이 비슷한 방식으로 생각한 것은 아닙니다. 튜링은 번뜩이는 생각을 앞세웠지만 마무리가 거칠 때가 많았습니다. 모컴은 원리를 이해한 뒤에도 거기서 그치지 않고 과정 하나하나를 따로 떼어 꼼꼼히 따졌습니다. 기숙사 사감이 모컴에 대해 묻자, 튜링은 모컴의 철저함에 가장 크게 감탄했다고 답했습니다.

튜링이 모컴을 어떻게 보았는지는 훗날 모컴의 어머니에게 보낸 편지에도 남아 있습니다. 튜링은 이렇게 썼습니다. "그만큼 뛰어나면서도 그렇게 매력 있고 잘난 척하지 않는 사람을 나는 달리 알지 못했습니다. 나는 내 공부와 천문학에 대한 관심을 그와 함께 나누어야 할 무언가로 여겼습니다." 튜링에게 천문학을 알려 준 사람이 바로 모컴이었습니다.

튜링의 마음은 우정에서 멈추지 않았습니다. 튜링은 모컴을 깊이 좋아했고, 훗날 이 감정을 자신의 첫사랑으로 기억했습니다. 모컴이 튜링의 마음을 알았다는 기록은 없습니다. 모컴은 튜링을 생각이 잘 통하는 소중한 친구로 대했습니다. 외롭던 튜링에게 모컴은 세상을 환하게 밝혀 준 존재였습니다.

1929년 12월, 두 사람은 케임브리지 대학교 트리니티 칼리지의 장학생 선발 시험을 치르러 함께 케임브리지로 갔습니다. 일주일 동안 대학의 분위기를 느끼며 앞으로도 함께 공부할 날을 그렸습니다. 그러나 결과는 엇갈렸습니다. 모컴은 장학생으로 뽑혀 이듬해 10월 트리니티 칼리지에 들어갈 예정이었고, 튜링은 떨어졌습니다. 셔본에 1년 더 남게 된 튜링은 1년 뒤 반드시 친구를 따라 케임브리지에 가겠다고 마음먹었습니다.

그 계획은 두 달이 채 지나기 전에 어긋났습니다. 1930년 2월 6일 목요일 저녁, 셔본 학교의 큰 강당 '빅 스쿨룸'에서 솔즈베리 싱어즈 합창단의 음악회가 열렸습니다. 모컴은 튜링을 비롯한 친구들과 함께 음악회에 갔습니다. 그날 저녁이 두 사람이 함께 보낸 마지막 시간이었습니다.

3.2. 갑작스러운 비극과 슬픔

음악회가 끝난 그날 밤, 모컴은 갑자기 심한 통증을 느끼며 쓰러졌습니다. 다음 날 학교는 모컴을 셔본의 예이트먼 병원으로 옮겨 상태를 지켜보았습니다. 2월 9일 일요일에는 모컴을 런던의 병원으로 옮겼고, 모컴은 그곳에서 두 차례 수술을 받았습니다. 어릴 때 걸린 결핵이 배 속을 감싼 막에 염증을 일으켰고, 그 때문에 장이 막혀 버린 것입니다. 수술 뒤에 합병증이 생겼고, 모컴은 끝내 회복하지 못했습니다. 1930년 2월 13일 정오, 크리스토퍼 모컴은 런던 맨체스터 스트리트 19번지의 요양원에서 세상을 떠났습니다. 모컴은 열여덟 살, 튜링은 열일곱 살이었습니다.

모컴의 목숨을 앗아 간 결핵은 결핵균이라는 세균이 몸에 들어와 생기는 병입니다. 주로 폐에 생기지만 뼈나 장, 배 속의 막에도 생깁니다. 모컴이 걸린 소결핵처럼, 예전에는 균이 섞인 소젖을 그대로 마시고 결핵에 걸리는 사람이 많았습니다. 오늘날에는 우유를 높은 온도로 살균하고 좋은 약도 있어서 대부분 치료할 수 있습니다. 하지만 1930년에는 결핵을 고치는 약이 아직 없었습니다.

튜링은 모컴이 쓰러진 무렵 묘한 일을 하나 겪었습니다. 튜링은 훗날, 그 무렵 어느 밤 잠에서 깨어 창밖으로 지는 달을 바라보던 중 모컴에게 무슨 일이 생겼다는 느낌을 받았다고 기억했습니다. 과학으로 설명하기 어려운 이 경험은 튜링의 마음에 오래 남았습니다.

모컴은 2월 15일 새벽, 고향 집 근처 캐츠힐의 크라이스트 처치 교회 묘지에 묻혔습니다. 다음 날인 2월 16일에는 셔본 학교 예배당에서 모컴을 기리는 예배가 열렸습니다. 학교 전체가 뛰어난 학생을 잃은 슬픔에 잠겼습니다.

그날 튜링은 어머니에게 편지를 썼습니다. "나는 어딘가에서 모컴을 다시 만나리라고 확신합니다. 이곳에서 우리가 함께 할 일이 있다고 믿었던 것처럼, 그곳

에서도 우리가 함께 할 일이 있을 것입니다. 이제 그 일을 나 혼자 하게 되었으니 그를 실망시켜서는 안 됩니다. 그가 여기 있을 때만큼 재미있지는 않더라도, 그만큼의 힘은 쏟아야 합니다." 이 편지에는 깊은 슬픔과 함께 새로운 다짐이 담겨 있습니다. 튜링은 친구가 못다 한 공부를 자신이 이어 가겠다고 결심했습니다.

튜링은 그 결심을 행동으로 옮겼습니다. 처음 맡은 일은 친구가 받을 책을 고르는 것이었습니다. 셔본 학교는 1929년도 디그비 수학·과학상을 세상을 떠난 모컴에게 주기로 했고, 상으로 받을 책은 튜링이 모컴을 대신해 골랐습니다. 튜링이 고른 책은 아서 에딩턴의 『물리 세계의 본질』과 『별의 내부 구조』, 제임스 진스의 『천문학과 우주 생성론』과 『우리를 둘러싼 우주』였습니다. 모두 별과 우주, 그리고 새로운 물리학을 다룬 책으로, 두 소년이 함께 이야기하던 주제였습니다.

같은 해인 1930년, 모컴의 부모는 아들을 기리며 셔본 학교에 '크리스토퍼 모컴 상'을 만들었습니다. 이 상은 시험 점수로 주지 않았습니다. 과학 선생님들이 한 해 동안의 공부를 살펴보고 발전 정도와 독창성, 이해의 깊이를 따져 가장 뛰어난 학생에게 주었습니다. 수상자는 모컴의 초상화도 함께 받았습니다.

튜링은 이 상을 꼭 받겠다고 다짐했습니다. 그리고 1930년, 산성 용액 속에서 아황산염과 요오드산염이 일으키는 화학 반응을 연구한 독창적인 논문으로 첫 수상자가 되었습니다. 케임브리지에 가겠다는 다짐도 이어 갔습니다. 공부에 힘을 쏟은 튜링은 1930년 12월 다시 케임브리지 장학생 시험을 치렀고, 이번에는 킹스 칼리지 장학생으로 뽑혔습니다. 튜링은 1931년에도 모컴 상을 받았습니다. 친구의 이름이 붙은 상을 두 해 연속 받으며 튜링은 그 약속을 지켜 나갔습니다.

3.3. 『영혼의 본질』 에세이

모컴이 떠난 뒤 튜링은 모컴의 어머니 프랜시스 이소벨 모컴과 편지를 주고받기 시작했습니다. 모컴 부인은 조각가이자 화가였습니다. 부인은 아들의 가장 가까운 친구였던 튜링을 따뜻하게 맞아 주었고, 튜링도 모컴의 가족에게서 위로를 얻었습니다. 튜링은 모컴이 쓰던 망원경과 천구의를 빌려 별 관찰을 이어 갔습니다. 천구의는 하늘의 별자리를 공 모양 겉면에 그려 놓은 도구로, 별의 위치와 움직임을 살피는 데 씁니다.

편지는 한두 해로 그치지 않았습니다. 튜링은 해마다 모컴의 생일인 7월 13일과 세상을 떠난 날인 2월 13일이면 모컴 부인에게 편지를 보냈습니다. 친구를 잊지 않고 있다는 마음을 전하는 편지였습니다. 이 편지는 모컴 부인이 1941년 세상을 떠날 때까지 10년 넘게 이어졌습니다. 두 소년의 우정은 1년 반이 채 되지 않았지만, 튜링과 모컴 가족의 인연은 그보다 훨씬 길었습니다.

이 인연 속에서 글 한 편이 나왔습니다. 모컴이 세상을 떠나고 2년이 지난 1932년 4월 무렵, 튜링은 케임브리지 대학교 킹스 칼리지 학생이 되어 있었습니다. 이 무렵 튜링은 브롬스그로브 근처의 클록 하우스에 머물며 모컴 가족과 시간을 보냈고, 이곳에서 모컴 부인을 위해 짧은 글을 썼습니다. 제목은 『영혼의 본질 (Nature of Spirit)』 입니다. 튜링이 손으로 쓴 이 원고는 지금도 케임브리지 킹스 칼리지 기록 보관소에 남아 있습니다.

이 글을 이해하려면 그 무렵 물리학에 일어난 변화를 먼저 알아야 합니다. 오랫동안 과학자들은 뉴턴의 물리학을 바탕으로 세상을 설명했습니다. 이 생각에 따르면 우주는 거대한 시계처럼 정해진 법칙대로 움직입니다. 지금 모든 물체의 위치와 속도를 알면 앞으로 일어날 일을 하나도 빠짐없이 계산할 수 있습니다. 이런 생각을 '결정론'이라고 부릅니다. 천문학자들이 몇십 년 뒤의 일식 날짜까지 정확히 맞히는 것을 보며 사람들은 이 생각을 굳게 믿었습니다.

그런데 1920년대에 '양자역학'이라는 새로운 물리학이 등장했습니다. 양자역학은 원자와 전자처럼 아주 작은 세계를 다루는 학문입니다. 과학자들은 이 작은 세계에서는 물체의 위치와 속도를 동시에 정확히 알아낼 수 없다는 사실을 발견했습니다. 작은 세계에서 일어나는 일은 확률로만 말할 수 있었습니다. 튜링이 모컴을 대신해 골랐던 에딩턴의 『물리 세계의 본질』은 이 새로운 물리학이 세상을 보는 눈을 어떻게 바꾸는지 일반 독자에게 풀어 준 책이었습니다.

튜링은 『영혼의 본질』에서 이 새로운 물리학으로 친구의 죽음을 이해하려 했습니다. 글의 첫 부분에서 다루는 것은 결정론입니다. 예전 과학은 우주의 상태를 모두 알면 미래를 예측할 수 있다고 보았습니다. 그러나 원자와 전자를 다룰 때는 그 정확한 상태를 알 수 없습니다. 우리가 쓰는 측정 도구 자체가 원자와 전자로 이루어져 있기 때문입니다. 튜링은 이 점을 근거로, 일식처럼 사람의 모든 행동까지 미리 정해져 있다는 생각은 무너진다고 보았습니다.

행동이 미리 정해져 있지 않다면 그것을 정하는 것은 무엇인가 하는 문제가 남습니다. 튜링은 여기서 사람의 '의지'를 이야기합니다. 튜링은 사람에게는 뇌의 작은 부분, 어쩌면 뇌 전체에 있는 원자의 움직임을 정하는 의지가 있다고 생각했습니다. 그리고 몸의 나머지 부분은 이 작은 움직임을 크게 키우는 장치처럼 일한다고 설명했습니다. 작은 소리를 크게 키우는 확성기와 비슷합니다. 뇌 속 원자 몇 개의 작은 움직임이 팔과 다리를 움직이는 큰 행동으로 커지는 것입니다. 튜링은 우주의 다른 원자들에는 이런 확대 장치가 없어서 그 움직임이 우연처럼 보인다고 덧붙였습니다.

글의 가운데에서 튜링은 의지에서 영혼으로 넘어가 영혼과 물질의 관계를 다룹니다. 튜링은 케임브리지의 철학자 맥태거트의 생각을 빌려, 영혼이 없으면 물질도 의미가 없다고 보았습니다. 또 영혼은 물질과 영원히 이어져 있지만 언제나 같은 몸에 머물지는 않는다고 생각했습니다. 예전에는 영혼이 죽은 뒤 우리 우주

와 전혀 다른 우주로 갈 수도 있다고 믿었지만, 이제는 영혼과 물질이 서로 떨어질 수 없으므로 그런 생각은 앞뒤가 맞지 않는다고 적었습니다.

영혼이 물질을 떠날 수 없다면 몸이 죽은 뒤 영혼이 어떻게 되는지를 설명해야 합니다. 튜링은 몸과 영혼이 이어지는 방식에서 그 답을 찾으려 했습니다. 살아 있는 몸은 살아 있기에 영혼을 끌어당겨 붙잡아 둡니다. 몸이 살아서 깨어 있는 동안 몸과 영혼은 단단히 이어져 있습니다. 잠잘 때 어떤 일이 일어나는지는 짐작할 수 없다고 튜링은 솔직하게 적었습니다. 그러나 몸이 죽으면 영혼을 붙잡아 두던 몸의 '장치'가 사라지고, 영혼은 머지않아, 어쩌면 곧바로 새로운 몸을 찾는다고 보았습니다.

글의 마지막에서 튜링은 영혼이 왜 몸을 지니고 있는지, 몸 없이 영혼끼리 자유롭게 살며 이야기를 나눌 수는 없는지 묻습니다. 튜링이 내놓은 대답은 이렇습니다. 그럴 수도 있겠지만, 그러면 할 일이 아무것도 없으리라는 것입니다. 몸은 영혼이 돌보고 쓸 무언가를 내어 줍니다. 이 대답에는 모컴과 함께 실험하고 별을 관찰하던 시간을 그리워하는 튜링의 마음이 담겨 있습니다. 튜링에게 삶이란 생각을 나누고 함께 일하는 것이었습니다.

『영혼의 본질』은 한 장 남짓한 짧은 글입니다. 그러나 이 글에는 열아홉 살 튜링이 사랑하는 친구를 잃은 슬픔을 견디려 애쓴 흔적이 고스란히 남아 있습니다. 튜링은 슬픔을 이기려고 막연한 믿음에만 기대지 않았습니다. 그 무렵 가장 새로운 과학 지식이던 양자역학을 공부하고, 그것으로 마음과 몸의 관계를 이해하려 했습니다. 열아홉 살 학생이 쓴 글이라 오늘날 과학의 눈으로 보면 맞지 않는 부분도 있습니다. 그래도 튜링은 이 글에서 아무도 답을 모르는 문제를 스스로 묻고 논리로 풀어 보려 했습니다.

이 글에 담긴 생각이 그대로 유지된 것은 아닙니다. 케임브리지에서 공부를 이어가면서 튜링의 생각은 조금씩 달라졌습니다. 튜링은 죽은 뒤에도 영혼이 남는다

는 믿음에서 점차 멀어졌고, 마음의 움직임도 물질과 법칙으로 설명할 수 있다는 쪽으로 기울었습니다. 하지만 질문 자체는 튜링을 떠나지 않았습니다. 사람이 생각하는 과정을 규칙으로 나타낼 수 있는가, 마음을 기계로 만들 수 있는가 하는 물음이었습니니다.

튜링은 1936년, 사람이 계산하는 과정을 간단한 규칙으로 나타낸 상상 속의 기계를 고안했습니다. 오늘날 튜링 기계라고 부르는 이 구상은 컴퓨터 과학의 이론적 토대가 되었습니다. 1950년에는 「계산 기계와 지능」이라는 논문에서 기계도 생각할 수 있는지를 다루었습니다. 모컴을 잃은 뒤 쓴 글에는 마음과 몸의 관계를 고민하던 젊은 튜링의 생각이 남아 있습니다. 다만 그 고민이 훗날의 연구로 곧바로 이어졌다고 단정할 수는 없습니다.

제4장 케임브리지 킹스 칼리지의 자유 (1931~1935)



그림 4. 케임브리지에서 공부하던 튜링을 그린 삽화입니다.

앨런 튜링이 집을 꾸러 케임브리지로 향한 것은 1931년 가을, 열아홉 살 때였습니다. 그에 앞서 셔본 학교에서 보낸 5년은 순탄하지 않았습니다. 셔본은 라틴어와 그리스어를 중요하게 여기는 학교였고, 선생님들은 수학과 과학에만 몰두하는 튜링을 걱정스러운 눈으로 바라보았습니다. 그곳에서 튜링을 가장 잘 이해해 준 친구 크리스토퍼 모컴은 1930년 2월 결핵으로 세상을 떠났습니다. 튜링은 그 슬픔을 안은 채 대학 생활을 시작했습니다.

튜링이 들어간 곳은 케임브리지 대학교의 킹스 칼리지였습니다. 케임브리지 대학교는 영국에서 가장 오래된 대학 가운데 하나이며, 여러 개의 칼리지로 이루어

져 있습니다. 칼리지란 학생과 교수가 한 울타리 안에서 먹고 자고 공부하는 작은 공동체를 말합니다. 킹스 칼리지에서 보낸 네 해 동안 튜링은 자기 생각을 마음껏 펼쳐도 되는 자리를 처음으로 만났습니다. 수학자로서 첫 성과를 냈고, 자신이 어떤 사람인지도 조금씩 받아들였습니다. 훗날 컴퓨터의 원리를 세상에 내놓게 되는 생각도 이 시기에 싹틔었습니다.

4.1 킹스 칼리지 입성

두 번의 장학생 시험

킹스 칼리지에 들어가기까지 튜링은 장학생 시험을 두 번 치러야 했습니다. 첫 번째 시험은 1929년 12월이었습니다. 튜링은 모컴과 함께 케임브리지 트리니티 칼리지의 장학생 시험에 응시했습니다. 트리니티 칼리지는 아이작 뉴턴이 공부한 곳으로, 수학을 좋아하는 학생이라면 누구나 들어가고 싶어 하는 칼리지였습니다. 시험 결과 모컴은 장학생 자리를 얻었지만, 튜링은 얻지 못했습니다. 두 사람은 케임브리지에서 함께 공부할 날을 기다렸습니다. 그러나 두 달 뒤 모컴이 세상을 떠나면서 그 바람은 이루어지지 못했습니다.

튜링은 셔본 학교에 1년 더 남아 공부한 뒤, 1930년 12월에 다시 시험을 치렀습니다. 이번에도 트리니티 칼리지에는 들어가지 못했습니다. 대신 두 번째로 지원한 킹스 칼리지가 그를 장학생으로 받아들였습니다. 장학금은 한 해에 80파운드였습니다. 학비와 생활비를 마련하는 데 큰 보탬이 되는 돈이었습니다.

킹스 칼리지의 장학생이 되는 일도 쉽지는 않았습니다. 킹스 칼리지는 오랫동안 이튼 칼리지라는 명문 학교 출신에게 많은 자리를 내주었기 때문에, 다른 학교 출신에게 돌아가는 자리는 많지 않았습니다. 그런데 킹스 칼리지의 시험관들은 학생이 공식을 얼마나 잘 외우는지보다 스스로 생각하는 힘이 있는지를 눈여겨 보았습니다. 남들이 가지 않는 길로 문제에 다가가는 학생을 높이 평가했습니다. 셔본에서 정리가 서툰 학생이라는 말을 듣던 튜링의 풀이 방식이 이곳에서는 오히려 장점이 되었습니다.

자유로운 학풍

1931년 10월, 튜링은 킹스 칼리지 수학과 학생이 되었습니다. 킹스 칼리지는 자유롭고 너그러운 분위기로 이름난 곳이었습니다. 이 분위기를 이끈 학자들 가운데 경제학자 존 메이너드 케인스가 있었습니다. 케인스는 훗날 세계 여러 나라의 경제 정책을 바꾼 이론을 내놓은 인물입니다. 킹스 칼리지에서는 학생과 교수가 식당에서 함께 식사하며, 나이나 집안을 따지지 않고 생각을 나누었습니다. 남과 다르게 생각하는 사람을 이상하게 여기지도 않았습니다.

이런 환경은 튜링에게 잘 맞았습니다. 튜링은 옷차림에 신경을 쓰지 않았고, 말할 때 자주 머뭇거렸습니다. 셔본에서는 그런 모습 때문에 핀잔을 들곤 했지만, 킹스 칼리지에서는 아무도 그런 일로 튜링을 탓하지 않았습니다. 튜링은 남의 평가에 주눅 들지 않고 수학, 물리학, 논리학, 철학을 자유롭게 넘나들며 책을 읽고 생각했습니다.

혼자 힘으로 찾아낸 답

튜링이 이 시기에 어떻게 공부했는지는 1932년 1월 31일에 쓴 편지에서 엿볼 수 있습니다. 편지에 따르면 튜링은 한 수학 문제를 혼자 힘으로 증명했습니다. 그런데 알고 보니 폴란드 수학자 바츨와프 시에르핀스키가 이미 증명해 둔 정리였습니다. 누구의 도움도 받지 않고 이름난 수학자와 똑같은 결론에 이른 것입니다.

이런 일은 튜링에게 여러 번 일어났습니다. 튜링은 책에서 답을 찾기 전에 먼저 스스로 풀어 보는 습관이 있었고, 그래서 이미 다른 사람이 찾아낸 결과를 다시 발견하는 일이 잦았습니다. 시간이 더 걸리는 방법이었습니. 그러나 튜링은 이 방법으로 남이 닦아 놓은 길을 따라가는 대신 자기만의 길을 내는 힘을 길렀습니다. 스스로 길을 내는 이 습관은 훗날 펠로 선출로도 이어졌습니다.

책과 강의에서 얻은 질문

스스로 풀어 보는 습관이 있었다고 해서 튜링이 책을 멀리한 것은 아닙니다. 튜링은 어려운 책도 많이 읽었습니다. 헝가리 출신 수학자 존 폰 노이만이 1932년에 펴낸 『양자역학의 수학적 기초』를 공부했습니다. 양자역학은 원자처럼 아주 작은 세계에서 일어나는 일을 설명하는 물리학입니다. 모컴을 잃은 뒤로 튜링은 마음과 몸이 어떤 관계인지 궁금해했는데, 양자역학은 이 물음과 닿아 있었습니다. 1933년에는 영국 철학자 버트런드 러셀의 『수리철학 개론』을 읽었습니다. 이 책은 수학이 어떤 바탕 위에서 있는지를 캐묻는 책입니다. 튜링이 몇 해 뒤 컴퓨터의 원리를 생각해 낼 때 이런 독서가 밑거름이 되었습니다.

튜링은 강의와 학회 모임에도 나갔습니다. 1933년 가을에는 천문학자 아서 에딩턴의 과학 방법론 강의를 들었고, 그해 말에는 철학을 토론하는 모임인 도덕과학 클럽에서 수학과 논리에 관해 발표했습니다. 이 가운데 에딩턴의 강의는 튜링의 첫 번째 큰 연구로 이어졌습니다.

세상을 향한 관심

튜링이 대학을 다니던 1930년대 초 유럽은 불안했습니다. 대공황으로 많은 사람이 일자리를 잃었고, 독일에서는 1933년 히틀러가 권력을 잡았습니다. 케임브리지 학생들 사이에서도 전쟁과 파시즘에 반대하는 목소리가 커졌습니다. 파시즘은 국가가 개인의 자유를 짓누르고 다른 나라를 힘으로 억누르려는 사상입니다. 튜링도 이 움직임에 참여했습니다. 1933년 5월 반전 위원회라는 학생 모임에 들어갔고, 그해 11월에는 전쟁을 부추기는 영화에 항의하는 시위에도 함께했습니다.

빛나는 졸업

케임브리지 수학과 학생은 트라이포스라는 졸업 시험을 치러야 합니다. 문제가 어렵기로 이름난 시험입니다. 튜링은 1934년 6월 이 시험에서 최우수 등급을 받고 학사 학위를 받았습니다. 성적이 특히 뛰어난 학생에게만 붙여 주는 특별 표지도 함께 받았습니다. 셔본에서 걱정을 사던 학생이 케임브리지 수학과에서 손꼽히는 졸업생이 된 것입니다.

4.2 독립적 수학 성과

에딩턴 강의에서 시작된 질문

튜링의 첫 번째 큰 연구는 졸업 시험보다 앞서, 1933년 가을에 들은 에딩턴의 강의에서 출발했습니다. 에딩턴은 강의에서 실험으로 잦 값이 어떻게 흩어지는지 설명했습니다. 같은 물건의 길이를 여러 번 재면 그 값이 조금씩 다르게 나옵니다. 측정에 여러 작은 오차가 겹치면, 측정값들이 가운데에 모이고 양끝으로 갈수록 드물어지는 모습을 보일 때가 많습니다. 에딩턴은 이 현상을 소개했을 뿐 깊이 증명하지는 않았습니다. 튜링은 이런 오차의 분포가 어떤 조건에서 나타나는지 스스로 연구하기 시작했습니다.

종 모양 곡선의 비밀

튜링이 붙잡은 문제는 주사위로 설명할 수 있습니다. 주사위 한 개를 던지면 1부터 6까지 어느 숫자든 똑같은 확률로 나옵니다. 이번에는 주사위 두 개를 던져 두 숫자를 더하는 경우를 생각해 봅시다. 합이 2가 나오려면 두 주사위가 모두 1이어야 합니다. 반면 합이 7이 되는 경우는 1과 6, 2와 5, 3과 4처럼 여러 가지입니다. 그래서 7이 가장 자주 나옵니다. 주사위 하나 하나는 어느 숫자에도 치우치지 않지만, 합은 가운데 값에 몰리는 것입니다.

주사위를 열 개, 백 개로 늘려 합을 구하고 이 일을 수없이 되풀이해 그래프를 그리면 독특한 모양이 나타납니다. 가운데가 볼록하고 양쪽 끝으로 갈수록 낮아지는 종 모양 곡선입니다. 여러 작은 요인이 더해지는 측정 오차에서도 비슷한 모양을 볼 수 있습니다. 다만 자료를 많이 모으기만 하면 언제나 이런 모양이 되는 것은 아닙니다. 수학자들은 이 곡선을 정규분포라고 부릅니다. 독일 수학자 카를 프리드리히 가우스가 이 곡선을 깊이 연구했기 때문에 가우스 분포라고도 합니다.

합의 분포가 종 모양에 가까워지는 조건을 밝힌 것이 중심극한정리입니다. 쉬운 예로는 같은 주사위를 서로 영향을 주지 않게 여러 번 던지는 경우가 있습니다. 각 결과가 같은 확률 규칙을 따르고, 평균과 흩어짐의 크기가 유한하다는 조건 아래에서는 합의 중심과 폭을 맞추어 비교할 때 합의 분포가 정규분포에 가까워 집니다. 서로 다른 확률 규칙을 따르는 경우에도 추가 조건이 맞으면 이런 결과가 성립합니다. 튜링은 이런 조건을 연구했습니다. 이 정리는 여론 조사나 실험 결과의 오차를 평가하는 통계 방법에 널리 쓰입니다.

튜링은 1934년 2월쯤 이 정리의 증명을 마쳤습니다. 아직 학부생일 때였습니다.

이미 누군가 증명한 정리

그런데 문제가 하나 있었습니다. 이 정리는 1922년에 핀란드 수학자 얄 발데마르 린데베르크가 이미 증명해 발표한 것이었습니다. 튜링은 증명을 마칠 때까지 이 사실을 알지 못했습니다. 시에르핀스키 때처럼, 남이 먼저 찾아낸 답에 혼자 힘으로 다시 이룬 것입니다.

새로운 사실을 밝혀야 하는 연구에서 이미 알려진 결과를 다시 내놓으면 보통은 좋은 평가를 받기 어렵습니다. 하지만 킹스 칼리지의 학자들은 결과 자체보다 그 결과에 이룬 생각의 힘을 보았습니다. 수학자 필립 홀은 튜링에게 이 연구를 펠로십 논문으로 정리해 보라고 권했습니다.

펠로십 논문

졸업한 뒤 튜링은 킹스 칼리지의 펠로가 되기로 마음먹었습니다. 펠로는 칼리지 가 직접 뽑는 연구원입니다. 펠로가 되면 칼리지 안에 방을 얻고, 식당에서 교수들과 함께 식사하며, 보수를 받으면서 연구에 몰두할 수 있습니다. 학생을 가르칠 자격도 생깁니다. 젊은 학자라면 누구나 바라는 자리였습니다.

펠로가 되려면 연구 논문을 내야 했습니다. 튜링은 1934년 11월 「가우스 오류 함수에 관하여」라는 논문을 제출했습니다. 이 논문에서 튜링은 중심극한정리를 자기만의 방법으로 처음부터 끝까지 증명했습니다. 논문을 심사한 수학자 아브람 베시코비치는 튜링의 증명이 독창적이라고 평가했습니다. 그는 이 논문이 린데베르크보다 먼저 나왔다면 그해 수학계에서 손꼽히는 성과가 되었을 것이라는 뜻을 심사 보고서에 남겼습니다.

케인스의 점심 초대

펠로 선출에는 존 메이너드 케인스도 참여했습니다. 케인스는 킹스 칼리지에서 큰 영향력을 지닌 학자였습니다. 1935년 3월 11일, 케인스는 후보자인 튜링을 점심 식사에 초대했습니다. 그리고 그날 발레리나인 아내 리디아 로포코바에게 편지를 썼습니다. 편지에서 케인스는 서류로 가장 뛰어나 보이는 후보를 직접 만나 손톱까지 살펴보았는데, 아주 훌륭한 젊은이였으며 이름은 튜링이라고 적었습니다.

케인스가 손톱을 살펴본 데는 까닭이 있었습니다. 케인스는 사람을 처음 만나면 손을 유심히 보는 버릇이 있었고, 손톱을 물어뜯는 사람을 좋아하지 않았다고 합니다. 사소해 보이는 일화이지만, 칼리지의 원로가 스물두 살 후보를 직접 만나 볼 만큼 튜링에게 관심을 두었다는 사실을 잘 보여 줍니다. 이 일화는 케인스의 삶을 다룬 전기에도 실려 있습니다.

스물두 살의 펠로

닷새 뒤인 1935년 3월 16일, 킹스 칼리지는 튜링을 펠로로 선출했습니다. 튜링의 나이는 스물두 살이었고, 학부를 졸업한 지 1년도 채 지나지 않은 때였습니다. 이렇게 젊은 나이에 펠로가 되는 일은 흔하지 않았습니

펠로가 된 튜링은 곧바로 연구에 뛰어들었습니다. 1935년 4월에는 「좌우 거의 주기성의 동등성」이라는 논문을 『런던 수학회 저널』에 보냈습니다. 튜링이 학술지에 실은 첫 논문입니다. 이듬해인 1936년에는 중심극한정리 연구로 스미스상을 받았습니다. 스미스상은 케임브리지 대학교가 수학 분야의 뛰어난 젊은 학자에게 주는 상입니다.

중심극한정리 연구 자체는 그 뒤로 거의 잊혔습니다. 사람들은 튜링을 확률과 통계를 연구한 수학자로 기억하지 않습니다. 그러나 이때 쌓은 확률 지식은 몇 해 뒤 제2차 세계대전에서 독일군의 암호를 푸는 데 쓰였습니다. 우연이 어떻게 쌓이느냐를 깊이 이해한 경험이 전혀 다른 곳에서 힘을 발휘한 것입니다.

4.3 학문적 자유와 동성애적 정체성

숨기지 않아도 되는 곳

킹스 칼리지가 튜링에게 준 것은 수학 성과만이 아니었습니다. 튜링은 이곳에서 자신이 어떤 사람인지 솔직하게 바라볼 수 있었습니다. 튜링은 여성이 아니라 남성에게 사랑을 느끼는 사람이었습니다. 셔본 학교 시절 모컴에게 품었던 감정도 그런 마음이었습니다.

당시 영국에서 이것은 숨겨야 하는 일이었습니다. 영국 법은 남성 사이의 특정 성행위를 범죄로 처벌했습니다. 1885년 형법개정법은 남성 간의 ‘중대한 외설 행위’를 처벌 대상으로 정했고, 사적인 장소에서 이루어진 행위에도 적용되었습니다. 들키면 직장을 잃고 감옥에 갈 수도 있었습니다. 그래서 동성을 사랑하는 사람들은 대부분 그 사실을 숨기고 살았습니다.

킹스 칼리지의 분위기는 바깥세상과 달랐습니다. 케인스를 비롯한 칼리지의 여러 학자들은 누가 누구를 사랑하는지를 문제 삼지 않았습니다. 이들 가운데에는 동성을 사랑한 사람도 있었습니다. 칼리지 담장 밖에서는 여전히 법이 무서웠지만, 칼리지 안의 가까운 친구들 사이에서는 굳이 숨기지 않아도 괜찮았습니다. 튜링은 이런 분위기 속에서 동성애자인 자신을 조금씩 받아들였습니다. 자신을 부끄러워하거나 억지로 고치려 하지 않았습니다. 튜링은 평생 이 태도를 지켰습니다.

마음을 나눈 친구들

케임브리지에서 튜링은 마음을 터놓는 친구들을 사귀었습니다. 데이비드 챔퍼나운은 튜링과 같은 해 킹스 칼리지에 들어온 수학 장학생이었습니다. 친구들은 그를 챔프라고 불렀습니다. 튜링은 자기 속마음을 적은 글을 챔프에게 보여 줄 만큼 그를 믿었습니다. 챔프는 훗날 경제학자가 되었지만 두 사람의 우정은 오래 이어졌습니다. 1948년에는 함께 체스를 두는 컴퓨터 프로그램을 설계하기도 했습니다. 이 프로그램은 두 사람의 이름을 합쳐 튜로챔프라고 불렀습니다.

수학과 친구 제임스 애트킨스와는 1933년에 영국 북서부의 레이크 디스트릭트로 걸어서 여행을 떠났습니다. 레이크 디스트릭트는 호수와 산이 어우러진 아름다운 곳입니다. 이 여행을 계기로 두 사람은 서로 좋아하는 사이가 되었고, 그 관계는 몇 해 동안 이어졌습니다.

튜링은 고전학을 공부한 젊은 학자 프레드 클레이튼과도 가깝게 지냈습니다. 클레이튼은 튜링처럼 전쟁과 파시즘에 반대한 사람이었습니다. 튜링은 생각이 통하는 친구들과 어울리며 수학 밖의 세상으로도 눈을 넓혔습니다.

운동과 별 보기

튜링은 몸을 움직이는 일도 좋아했습니다. 1935년 5월에는 킹스 칼리지 보트 클럽의 조정 선수로 대회에 나가 노를 저었습니다. 혼자 오래 달리는 것도 즐겼습니다. 달리기는 튜링이 평생 아낀 운동이 되었고, 훗날 튜링은 마라톤 선수 못지 않은 기록을 낼 만큼 잘 달렸습니다.

튜링에게는 남다른 취미도 있었습니다. 밤하늘의 별을 관찰해 자기 손목시계를 정확하게 맞추는 일이었습니다. 별은 정해진 시각에 정해진 자리를 지나갑니다. 튜링은 이 규칙을 이용해 시계의 오차를 바로잡았습니다. 세상이 일정한 규칙에

따라 움직인다는 생각, 그리고 그 규칙을 찾아내 쓸모 있게 만드는 일은 튜링이 평생 즐긴 일이었습니다.

자유가 키운 생각

이렇게 킹스 칼리지에서 튜링이 키운 것은 수학 실력만이 아니었습니다. 자기 생각을 믿는 법, 남과 달라도 괜찮다는 마음을 함께 배웠습니다. 셔본에서 외롭게 혼자 공부하던 소년은 이곳에서 친구와 스승을 얻었습니다. 그러나 이 자유는 칼리지 담장 안에서만 누릴 수 있었습니다. 영국 사회의 법은 그대로였고, 이 법은 훗날 튜링의 삶에 큰 아픔을 남기게 됩니다.

결정 문제와의 만남

펠로가 되어 연구에 몰두할 수 있게 된 1935년 봄, 튜링은 수학자 맥스 뉴먼의 강의를 들었습니다. 강의 이름은 수학의 기초였습니다. 뉴먼은 이 강의에서 오스트리아 수학자 쿠르트 괴델이 1931년에 밝힌 불완전성 정리를 소개했습니다. 불완전성 정리는, 자연수의 기본 산술을 담고 공리를 기계적으로 정할 수 있으며 모순이 없는 수학 체계라면 그 안에 참이지만 그 체계만으로는 증명할 수 없는 명제가 반드시 남는다는 정리입니다.

뉴먼은 독일 수학자 다비트 힐베르트가 제기한 결정 문제도 함께 다루었습니다. 결정 문제는 1차논리에 관한 물음입니다. 1차논리는 개체의 성질과 관계를 다루는 기본적인 논리 체계입니다. 이 체계에서 주어진 문장을 논리 규칙으로 증명할 수 있는지를 항상 판정하는 절차가 있는지 묻는 것이 결정 문제입니다. 힐베르트는 그런 방법이 있으리라 믿었습니다. 튜링은 이 물음을 깊이 파고들기 시작했습니다.

1935년 여름, 튜링은 케임브리지 근처 그랜트체스터의 풀밭에서 달리기를 하다 쉬면서 이 문제를 곰곰이 되짚었습니다. 그러다 문제를 풀 실마리를 찾아냈습니다. 사람이 연필과 종이로 계산하는 과정을 아주 단순한 동작으로 쪼개어 보면 어떨까 하는 생각이었습니다. 이 생각은 1936년 논문 「계산 가능 수와 결정 문제에의 응용」으로 이어졌습니다. 오늘날 우리가 튜링 기계라고 부르는 상상 속의 기계, 그리고 모든 컴퓨터의 원리가 된 보편 기계가 바로 이 논문에서 태어났습니다.

제5장 계산 가능 수와 보편 튜링 기계 (1935-1936)

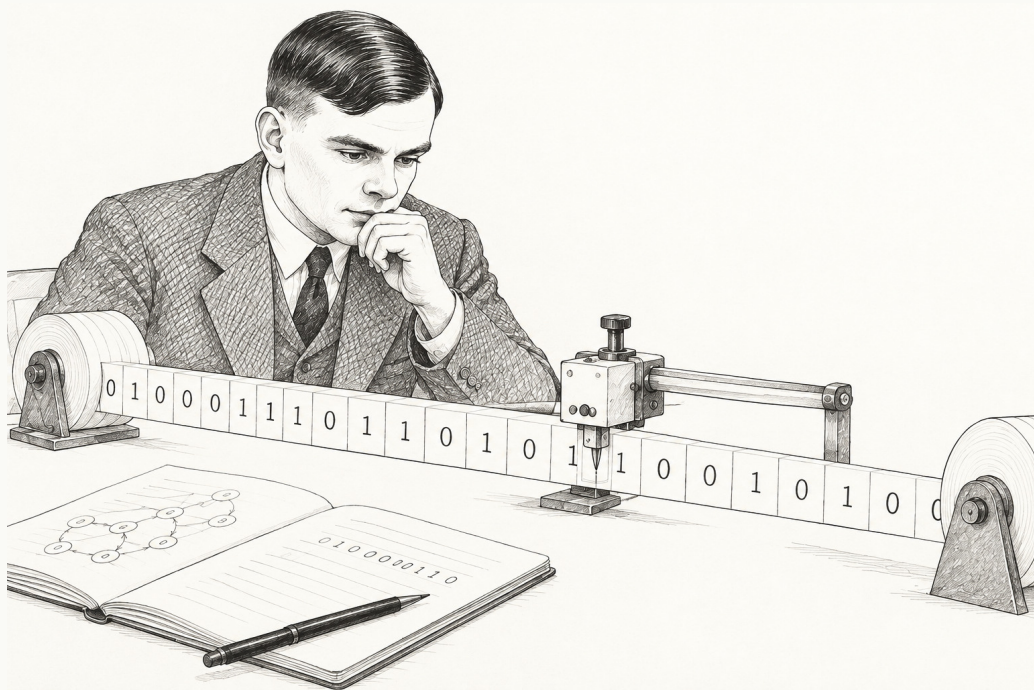


그림 5. 테이프와 규칙으로 계산하는 튜링 기계의 개념도입니다.

1935년 3월, 케임브리지 대학교 킹스 칼리지는 앨런 튜링을 펠로우로 뽑았습니다. 그해 봄 튜링은 스물두 살이었습니다. 펠로우가 된 튜링은 학교에서 숙소와 연구비를 받으며 하고 싶은 공부를 마음껏 할 수 있었습니다. 바로 그 봄에 튜링은 수학자들이 오랫동안 풀지 못한 질문 하나를 만났습니다. 그는 이 질문에 답하려고 머릿속에 기계 한 대를 그렸고, 종이 위의 이 계산 모형은 훗날 범용 컴퓨터의 원리를 이해하는 중요한 바탕이 됩니다.

5.1. 힐베르트의 결정 문제

그 질문은 독일의 수학자 다비트 힐베르트(David Hilbert)에게서 나왔습니다. 힐베르트는 20세기 초 수학의 여러 분야를 이끈 학자였습니다. 그는 수학을 빈틈 없는 건물처럼 세우고 싶어 했습니다. 수학자들이 '공리'라고 부르는 몇 개의 기본 규칙에서 출발해, 모든 수학 문장을 증명하거나 반박할 수 있기를 바랐습니다.

이 목표를 이루려면 수학이 세 가지 질문에 답해야 했습니다. 첫째는 수학이 완전한가 하는 질문으로, 참인 문장을 모두 증명할 수 있느냐는 물음입니다. 둘째는 수학에 모순이 없는가 하는 질문으로, 어떤 문장과 그 반대 문장을 동시에 증명하는 일이 생기지 않느냐는 물음입니다. 셋째는 수학이 결정 가능한가 하는 질문입니다. 어떤 수학 문장이 주어지든 순서대로 따라 하기만 하면 그 문장을 증명할 수 있는지 없는지 답이 나오는 방법이 있느냐는 물음입니다.

세 번째 질문과 관련해 힐베르트가 제기한 구체적인 문제는 1차논리의 문장을 대상으로 합니다. 1차논리는 개체의 성질과 관계를 다루는 기본적인 논리 체계입니다. 이 문제는 그런 문장이 논리 규칙에 따라 증명 가능한지를 언제나 판정하는 절차가 있는지 묻습니다. 독일어로는 '엔트샤이dung스프로블럼(Entscheidungsproblem)', 우리말로 '결정 문제'입니다. 힐베르트는 1928년 동료 빌헬름 아커만(Wilhelm Ackermann)과 함께 쓴 논리학 책에서 이 문제를 수리논리학의 중요한 과제로 내세웠습니다. 결정 문제가 무엇을 요구하는지는 설명서 한 권을 떠올리면 이해하기 쉽습니다. 누구든 수학 문장 하나를 넣고 설명서에 적힌 순서를 그대로 따르면, 끝에 가서 '증명할 수 있음' 또는 '증명할 수 없음'이라는 답이 나옵니다. 이런 설명서가 있다면 수학자는 밤새 고민할 필요가 없습니다. 문장을 넣고 순서대로 따라 하면 그만입니다. 힐베르트는 이런 방법이 언젠가 반드시 나타난다고 믿었습니다.

그런데 1931년, 오스트리아의 젊은 수학자 쿠르트 괴델(Kurt Gödel)이 힐베르트의 꿈에 금을 냈습니다. 괴델이 발표한 '불완전성 정리'는 일정한 조건을 갖춘 수학 체계를 대상으로 합니다. 자연수의 기본 산술을 담고, 공리를 기계적으로 정할 수 있으며, 모순이 없는 체계가 그 조건입니다. 괴델은 이런 체계라면 그 안에 참이지만 그 체계의 규칙만으로는 증명할 수 없는 문장이 반드시 있다는 사실을 보였습니다. 그런 체계는 자기 자신에게 모순이 없다는 사실조차 자기 체계의 방법만으로는 증명할 수 없다는 점도 밝혔습니다.

괴델이 수학 전체에 모순이 있음을 증명한 것은 아닙니다. 다만 힐베르트의 첫째 질문에는 '아니다'라는 답이 분명해졌고, 둘째 질문과 관련해서도 모순이 없는 체계가 자기 무모순성을 스스로 증명할 수는 없다는 한계가 드러났습니다. 그러나 셋째 질문인 결정 문제는 아무도 풀지 못한 채 남아 있었습니다.

튜링이 이 문제를 만난 곳은 맥스 뉴먼(Max Newman)의 강의실이었습니다. 뉴먼은 케임브리지의 수학자로, 도형의 성질을 연구하는 위상수학과 수리논리학을 함께 연구했습니다. 1935년 봄, 뉴먼은 '수학의 기초(Foundations of Mathematics)'라는 고급 강의를 열었고 튜링은 이 강의를 들었습니다. 뉴먼은 괴델의 불완전성 정리를 자세히 설명한 뒤 힐베르트의 결정 문제를 소개했습니다. 그리고 수학 문장을 증명할 수 있는지 없는지 알려 주는 '기계적인 방법'이 있느냐고 물었습니다.

'기계적인 방법'이란 머리를 써서 궁리할 필요 없이 미리 적어 둔 규칙만 따르면 되는 방법을 뜻합니다. 초등학교에서 배우는 세로셈 덧셈이 좋은 예입니다. 일의 자리부터 더하고, 10이 넘으면 윗자리로 1을 올립니다. 규칙만 지키면 누가 해도 같은 답이 나옵니다. 이런 방법을 '알고리즘'이라고 부릅니다.

문제는 당시 수학자들이 '기계적인 방법'이 정확히 무엇인지 정해 두지 않았다는 점이었습니다. 다들 느낌으로는 알았지만 수학의 언어로 빈틈없이 적은 사람은

없었습니다. 결정 문제에 '그렇다'고 답하려면 이런 정의가 없어도 됩니다. 그런 방법을 하나 찾아서 보여 주면 되기 때문입니다. 하지만 '그런 방법은 세상에 없다'고 답하려면 사정이 다릅니다. 가능한 방법을 모두 살펴야 하고, 그러려면 먼저 '방법'이 무엇인지부터 정해야 합니다. 운동장에 어떤 선수도 들어올 수 없다고 말하려면 먼저 누가 선수인지부터 정해야 하는 것과 같습니다.

튜링은 이 문제를 붙잡고 혼자 생각에 잠겼습니다. 튜링의 전기를 쓴 앤드루 호지스(Andrew Hodges)는 1935년 초여름의 한 장면을 기록했습니다. 튜링은 케임브리지 근처 그랜트체스터 메도스(Grantchester Meadows)의 캠강가를 거닐다 풀밭에 누워 쉬던 중 핵심 생각을 떠올렸습니다. '기계적인 방법'을 어려운 공식으로 정의하지 말고, 사람이 계산할 때 실제로 하는 일을 아주 작은 동작으로 쪼개어 기계의 움직임으로 바꾸어 보자는 생각이었습니다.

5.2. 역사적 논문의 탄생

1935년 여름부터 1936년 봄까지 튜링은 거의 혼자서 연구했습니다. 다른 학자와 의견을 주고받는 일도 드물었습니다. 그는 계산하는 사람을 옆에서 지켜보듯 자기 머릿속에서 일어나는 일을 들여다보았습니다.

1930년대에는 '컴퓨터(computer)'라는 말이 기계가 아니라 사람을 가리켰습니다. 관청이나 천문대에서 하루 종일 숫자를 계산하는 직원을 컴퓨터라고 불렀습니다. 튜링은 이런 사람이 모눈종이 공책에 연필로 계산하는 모습을 떠올렸습니다. 사람은 계산할 때 칸에 숫자를 쓰고, 지우고, 옆 칸으로 눈을 옮기고, 지금 무엇을 하는 중인지 기억합니다.

튜링은 이 과정에서 계산에 꼭 필요한 것만 남기고 더 작게 쪼갰습니다. 공책의 칸은 가로세로로 펼쳐져 있지만, 칸을 한 줄로 길게 이어 붙여도 계산에는 문제가 없습니다. 사람은 한 번에 몇 칸만 볼 수 있으므로 기계도 한 번에 한 칸만 보면 됩니다. 사람의 기억에는 끝이 있으므로 기계가 기억하는 상태도 몇 가지면 충분합니다. 쓸 수 있는 기호도 몇 가지면 됩니다.

이렇게 해서 튜링의 상상 속 기계가 모습을 갖추었습니다. 이 기계는 네 부분으로 이루어집니다. 첫째는 테이프입니다. 칸을 나누어 놓은 긴 종이 띠로, 필요하면 양쪽으로 얼마든지 늘릴 수 있습니다. 칸마다 기호를 하나씩 적을 수 있습니다. 둘째는 읽고 쓰는 머리이며, 영어로 헤드(head)라고 합니다. 머리는 테이프의 한 칸 위에 놓여 그 칸의 기호를 읽습니다. 새 기호를 쓰거나 있던 기호를 지울 수 있고, 왼쪽이나 오른쪽으로 한 칸 움직일 수 있습니다.

셋째는 기계의 상태입니다. 사람이 '지금은 받아올림을 하는 중이다'라고 기억하듯, 기계도 지금 어느 단계에 있는지를 상태로 기억합니다. 상태의 수에는 끝이 있습니다. 넷째는 규칙표입니다. '지금 상태가 가이고 머리가 읽은 기호가 0이면,

그 칸에 1을 쓰고, 오른쪽으로 한 칸 가고, 상태를 나로 바꾼다' 같은 규칙을 모아 둔 표입니다.

기계는 규칙표를 보고 한 걸음씩 움직이며, 그 밖의 일은 하지 않습니다. 튜링은 논문에 첫 번째 예로 0과 1을 번갈아 끝없이 쓰는 기계를 실었습니다. 이 기계는 상태 네 개와 규칙 네 줄만으로 테이프에 0, 1, 0, 1을 끝없이 써 나갑니다.

튜링은 이 기계를 '자동 기계(automatic machine)'라는 뜻에서 'a-기계'라고 불렀습니다. 지금 우리가 쓰는 '튜링 기계'라는 이름은 미국의 논리학자 알론조 처치(Alonzo Church)가 1937년 튜링의 논문을 소개하는 서평에서 처음 썼습니다.

튜링의 기계는 겉보기에 보잘것없습니다. 그러나 튜링은 사람이 규칙에 따라 할 수 있는 계산이라면 무엇이든 이 기계도 할 수 있다고 주장했습니다. 아무리 복잡한 계산도 결국 한 칸 읽기, 한 칸 쓰기, 한 칸 움직이기, 상태 바꾸기를 아주 여러 번 되풀이한 것이기 때문입니다. 뉴먼의 강의에서 뜻이 정해지지 않은 채 남아 있던 '기계적인 방법'을, 튜링은 이 기계가 할 수 있는 일로 정의한 셈입니다.

논문 제목에 나오는 '계산 가능 수'도 이 기계로 정의했습니다. 튜링은 기계가 규칙에 따라 소수점 아래 숫자를 하나씩 끝없이 써 나갈 수 있는 수를 계산 가능 수라고 불렀습니다. 원주율 π 는 3.14159...로 끝없이 이어지지만, 알맞은 규칙표를 가진 기계는 그 숫자를 하나씩 계속 써 나갑니다. 그래서 π 는 계산 가능 수입니다. 자연상수 e 도 마찬가지입니다. 그런데 튜링은 말로 설명할 수는 있어도 어떤 기계로도 소수점 아래 숫자를 써 낼 수 없는 수가 있다는 사실도 보였습니다. 계산할 수 있는 세계에 끝이 있다는 첫 신호였습니다.

1936년 4월, 튜링은 거의 완성한 원고를 뉴먼에게 보여 주었습니다. 바로 그 무렵 미국에서 소식 하나가 날아왔습니다. 프린스턴 대학교의 알론조 처치가 '람다

계산법(λ -calculus)'이라는 자신만의 방법으로 결정 문제를 풀었다는 소식이었습니다. 처치는 1936년 『미국 수학 저널(American Journal of Mathematics)』에 「초등 수론의 해결 불가능한 문제(An Unsolvable Problem of Elementary Number Theory)」를 발표해 람다 계산법으로는 풀 수 없는 수론 문제가 있음을 보였고, 같은 해 짧은 논문 「결정 문제에 관한 노트(A Note on the Entscheidungsproblem)」에서 힐베르트의 결정 문제를 직접 다루었습니다. 처치의 답도 '그런 방법은 없다'였습니다.

1년 가까이 매달린 연구에서 다른 사람이 먼저 답을 냈다는 소식에 튜링은 크게 실망했습니다. 그러나 뉴먼은 튜링의 논문을 다르게 보았습니다. 결론은 같아도 거기에 이른 길이 달랐기 때문입니다. 처치의 람다 계산법은 기호를 바꾸어 가는 추상적인 함수의 언어였습니다. 튜링의 기계는 사람이 계산하는 모습을 그대로 옮긴 것이어서, 누구라도 '기계적인 방법'이 무엇인지 눈앞에 그리듯 이해할 수 있었습니다. 뉴먼은 런던 수학회에 편지를 보내 튜링이 처치와 상관없이 혼자 연구했다고 설명하고 논문을 실어 달라고 힘써 부탁했습니다. 처치에게도 편지를 써서 튜링을 소개했습니다.

1936년 5월 28일, 런던 수학회는 튜링의 논문 「계산 가능 수와 결정 문제의 응용(On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem)」을 접수했습니다. 이때 튜링은 스물세 살이었습니다. 그해 8월 튜링은 논문 끝에 부록을 더했습니다. 자신의 기계로 계산할 수 있는 것과 처치의 람다 계산법으로 나타낼 수 있는 것이 정확히 같다는 증명이었습니다. 두 사람이 서로 다른 길로 같은 산꼭대기에 올랐다는 사실을 보인 것입니다.

런던 수학회는 1936년 11월 30일과 12월 23일 두 번에 나누어 학회지 『런던 수학회보(Proceedings of the London Mathematical Society)』 제42권

에 이 논문을 실었습니다. 분량은 모두 36쪽이었습니다. 튜링은 이듬해인 1937년 같은 학회지에 작은 실수를 바로잡는 짧은 글을 더 실었습니다.

훗날 학자들은 처치와 튜링의 생각을 묶어 '처치·튜링 명제'라고 불렀습니다. 사람이 기계적인 방법으로 계산할 수 있는 것은 모두 튜링 기계로 계산할 수 있다는 생각입니다. 컴퓨터 과학은 지금도 이 생각을 바탕으로 '계산할 수 있다'는 말의 뜻을 정합니다.

5.3. 정지 문제와 현대 컴퓨터의 원형

튜링은 논문의 제6절에서 '보편 기계(universal machine)'를 소개했습니다.

앞에서 본 튜링 기계는 기계마다 하는 일이 하나뿐이었습니다. 0과 1을 번갈아 쓰는 기계는 그 일만 하고, π 를 쓰는 기계는 π 만 씁니다. 덧셈을 하려면 덧셈 기계가, 곱셈을 하려면 곱셈 기계가 따로 있어야 합니다. 실제 세상의 계산 기계도 그랬습니다. 톱니바퀴로 움직이는 계산기는 만들 때 정한 계산만 할 수 있었습니다.

튜링은 여기서 한 걸음 더 나아갔습니다. 출발점은 어떤 튜링 기계든 그 기계의 규칙표를 결국 기호의 줄로 적을 수 있다는 사실이었습니다. 튜링은 규칙표를 문자의 줄로 바꾸는 방법을 정하고 이것을 '표준 기술(standard description)'이라고 불렀습니다. 이 줄을 다시 하나의 큰 수로 바꾼 것은 '기술 번호(description number)'라고 했습니다. 이렇게 하면 기계 하나하나가 수 하나로 바뀝니다.

규칙표를 기호로 적을 수 있다면, 그 기호를 다른 기계의 테이프에 올려놓을 수도 있습니다. 튜링은 이 점을 이용해 특별한 기계 하나를 설계했습니다. 이 기계의 테이프 앞부분에는 다른 기계의 규칙표를 기호로 적어 둡니다. 뒷부분에는 그 기계가 계산할 재료를 둡니다. 특별한 기계는 앞부분의 규칙표를 한 줄씩 읽고, 그 기계가 했을 행동을 뒷부분에서 그대로 흉내 냅니다. 테이프에 덧셈 기계의 규칙표를 넣으면 덧셈을 하고, π 기계의 규칙표를 넣으면 π 를 씁니다. 튜링은 이 기계를 '보편 계산 기계'라고 불렀고, 오늘날에는 '보편 튜링 기계'라고 부릅니다. 튜링은 논문에서 계산할 수 있는 수열이라면 무엇이든 계산하는 기계 하나를 만들 수 있다고 썼습니다.

이 생각을 오늘의 용어로 옮기면, 기계는 하나만 있으면 되고 하는 일은 프로그램이 정한다는 뜻입니다. 스마트폰 한 대가 계산기도 되고 사진기도 되고 게임기도 되는 까닭이 여기에 있습니다. 스마트폰 안의 부품을 바꾸지 않아도 앱만 바꾸면 하는 일이 달라집니다. 튜링은 전자식 범용 컴퓨터가 등장하기 전인 1936년에 이 원리를 수학적으로 제시했습니다.

보편 기계에는 눈여겨볼 점이 하나 더 있습니다. 보편 기계는 '명령'과 '재료'를 같은 기호로 같은 테이프에 함께 적습니다. 명령도 결국 데이터의 한 종류인 셈입니다. 오늘날 컴퓨터도 프로그램과 데이터를 같은 메모리에 함께 넣어 두고 일합니다. 이 방식을 '저장 프로그램 방식'이라고 합니다. 튜링의 보편 기계는 이 방식의 이론적 출발점입니다.

1936년의 튜링 기계는 실제 테이프도 머리도 없는 상상 속 기계였습니다. 하지만 이 상상은 오래지 않아 현실이 됩니다. 제2차 세계대전이 끝난 뒤인 1945년부터 1946년 사이, 튜링은 영국 국립물리연구소에서 ACE라는 전자 계산기를 설계했습니다. 1948년 6월에는 맨체스터 대학교의 '맨체스터 베이비'가 메모리에 저장한 프로그램을 처음으로 실행했습니다. 오늘날 노트북과 스마트폰, 인공지능용 컴퓨터도 프로그램을 바꾸어 여러 계산을 수행합니다. 보편 튜링 기계는 이런 계산 능력을 설명하는 이론적 모형입니다. 실제 컴퓨터의 구조와 부품 설계는 여러 연구자와 기술자가 발전시켰습니다.

다시 1936년의 논문으로 돌아가면, 보편 기계는 튜링이 결정 문제에 답하는 데 쓴 도구이기도 했습니다. 보편 기계를 손에 쥔 튜링은 이제 기계가 할 수 없는 일을 찾아 나섰습니다. 결정 문제에 '아니다'라고 답하려면 어떤 기계로도 풀 수 없는 문제를 하나 보여야 했기 때문입니다.

튜링은 먼저 기계를 두 종류로 나누었습니다. 하나는 소수점 아래 숫자를 끝없이 계속 써 나가는 기계이고, 다른 하나는 0과 1을 유한한 개수만 쓰고 더 이상 숫자

를 쓰지 못하는 기계입니다. 뒤의 기계는 도중에 아예 멈추어 버리는 경우뿐 아니라, 계속 움직이기는 하지만 숫자를 더 써 내지 못하는 경우까지 포함합니다. 튜링은 앞의 것을 '순환 없는 기계(circle-free machine)', 뒤의 것을 '순환 기계(circular machine)'라고 불렀습니다. 그리고 어떤 기계의 기술 번호를 받아서, 그 기계가 순환 없는 기계인지 순환 기계인지를 언제나 가려내는 판정 기계를 만들 수 있는지를 따졌습니다.

튜링의 답은 '만들 수 없다'였습니다. 튜링의 원래 증명은 순환 기계와 순환 없는 기계를 가르는 이 문제를 두고 꽤 복잡하게 전개됩니다. 오늘날에는 계산의 한계를 설명할 때 이와 관련된 '정지 문제(halting problem)'를 자주 사용합니다. 정지 문제는 어떤 프로그램과 입력이 주어졌을 때 그 프로그램이 언젠가 일을 마치고 멈출지, 아니면 영영 멈추지 않을지를 언제나 알려 주는 프로그램은 만들 수 없다는 내용입니다. 튜링의 논문에는 '정지 문제'라는 말이 나오지 않습니다. 정지 문제는 이후 계산 가능성 이론에서 널리 쓰이는 설명이 되었습니다.

정지 문제의 증명은 다음과 같습니다. 프로그램과 입력을 받으면 반드시 답을 내고, 실행이 멈출지 정확히 판정하는 기계가 있다고 가정합니다. 이 판정 기계를 이용해 반대로 행동하는 새 프로그램을 만듭니다. 새 프로그램은 어떤 프로그램의 번호를 받으면, 그 프로그램에 그 번호 자체를 입력할 경우 멈추는지를 판정 기계에 묻습니다. '멈춘다'는 답이 나오면 끝없이 일하고, '멈추지 않는다'는 답이 나오면 곧바로 멈춥니다. 이제 새 프로그램에 자기 자신의 번호를 넣습니다. 판정 기계가 멈춘다고 하면 새 프로그램은 멈추지 않고, 멈추지 않는다고 하면 멈춥니다. 어느 쪽이든 예측이 틀립니다. 따라서 모든 프로그램과 입력을 정확히 판정한다는 처음의 가정은 성립할 수 없습니다.

이 증명은 '나는 지금 거짓말을 하고 있다'라는 문장과 닮았습니다. 이 문장이 참이면 거짓말이 되고, 거짓이면 참말이 됩니다. 자기 자신을 가리키는 말이 모순

을 낳습니다. 튜링은 독일 수학자 게오르크 칸토어(Georg Cantor)가 무한을 연구하며 만든 '대각선 논법'을 바탕으로 이 생각을 수학적으로 다듬었습니다.

튜링은 여기서 멈추지 않았습니다. 어떤 기계가 테이프에 0을 한 번이라도 쓰는지 알아내는 문제도 기계로 풀 수 없다는 사실을 보였습니다. 그리고 이 문제를 힐베르트가 다룬 논리학의 문장으로 바꾸어 적었습니다. 결정 문제를 푸는 기계적인 방법이 있다면, 그 방법으로 '이 기계가 0을 쓰는가'라는 문제도 풀 수 있어야 합니다. 그러나 그 문제는 풀 수 없습니다. 그러므로 1차논리의 문장이 증명 가능한지를 모든 경우에 판정하는 기계적인 방법은 없습니다. 힐베르트의 결정 문제에 튜링이 내놓은 답은 '불가능하다'였습니다.

이 결과는 수학자들에게 실망만 남기지 않았습니다. 무엇을 계산할 수 없는지 아는 일은 무엇을 계산할 수 있는지 아는 일만큼 쓸모가 있습니다. 오늘날 프로그래머는 모든 프로그램의 오류를 빠짐없이 찾아내는 검사 프로그램을 만들 수 없다는 사실을 압니다. 그래서 여러 번 시험하고 점검하는 방법을 함께 씁니다. 처치와 튜링의 연구는 계산의 힘과 한계를 함께 이해하는 바탕이 되었습니다.

1936년 9월, 튜링은 배를 타고 대서양을 건너 미국 프린스턴으로 떠났습니다. 자신보다 먼저 결정 문제를 푼 알론조 처치를 만나 함께 연구하기 위해서였습니다.

제6장. 프린스턴 유학과 오라클 기계 (1936-1938)

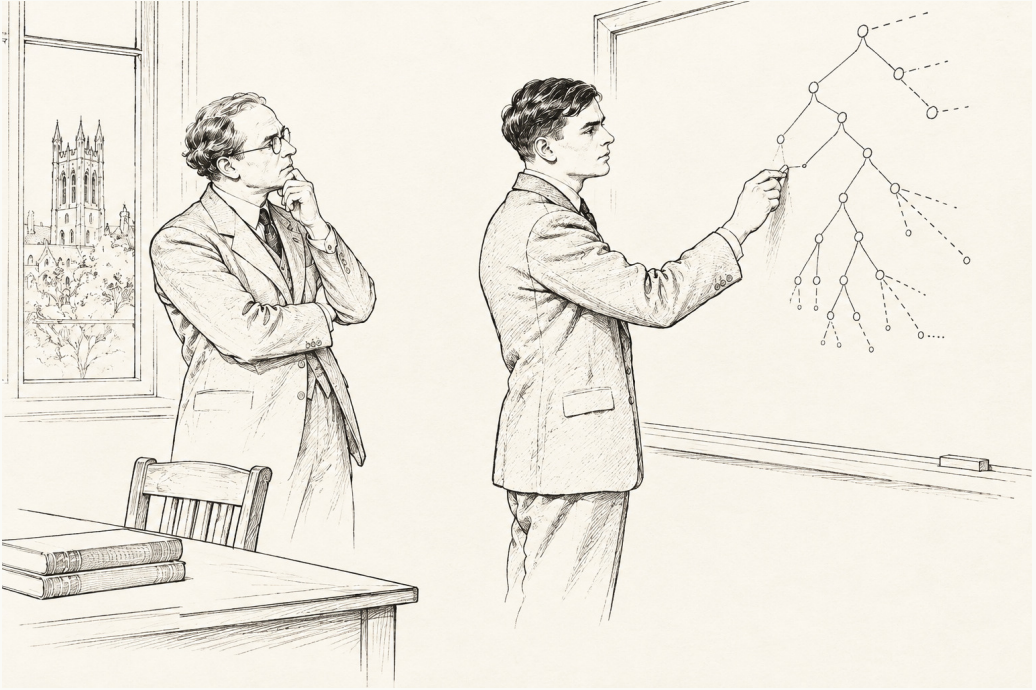


그림 6. 프린스턴에서 논리를 연구하는 모습을 재구성했습니다.

1936년 봄, 케임브리지 킹스 칼리지의 젊은 특별연구원(펠로)이었던 앨런 튜링은 머릿속으로 상상한 기계 하나로 힐베르트의 결정 문제에 답을 내놓았습니다. 그런데 거의 같은 때, 미국 프린스턴 대학교의 논리학자 알론조 처치도 전혀 다른 방법으로 같은 결론에 이르렀습니다. 튜링은 한발 늦은 셈이 되었습니다. 케임브리지에서 튜링을 가르친 맥스 뉴먼은 이 일을 오히려 기회로 보았습니다. 튜링에게는 혼자서만 연구하는 버릇이 있었는데, 같은 문제를 깊이 연구한 처치 곁에서 배우면 크게 성장할 수 있다고 생각했기 때문입니다. 뉴먼은 튜링이 프린스턴에 가서 처치에게 배울 수 있도록 주선했습니다.

당시 프린스턴은 처치 한 사람만 있는 곳이 아니었습니다. 독일에서 히틀러와 나치가 권력을 잡은 1930년대 중반, 유럽의 학문 세계에는 어두운 그림자가 드리웠습니다. 괴팅겐과 베를린, 빈에서 일하던 뛰어난 학자들이 박해를 피해 대서양을 건넜고, 이들 가운데 많은 사람이 미국 뉴저지주의 작은 대학 도시 프린스턴에 자리를 잡았습니다. 프린스턴 대학교와 새로 문을 연 고등연구소에 세계 최고의 수학자들이 모여들면서, 프린스턴은 새로운 수학의 수도가 되었습니다.

이렇게 시작된 프린스턴 유학은 1936년 9월부터 1938년 여름까지 두 해 가까이 이어졌습니다. 이 기간에 튜링은 박사학위를 받았고, 오라클 기계라는 새로운 생각을 내놓았으며, 직접 손으로 전기 기계를 만들었습니다. 그리고 마지막에는 자기 인생의 방향을 바꾸는 중요한 결정을 내렸습니다.

6.1. 처치와의 연구 및 박사학위

1936년 9월 말, 튜링은 여객선 베렝가리아호를 타고 대서양을 건넜습니다. 튜링은 배 위에서조차 가만히 있지 않았습니다. 그는 육분의라는 기구로 해와 별의 높이를 재어 배가 지금 어디쯤 가고 있는지 직접 계산했습니다. 육분이는 옛날 뱃사람들이 바다 위에서 자기 위치를 알아낼 때 쓰던 도구입니다. 튜링은 이 이야기를 어머니 사라 튜링에게 편지로 써 보냈습니다. 어릴 때부터 무엇이든 직접 만들고 확인해 보기를 좋아하던 튜링다운 모습이었습니다.

뉴욕에 도착한 튜링은 프린스턴 대학교 대학원 기숙사에 짐을 풀었습니다. 당시 프린스턴 수학과는 파인 홀이라는 건물에 있었습니다. 대학 수학과와 고등연구소가 이 건물을 함께 썼고, 오후마다 차를 마시는 시간이 열렸습니다. 학자들은 찻잔을 들고 모여 수학 문제를 두고 자유롭게 의견을 나누었습니다. 1936년 10월 6일, 튜링은 어머니에게 보낸 편지에 이곳에서 만난 학자들의 이름을 적었습니다. 존 폰 노이만, 헤르만 바일, 리하르트 쿠란트, 고드프리 하디, 알베르트 아인슈타인, 솔로몬 레프셰츠, 그리고 지도교수 알론조 처치였습니다. 교과서에 이름이 실리는 학자들이 바로 곁에 있었던 것입니다.

튜링은 처치의 지도 아래 박사과정을 시작했습니다. 두 사람은 같은 문제에 답했지만 계산을 다루는 방법은 서로 달랐습니다. 처치는 람다 계산법이라는 방법으로 계산을 연구했습니다. 람다 계산법은 기호와 규칙만으로 함수를 만들고 계산하는 방법입니다. 튜링은 테이프 위에서 칸을 하나씩 읽고 쓰는 기계를 상상해 같은 문제를 풀었습니다. 길은 달랐지만 두 사람이 도착한 곳은 같았습니다.

하지만 프린스턴 생활이 처음부터 화려하지는 않았습니다. 1936년 12월 튜링은 처치의 권유로 수학 클럽에서 자신의 논문 「계산 가능 수」에 대해 발표했습니다. 그런데 강연을 들으러 온 사람은 많지 않았습니다. 아직 튜링이라는 이름을

아는 사람이 드물었기 때문입니다. 튜링은 실망했지만 연구를 멈추지 않았습니다.

튜링의 방법이 지닌 장점을 분명히 밝힌 사람은 처치였습니다. 처치는 튜링의 방법이 훨씬 알기 쉽고 직관적이라는 점을 인정했습니다. 1937년, 처치는 튜링의 논문을 소개하는 글에서 튜링이 상상한 기계를 처음으로 튜링 기계라고 불렀습니다. 오늘날 전 세계 컴퓨터 과학 교과서에 나오는 이 이름은 이렇게 생겨났습니다.

이 무렵 수학자들은 처치의 람다 계산법, 쿠르트 괴델이 다듬은 재귀 함수, 튜링의 기계가 계산할 수 있는 범위가 모두 똑같다는 사실을 알게 되었습니다. 재귀 함수는 간단한 함수에서 출발해 정해진 규칙을 거듭 적용하여 더 복잡한 함수를 만들어 가는 방법입니다. 세 사람이 서로 다른 길로 산에 올랐는데 모두 같은 봉우리에 닿은 셈입니다. 출발점이 전혀 다른 세 가지 방법이 같은 범위에 이르렀으므로, 수학자들은 사람이 정해진 절차를 따라 계산할 수 있는 것은 모두 튜링 기계로도 계산할 수 있다고 보게 되었습니다. 이 생각을 처치·튜링 명제라고 부릅니다. 서로 다른 계산 방법을 하나의 기준으로 비교할 수 있게 된 것입니다.

튜링의 연구는 논리학에 그치지 않았습니다. 그는 수학의 다른 분야인 군론도 연구했습니다. 군론은 수나 대칭처럼 일정한 규칙으로 묶이는 대상을 다루는 분야입니다. 튜링은 그 연구 결과를 여러 편의 논문으로 발표했습니다.

첫해의 성과는 좋은 평가를 받았습니다. 프린스턴 대학교는 1937년부터 1938년까지 이어진 두 번째 해에 튜링을 제인 엘리자 프록터 방문 연구원으로 뽑았습니다. 이 자리 덕분에 튜링은 학비와 생활비 걱정 없이 연구에만 몰두할 수 있었습니다. IEEE 컴퓨터 소사이어티(IEEE Computer Society) 기록도 튜링이 1936년부터 1938년까지 두 해를 프린스턴에서 보냈고, 그 가운데 두 번째 해를 프록터 연구원으로 지내며 처치와 함께 연구했다고 적고 있습니다.

6.2. 오라클 기계와 서수 논리

튜링이 박사학위 논문에서 다룬 문제를 이해하려면 먼저 1931년으로 돌아가야 합니다. 그해 오스트리아의 젊은 수학자 쿠르트 괴델은 수학기계를 뒤흔든 사실을 증명했습니다. 자연수의 덧셈과 곱셈 같은 기본 산술을 담을 수 있고, 규칙을 기계가 하나하나 꼽아낼 수 있을 만큼 또렷하며, 그 자체에 모순이 없는 규칙 체계라면, 그 안에는 참이지만 그 규칙만으로는 증명할 수 없는 문장이 반드시 남는다는 것이었습니다. 이것을 괴델의 불완전성 정리라고 합니다.

이러한 수학 체계의 공리를 게임의 규칙서에 비유할 수 있습니다. 앞에서 설명한 조건을 갖춘 체계에서는 규칙서만으로 판정할 수 없는 문장이 남습니다. 그렇다면 그 상황을 해결하는 규칙을 하나 더 써넣는 방법을 생각할 수 있습니다. 튜링은 바로 이 방법을 깊이 연구했습니다. 증명할 수 없던 참인 문장을 새 규칙으로 덧붙이면 규칙서는 조금 더 강해집니다. 그러나 새 규칙서도 앞의 조건을 그대로 갖추고 있으므로, 그 안에 다시 증명할 수 없는 문장이 생깁니다. 그러면 그것을 또 덧붙입니다. 이렇게 규칙서를 한 단계씩 계속 키워 나가는 것입니다.

이 단계는 1, 2, 3처럼 끝없이 이어집니다. 그런데 튜링은 여기서 멈추지 않았습니다. 독일 수학자 게오르크 칸토어는 무한에도 순서를 매길 수 있다고 보았습니다. 1, 2, 3을 모두 지나간 다음에 오는 첫 번째 자리를 오메가라고 부르고, 그 다음을 오메가 더하기 1이라고 부르는 식입니다. 이렇게 무한을 넘어서까지 이어지는 순서를 초한 서수라고 합니다. 튜링은 이 서수를 따라 규칙서를 무한히 키워 가는 체계를 만들고, 이것을 서수 논리라고 불렀습니다. 그리고 이렇게 끝없이 강해지는 규칙서로 괴델이 보여 준 빈틈을 메울 수 있는지 살펴보았습니다.

결과는 완벽하지 않았습니다. 튜링은 이 방법으로도 모든 빈틈을 깔끔하게 메울 수는 없다는 점을 스스로 밝혔습니다. 하지만 그 과정에서 그는 수학자가 생각하는 방식에 대해 중요한 이야기를 남겼습니다. 튜링은 수학적 추론에 두 가지 능

력이 함께 작용한다고 보았습니다. 하나는 기교이고, 다른 하나는 직관입니다. 기교는 정해진 규칙을 따라 한 걸음씩 증명을 이어 가는 능력입니다. 이것은 튜링 기계처럼 기계가 대신할 수 있습니다. 직관은 어떤 새 규칙을 덧붙여야 할지, 어떤 문장이 참인지를 한눈에 알아보는 능력입니다. 튜링은 괴델의 정리를 생각하면 기교만으로 수학 전체를 완성할 수는 없고, 어딘가에서 직관이 필요하다고 설명했습니다. 기계와 사람의 생각이 어떻게 다른가 하는 질문은 이후 평생 튜링을 따라다니게 됩니다.

이 논문에서 오늘날 가장 널리 알려진 부분은 따로 있습니다. 바로 오라클 기계입니다. 튜링 자신은 오라클 기계를 논문 속 증명을 돕는 도구로 잠깐 썼을 뿐, 더 깊이 연구하지는 않았습니다. 오라클은 옛날 그리스 사람들이 신의 뜻을 묻던 신전의 예언자, 곧 신탁을 뜻합니다. 튜링은 보통의 튜링 기계 옆에 이런 신탁 같은 도우미가 하나 붙어 있다고 상상했습니다. 오라클은 미리 정한 종류의 질문에 정확한 답을 주는 가상의 장치입니다. 오늘날의 예로는 보통 프로그램의 정지 문제에 답하는 오라클을 생각할 수 있습니다. 프로그램과 입력을 주면 언젠가 멈추는지를 알려 준다고 가정하는 것입니다. 보통 튜링 기계로는 모든 경우에 답할 수 없는 문제를, 이런 도움이 있다면 어디까지 풀 수 있는지 살펴보려는 설정입니다.

오라클 기계가 일하는 방식은 단순합니다. 평소에는 보통 튜링 기계처럼 테이프를 읽고 쓰며 계산합니다. 그러다 규칙표에 따라 오라클에게 질문할 차례가 되면, 정해 둔 종류의 질문을 보내고 답을 받아 계산을 이어 갑니다. 오라클은 실제로 발견된 장치가 아니라 연구를 위한 가정입니다. 따라서 여기서는 답을 만드는 물리적 원리를 설명하지 않습니다.

이 상상은 수학에 새로운 길을 열었습니다. 오라클 기계 덕분에 수학자들은 새로운 질문을 던질 수 있게 되었습니다. 문제 A의 답을 알려 주는 도우미가 있다면, 그 도움으로 문제 B도 풀 수 있는지를 따질 수 있습니다. 이것을 상대적 계산 가

능성이라고 합니다. 수학 시험에 비유하면, 앞 문제의 답을 알면 뒷문제도 풀 수 있는지를 따지는 것과 비슷합니다. 이렇게 하면 문제 사이의 계산 능력을 비교할 수 있습니다. 다만 모든 문제를 한 줄로 세울 수 있는 것은 아닙니다. 서로의 답을 이용해도 상대 문제를 풀 수 없는 관계도 있습니다.

튜링은 오라클을 붙여도 계산의 한계가 사라지지 않는다는 점을 보였습니다. 현대의 정지 문제로 설명하면, 특정 오라클을 이용하는 모든 프로그램이 멈추는 지를 같은 오라클의 도움만으로 언제나 판정할 수는 없습니다. 한 종류의 도움을 더해도 그 범위를 넘어서는 문제가 남는 것입니다.

튜링이 잠깐 쓰고 지나간 이 생각을 크게 발전시킨 것은 뒷날의 학자들이었습니다. 미국의 논리학자 에밀 포스트를 비롯한 학자들의 연구에서, 문제의 어려운 정도를 단계별로 나누는 튜링 차수, 한 문제를 다른 문제로 바꾸어 푸는 튜링 환원 같은 개념이 나왔습니다. 오늘날 컴퓨터 과학자들이 문제의 어려움을 비교할 때 쓰는 방법들도 이 생각에 뿌리를 두고 있습니다.

튜링은 논문을 마치고 1938년 5월 말 런던 수학회에 보냈습니다. 그리고 1938년 6월, 프린스턴 대학교에서 박사학위를 받았습니다. 논문 제목은 『서수를 바탕으로 한 논리 체계』였습니다. 이 논문은 다듬어진 뒤 1939년 『런던 수학회보』 제45권에 68쪽 분량으로 실렸습니다.

6.3. 귀국 결정

프린스턴의 튜링은 종이와 연필만 붙들고 있지 않았습니다. 그의 관심은 논리학 바깥으로도 뻗어 있었고, 그 가운데 하나가 암호였습니다. 프린스턴에 도착한 지 얼마 되지 않은 1936년 10월 14일 편지에는 흥미로운 내용이 있습니다. 튜링은 가장 일반적인 형태의 암호란 무엇인지 궁금해했고, 남이 풀기는 어렵지만 빠르게 만들 수 있는 암호를 구상하고 있다고 부모에게 알렸습니다. 이때만 해도 이 관심이 몇 년 뒤 튜링을 전쟁의 한가운데로 이끌게 되리라고는 아무도 몰랐습니다.

튜링은 구상을 종이 위에만 두지 않았습니다. 그는 어릴 때부터 만년필을 고치고 화학 실험 도구를 직접 만들던 아이였습니다. 프린스턴에서도 그 버릇은 그대로였습니다. 튜링은 물리학과 기계 작업장을 빌려 스위치로 쓸 릴레이를 직접 만들었습니다.

릴레이는 당시 전화 교환기에 쓰이던 전기 스위치입니다. 전기가 흐르면 작은 전자석이 금속 조각을 끌어당겨 회로를 잇고, 전기가 끊기면 금속 조각이 떨어지면서 회로도 끊어집니다. 켜짐과 꺼짐, 두 가지 상태만 있습니다. 튜링은 이 두 상태를 숫자 1과 0으로 볼 수 있다는 점에 주목했습니다. 0과 1 두 숫자만으로 모든 수를 나타내는 방법을 이진법이라고 합니다. 튜링은 릴레이를 전선으로 잇고 납땜해서 이진법으로 곱셈을 하는 기계를 만들기 시작했습니다. 그는 전체 기계 가운데 서너 단계를 실제로 완성했습니다. 전기(傳記) 작가 앤드루 호지스는 이 곱셈기가 큰 수를 곱해 암호를 만드는 튜링의 구상과 이어져 있었다고 설명합니다. 튜링은 추상적인 계산 연구와 함께 실제 계산 장치를 만드는 실험도 진행한 것입니다.

이 무렵 튜링은 수학의 오래된 수수께끼인 리만 가설에도 관심을 두었습니다. 리만 가설은 소수가 어떤 규칙으로 흩어져 있는지와 관련된 문제입니다. 소수는 1

보다 큰 자연수 가운데 1과 자기 자신으로만 나누어지는 수이며, 리만 가설은 지금까지도 풀리지 않았습니다. 튜링은 이 문제와 관련된 계산을 톱니바퀴로 하는 기계를 떠올렸고, 영국에 돌아간 뒤인 1939년에 실제로 설계도를 그리고 톱니바퀴를 깎기 시작했습니다. 이 기계는 전쟁이 터지면서 완성되지 못했습니다.

프린스턴에서 튜링의 연구를 눈여겨본 사람 가운데에는 존 폰 노이만이 있었습니다. 폰 노이만은 헝가리 출신의 수학자로, 훗날 현대 컴퓨터의 구조를 정리한 사람으로 이름을 남깁니다. 두 사람은 1935년 케임브리지에서 처음 만났고, 튜링은 프린스턴에서 폰 노이만과 다시 인연을 이었습니다. 그는 튜링이 자신의 주된 연구 분야인 연속군 이론에서도 새로운 결과를 낸 것을 눈여겨보았습니다.

1938년, 튜링이 박사과정을 마칠 무렵 폰 노이만은 그에게 한 가지 제안을 했습니다. 프린스턴 고등연구소에서 자기 연구 조수로 일하며 미국에 남으라는 것이었습니다. 넉넉한 연구 환경과 세계적인 학자들과의 공동 연구, 그리고 안정된 미래가 기다리는 자리였습니다. 튜링의 아버지 줄리어스 튜링도 아들이 위험해지는 유럽을 떠나 미국에 자리 잡기를 바랐습니다.

그러나 튜링은 이 제안을 거절했습니다. 1938년 5월 17일, 그는 어머니에게 보낸 편지에서 폰 노이만 교수의 조수 자리를 제안받았지만 거절했고 케임브리지로 돌아가기로 했다고 알렸습니다.

튜링이 돌아가기로 한 데에는 몇 가지 까닭이 있었습니다. 먼저 유럽의 정세가 빠르게 나빠지고 있었습니다. 1938년 3월 히틀러는 오스트리아를 독일에 합쳤고, 곧이어 체코슬로바키아를 위협했습니다. 많은 사람이 큰 전쟁이 다가오고 있다고 느꼈습니다.

다음으로 케임브리지 킹스 칼리지는 튜링의 학문적 고향이었습니다. 킹스 칼리지는 자유로운 분위기 속에서 튜링이 있는 그대로의 자신으로 지낼 수 있게 해 준

곳이었습니다. 1938년 봄, 킹스 칼리지는 튜링의 펠로 자격을 연장해 주었습니다. 프린스턴 동문회지는 튜링이 고향을 그리워했다는 점도 함께 전합니다. 한전기 사전은 튜링이 케임브리지에 강사 자리가 없었는데도 돌아가는 쪽을 택했다고 적고 있습니다.

1938년 여름, 튜링은 박사학위를 받아 들고 케임브리지로 돌아왔습니다. 그를 기다린 것은 수학 강의실만이 아니었습니다. 영국 정부의 비밀 암호 기관인 정부 암호학교가 다가오는 독일과의 전쟁에 대비해 튜링을 불렀습니다. 튜링은 귀국한 뒤 이곳에서 암호 해독 강습을 받고, 아무에게도 알리지 않은 채 일을 돕기 시작했습니다. 프린스턴에서 편지에 적었던 암호에 대한 호기심이 이제 나라의 운명이 걸린 일로 바뀌려 하고 있었습니다.

프린스턴에서 보낸 두 해 동안 튜링은 논리학 연구와 계산 장치 실험을 함께 진행했습니다. 처치 곁에서 쓴 박사학위 논문과 오라클 기계는 계산할 수 있는 것과 없는 것 사이에 수많은 단계가 있다는 사실을 보여 주었습니다. 물리학과 작업장에서 손수 만든 릴레이 곱셈기는 머릿속 기계를 현실의 기계로 옮기는 첫걸음이었습니다. 그리고 폰 노이만의 제안을 뒤로하고 영국으로 돌아온 결정은 튜링을 블레츨리 파크로, 에니그마 암호와의 싸움으로 이끌었습니다.

제7장. 블레츨리 파크 입성과 암호 전쟁의 시작 (1938-1940)



그림 7. 블레츨리 파크로 모인 연구자들을 그린 삽화입니다.

미국 프린스턴 대학교에서 박사 학위를 받은 앨런 튜링은 1938년 여름 영국으로 돌아왔습니다. 스물여섯 살이던 그는 케임브리지 대학교 킹스 칼리지의 펠로였습니다. 펠로는 대학에 머물며 연구하고 학생을 가르치는 학자를 말합니다.

그가 돌아온 유럽에는 전쟁의 기운이 짙게 깔려 있었습니다. 독일의 지도자 히틀러는 그해 봄 오스트리아를 독일에 합쳤고, 이어서 체코슬로바키아의 땅까지 요구했습니다. 9월에 영국과 프랑스는 독일 뮌헨에서 히틀러와 협정을 맺고 체코슬로바키아 땅의 일부를 독일에 넘겨주기로 했습니다. 전쟁을 피하려는 선택이었지만, 많은 사람은 큰 전쟁이 머지않았다고 느꼈습니다.

이 무렵 튜링이 하는 일에도 변화가 생겼습니다. 그때까지 그는 칠판 앞에서 수식을 쓰고 상상 속의 기계를 연구하던 조용한 수학자였습니다. 그런데 영국 정부가 그에게 적의 암호를 푸는 일을 맡기려 했고, 튜링은 아무에게도 말할 수 없는 비밀 임무를 맡게 됩니다. 그 임무는 정부의 암호 기관이 전쟁에 대비해 사람과 장소를 준비하는 과정에서 시작되었습니다.

7.1. 정부암호학교의 부름

전쟁에서 이기려면 적이 무엇을 하려는지 먼저 알아야 합니다. 20세기에 들어 군대는 무선 통신으로 명령을 주고받았습니다. 전파는 누구나 엿들을 수 있으므로, 군대는 메시지를 암호로 바꾸어 보냈습니다. 상대방은 그 암호를 풀어야 적의 계획을 알 수 있었습니다. 눈에 보이지 않는 곳에서 벌어지는 이런 싸움을 암호 전쟁이라고 부릅니다.

영국에서 이 일을 맡은 곳은 정부암호학교였습니다. 영어 이름은 Government Code and Cypher School이고, 줄여서 GC&CS라고 씁니다. 이름에 학교라는 말이 들어 있지만 학생을 가르치는 곳이 아니라, 다른 나라의 암호를 몰래 풀어내는 정보기관이었습니다. 오늘날 영국의 정보기관인 정부통신본부(GCHQ)의 전신입니다. 이 기관은 1919년에 생겼고, 해군 장교 출신인 앨러스테어 데니스턴이 오랫동안 실무 책임자로 일했습니다.

전쟁이 다가오자 정부암호학교는 두 가지를 준비해야 했습니다. 하나는 새로운 암호에 맞설 사람이었고, 다른 하나는 전쟁 중에도 안전하게 일할 장소였습니다.

먼저 사람의 문제입니다. 그 무렵 정부암호학교의 암호 해독가는 대부분 고전 언어학자였습니다. 라틴어와 그리스어 같은 옛 언어를 연구한 사람들로, 낱말과 문장의 뜻을 짐작하는 데 뛰어났습니다. 그런데 독일군은 에니그마라는 암호 기계를 쓰고 있었습니다. 사람이 종이와 연필로 만든 암호와 달리, 에니그마는 전기 회로와 바퀴로 글자를 수없이 뒤섞었습니다. 데니스턴은 언어 실력만으로는 이 기계를 이길 수 없다고 판단했습니다. 그는 전쟁이 나면 곧바로 부를 사람들의 비상 명단을 만들었습니다. 명단에는 케임브리지와 옥스퍼드의 수학자, 논리학자, 체스 실력자가 올랐습니다. 데니스턴은 이들을 '교수 같은 사람들'이라고 불렀습니다. 영국이 수학자를 이렇게 많이 암호 해독에 불러 모은 것은 그전에 드문 일이었습니다.

튜링은 1938년에 정부암호학교에 뽑혔습니다. 그는 정부암호학교가 마련한 특별 교육 과정에 참여했습니다. 평소에는 케임브리지에서 연구를 계속하면서, 가끔 런던에 있는 본부를 찾아가 암호 전문가들과 의논했습니다. 튜링에게 암호는 낯선 분야가 아니었습니다. 그는 학생 시절부터 암호와 기호에 관심이 많았습니다. 프린스턴에서는 전기 스위치로 곱셈을 하는 작은 기계를 직접 만들어 보기도 했습니다. 1936년에 발표한 논문에서는 규칙에 따라 기호를 읽고 쓰는 상상의 기계를 생각해 냈습니다. 기계와 기호와 규칙을 한꺼번에 다룰 줄 아는 그의 능력은 에니그마와 싸우기에 알맞았습니다.

다음은 장소의 문제입니다. 전쟁이 나면 런던은 폭격을 받을 수 있었으므로, 암호 기관을 안전한 시골로 옮길 곳이 필요했습니다. 1938년 5월, 영국 비밀정보부(MI6)의 수장 휴 싱클레어 제독은 런던 북서쪽 버킹엄셔에 있는 시골 저택과 땅을 사들였습니다. 정부가 예산이 없다고 하자, 그는 자기 돈 6,000파운드를 냈습니다. 저택의 이름은 블레츨리 파크였습니다. 블레츨리는 옥스퍼드와 케임브리지 사이에 있고 기차역과 큰 도로가 가까워서, 두 대학의 학자들을 불러 모으기 좋았습니다.

같은 해 가을, 정보기관과 정부암호학교 사람들이 블레츨리 파크에 모였습니다. 이들은 정체를 숨기려고 자신들을 '리틀리 대위의 사냥 모임'이라고 불렀고, 런던의 고급 호텔 요리사까지 데려와 주말을 즐기러 온 손님처럼 꾸몄습니다. 뮌헨 위기가 한창이던 때, 이들은 이곳에서 실제로 암호 업무를 해 보며 전쟁에 대비했습니다. 사람들은 나중에 블레츨리 파크를 '스테이션 X'라는 암호명으로도 불렀습니다. 여기서 X는 알파벳 엑스가 아니라 로마 숫자 10을 뜻합니다.

이렇게 준비한 사람과 장소는 1939년 늦여름에 실제로 쓰이게 되었습니다. 정부암호학교는 8월 15일 런던을 떠나 블레츨리 파크로 옮겨 왔습니다. 9월 1일에는 독일군이 폴란드를 침공했고, 이틀 뒤인 9월 3일 영국은 독일에 전쟁을 선포했습니다. 제2차 세계대전이 터진 것입니다. 튜링은 선전포고 바로 다음 날인

1939년 9월 4일 블레츨리 파크에 나와 일을 시작했습니다. 그는 블레츨리 서쪽의 작은 마을 셴리 브룩 엔드에 있는 '크라운 여관'에 방을 얻었고, 1944년 여름까지 그곳에서 지냈습니다.

블레츨리 파크에 온 사람은 모두 '공직 비밀 엄수법'에 따른 서약서에 서명했습니다. 이곳에서 보고 들은 일을 가족에게도 말하지 않겠다는 약속이었습니다. 튜링은 이 약속을 끝까지 지켰습니다. 그래서 그가 전쟁 동안 한 일은 그가 세상을 떠나고 20년쯤 지난 1970년대에 와서야 조금씩 세상에 드러났습니다.

7.2. 딜리 녹스와 폴란드 암호국이 남긴 선물

블레츨리 파크에 온 튜링은 딜리 녹스가 이끄는 에니그마 연구반에 들어갔습니다. 녹스의 본명은 앨프리드 딜윈 녹스입니다. 그는 튜링과 같은 킹스 칼리지에서 고대 그리스 문학을 공부한 학자였고, 제1차 세계대전 때부터 적의 암호를 풀어 온 노련한 전문가였습니다. 1937년 스페인 내전 때는 이탈리아 해군이 쓰던 에니그마를 풀어 이름을 날렸습니다. 다만 그 기계는 군용 에니그마보다 구조가 간단한 상업용 모델이었습니다.

녹스의 연구반은 저택 뒤편 마구간 마당에 있는 작은 오두막에서 일했습니다. 녹스와 함께 존 제프리스, 앨런 튜링, 피터 트윈이 이곳에 자리를 잡았습니다. 사람들은 이 건물을 그냥 '코티지', 곧 오두막이라고 불렀습니다. 튜링은 1939년 겨울부터 이듬해 초까지 이 오두막에서 에니그마와 씨름했습니다. 녹스는 얼마 지나지 않아 튜링이 아이디어를 끊임없이 내놓는다고 보고했습니다.

이들이 상대한 에니그마는 겉으로 보면 타자기처럼 생겼습니다. 자판의 글자 하나를 누르면 전기가 기계 속을 지나가고, 위쪽 램프판에서 다른 글자 하나에 불이 켜집니다. 기계 안에는 '회전자'라고 부르는 바퀴 세 개가 들어 있었습니다. 회전자 속에는 전선이 복잡하게 얽혀 있어서 글자를 다른 글자로 바꾸었습니다. 글자를 누를 때마다 오른쪽 회전자가 움직이고, 다른 회전자도 정해진 조건에 따라 돌아갑니다. 그에 따라 글자를 바꾸는 배선 상태가 달라지므로 같은 A를 반복해 눌러도 서로 다른 글자가 나올 수 있습니다. 회전자 끝에는 '반사판'이 있어 전기를 다시 되돌려 보냈습니다. 군용 에니그마에는 '플러그보드'라는 장치가 하나 더 붙어 있었습니다. 전선을 꽂아 두 글자를 서로 맞바꾸는 판입니다.

암호를 풀기 어려운 까닭은 기계의 구조보다 설정에 있었습니다. 독일군 통신병은 매일 정해진 설정에 맞추어 기계를 준비했습니다. 어떤 회전자를 어떤 순서로 넣을지, 회전자를 어느 글자에 맞출지, 플러그보드의 어느 구멍을 이을지를 날

마다 바꾸었습니다. 1939년 무렵 이렇게 고를 수 있는 경우의 수는 약 1해5,900경 가지였습니다. 숫자 159 뒤에 0이 18개 붙는 수로, 1억에 1조를 곱한것보다 큼니다. 사람이 하나씩 시험해서는 수백만 년이 걸려도 끝낼 수 없는 양이었습니다. 독일군이 에니그마를 깨지지 않는 기계라고 믿은 까닭이 여기에 있었습니다.

그런데 이 기계를 처음 이긴 사람들은 영국인이 아니라 폴란드인이었습니다. 폴란드는 독일과 국경을 맞댄 나라였기 때문에 독일군의 움직임을 누구보다 걱정했습니다. 폴란드 암호국은 포즈난 대학교에서 수학을 공부한 젊은이 세 명을 뽑았습니다. 마리안 레예프스키, 예지 루지츠키, 헨리크 지갈스키입니다. 레예프스키는 1932년 가을 바르샤바에서 독일군의 군용 에니그마를 연구하는 일을 맡았고, 그해 12월에 중요한 해독 성과를 냈습니다. 그는 '순열'이라는 수학 이론을 써서 회전자 속 배선을 알아냈습니다. 순열은 여러 대상을 일정한 순서로 늘어놓는 방법을 다루는 수학 개념입니다. 프랑스 정보기관이 독일 암호 부서 안의 정보원에게서 얻어 낸 문서도 큰 도움이 되었습니다. 폴란드는 이를 바탕으로 에니그마를 똑같이 본뜬 복제 기계까지 만들었습니다.

폴란드 팀은 그 뒤 여러 해 동안 독일군의 암호를 읽었고, 해독을 돕는 도구도 직접 만들었습니다. 1938년 가을에는 해독 작업을 돕는 전기 기계를 만들었는데, 이 기계의 이름이 '봄바'였습니다. 폴란드 말로 폭탄이라는 뜻입니다. 이런 이름이 붙은 까닭을 두고는 여러 이야기가 전합니다. 지갈스키는 구멍을 뚫은 종이 카드를 여러 장 겹쳐 맞추는 방법을 고안했습니다. 사람들은 이를 '지갈스키 시트'라고 불렀습니다.

하지만 독일군도 가만히 있지 않았습니다. 1938년 12월, 독일군은 쓸 수 있는 회전자를 세 개에서 다섯 개로 늘렸습니다. 기계에 넣는 회전자는 여전히 세 개였지만, 다섯 개 가운데 세 개를 골라 순서를 정해야 했습니다. 그래서 회전자를 넣는 방법이 6가지에서 60가지로 열 배가 되었습니다. 1939년 1월에는 플러그보드에 꽂는 전선 수도 늘렸습니다. 폴란드 팀이 이를 따라잡으려면 봄바를 지금보

다 열 배 더 만들어야 했습니다. 작은 나라의 예산과 인력으로는 감당하기 어려운 일이었습니다.

전쟁이 다가오자 폴란드는 큰 결심을 했습니다. 1939년 7월 25일과 26일, 폴란드와 프랑스와 영국의 암호 전문가들이 바르샤바 근처에서 만났습니다. 만남의 장소는 바르샤바 남쪽 피리 숲속에 있는 폴란드 암호국의 비밀 시설이었습니다. 영국에서는 정부암호학교의 책임자 데니스턴과 에니그마 연구를 이끌던 녹스가 참석했습니다. 폴란드는 그동안 이론 성과를 숨김없이 보여 주었습니다. 회전자 배선, 봄바의 설계, 지갈스키 시트의 원리를 모두 알려 주었습니다. 그리고 복제 한 에니그마를 영국과 프랑스에 한 대씩 넘겨주었습니다.

영국과 프랑스 대표들은 이 자리에서 폴란드가 자신들보다 훨씬 앞서 있다는 사실을 알게 되었습니다. 폴란드는 이미 많은 독일군 메시지를 읽었을 뿐 아니라, 암호 해독을 돕는 전기 기계까지 직접 설계하고 만들어 냈습니다. 영국 몫의 복제 기계는 8월 중순 프랑스 정보 장교 귀스타브 베르트랑의 손을 거쳐 런던에 도착했습니다. 독일이 폴란드를 침공하기 두 주쯤 전이었습니다.

블레츨리 파크의 오두막에서 튜링은 폴란드가 넘겨준 자료를 꼼꼼히 공부했습니다. 그는 레예프스키의 수학 실력을 높이 평가했습니다. 동시에 폴란드 방법에 숨은 약점도 찾아냈습니다. 당시 독일군 통신병은 메시지 맨 앞에 회전자의 시작 위치를 나타내는 글자 세 개를 두 번 연달아 쳤습니다. 받는 쪽이 실수 없이 알아듣게 하려는 습관이었습니다. 폴란드의 봄바와 지갈스키 시트는 이 반복에서 생기는 규칙을 실마리로 삼았습니다. 튜링은 독일군이 이 습관을 버리면 폴란드식 방법은 더 이상 쓸 수 없다고 내다보았습니다. 그의 예상은 맞았습니다. 독일군은 1940년 5월에 이 반복을 없앴습니다.

그래서 튜링은 메시지 앞부분의 반복에 기대지 않는 다른 길을 찾았습니다. 그는 암호문 속에 들어 있을 법한 낱말에 눈을 돌렸습니다. 독일군의 메시지에는 낱

마다 비슷한 표현이 되풀이되었습니다. 날씨를 알리는 낱말, 부대 이름, '보고할 것 없음' 같은 문구가 그 예입니다. 암호 해독가들은 이렇게 미리 짐작할 수 있는 원래 문장 조각을 '크립'이라고 불렀습니다. 크립과 암호문을 나란히 놓고 따져 보면, 많은 기계 설정이 앞뒤가 맞지 않아 후보에서 빠집니다. 튜링은 이 모순 찾기를 사람 대신 기계가 빠르게 해내도록 하고 싶었습니다. 크립을 쓰는 방법은 독일군이 메시지 앞부분을 어떻게 바꾸든 계속 쓸 수 있었습니다.

튜링은 1939년 가을부터 연말까지 이런 기계의 설계를 다듬었습니다. 그는 폴란드의 봄바를 기리는 뜻을 담아 새 기계를 '봄브'라고 불렀습니다.

그사이 폴란드 암호 팀은 나라를 떠나 있었습니다. 전쟁이 터지자 이들은 루마니아를 거쳐 프랑스로 피신했고, 파리에서 남동쪽으로 약 40킬로미터 떨어진 비밀 기지에서 프랑스와 함께 에니그마 해독을 이어 갔습니다. 튜링은 1940년 1월 파리에서 폴란드 암호 전문가들을 직접 만났고, 이 만남에서 자신의 연구를 한 걸음 더 밀고 나갈 실마리를 얻었습니다.

봄브의 설계도는 영국 태블레이팅 머신 회사(BTM)의 기술자 해럴드 킨에게 넘어갔습니다. 동료들이 '닥'이라는 별명으로 부르던 사람입니다. 첫 번째 봄브는 1940년 3월 블레츨리 파크에 들어왔고, 사람들은 이 기계에 '빅토리', 곧 승리라는 이름을 붙였습니다.

7.3. 블레츨리 파크의 괴짜 교수님

전쟁이 이어지면서 블레츨리 파크에서 일하는 사람은 빠르게 늘었습니다. 1939년 9월에는 수십 명이었지만, 전쟁이 끝날 무렵에는 거의 1만 명이 이곳에서 일했습니다. 수학자와 언어학자, 체스 선수, 십자말풀이 고수, 기계 기술자, 그리고 수많은 여성 직원이 함께 일했습니다.

이 많은 사람 가운데에서도 튜링은 쉽게 눈에 띄었습니다. 동료들은 그를 '프로프'라고 불렀습니다. 교수를 뜻하는 영어 낱말 '프로페서'를 줄인 별명입니다. 튜링은 정식 교수가 아니었지만, 늘 생각에 잠겨 있는 학자다운 모습 때문에 이 별명을 얻었습니다. 그는 남들이 어떻게 볼지보다 무엇이 합리적인지를 먼저 따졌습니다. 동료들과 전기 작가들이 전하는 몇 가지 이야기가 그의 이런 성격을 잘 보여 줍니다.

첫째는 방독면 이야기입니다. 튜링은 꽃가루 알레르기가 심했습니다. 해마다 6월이 되면 콧물과 재채기로 고생했습니다. 그는 자전거로 출퇴근하면서 꽃가루를 막으려고 방독면을 썼습니다. 전쟁 중이라 모든 사람이 독가스 공격에 대비해 방독면을 하나씩 받아 두었는데, 튜링은 이것을 꽃가루 마스크로 쓴 것입니다. 방독면을 쓰고 시골길을 달리는 그를 본 마을 사람들이 무슨 일이 생긴 줄 알고 놀랐다는 이야기도 전합니다.

둘째는 자전거 체인 이야기입니다. 튜링의 자전거는 체인이 자꾸 빠지는 고장이 있었습니다. 보통 사람이라면 수리점에 맡기거나 체인을 새로 갈았을 것입니다. 튜링은 먼저 체인이 빠지는 규칙을 찾았습니다. 페달을 몇 바퀴 돌리면 체인이 빠지는지 세어 본 것입니다. 그 뒤로는 페달을 돌린 횟수를 마음속으로 세다가, 체인이 빠지기 직전에 자전거에서 내려 체인을 손보고 다시 탔습니다. 나중에는 페달이 돈 횟수를 세어 주는 작은 장치를 자전거에 달았다는 이야기도 전합니다.

고장 하나를 두고도 주기와 규칙부터 찾으려 한 그의 습관이 잘 드러나는 일화입니다.

셋째는 머그잔 이야기입니다. 블레츨리 파크에서는 차를 마실 때 쓰는 머그잔이 자주 없어졌습니다. 튜링은 자기 잔을 지키려고 손잡이에 자물쇠를 채우고, 사슬로 라디에이터 관에 묶어 두었습니다. 라디에이터는 뜨거운 물을 흘려보내 방을 데우는 난방기입니다. 잔 하나를 지키려고 사슬과 자물쇠까지 동원한 모습은 동료들의 기억에 오래 남았습니다.

넷째는 달리기 이야기입니다. 튜링은 장거리 달리를 즐겼습니다. 일에 지치거나 생각이 복잡할 때면 블레츨리 주변 시골길을 오래 달렸습니다. 블레츨리 파크에서 런던까지 약 64킬로미터(40마일)를 달려 회의에 간 적도 있다고 전합니다. 전쟁이 끝난 뒤에는 마라톤 대회에 나갈 만큼 실력을 키웠습니다.

이런 이야기만 들으면 튜링이 엉뚱한 사람처럼 보일 수 있습니다. 하지만 그의 행동에는 늘 나름의 이유가 있었습니다. 방독면이 꽃가루를 막아 준다면 쓰고, 체인이 빠지는 주기를 알면 거기에 맞추어 움직였습니다. 남의 눈보다 원리를 먼저 생각하는 이 태도는 에니그마를 대할 때도 그대로 이어졌습니다. 다른 사람들이 깨지지 않는 기계라고 말할 때, 튜링은 그 기계가 따르는 규칙과 약점을 차분히 찾았습니다.

블레츨리 파크는 이런 괴짜를 받아들인 곳이었습니다. 이곳에서는 옷차림이나 예절보다 실력과 아이디어가 앞섰습니다. 녹스 역시 독특한 행동으로 이름난 사람이었고, 블레츨리 파크에는 저마다 개성이 강한 사람이 많았습니다. 튜링은 이런 분위기 속에서 마음껏 생각하고 계산하며 자기 능력을 펼칠 수 있었습니다.

1938년 여름부터 1939년 겨울 사이에 튜링의 삶은 크게 바뀌었습니다. 종이 위의 상상 속 기계를 연구하던 수학자가 진짜 기계와 맞서는 암호 해독가가 되었습니다.

니다. 그가 혼자 이 길을 연 것은 아닙니다. 앞길을 닦아 준 폴란드 수학자들이 있었고, 오랜 경험을 나누어 준 녹스가 있었으며, 수학자의 힘을 알아보고 불러들인 데니스턴이 있었습니다. 튜링은 이들에게서 받은 것을 바탕으로 더 넓고 튼튼한 방법을 세웠습니다. 그 결과물이 봄브였습니다.

제8장. 암호해독기 봄브의 설계와 활약 (1939~1941)

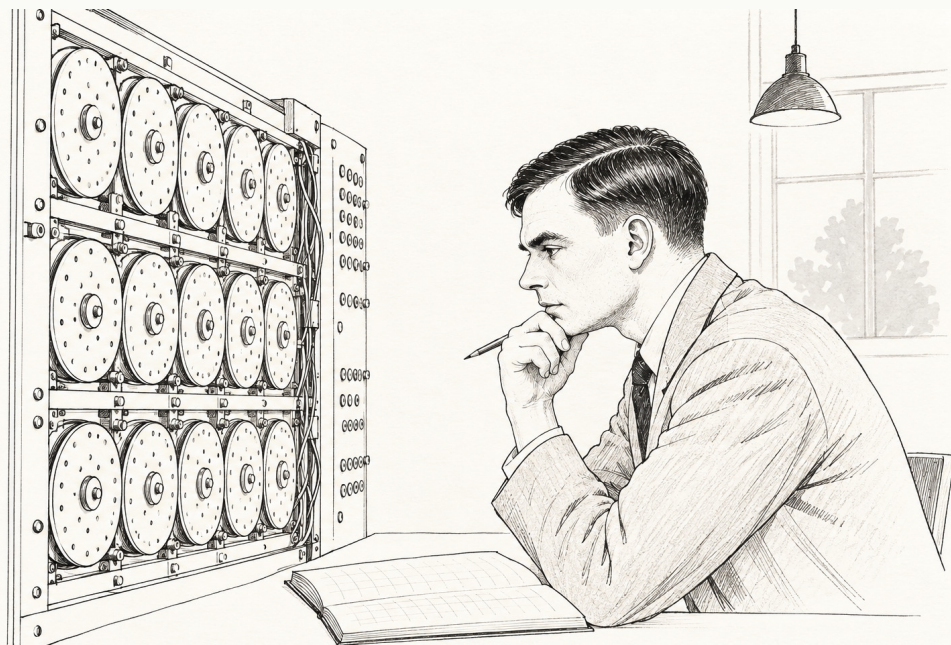


그림 8. 봄브를 이용한 암호 해독 연구를 표현했습니다.

1939년 9월 3일, 영국은 독일에 전쟁을 선포하며 제2차 세계대전에 참전했습니다. 런던 북서쪽 버킹엄셔에 자리한 오래된 저택 블레츨리 파크는 이날부터 총소리가 나지 않는 전쟁터가 되었습니다. 이곳에 모인 사람들은 총 대신 연필과 종이, 그리고 머리로 싸웠습니다.

상대는 독일군의 암호 기계 에니그마였습니다. 에니그마는 타자기처럼 생긴 나무 상자입니다. 자판을 누르면 전기가 회전자라는 둥근 바퀴 세 개와 앞쪽 플러그보드의 전선을 지나면서 다른 글자로 바뀌고, 위쪽 램프판에서 그 글자의 불이

켜집니다. 글자 하나를 칠 때마다 회전자가 한 칸씩 돌아가기 때문에, 같은 A를 두 번 눌러도 매번 다른 글자가 나옵니다.

게다가 독일군은 날마다 기계의 설정을 바꾸었습니다. 어떤 회전을 어떤 순서로 끼울지, 회전을 어느 글자 위치에서 출발시킬지, 플러그보드 전선으로 어떤 글자끼리 짝을 지을지를 모두 새로 정했습니다. 회전자 5개 가운데 3개를 고르고 전선 10개를 꽂는 방식으로 계산하면, 가능한 설정은 약 1해 5,900경 가지에 이릅니다. 사람이 하나씩 손으로 확인한다면 몇 사람이 평생을 바쳐도 끝낼 수 없는 숫자입니다. 독일군이 에니그마를 아무도 풀 수 없는 기계라고 믿은 까닭이 여기에 있었습니다.

스물일곱 살의 앨런 튜링은 생각이 달랐습니다. 기계가 만든 수수께끼라면 기계로 풀 수 있다고 보았습니다. 튜링은 3년 전 논문 「계산 가능 수」에서 모든 계산을 아주 간단한 기계 동작의 연속으로 설명한 바 있었습니다. 이제는 그 생각을 종이 위가 아니라 쇠와 전선으로 옮길 차례였습니다.

8.1. 전기기계식 암호해독기 설계

폴란드의 봄바에서 출발하다

튜링이 블레츨리 파크에서 처음 맞닥뜨린 일은 폴란드가 건네준 기술을 살펴보는 것이었습니다. 전쟁이 터지기 직전인 1939년 7월, 영국과 프랑스의 암호 전문가들은 폴란드 바르샤바 근처 피리 숲속의 비밀 기지에 모였습니다. 폴란드 암호국은 이 자리에서 자신들이 몇 해 동안 에니그마를 풀어 온 방법과 복제 기계를 내놓았습니다.

그 중심에는 폴란드 수학자 마리안 레예프스키가 있었습니다. 레예프스키는 1938년 가을, 전기 모터로 돌아가는 해독 장치를 만들고 '봄바'라는 이름을 붙였습니다. 봄바는 독일군 통신병의 습관 하나를 파고들었습니다. 당시 독일군은 메시지를 보낼 때 그 메시지에 쓸 키 세 글자를 앞머리에 두 번 연달아 쳐서 보냈습니다. 받는 쪽이 실수 없이 알아듣게 하려는 것이었습니다. 예를 들어 키가 DKV 라면 DKV DKV를 암호로 바꾸어 보냈습니다. 같은 글자를 두 번 보내면 그 사이에 규칙이 드러나는데, 봄바는 이 틈을 이용했습니다.

튜링은 이 방법의 약점을 바로 알아보았습니다. 봄바는 독일군의 습관 하나에 기대고 있었으므로, 독일군이 습관을 바꾸면 쓸모가 없어집니다. 독일군이 방식을 바꾸어 폴란드의 해독을 어렵게 만든 일은 이미 있었습니다. 1938년 12월 독일군이 회전자 종류를 3개에서 5개로 늘리자 고를 수 있는 경우가 크게 늘어났고, 폴란드 방식으로서는 기계를 몇 배나 더 만들어야 했습니다. 그리고 실제로 독일군은 1940년 5월 1일부터 대부분의 통신망에서 키를 두 번 보내는 일을 그만두었습니다.

크립이라는 새로운 열쇠

튜링은 독일군의 습관이 바뀌어도 쓸 수 있는 방법을 찾았습니다. 암호문 속에 분명히 들어 있을 낱말을 미리 짐작하는 방법입니다. 블레츨리 파크 사람들은 이렇게 짐작한 낱말을 '크립'이라고 불렀습니다. 크립은 원래 영국 학생들이 시험 때 몰래 들여다보는 쪽지를 가리키는 말입니다.

크립을 짐작할 수 있었던 것은 독일군의 보고문에 늘 비슷한 낱말이 들어갔기 때문입니다. 매일 아침 같은 시각에 보내는 날씨 보고에는 날씨를 뜻하는 독일어 WETTER가 거의 빠지지 않았습니다. 튜링은 이런 낱말과 실제 암호문을 한 글자씩 짝지어 놓고, 그 짝들 사이의 관계를 따라가면 기계의 설정을 거꾸로 찾아낼 수 있다고 보았습니다.

에니그마의 두 가지 약점

이 방법에서 튜링이 기댄 것은 에니그마가 지닌 두 가지 성질이었습니다.

첫째, 에니그마에서는 어떤 글자도 자기 자신으로 바뀌지 않습니다. 기계 안쪽 끝에 있는 반사판이 전기를 반드시 다른 글자 길로 돌려보내기 때문입니다. A를 누르면 A만 빼고 나머지 25개 글자 가운데 하나에 불이 켜집니다. 그래서 크립을 암호문 위에 겹쳐 놓았을 때 같은 자리에 같은 글자가 나오면, 그 자리는 틀린 자리입니다. 암호해독가들은 크립을 한 칸씩 옆으로 옮겨 가며 이런 자리를 지워 나갔습니다.

둘째, 플러그보드의 전선은 양쪽으로 똑같이 작동합니다. A와 E를 전선으로 이으면 A는 E로, E는 A로 바뀝니다. 그리고 한 글자에는 전선 하나만 꽂을 수 있습니다.

틀린 답을 지우는 기계

튜링은 이 성질을 이용해, 먼저 가정을 세운 다음 모순이 나오면 그 가정을 버리는 방법을 기계 회로로 옮겼습니다. 이것은 수학에서 쓰는 귀류법과 같은 생각입니다. 귀류법은 어떤 내용을 옳다고 가정해 놓고 따져 보다가 앞뒤가 맞지 않는 결과에 이르면, 처음 가정이 틀렸다고 판단하는 방법입니다.

예를 들어 회전자가 어떤 위치에 있을 때 플러그보드에서 A가 E와 이어져 있다고 가정해 봅시다. 이 가정을 크립의 글자 짝들에 차례로 적용하면서 계산을 이어 가다 보면, A가 F와도 이어져야 한다는 결과가 나올 때가 있습니다. 한 글자에는 전선이 하나만 꽂히므로 이런 결과는 있을 수 없습니다. 처음 가정이 틀렸다는 뜻입니다. 이때는 회전자 위치까지 포함한 그 설정 전체를 버리고 다음 설정으로 넘어가면 됩니다.

가정을 차례로 적용해 갈 크립과 암호문의 글자 짝은 그림으로 이어 그릴 수 있습니다. 블레츨리 파크 사람들은 이 그림을 '메뉴'라고 불렀습니다. 메뉴에서 글자들이 고리 모양으로 다시 처음 글자로 돌아오는 부분이 많을수록 봄브는 틀린 설정을 잘 걸러냈습니다.

봄브는 이 과정을 전기로 처리했습니다. 전류가 회로를 한 바퀴 도는 데는 눈 깜짝할 시간도 걸리지 않습니다. 봄브는 정답을 찾아내는 기계라기보다, 틀린 답을 빠른 속도로 지워 나가는 기계였습니다. 모순이 생기지 않는 설정을 만나면 기계는 멈추었습니다. 그러면 사람이 그 순간의 회전자 위치를 적어 두고, 에니그마 복제 기계에 직접 넣어 보아 진짜 답인지 확인했습니다.

쇠와 전선으로 만든 기계

튜링의 설계도는 레치워스에 있는 영국 태블레이팅 머신 회사(British Tabulating Machine Company, BTM)로 넘어갔습니다. 이 회사의 기술자 해럴드 킨은 사람들 사이에서 '닥'이라는 별명으로 통했습니다. 킨은 튜링의 논리 회로를 실제 스위치, 릴레이, 톱니바퀴로 바꾸는 일을 맡았습니다.

뒤에 널리 쓰인 표준형 bombo는 높이와 폭이 각각 2미터 가까이 되고 무게가 1톤쯤 나가는 커다란 쇠 상자였습니다. 앞면에는 에니그마의 회전자 역할을 하는 둥근 드럼이 줄지어 박혀 있었습니다. 드럼 세 개가 에니그마 한 대 몫을 했고, bombo 한 대에는 에니그마 36대 분량의 회로가 들어 있었습니다. 드럼 하나의 뒤쪽에는 가는 철사 솔 104개가 붙어 알파벳 26자의 전기 길을 이어 주었습니다. 이 회로들은 메뉴에 따라 26가닥 전선을 묶은 케이블로 서로 연결되었습니다.

1940년 3월 18일, 첫 번째 bombo가 블레츨리 파크의 1번 막사(Hut 1)에 들어섰습니다. 사람들은 이 기계를 '빅토리', 곧 승리라고 불렀습니다.

8.2. 고든 웰치먼의 대각선 판 결합

빅토리의 고민

빅토리는 이론으로는 흠잡을 데 없는 기계였지만, 실제로 써 보니 문제가 있었습니다. 독일군은 플러그보드 전선 10개로 26개 글자 가운데 20개를 짝지어 두었습니다. 경우의 수가 너무 많아서, 빅토리가 틀린 설정을 제대로 걸러내려면 메뉴 안에 글자들이 빙 돌아오는 고리가 여러 개 있어야 했습니다. 그런 고리를 만들려면 크립이 길어야 했습니다.

그러나 실제 암호문에서 길고 확실한 크립을 찾는 일은 쉽지 않았습니다. 고리가 모자란 메뉴로 봄브를 돌리면 기계는 정답이 아닌 곳에서도 자꾸 멈추었습니다. 이것을 '거짓 정지'라고 합니다. 멈출 때마다 사람이 손으로 확인해야 했으므로 해독 속도가 기대만큼 오르지 않았습니다.

웰치먼의 생각

이 문제를 푼 사람은 고든 웰치먼이었습니다. 웰치먼은 1906년생으로 튜링보다 여섯 살 많았고, 케임브리지 대학교에서 수학을 가르치다 블레츨리 파크에 들어왔습니다. 그는 독일 육군과 공군의 에니그마를 맡은 6번 막사(Hut 6)를 이끌었습니다.

1939년 말에서 1940년 초 사이에 웰치먼은 튜링의 봄브 설계를 꼼꼼히 들여다 보다가, 봄브가 플러그보드의 양방향 성질을 충분히 쓰지 못하고 있다는 점을 깨달았습니다. A와 E가 이어져 있다면 E와 A도 이어져 있습니다. 이 당연한 사실을 기계 전체에 한꺼번에 적용하면 모순을 훨씬 빨리 찾을 수 있었습니다.

웰치먼은 이 생각을 '대각선 판'이라는 장치로 만들었습니다. 대각선 판은 26 곱하기 26, 곧 676개의 단자를 바둑판처럼 늘어놓고 대각선을 기준으로 마주 보는 단자끼리 전선으로 이어 놓은 판입니다. 봄브 회로가 B와 E의 연결을 감지하면, 대각선 판은 그 순간 E와 B의 연결도 함께 회로에 흘려보냅니다. 한 곳에서 얻은 정보가 기계 전체로 곧장 퍼지는 것입니다.

웰치먼이 이 아이디어를 보여 주자 튜링은 처음에는 믿기 어려워하다가 곧 크게 반겼다고, 웰치먼은 훗날 회고록에 적었습니다. 자신의 설계를 고쳐 준 동료의 생각을 튜링은 기꺼이 받아들였습니다.

아그너스의 탄생

대각선 판을 단 봄브는 고리가 적은 짧은 크립으로도 틀린 설정을 거의 다 걸러냈습니다. 거짓 정지가 크게 줄었고, 사람이 확인해야 할 일도 함께 줄었습니다.

1940년 8월 8일, 처음부터 대각선 판을 달고 만든 두 번째 봄브가 블레츨리 파크에서 돌아가기 시작했습니다. 이름은 라틴어로 '하느님의 어린양'을 뜻하는 '아그너스 데이'에서 따온 '아그너스'였습니다. 사람들은 이 기계를 아그네스, 또는 애기라고 다정하게 부르기도 했습니다. 먼저 만든 빅토리도 공장으로 돌아가 대각선 판을 새로 달았습니다.

이렇게 튜링과 웰치먼의 생각이 합쳐진 기계를 오늘날 '튜링-웰치먼 봄브'라고 부릅니다. 이 봄브는 회전자를 끼우는 순서 하나에 대해 회전자 위치 1만 7,576가지($26 \times 26 \times 26$)를 20분 남짓한 시간에 모두 검사했습니다. 사람의 손으로는 엄두도 낼 수 없던 일이었습니다.

봄브는 그 뒤로 계속 늘어났습니다. 기계를 돌리는 일은 주로 영국 여성 해군(WRNS) 대원들이 맡았습니다. 이들은 메뉴에 맞춰 케이블을 꽂고, 드럼을 바꿔

끼우고, 기계가 멈추면 결과를 받아 적었습니다. 전쟁이 끝날 무렵 영국에서 돌아간 봄브는 200대가 넘었습니다.

8.3. 크립 공격과 실시간 해독

크립을 찾는 사람들

봄브가 아무리 빨라도 올바른 크립을 넣어 주지 않으면 소용이 없었습니다. 크립을 찾는 일은 기계가 아니라 사람의 몫이었습니다. 암호해독가들은 독일군 통신병의 버릇과 실수를 끈질기게 살폈습니다.

독일군은 같은 형식의 보고를 매일 되풀이했습니다. 날씨 보고, 아무 일도 없었다는 뜻의 '특이 사항 없음' 보고, 부대 이름과 지휘관 계급처럼 늘 같은 자리에 들어가는 낱말이 있었습니다. 어떤 기지는 날마다 거의 똑같은 문장을 보냈고, 이런 문장은 암호해독가에게 좋은 크립이 되었습니다.

크립을 일부러 만들어 내는 작전도 있었습니다. 영국 공군은 독일군이 쓰는 바다의 특정 지점에 기뢰를 떨어뜨렸습니다. 그러면 독일군은 그 지점의 이름을 넣어 경고 메시지를 보냈고, 암호해독가들은 그 지점 이름을 크립으로 삼았습니다. 이 작전에는 '정원 가꾸기'라는 별명이 붙었습니다.

가장 큰 성과는 독일 공군 쪽에서 나왔습니다. 블레츨리 파크가 '레드'라고 부르던 독일 공군 암호는 통신병의 실수가 잦고 크립도 풍부했습니다. 6번 막사는 1940년 5월 22일부터 이 암호를 거의 날마다 풀어냈습니다.

가장 어려운 상대, 독일 해군

튜링이 맞붙은 상대는 그보다 훨씬 까다로운 독일 해군의 에니그마였습니다. 블레츨리 파크는 U보트가 쓰던 이 해군 암호를 '돌핀'이라고 불렀습니다.

해군 암호가 중요해진 것은 대서양의 전황 때문이었습니다. 1940년 6월 프랑스가 항복하자, 독일 잠수함 부대를 이끌던 카를 되니츠 제독은 로리앙을 비롯한 프랑스 대서양 연안 항구에 잠수함 기지를 세웠습니다. 독일 잠수함 U보트는 대서양 한가운데까지 쉽게 나갈 수 있게 되었습니다. 되니츠는 여러 척의 U보트를 바다에 흩어 두었다가, 한 척이 수송선단을 발견하면 무전으로 다른 배들을 불러 모아 한꺼번에 공격하게 했습니다. 사람들은 이 작전을 '늑대 떼 작전'이라고 불렀습니다. 섬나라 영국은 식량과 연료, 무기를 미국과 캐나다에서 배로 들여와야 했으므로, 수송선이 가라앉을 때마다 영국의 생명줄이 조금씩 끊어졌습니다.

그런데 독일 해군 에니그마는 육군과 공군의 것보다 방어가 단단했습니다. 육군과 공군은 회전자 5개 가운데 3개를 골라 60가지 순서를 썼지만, 해군은 회전자 3개를 더 만들어 8개 가운데 3개를 골랐습니다. 순서의 가짓수가 336가지로 늘어났습니다. 또 해군은 메시지 키를 따로 마련한 책과 두 글자 변환표로 한 번 더 감추어 보냈습니다. 이 때문에 크립을 찾아도 봄브에 넣기까지 넘어야 할 단계가 많았습니다.

블레츨리 파크의 많은 사람이 해군 에니그마는 풀 수 없다고 고개를 저었습니다. 튜링은 바로 그 점에 끌렸습니다. 튜링은 훗날, 아무도 그 일에 손대지 않고 있었기에 혼자 붙잡고 씨름할 수 있었다고 말했습니다. 튜링은 8번 막사(Hut 8)를 맡아 해군 암호와의 긴 싸움을 시작했습니다. 봄브를 돌리는 시간을 줄이기 위해 확률과 통계를 이용한 새로운 계산법도 만들었습니다.

바다에서 건져 올린 열쇠

수학만으로는 부족했습니다. 독일 해군의 암호 자료를 직접 손에 넣는 일이 필요했습니다. 1940년 4월 26일, 영국 구축함 그리핀호는 노르웨이 앞바다에서 네덜란드 어선으로 위장한 독일 배 폴라레스호를 붙잡았습니다. 이 배에서 나온 서류 덕분에 8번 막사는 1940년 4월 말 며칠 동안의 해군 메시지를 풀어냈습니다. 해독에 시간이 오래 걸려 작전에 바로 쓰지는 못했지만, 튜링과 동료들은 해군 에니그마의 구조를 깊이 이해하게 되었습니다.

결정적인 자료는 이듬해에 들어왔습니다. 1941년 5월 9일, 영국 군함 불독호와 오브리오타호는 아이슬란드 남쪽 바다에서 독일 잠수함 U-110을 공격해 물 위로 떠오르게 했습니다. 함장 프리츠율리우스 렘프는 배를 버리고 나오다 목숨을 잃었고, 데이비드 밤 소위가 이끄는 영국 수병들이 가라앉기 직전의 잠수함에 올라탔습니다. 이들은 에니그마 기계와 암호 책을 고스란히 가지고 나왔습니다.

이 자료와 봄브, 그리고 튜링의 계산법을 함께 활용하면서 해독 속도가 빨라졌습니다. 1941년 6~7월에는 8번 막사가 수신한 해군 통신을 한 시간 안에 해독하기도 했습니다.

대서양의 물길을 바꾸다

풀어낸 정보에는 '울트라'라는 암호명이 붙었습니다. 울트라 정보는 곧바로 런던의 해군성으로 넘어갔습니다. 해군성은 U보트가 기다리는 바다의 위치를 알아내고, 수송선단의 항로를 그 바깥으로 돌렸습니다. 늑대 떼는 텅 빈 바다만 지게 되었습니다. 1941년 하반기에 대서양에서 가라앉은 연합군 수송선의 수는 상반기보다 크게 줄었습니다.

암호 해독이 전쟁 전체에 미친 영향은 추정으로만 말할 수 있습니다. 블레츨리 파크의 암호 해독이 전쟁 종결을 2년쯤 앞당겼다는 추정이 있습니다. 튜링 연구자 잭 코플랜드는 전쟁이 2년 이상 더 이어졌다면 약 1,400만 명 이상이 추가로 목숨을 잃었을 수 있다고 추정했습니다. 이 숫자는 계산하는 방법에 따라 달라질 수 있는 추정치입니다. 그래도 연구자 대부분은 암호 해독이 대서양 전투의 흐름을 바꾼 큰 힘이었다는 데 생각을 같이합니다.

1939년 가을, 아무도 풀 수 없었던 에니그마 앞에서 튜링은 기계에는 기계로 맞선다는 길을 택했습니다. 그 길 위에서 폴란드 수학자들의 앞선 연구, 웰치먼의 대각선 판, 킨의 기술, 그리고 봄브를 밤낮으로 돌린 수많은 대원의 손이 하나로 모였습니다. 봄브는 한 가지 일만 하는 기계였지만, 사람의 생각을 전기 회로로 옮겨 놓은 이 경험은 전쟁 뒤 튜링이 만들고자 한 진짜 컴퓨터로 이어지는 징검다리가 되었습니다.

제9장. Hut 8, 해군 에니그마, 그리고 반부리스무스 (1940-1942)



그림 9. 암호 해독과 수송선 보호의 관계를 표현했습니다.

1940년 여름 독일군이 프랑스를 점령하자 영국은 유럽에서 홀로 독일과 맞서야 했습니다. 섬나라인 영국은 식량과 석유, 무기의 많은 부분을 바다 건너에서 들여왔고, 이 물자를 실은 배들은 무리를 지어 대서양을 건넜습니다. 이렇게 함께 항해하는 배의 무리를 수송선단이라고 합니다.

독일 해군 잠수함대를 이끈 카를 되니츠 제독은 이 바닷길을 끊으려고 했습니다. 그는 프랑스 서쪽 해안의 로리앙 같은 항구에 잠수함 기지를 세웠습니다. 독일 잠수함은 U보트라고 부르는데, U보트 여러 척은 늑대가 무리 지어 사냥하듯 수송선단을 둘러싸고 공격했습니다. 사람들은 이 방법을 늑대 떼 작전이라고 불렀

습니다. 윈스턴 처칠 총리는 전쟁이 끝난 뒤, 전쟁 동안 자신을 정말로 두렵게 한 것은 U보트의 위협 하나뿐이었다고 회고했습니다.

U보트를 막으려면 먼저 U보트가 어디에 있는지 알아야 했습니다. U보트는 바다 위에서 무전으로 본부와 연락했고, 영국은 그 무전을 엿들을 수 있었습니다. 문제는 무전의 내용이 해군 에니그마라는 암호로 감추어져 있다는 점이었습니다. 해군 에니그마는 육군과 공군이 쓰는 에니그마보다 풀기 어려웠고, 블레츨리 파크의 간부들 사이에서도 해군 암호는 끝내 읽지 못할 것이라는 말이 오갔습니다.

앨런 튜링의 판단은 달랐습니다. 그는 아무도 해군 암호를 말지 않으니 자신이 혼자 마음껏 연구할 수 있다고 여겼습니다. 남들이 포기한 문제가 그에게는 오히려 좋은 기회였던 것입니다. 이렇게 해서 튜링은 해군 에니그마를 전담하는 팀을 맡았습니다. 이 팀이 일한 나무 막사의 번호가 8이었기 때문에 팀의 이름도 Hut 8이 되었습니다. 이때 튜링은 20대 후반의 젊은 수학자였습니다.

9.1. Hut 8과 U보트 암호

해군 에니그마가 그토록 풀기 어려웠던 데에는 몇 가지 이유가 있습니다. 첫째는 회전자의 수입니다. 에니그마 기계 안에는 글자를 바꾸어 주는 둥근 바퀴가 세 개 들어가는데, 이 바퀴를 회전자라고 합니다. 육군과 공군은 회전자 다섯 개 가운데 세 개를 골라 순서대로 끼웠습니다. 이렇게 하면 회전자를 끼우는 방법이 60가지 나옵니다. 반면 해군은 회전자 여덟 개 가운데 세 개를 골랐고, 그러면 방법이 336가지로 늘어납니다. 암호를 푸는 쪽에서 보면 살펴야 할 경우가 다섯 배 넘게 많아진 셈입니다.

둘째는 지표를 감추는 방식입니다. 에니그마로 보내는 메시지에는 앞부분에 짧은 글자 묶음이 붙습니다. 이것을 지표라고 하는데, 받는 사람에게 이 메시지를 어느 위치에서 풀어야 하는지 알려 주는 표시입니다. 육군과 공군은 지표를 비교적 단순한 방법으로 감추었습니다. 해군은 지표를 특별한 책에서 고른 다음, 두 글자를 다른 두 글자로 바꾸는 표를 써서 한 번 더 감추었습니다. 이 표를 모르면 메시지를 아무리 많이 모아도 풀기 시작할 지점을 찾을 수 없었습니다.

튜링은 폴란드 암호 전문가들이 남긴 옛 자료와 수학적 추론을 함께 써서, 1939년 말까지 이 지표 체계가 어떻게 작동하는지 머릿속으로 거의 알아냈습니다. 하지만 구조를 아는 것과 실제로 쓰이는 표를 손에 넣는 것은 다른 문제였습니다. 영국으로서는 독일 배에서 암호 자료를 직접 빼앗아 와야 했습니다. 블레츨리 파크 사람들은 이런 일을 핀치, 곤 슬쩍 집어 오기라고 불렀습니다.

첫 기회는 1940년 4월 26일 노르웨이 앞바다에서 왔습니다. 영국 구축함 그리핀함이 네덜란드 어선으로 꾸민 독일 해군 순찰선 폴라레스호를 붙잡았는데, 독일 선원들이 미처 없애지 못한 서류 가운데 4월 하순 며칠 치 암호 설정이 들어 있었습니다. Hut 8은 이 자료로 지난 통신을 거꾸로 풀어 나갔습니다. 휴 포스는 1940년 11월에 같은 해 5월 8일 자 해군 통신을 풀어냈습니다. 동료들이 포스

의 날이라고 부른 것은 이 통신의 날짜였습니다. 이미 시간이 많이 지난 통신이었지만, 해군 에니그마를 풀 수 있다는 중요한 성과였습니다.

두 번째 기회는 다음 해 봄에 왔습니다. 1941년 3월 4일 영국과 노르웨이 특공대가 노르웨이 로포텐 제도를 습격했고, 독일 무장 트롤선 크렙스호에서 에니그마 회전자 한 벌과 암호 자료를 건졌습니다. 크렙스호의 함장은 에니그마 기계를 바다에 던졌지만, 남은 자료에는 독일 해군의 2월 암호 설정이 들어 있었습니다.

가장 큰 기회는 1941년 5월 9일에 왔습니다. 아이슬란드 남쪽 바다에서 수송선단을 노리던 U보트 U-110이 영국 군함 불독함과 오브리예타함의 폭뢰 공격을 받고 물 위로 떠올랐습니다. 폭뢰는 물속에서 터뜨려 잠수함을 공격하는 폭탄입니다. 함장 율리우스 렘프 대위는 배가 곧 가라앉을 것이라 여기고 선원들에게 배를 버리라고 명령했습니다. 그러나 U-110은 가라앉지 않았습니다. 데이비드 밤 소위가 이끄는 영국 수병들이 위험을 무릅쓰고 잠수함 안으로 들어가, 무전실에서 에니그마 기계와 암호책들을 고스란히 챙겨 나왔습니다. 영국은 이 일을 철저히 비밀로 했습니다. 독일이 암호를 빼앗긴 사실을 알면 곧바로 암호를 바꿀 것이기 때문이었습니다.

이렇게 빼앗아 온 자료에 튜링이 설계한 봄브, 그리고 다음 절에서 설명할 반부리스무스라는 통계 기법이 더해지자 상황이 바뀌었습니다. 1941년 6월부터 Hut 8은 U보트가 쓰는 해군 암호를 거의 매일 읽어 냈습니다. 블레츨리 파크는 이 암호를 돌고래라는 뜻의 돌핀이라고 불렀습니다. 해독한 정보는 울트라라는 비밀 이름으로 해군성에 전해졌고, 해군성은 U보트 무리가 모인 곳을 파악해 수송선단이 그 바다를 돌아가게 했습니다. 1941년 하반기에 대서양에서 가라앉은 연합군 배의 수는 눈에 띄게 줄었습니다.

그렇다고 일이 늘 순조롭지는 않았습니다. Hut 8에는 일손이 늘 모자랐습니다. 해독한 메시지를 정리하고 타자로 옮길 사람이 부족해 하루 일이 다음 날로 밀리

곤 했습니다. 1941년 9월 6일 처칠 총리가 블레츨리 파크를 찾아와 직원들을 격려했습니다. 여섯 주 남짓 뒤인 10월 21일, 튜링은 휴 알렉산더, 그리고 육군과 공군 암호를 맡은 Hut 6의 고든 웰치먼, 스튜어트 밀너배리와 함께 처칠에게 직접 편지를 썼습니다. 편지에는 일손이 모자라 해군 암호 설정을 찾는 일이 날마다 적어도 열두 시간씩 늦어진다는 내용이 담겼습니다. 밀너배리가 이 편지를 들고 런던 다우닝가 10번지로 갔습니다. 처칠은 편지를 읽은 뒤 수석 군사보좌관이 스메이 장군에게 오늘 당장 처리하고 이들이 원하는 것을 모두 주라고 지시했습니다. 그 뒤 블레츨리 파크에는 사람과 기계가 크게 늘었습니다.

해독은 이듬해 다시 막혔습니다. 1942년 2월 1일, 대서양의 U보트들이 회전자가 네 개 들어가는 새 에니그마를 쓰기 시작했기 때문입니다. 블레츨리 파크는 이 새 암호를 상어라는 뜻의 샤크라고 불렀습니다. Hut 8은 열 달 가까이 이 암호를 읽지 못했고, 그동안 연합군 배의 피해가 다시 커졌습니다. 돌파구는 이번에도 바다에서 가져온 자료였습니다. 1942년 10월 30일 지중해에서 영국 수병들이 가라앉는 U보트 U-559에 들어가 암호책을 꺼내 왔습니다. 이 일을 하던 장교 앤서니 패슨과 수병 콜린 그레이저는 배와 함께 바다에 빠져 목숨을 잃었고, 열여섯 살 소년 토미 브라운은 살아남았습니다. 이들이 건진 암호책 덕분에 Hut 8은 1942년 12월에 샤크를 다시 읽기 시작했습니다.

이 무렵 튜링은 Hut 8의 일상 업무에서 손을 떼고 있었습니다. 그는 문제를 깊이 파고드는 데는 뛰어났지만 많은 사람을 관리하는 일에는 서툴렀고, 실제 운영은 부팀장 휴 알렉산더가 맡는 일이 많았습니다. 1942년 11월 튜링이 미국으로 떠나면서 알렉산더가 Hut 8을 공식적으로 이끌게 되었습니다.

9.2. 반부리스무스 통계법

봄브는 회전자 설정을 하나씩 시험해 보는 기계였습니다. 그런데 1940년과 1941년에는 블레츨리 파크에 봄브가 몇 대뿐이어서, 육군과 공군 암호를 푸는데도 기계가 모자랐습니다. 해군 에니그마의 336가지 회전자 배치를 모두 봄브로 시험하는 일은 시간이 너무 많이 걸려 불가능했습니다.

그래서 튜링은 봄브를 가동하기 전에 계산으로 가능성이 낮은 배치를 먼저 제외하자고 생각했습니다. 336가지 가운데 그럴듯한 몇 가지만 남겨 봄브에 넘기면 기계를 가동하는 시간이 크게 줄어듭니다. 이 생각에서 나온 방법이 반부리스무스입니다. 튜링은 폴란드 암호 전문가 예지 루지츠키가 만든 시계 방법이라는 기법에서 실마리를 얻었습니다.

반부리스무스는 해군 에니그마의 약점 하나를 파고들었습니다. 해군은 날마다 통신병이 함께 쓰는 기본 설정을 정해 두었습니다. 이 기본 설정을 독일어로 그룬트슈텔룽이라고 합니다. 통신병은 메시지마다 시작 위치를 따로 골랐는데, 그 시작 위치를 바로 이 기본 설정으로 암호화해서 메시지 앞에 붙여 보냈습니다. 그래서 메시지마다 실제로 암호화를 시작한 위치는 서로 달랐습니다. 다만 같은 날 보낸 두 메시지의 시작 위치가 가까우면, 한쪽을 몇 칸 밀어 알맞게 겹쳤을 때 두 메시지에서 기계가 똑같은 상태로 글자를 바꾼 구간이 생깁니다. 이렇게 같은 기계 상태에서 암호화된 구간을 겹쳐 놓으면 숨은 규칙이 드러납니다.

두 메시지를 어떻게 겹쳐야 하는지 찾으려고 튜링 팀은 길쭉한 종이 카드를 썼습니다. 카드에는 알파벳이 칸칸이 인쇄되어 있었고, 작업자는 암호문의 글자마다 그에 해당하는 칸에 구멍을 뚫었습니다. 이 카드는 옥스퍼드셔주의 반버리라는 마을 인쇄소에서 찍었습니다. 그래서 카드 이름이 반버리 시트가 되었고, 이 카드를 쓰는 방법 전체를 반부리스무스라고 불렀습니다.

작업 방식은 이러했습니다. 두 메시지의 카드를 겹쳐 놓고 아래에서 불빛을 비춥니다. 그리고 위 카드를 한 칸씩 옆으로 밀면서 두 카드의 구멍이 함께 뚫린 곳을 셉니다. 구멍이 겹친 곳은 두 메시지의 같은 자리에 같은 글자가 있다는 뜻입니다.

겹친 곳의 수가 의미를 갖는 것은 확률 때문입니다. 26개 알파벳을 같은 확률로 무작위로 뽑아 만든 두 글자 줄을 겹치면 같은 자리에 같은 글자가 올 확률은 26분의 1입니다. 알파벳이 26자이기 때문입니다. 그런데 기계가 같은 상태일 때 만든 독일 해군의 두 통신문을 바르게 겹치면 이 확률은 약 17분의 1로 높아집니다. 이는 당시 해군 통신문의 글자 분포에 따른 근사값입니다. 독일어에는 E처럼 자주 쓰이는 글자가 있어서, 원래 문장에서 글자가 겹치는 비율이 암호문에도 그대로 남기 때문입니다. 작업자들은 한 글자가 겹친 곳뿐 아니라 두 글자, 세 글자가 잇따라 겹친 곳도 셉습니다. 겹친 곳이 많을수록 두 메시지를 바르게 겹쳤을 가능성이 커집니다.

남은 문제는 겹친 곳이 몇 개나 되어야 믿을 수 있느냐였습니다. 튜링은 이 질문에 답하려고 증거의 무게를 재는 단위를 만들었습니다. 어떤 증거 하나가 가설이 맞을 가능성과 틀릴 가능성의 비율을 10배로 바꾸면, 그 증거의 무게를 1반이라고 정했습니다. 반이라는 이름은 반버리 마을에서 따왔습니다. 다만 1반은 실제로 쓰기에 너무 큰 단위여서, 튜링은 그 10분의 1인 데시반을 주로 썼습니다. 소리의 크기를 재는 단위인 데시벨과 비슷한 방식입니다.

데시반의 장점은 더하기만 하면 된다는 것입니다. 처음에 맞을 가능성과 틀릴 가능성이 반반이었다고 하겠습니다. 증거가 10데시반 쌓이면 맞을 가능성이 틀릴 가능성보다 10배 커집니다. 20데시반이면 100배, 50데시반이면 10만 배가 됩니다. 작업자들은 겹친 글자를 하나 찾을 때마다 점수를 더하고, 점수가 정해 둔 기준을 넘으면 결론을 내렸습니다. 튜링의 조수였던 잭 굿은 1데시반 정도가 사람이 자기 믿음의 변화를 느낄 수 있는 가장 작은 차이라고 설명했습니다.

이렇게 새 증거가 들어올 때마다 판단을 조금씩 고쳐 나가는 방법을 순차 분석이라고 합니다. 미국의 수학자 에이브러햄 월드도 비슷한 방법을 만들어 발표했는데, 튜링은 그보다 앞서 암호 해독 현장에서 이 방법을 쓰고 있었습니다. 다만 튜링의 작업은 전쟁 비밀이었기 때문에 외부에서는 오랫동안 이 사실을 몰랐습니다.

반부리스무스로 여러 메시지 쌍이 어떻게 겹치는지 알아내면, 그 결과를 바탕으로 오른쪽 회전자와 가운데 회전자가 무엇인지 좁힐 수 있었습니다. 그러면 336가지 배치 가운데 봄브로 시험할 후보가 몇 가지로 줄었습니다. 반부리스무스를 가장 잘한 사람은 체스 챔피언이기도 했던 휴 알렉산더였고, 조안 클라크도 뛰어난 반부리스트였습니다. 알렉산더와 잭 굿은 이 작업을 직업이라기보다 머리를 쓰는 놀이처럼 여겼습니다. 너무 쉬워서 지루하지도 않고 너무 어려워서 지치지 않는 일이었다는 것입니다.

Hut 8은 이 방법을 2년 동안 쉬지 않고 썼고, 봄브가 넉넉해진 1943년에야 그만 두었습니다. 그동안 반부리스무스는 봄브를 가동하는 시간을 크게 아껴 주었습니다. 전쟁이 끝난 뒤 반버리 시트는 비밀을 지키려고 대부분 없었습니다. 그런데 2013년 9월 블레츨리 파크의 막사를 고치던 작업자들이 Hut 6 천장 틈에서 반버리 시트 몇 장을 찾아냈습니다. 추운 막사에서 일하던 사람들이 바람을 막으려고 쓰고 버린 종이를 틈에 끼워 넣었던 것입니다.

9.3. 교수님의 책

블레츨리 파크 사람들은 튜링을 교수님이라는 뜻의 프로프라고 불렀습니다. 실제 교수는 아니었지만, 늘 수학 문제를 생각하는 모습이 교수 같았기 때문입니다.

1940년 가을, 튜링은 자신이 알아낸 에니그마 해독의 원리를 한 권의 보고서로 정리했습니다. 공식 제목은 에니그마 기계의 수학적 이론이었지만, 블레츨리 파크 안에서는 이 보고서를 교수님의 책이라고 불렀습니다. 튜링은 본문을 타자기로 치고, 공식과 그림은 손으로 그려 넣었습니다.

이 책에는 에니그마의 회전자와 배선판이 글자를 어떻게 바꾸는지 수학으로 풀 어낸 설명이 들어 있었습니다. 이미 짐작하고 있는 문장을 암호문에 맞춰 보며 모순을 찾아내는 방법도 담겼고, 봄브가 어떤 원리로 작동하는지, 해군 지표를 어떻게 공략하는지도 설명되어 있었습니다. 블레츨리 파크에 새로 들어온 수학자들은 이 책으로 에니그마 해독을 배웠습니다. 교수님의 책은 오랫동안 비밀 문서로 남았다가 1996년에 미국에서 공개되었습니다. 지금 영국 국립기록보존소에는 HW 25/3이라는 번호로 보관되어 있습니다.

튜링은 이 밖에도 암호 해독에 확률을 쓰는 방법을 다룬 논문 두 편을 썼습니다. 하나는 암호학에 확률을 적용하는 방법을 다룬 글입니다. 이 글에서 튜링은 베이즈 정리와 데시반 계산을 여러 종류의 암호에 적용하는 방법을 설명했습니다. 베이즈 정리는 새 증거가 들어왔을 때 처음의 생각을 어떻게 고쳐야 하는지 알려 주는 확률 공식입니다. 다른 하나는 문장 속에서 같은 글자가 되풀이되는 빈도를 다룬 글입니다. 두 논문은 영국 정부통신본부, 곧 GCHQ에 70년 가까이 비밀로 보관되었습니다. 튜링이 태어난 지 100년이 되는 2012년 4월에야 두 논문은 국립기록보존소로 옮겨져 일반에 공개되었습니다. 당시 GCHQ의 한 수학자는 이 논문들이 그토록 오래 비밀로 남아 있었다는 사실 자체가 그 가치를 보여 준다고 평가했습니다.

증거의 무게를 데시반으로 잴 것처럼 정보의 양을 숫자로 재려는 튜링의 생각은, 같은 시기에 미국의 클로드 섀넌이 따로 세운 정보 이론과 닮아 있습니다. 섀넌도 정보의 양을 재는 단위를 만들었습니다. 두 사람은 전쟁 중인 1943년 미국에서 만나 이야기를 나누기도 했습니다.

튜링의 통계 방법은 에니그마에서 끝나지 않았습니다. 1942년 7월, 튜링은 독일군 최고 사령부가 쓰던 또 다른 암호 기계 로렌츠의 회전자 캠 배열, 곧 바퀴 둘레에서 신호를 바꾸는 돌기의 배치를 손으로 알아내는 방법을 만들었습니다. 동료들은 이 방법을 튜링의 이름을 따서 튜링거리라고 불렀습니다. 데시반으로 증거를 쌓아 가는 방식은 로렌츠 암호를 푸는 다른 방법들에도 쓰였습니다. 이 흐름은 1943년부터 1944년까지 공학자 토미 플라워스가 만든 전자식 암호 해독 기계 콜로서스로 이어졌습니다. 콜로서스는 진공관으로 작동하는 전자 기계였습니다.

1940년부터 1942년까지 Hut 8이 해군 에니그마를 읽어 낸 과정에는 여러 사람의 일이 겹쳐 있습니다. 튜링은 블레츨리 파크 안에서도 읽지 못할 것이라던 해군 암호를 맡아 지표 체계를 분석했고, 봄브를 설계했으며, 확률 계산으로 봄브가 시험할 후보를 줄였고, 그 방법을 책으로 남겨 동료들이 함께 쓸 수 있게 했습니다. 여기에 독일 배에서 암호 자료를 가져온 수병들, 그리고 반버리 시트의 구멍을 세고 점수를 더한 Hut 8 사람들의 작업이 더해졌습니다. 해군성이 수송선단을 U보트가 모인 바다에서 돌아가게 할 수 있었던 것은 이 일들이 함께 이루어졌기 때문입니다.

제10장. 비밀 기술 교류와 딜라이라(Delilah) 프로젝트 (1942~1945)



그림 10. 음성을 암호화하는 딜라이라 연구를 재구성했습니다.

1942년 가을, 대서양에서는 독일 잠수함 U보트가 연합국의 수송선을 잇달아 침몰시키고 있었습니다. 앨런 튜링은 블레츨리 파크의 Hut 8에서 독일 해군 에니그마를 해독하는 일을 하고 있었습니다. 그런 그에게 새로운 임무가 주어졌습니다. 미국으로 건너가 영국이 쌓아 온 암호해독 기술을 미국 동료들과 나누는 일이었습니다.

이 임무의 배경에는 미국의 참전이 있었습니다. 미국은 1941년 12월 일본의 진주만 공격을 계기로 전쟁에 뛰어들었습니다. 같은 적과 싸우는 두 나라가 따로따로 암호를 풀면 시간과 힘이 두 배로 듭니다. 두 나라는 힘을 합치기로 했고, 튜링은 그 연결 고리 가운데 하나가 되었습니다.

1942년부터 1945년까지 튜링이 한 일은 크게 세 가지입니다. 먼저 미국을 방문해 암호해독 기술을 전하고 음성 암호 장치를 점검했습니다. 영국으로 돌아온 뒤에는 사람의 목소리를 암호로 바꾸는 기계 딜라이라를 손수 만들었습니다. 전쟁이 끝난 뒤에는 훈장을 받았지만, 그 훈장이 어떤 일을 기리는지는 오랫동안 밝힐 수 없었습니다.

10.1. 미국의 암호 해독 기관과 연구소 방문

서류 없이 도착한 손님

튜링은 1942년 11월 배를 타고 대서양을 건넜습니다. U보트가 수송선을 노리는 위험한 바다였습니다. 그는 11월 12일 뉴욕에 도착했고, 이 방문은 이듬해 3월 까지 이어졌습니다.

도착하자마자 작은 소동이 벌어졌습니다. 튜링이 자기 신분을 증명할 서류를 제대로 갖추지 않아, 이민 관리들이 그를 들여보낼지 한동안 망설였기 때문입니다. 이 일은 튜링이 2주 뒤에 직접 쓴 보고서에 그대로 남아 있습니다.

튜링에게 미국은 처음 가는 곳이 아니었습니다. 뉴욕과 워싱턴 사이에는 그가 6년 전 박사 공부를 하던 프린스턴이 있습니다. 그때 그는 수학 논문을 쓰는 젊은 학생이었습니다. 이번에는 영국 정부의 암호 기술을 대표하는 비밀 사절로 미국 땅을 다시 밟았습니다.

워싱턴의 OP-20-G

튜링이 먼저 찾아간 곳은 워싱턴 D.C.에 있는 미 해군의 암호해독 부서 OP-20-G였습니다. 이름이 암호처럼 낯설지만, 미 해군 본부 안에서 통신을 맡은 부서의 한 팀에 붙인 번호입니다. 이 팀도 영국의 Hut 8과 마찬가지로 독일 해군 에니그마를 해독하려 하고 있었습니다.

튜링은 미국 암호 전문가들과 머리를 맞대고 영국의 방법을 설명했습니다. 봄브를 어떻게 운용하는지, 반부리스무스로 후보를 어떻게 줄이는지 같은 내용이었습니다. 그는 처음 만난 미 해군 팀의 실력을 그리 높게 평가하지 않았습니다. 다

만 앤드루 글리슨처럼 뛰어난 젊은 수학자들이 새로 들어오면서 팀의 수준은 빠르게 올라갔습니다.

데이턴의 봄브 공장

1942년 12월 21일, 튜링은 오하이오주 데이턴에 있는 NCR(내셔널 캐시 레지스터) 공장을 찾았습니다. 금전등록기를 만들던 이 회사는 전쟁 중에 미 해군의 봄브를 제작하고 있었습니다. 기술자 조지프 데시가 이 일을 이끌었습니다.

미 해군의 계획은 규모가 컸습니다. 그 규모는 에니그마의 구조에서 나온 것입니다. 미 해군이 상대하던 4회전자 에니그마에서도 주로 움직이는 세 회전자는 8개 가운데 3개를 골라 순서대로 끼웁니다. 네 번째 회전자는 이 셋과 별도로 선택합니다. 첫 자리에 8개, 둘째 자리에 남은 7개, 셋째 자리에 남은 6개를 넣을 수 있으니, 8 곱하기 7 곱하기 6, 모두 336가지 조합이 나옵니다. 미국의 봄브 계획은 이 조합마다 기계를 한 대씩 맡겨 336대를 만드는 것이었습니다.

튜링의 생각은 달랐습니다. 그는 기계 수를 늘리기보다 한 대 한 대의 속도를 높이고, 수학적 추리로 확인할 조합을 미리 줄이는 편이 낫다고 보았습니다. 데이턴 방문 보고서에도 미국 측이 봄브의 속도를 높이는 데 힘을 쏟아야 한다는 의견을 적었습니다. 데시와 튜링은 설계를 두고 의견이 부딪쳤습니다. 데이턴 연구소가 끝내 만든 봄브는 336대가 아니라 모두 121대였습니다.

벨 연구소와 목소리 암호

튜링에게는 두 번째 임무가 있었습니다. 뉴욕의 벨 연구소에서 개발 중인 음성 암호 장치를 점검하는 일이었습니다. 영국의 처칠 총리와 미국의 루스벨트 대통령은 대서양을 사이에 두고 무선 전화로 이야기를 나누었는데, 당시 쓰던 음성 변환 장치는 독일이 엿들을 위험이 있었습니다. 벨 연구소는 이 문제를 해결하려고, 훗날 시그살리(SIGSALY)라고 불리는 새 장치를 만들고 있었습니다.

연구소의 문은 쉽게 열리지 않았습니다. 미국 측은 아무리 동맹국 전문가라도 최고 기밀 장치를 보여 줄 수 없다고 버텼습니다. 튜링이 이 장치를 보려면 영국의 존 딜 육군 원수가 나서서, 미국의 조지 마셜 장군에게 직접 부탁해야 했습니다. 이 문제로 두 나라 정보기관 사이에 큰 다툼이 벌어졌습니다.

1943년 1월, 튜링은 마침내 벨 연구소에서 일을 시작했습니다. 시그살리는 방 하나를 가득 채우는 거대한 장치였고, 무게가 수십 톤에 이르렀습니다. 이 장치는 목소리를 숫자 신호로 바꾼 뒤, 아무 규칙 없는 잡음을 녹음한 레코드판을 열쇠로 삼아 신호를 뒤섞었습니다. 받는 쪽에도 똑같은 레코드판이 있어야 원래 목소리를 되살릴 수 있었습니다.

튜링은 이 장치가 정말로 안전한지 수학적으로 따져 보았습니다. 그가 쓴 평가 보고서는 이 장치를 받아들여 런던에 설치하기로 한 결정에 핵심 역할을 했습니다. 시그살리는 1943년 여름부터 런던과 워싱턴을 잇는 비밀 통화에 쓰였습니다.

카페테리아의 대화

벨 연구소에는 클로드 섀넌이라는 젊은 연구자가 있었습니다. 섀넌은 훗날 정보 이론을 세워 디지털 통신의 기초를 놓은 사람입니다. 튜링은 이 방문 중에 섀넌을 만났고, 두 사람은 연구소 카페테리아에서 점심을 함께 먹으며 이야기를 나누었습니다.

각자 맡은 비밀 업무는 서로 말할 수 없었습니다. 그래서 대화는 생각하는 기계, 사람의 뇌와 기계의 닮은 점 같은 주제로 흘렀습니다. 튜링은 1936년에 쓴 보편 기계 논문 이야기도 들려주었습니다. 전쟁의 한가운데에서, 훗날 컴퓨터와 인공지능의 길을 여는 두 사람이 마주 앉은 셈입니다.

돌아온 블레츨리 파크

튜링은 1943년 3월 영국으로 돌아왔습니다. 그사이 Hut 8의 책임자 자리는 체스 챔피언 출신의 휴 알렉산더가 맡고 있었습니다. 알렉산더는 이미 Hut 8의 살림을 꾸려 왔고, 사람을 다루는 일에도 능했습니다. 튜링에게 이 변화는 오히려 반가운 일이었습니다. 그는 서류와 회의보다 문제를 푸는 일을 좋아했기 때문입니다.

책임자가 바뀌었다고 해서 튜링의 기여가 낮게 평가된 것은 아닙니다. 알렉산더는 훗날 Hut 8의 역사를 정리하면서, 이 부서가 성공한 가장 큰 이유가 튜링의 연구였다는 데 의심의 여지가 없다고 적었습니다. 튜링은 이제 한 부서에 매이지 않고, 블레츨리 파크 전체의 어려운 암호 문제를 돕는 자문 역할을 맡았습니다.

10.2. 음성 암호화 장치 딜라이라

벨 연구소에서 본 시그살리는 튜링에게 과제를 하나 남겼습니다. 시그살리는 안전했지만 너무 컷습니다. 방 하나를 채우는 장치를 전쟁터의 군인이 들고 다닐 수는 없었습니다. 사람의 목소리를 전자 회로로 완전히 숨겼다가 다시 꺼내는 일을 훨씬 작은 장치로도 할 수 있을까 하는 것이 그 과제였습니다. 튜링은 작고 가벼워서 실제 작전에 쓸 수 있는 음성 암호 장치를 직접 만들기로 했습니다.

한슬로프 파크의 비밀 실험실

튜링이 새 실험실을 차린 곳은 한슬로프 파크(Hanslope Park)였습니다. 이곳은 영국 비밀정보부의 무선 보안 부서가 쓰던 시설로, 전자 장비를 직접 만들고 시험할 수 있는 작업장을 갖추고 있었습니다. 오늘날에는 영국 정부 통신센터가 이 자리에 있습니다.

한슬로프 파크는 블레츨리 파크에서 시골길로 16킬로미터쯤 떨어져 있었고, 튜링은 자전거를 타고 두 곳을 오갔습니다. 그는 1943년 이곳에서 딜라이라 작업을 시작했고, 1944년부터는 아예 한슬로프 파크에 머물며 일했습니다.

젊은 기술자 도널드 베일리

1944년, 버밍엄 대학교를 졸업한 전기 기술자 도널드 베일리가 튜링의 조수로 왔습니다. 베일리는 1921년생으로 튜링보다 아홉 살 어렸습니다. 그가 처음 본 튜링의 회로는 전선이 복잡하게 얹히고설켜 있었습니다. 베일리는 훗날 그 회로가 거미줄처럼 얹혀 있었다고 회고했습니다.

두 사람은 서로에게 스승이었습니다. 베일리는 튜링에게 납땜과 배선 같은 작업대의 기술을 가르쳤습니다. 그는 튜링을 '교수님'이라는 뜻의 '프로프(Prof)'라

고 불렀는데, 블레츨리와 핸슬로프의 사람들이 모두 그렇게 불렀습니다. 튜링은 베일리와 동료 기술자들에게 회로 설계에 필요한 수학을 가르쳤습니다. 저녁 식사가 끝나면 튜링이 강의를 했고, 베일리는 그 내용을 꼼꼼히 받아 적었습니다. 이 노트는 회로 기술자를 위한 고급 수학 교과서가 되었습니다.

딜라이라는 어떻게 작동했나

딜라이라의 원리는 세 단계로 나누어 이해할 수 있습니다.

먼저 목소리를 전기 신호로 바꿉니다. 목소리는 공기의 떨림, 곧 파동입니다. 딜라이라에서는 이 신호의 크기를 일정한 시간 간격으로 뽑아내어 암호화에 이용했습니다. 이를 샘플링이라고 합니다. 오늘날 디지털 녹음에서도 쓰는 발상이지만, 딜라이라에서는 신호의 크기를 섞는 데 아날로그 전자 회로를 썼습니다. 튜링은 얼마나 자주 신호를 뽑아내야 원래 소리를 되살릴 수 있는지 따진 수학 메모도 남겼습니다.

다음으로 열쇠 신호를 섞습니다. 보내는 쪽 기계는 불규칙해 보이는 열쇠 신호를 만들어 목소리 신호와 정해진 방식으로 더합니다. 그러면 원래 말소리를 알아듣기 어려운 잡음이 됩니다.

마지막으로 받는 쪽에서는 같은 열쇠 신호를 같은 시각에 만들어 섞인 신호에서 원래 목소리를 복원합니다. 두 기계의 열쇠 신호와 작동 시점을 정확히 맞추는 일이 딜라이라 설계의 핵심이었습니다.

이 원리는 튜링이 블레츨리 파크에서 독일의 전신 암호를 다루며 익힌 생각과 닮아 있습니다. 글자 대신 목소리에 같은 생각을 적용한 것입니다. 다만 글자와 달리 목소리는 쉬지 않고 흐르기 때문에, 진공관 회로가 빠르고 정확하게 움직여야

했습니다. 튜링과 베일리는 실험 결과를 일지에 하나하나 기록하며 회로를 고쳐 나갔습니다.

딜라이라라는 이름

딜라이라는 성경에 나오는 여인 들릴라의 영어 이름입니다. 들릴라는 힘센 삼손을 속여 그 힘의 비밀을 알아낸 인물입니다. 남을 속이는 사람의 이름은, 옛트는 사람에게 잡음만 들려주어 감쪽같이 속이는 장치에 잘 어울렸습니다. 이 이름은 튜링이 혼자 지은 것이 아닙니다. 그는 장치의 이름을 공모에 부쳤고, 친구이자 훗날 그의 유언 집행인이 되는 로빈 갠디가 당선되었습니다.

처칠의 목소리를 숨겼다가 되살리다

마침내 딜라이라가 완성되었습니다. 두 사람은 영국 정부 관계자들 앞에서 시연을 열었습니다. 처칠 총리의 연설을 녹음한 소리를 딜라이라에 넣자, 스피커에서는 잡음만 흘러나왔습니다. 받는 쪽 기계를 거치자 처칠의 목소리가 다시 또렷하게 들렸습니다. 이 시연의 시점은 자료에 따라 조금씩 다릅니다. 경매 회사 본햄스는 1944년 말이라고 소개했고, 다른 연구자들은 1945년 초로 봅니다.

1945년 5월 8일, 독일이 무조건 항복하면서 유럽의 전쟁이 끝났습니다. 튜링과 베일리는 함께 긴 산책을 하며 승리를 축하했습니다.

쓰이지 못한 기계, 남은 경험

딜라이라는 실제 전쟁터에 나가지 못했습니다. 기계가 완성되었을 때는 이미 전쟁이 거의 끝나 있었고, 대량으로 만들어 군대에 나누어 줄 시간이 없었습니다. 설계에 따른 한계도 있었습니다. 딜라이라는 짧은 거리의 전화선이나 무선에 맞추어 설계한 장치였기 때문에, 대서양을 건너는 먼 거리 통신에는 쓰기 어려웠습니다. 실제로 만들어진 것은 시제품 한 대뿐이었습니다.

그래도 이 2년은 튜링에게 큰 공부가 되었습니다. 종이 위에서 계산하던 수학자가 직접 진공관을 다루고, 납땜을 하고, 고장 난 회로를 고치는 기술자가 되었습니다. 전자 회로가 얼마나 빠르게 움직이는지, 어디에서 말썽이 나는지를 손으로 익혔습니다. 1945년 가을, 튜링은 국립물리연구소(NPL)에서 전자식 컴퓨터 ACE를 설계하게 됩니다. 그 설계에는 한슬로프 파크에서 익힌 경험이 고스란히 녹아 있습니다.

70여 년 만에 나타난 노트

딜라이라 이야기는 오랫동안 거의 알려지지 않았습니다. 베일리는 관련 서류를 2020년 세상을 떠날 때까지 간직했습니다. 2023년 11월, '베일리 문서'라고 불리는 이 자료가 런던 경매에 나와 38만 1,400파운드에 거래되었습니다. 여기에는 튜링이 손으로 쓴 계산과 메모, 실험 일지, 베일리가 받아 적은 강의 노트가 들어 있었습니다.

영국 정부는 이 귀한 자료가 나라 밖으로 나가지 않도록 막았습니다. 2024년 8월, 해외 반출을 잠시 멈추는 조치가 내려졌습니다. 이후 39만 7천 파운드가 넘는 돈이 모였고, 2025년 3월 튜링이 공부하고 연구했던 케임브리지 킹스 칼리지가 이 문서를 사들였습니다. 문서는 디지털로 옮겨져, 전 세계의 연구자와 학생이 볼 수 있는 튜링 문서 기록에 들어갔습니다.

10.3. 침묵의 훈장(OBE)

훈장 명단에 오른 한 줄

전쟁이 끝나자 영국 정부는 나라를 위해 일한 사람들에게 훈장을 주었습니다. 튜링도 그 가운데 한 사람이었습니다. 그가 받은 훈장은 대영 제국 훈장 가운데 '오피서' 등급, 줄여서 OBE입니다.

영국 정부는 훈장을 받는 사람의 이름을 관보인 『런던 가제트』에 실습니다. 1946년 6월 18일 자 런던 가제트 37617호 3124쪽에는 '외무부 소속 부서에서 근무하는' 앨런 매시슨 튜링이 OBE를 받는다고 적혀 있습니다. 서훈 결정을 1945년으로 소개하는 자료도 있지만, 관보에 실린 날짜는 1946년 6월입니다.

이 한 줄에는 그가 무슨 일을 했는지가 한 글자도 없었습니다. 에니그마도, 봄브도, 반부리스무스도, 딜라이라도 적을 수 없었습니다. 훈장을 받는 방식도 조용했습니다. 튜링은 버킹엄 궁에 가서 훈장을 받지 않았습니다. 훈장은 국왕의 편지와 함께 우편으로 도착했고, 튜링은 이 훈장을 나사와 못, 볼트가 담긴 깡통에 넣어 두었다고 합니다.

국가기밀법이라는 자물쇠

튜링이 자기 공로를 말할 수 없었던 이유는 국가기밀법(Official Secrets Act)에 있습니다. 블레츨리 파크와 핸슬로프 파크에서 일한 사람들은 모두 이 법에 따라 비밀을 지키겠다고 서약했습니다. 전쟁이 끝난 뒤에도 서약은 풀리지 않았습니다. 가족에게도, 친구에게도, 신문 기자에게도 무슨 일을 했는지 말할 수 없었습니다.

튜링의 어머니도 예외가 아니었습니다. 어머니 사라 튜링은 훗날 아들의 전기를 썼습니다. 어머니는 그 책에서 아들의 비밀 업무가 무엇인지 아무런 암시도 받지 못했다고 적었습니다. 강요된 침묵 때문에 아들의 편지가 뜸해지고 짧아졌다고도 썼습니다. 어머니조차 아들이 전쟁에서 무엇을 이루었는지 모른 채 지냈습니다.

알려지지 않은 공로

같은 전쟁에서 레이더나 원자폭탄을 개발한 과학자들은 전쟁이 끝난 뒤 이름이 알려지고 큰 연구소를 이끌었습니다. 튜링의 처지는 달랐습니다. 그는 암호해독으로 수많은 수송선과 사람의 목숨을 지키는 데 이바지했지만, 그 사실을 아는 사람은 비밀을 함께 지킨 소수뿐이었습니다. 많은 역사학자는 블레츨리 파크 암호해독가들의 활약이 전쟁을 2년쯤 줄였다고 봅니다. 그 일의 한가운데에 튜링이 있었습니다.

침묵은 전쟁 뒤 튜링의 연구에도 영향을 주었습니다. 1945년 가을, 튜링은 국립 물리연구소에 들어가 컴퓨터를 만드는 일을 시작했습니다. 그곳 사람들 대부분은 튜링이 전쟁 중에 전자 회로를 직접 만들어 본 사람이라는 사실을 몰랐습니다. 튜링은 자기 경험을 증거로 내밀 수 없었고, 처음부터 다시 설득해야 했습니다.

블레츨리 파크의 비밀은 1970년대에 들어서야 조금씩 세상에 알려졌습니다. 1974년, 전시 암호해독을 다룬 책이 나오면서 '울트라'라는 이름의 비밀 정보 작전이 널리 알려졌습니다. 튜링이 세상을 떠난 지 20년이 지난 뒤였습니다. 달라이라는 자세한 모습은 그로부터 다시 반세기 가까이 지나, 베일리의 노트가 경매에 나오고 나서야 드러났습니다.

강통 속에 넣어 둔 훈장은 튜링이 받은 공식 인정이었지만, 그 훈장이 무엇을 기리는지는 오랫동안 아무도 몰랐습니다.

제11장 NPL과 초창기 컴퓨터 ACE의 설계 (1945~1948)

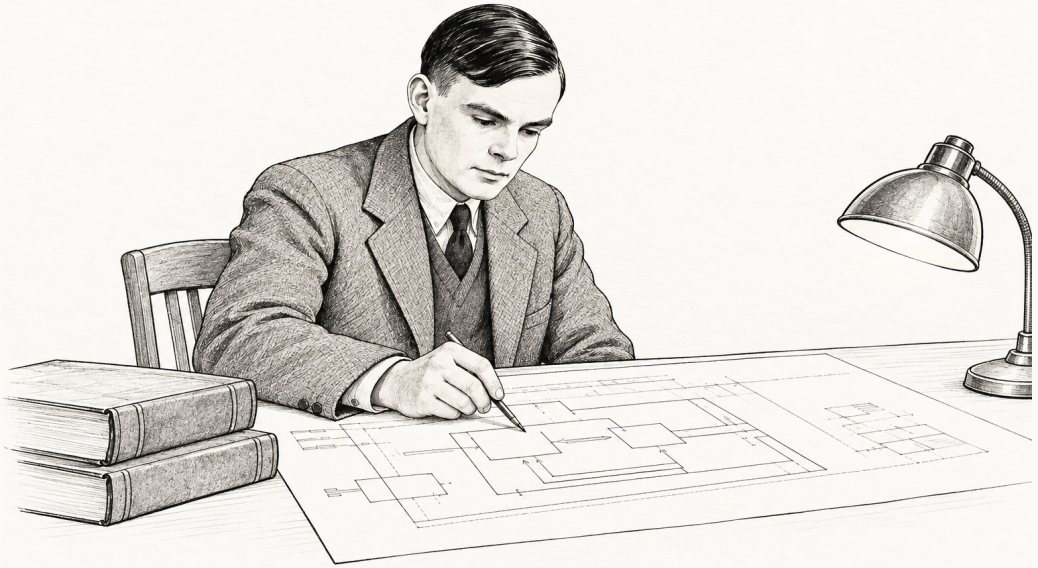


그림 11. 컴퓨터의 설계를 구상하는 튜링을 그린 삽화입니다.

6년 가까이 이어진 제2차 세계대전이 1945년 5월 유럽에서 막을 내렸습니다. 전쟁이 끝나자 블레츨리 파크와 한슬롭 파크에서 일하던 사람들은 하나둘 원래 자리로 돌아갔고, 앨런 튜링도 새 길을 찾아야 했습니다. 그해 6월 튜링은 서른세 번째 생일을 맞았습니다.

전쟁 동안 튜링은 여러 기계를 가까이에서 다루고 지켜보았습니다. 에니그마를 풀기 위해 봄브를 설계했고, 동료들이 진공관 수천 개로 만든 콜로서스가 빠르게 계산하는 모습도 보았습니다. 전쟁 막바지에는 직접 납땜을 해 가며 음성 암호 장치 딜라이라를 만들었습니다. 이런 경험을 거치면서 튜링은 한 가지를 확신하

게 되었습니다. 진공관으로 만든 전자 회로라면 1936년 논문에서 종이 위에 그렸던 '보편 기계'를 실제로 만들 수 있다는 것이었습니다.

보편 기계는 기계 하나로 어떤 계산이든 해낼 수 있다는 생각입니다. 계산할 내용이 바뀌어도 기계를 새로 만들 필요가 없고, 기계에 넣는 명령, 곧 프로그램만 바꾸면 됩니다. 오늘날 우리가 쓰는 컴퓨터와 스마트폰이 바로 이 원리로 움직입니다. 같은 스마트폰으로 게임도 하고 지도도 보고 숙제도 할 수 있는 이유가 여기에 있습니다. 1945년 가을, 튜링은 이 생각을 실제 기계로 옮길 기회를 얻었습니다.

11.1 국립물리연구소(NPL) 입사

런던 서쪽 테딩턴에는 영국 국립물리연구소가 있습니다. 영어 이름 National Physical Laboratory의 머리글자를 따서 흔히 NPL이라고 부릅니다. NPL은 길이와 무게, 시간 같은 나라의 기준을 정하고 여러 과학 연구를 수행하는 정부 연구소입니다.

전쟁이 끝나 갈 무렵 영국 정부는 NPL 안에 수학 부서를 새로 만들기로 했습니다. 전쟁 중에 크게 발전한 계산 기술을 이제 과학과 산업에 활용하려는 계획이었습니다. 새 부서의 책임자는 응용수학자 존 워머슬리(John R. Womersley)였습니다. 워머슬리는 튜링이 1936년에 쓴 논문 「계산 가능 수와 결정 문제의 응용」을 읽고 그 가치를 일찍 알아본 몇 안 되는 사람이었습니다.

그 무렵 사람들은 대부분 계산기를 한 가지 일만 하는 도구로 생각했습니다. 포탄이 날아가는 길을 계산하는 기계는 그 계산만 했고, 다른 계산을 하려면 다른 기계가 필요했습니다. 1945년 미국에서 완성한 대형 전자 계산기 에니악(ENIAC)도 비슷했습니다. 에니악은 진공관을 약 1만 8천 개나 쓴 거대한 기계였지만, 새 문제를 풀 때마다 사람이 전선을 일일이 뽑아 다시 꽂고 스위치를 바꾸어야 했습니다. 계산 준비에만 며칠이 걸리기도 했습니다.

워머슬리는 NPL에서 큰 전자 계산기를 만들고 싶어 했고, 이 일을 맡길 사람으로 튜링을 골랐습니다. 튜링을 찾아간 워머슬리는 미국에서 막 나온 보고서 한편을 보여 주었습니다. 헝가리 출신의 미국 수학자 존 폰 노이만이 1945년 6월에 쓴 「EDVAC에 관한 보고서 첫 초안」이었습니다. 이 보고서는 프로그램을 기계 안에 저장해 두고 일하는 컴퓨터, 곧 저장 프로그램 컴퓨터의 기본 구조를 설명하고 있었습니다. 폰 노이만은 튜링이 프린스턴에서 공부하던 시절부터 튜링의 연구를 알고 있었습니다. 워머슬리는 EDVAC 보고서의 핵심 생각 가운데 많은 부분이 튜링에게서 비롯되었다고 보았습니다.

1945년 10월 1일, 튜링은 NPL 수학 부서에 수석 연구관으로 첫 출근을 했습니다. 워머슬리는 새 컴퓨터 계획에 ACE라는 이름을 붙였습니다. Automatic Computing Engine, 우리말로 '자동 계산 기관'이라는 뜻입니다. 엔진(Engine)이라는 낱말에는 사연이 있습니다. 19세기 영국 수학자 찰스 배비지는 톱니바퀴로 움직이는 계산 기계를 설계하면서 '차분 기관'과 '해석 기관'이라는 이름을 붙였습니다. 워머슬리는 배비지를 기리는 뜻으로 ACE에도 같은 낱말을 넣었습니다. 100년 전 배비지가 품었던 꿈을 튜링이 이어받는다는 뜻도 담긴 이름이었습니다.

튜링이 구상한 컴퓨터는 에니악과 달리 전선을 다시 꽂지 않습니다. 기계는 그대로 두고 프로그램과 자료만 새로 넣습니다. 그러면 같은 기계가 오늘은 날씨를 계산하고, 내일은 다리가 견딜 무게를 계산하고, 모레는 체스를 둘 수 있습니다. 튜링은 ACE를 숫자만 빨리 셈하는 계산기로 보지 않았습니다. 사람의 머리가 하는 여러 가지 지적인 일을 대신할 수 있는 기계로 보았습니다. 1936년의 보편 기계를 진공관과 전선으로 옮겨 놓는 일, 그것이 NPL에서 튜링이 맡은 일이었습니다.

11.2 ACE 보고서

튜링은 빠르게 일했습니다. NPL에 들어온 지 석 달이 채 지나지 않은 1945년 말, 튜링은 ACE 설계 보고서를 완성했습니다. 제목은 「전자 계산기 제안 (Proposed Electronic Calculator)」이었습니다. 타자기로 친 48쪽 분량의 이 보고서에는 회로도와 부품 설명, 기억장치 설계, 예산, 그리고 실제로 돌릴 수 있는 프로그램 예시까지 들어 있었습니다. 폰 노이만의 EDVAC 보고서가 큰 구조를 설명한 미완성 초안이었다면, 튜링의 보고서는 그대로 따라 만들 수 있는 설계도에 가까웠습니다.

1946년 3월 19일, 튜링은 NPL 집행위원회에 ACE 계획을 설명했고, 위원회는 계획을 추진하는 데 동의했습니다. 튜링은 ACE를 만드는 데 1만 1,200파운드가 들 것으로 계산했습니다. 보고서에는 ACE가 할 수 있는 일도 적혀 있었습니다. 튜링은 복잡한 과학 계산은 물론이고, 퍼즐을 풀거나 체스에서 몇 수 앞을 내다 보는 일까지 ACE가 해낼 수 있다고 보았습니다.

튜링이 보고서에서 자세히 다룬 부분은 기억장치였습니다. 컴퓨터가 일을 하려면 프로그램과 숫자를 어딘가에 담아 두어야 하는데, 이 장치를 기억장치 또는 메모리라고 합니다. 튜링은 컴퓨터 설계에서 가장 어려운 문제가 기억장치이고, 이 문제만 풀면 나머지 회로는 비교적 쉽다고 생각했습니다. 그 시절에는 오늘날 같은 반도체 메모리가 없었습니다. 진공관으로 기억장치를 만들면 숫자 하나를 기억하는 데에도 진공관이 여러 개 필요해서, 비용도 크기도 감당할 수 없었습니다.

튜링이 고른 방법은 수은 지연선이었습니다. 수은 지연선은 전쟁 때 레이더 기술에서 나온 장치입니다. 길이 약 1.5미터(5피트)의 강철 관에 액체 금속인 수은을 채우고, 양쪽 끝에 수정 조각을 붙입니다. 수정은 전기 신호를 소리 신호로 바꾸고, 소리 신호를 다시 전기 신호로 바꿉니다. 한쪽 끝에서 0과 1을 나타내는 소리

펄스를 보내면 소리는 수은 속을 지나 반대쪽 끝에 닿습니다. 이 신호를 다시 처음 자리로 돌려보내면 숫자들은 관 속을 쉬지 않고 돕니다. 기계는 숫자들을 계속 돌게 하는 방식으로 숫자를 기억하는 것입니다. 운동장 트랙을 쉬지 않고 도는 달리기 선수들을 떠올리면 이해하기 쉽습니다. 선수 한 명 한 명이 숫자 하나씩을 들고 달리는 셈입니다.

튜링은 이런 관을 200개쯤 이어 붙이려 했습니다. 관 하나에 0과 1을 1,024개쯤 담을 수 있으니, 모두 합하면 약 20만 개가 됩니다. 오늘날 단위로 바꾸면 약 25 킬로바이트입니다. 지금 스마트폰으로 찍은 사진 한 장보다 훨씬 작지만, 1946년에는 누구도 가져 보지 못한 큰 기억장치였습니다.

튜링은 수은 지연선의 약점도 알고 있었습니다. 숫자가 관 속을 돌기 때문에, 원하는 숫자가 관 출구에 올 때까지 기다려야 했습니다. 기다리는 시간이 길면 계산은 느려집니다. 그래서 튜링은 다음에 쓸 명령과 숫자가 필요한 바로 그 순간에 출구에 도착하도록 기억장치 안의 자리를 꼼꼼히 배치했습니다. 뒷날 사람들은 이 방법을 '최적 프로그래밍'이라고 불렀습니다. 이 방법은 지연선에서 기다리는 시간을 줄여 계산 속도를 높이려는 것이었습니다.

튜링은 기계의 속도도 정했습니다. 컴퓨터는 일정한 박자에 맞추어 일하는데, 이 박자를 클록이라고 합니다. 튜링은 ACE의 클록을 1메가헤르츠로 잡았습니다. 1초에 100만 번 박자를 맞춘다는 뜻입니다. 그 시절 기준으로는 빠른 속도였습니다.

ACE 설계에는 튜링다운 생각이 하나 더 담겨 있었습니다. 기계 부품은 되도록 적게 쓰고, 복잡한 일은 프로그램에 맡긴다는 생각이었습니다. 미국 기술자들은 곱셈이나 나눗셈을 위해 전용 회로를 따로 만들었고, 회로가 늘어날수록 진공관 수도 늘었습니다. 튜링은 이 방식을 따르지 않았습니다. 덧셈과 뺄셈, 숫자 옮기기처럼 간단한 명령만 기계가 맡게 하고, 곱셈이나 나눗셈, 제곱근 같은 계산은

간단한 명령을 여러 번 이어 붙인 프로그램으로 해결하게 했습니다. 튜링은 이런 프로그램을 '명령표(instruction tables)'라고 불렀습니다.

이렇게 설계한 데에는 이유가 있었습니다. 진공관은 전구처럼 쉽게 타 버리는 부품이어서, 수가 많을수록 기계가 자주 멈추었습니다. 진공관이 줄면 고장도 줄고 만들기도 쉬워집니다. 튜링은 기계를 가볍게 만들고, 부족한 부분은 잘 짠 프로그램으로 채우려 했습니다. 그는 프로그램을 짜는 일이야말로 1936년부터 자신이 해 온 일이라고 여겼습니다. 수십 년 뒤 컴퓨터 설계자들도 명령을 간단하게 줄이고 속도를 높이는 방식을 다시 찾아냈는데, 튜링의 설계는 그 생각을 먼저 보여 준 사례로 꼽힙니다.

프로그램에 많은 일을 맡기려면 프로그램을 효율적으로 짜는 방법도 필요합니다. 보고서에는 서브루틴이라는 생각이 들어 있습니다. 자주 쓰는 계산을 작은 프로그램으로 따로 만들어 두고, 필요할 때마다 불러 쓴 뒤 원래 자리로 돌아오는 방법입니다. 요리책에 '소스 만드는 법'을 한 번만 적어 두고 여러 요리에서 그 쪽을 찾아보게 하는 것과 비슷합니다. 오늘날 프로그래머들은 이 방법을 날마다 씁니다.

1947년 2월 20일, 튜링은 런던수학회에서 ACE에 대해 강연했습니다. 이 자리에서 튜링은 설계 설명에서 한 걸음 더 나아갔습니다. 그는 우리가 바라는 것은 경험에서 배우는 기계라고 말했습니다. 기계가 스스로 자기 명령을 고쳐 가며 점점 나아질 수 있다는 생각이었습니다. 세상에 제대로 작동하는 저장 프로그램 컴퓨터가 아직 한 대도 없던 때에, 튜링은 벌써 배우는 기계를 이야기하고 있었습니다.

11.3 관료주의의 벽과 케임브리지 안식년

설계도는 훌륭했지만, 기계를 만드는 일은 좀처럼 앞으로 나아가지 않았습니다. 걸림돌은 여러 가지였습니다.

가장 큰 문제는 사람이었습니다. NPL 수학 부서에는 수학자는 많았지만, 진공관 회로를 직접 만들 전자 기술자가 없었습니다. 튜링은 전쟁 때 콜로서를 만든 우체국 연구소(돌리스 힐)의 기술자 토미 플라워스와 앨런 콤스에게 도움을 받고 싶어 했습니다. 그러나 돌리스 힐 연구소는 전쟁으로 망가진 전화망을 고치는 일에 매달려 있었습니다.

비밀도 걸림돌이었습니다. 콜로서는 국가 기밀이었습니다. 튜링은 전쟁 중에 이미 진공관 수천 개짜리 전자 기계가 쉬지 않고 돌아갔다는 사실을 NPL 사람들에게 말할 수 없었습니다. 콜로서를 모르는 NPL 동료들은 ACE가 너무 큰 꿈이라고 생각했습니다.

연구소의 일 처리도 느렸습니다. NPL 소장은 진화론으로 이름난 찰스 다윈의 손자, 찰스 다윈 경이었습니다. 다윈 소장은 신중한 행정가였고, 회의와 서류를 거쳐 하나씩 결정했습니다. 기계를 어느 부서가 만들지, 다른 연구소와 일을 어떻게 나눌지를 두고 논의가 길게 이어졌습니다. 작은 시험용 기계부터 만들어 보자는 의견도 나왔습니다. 하지만 튜링은 시험용 기계에 시간을 쓰기보다 완전한 기계로 공장 가고 싶어 했습니다. 그 시험용 기계도 끝내 완성되지 못했습니다.

튜링은 점점 지쳐 갔습니다. 자신의 설계가 서류 더미 속에 머무는 동안, 다른 나라와 다른 대학의 연구팀은 저만치 앞서 나가고 있었습니다. 튜링은 답답한 마음을 달리기로 풀었습니다. NPL 시절 그는 근처의 월턴 육상 클럽에 들어가 장거리 달리를 했습니다. 런던에서 회의가 있는 날이면 연구소에서 회의장까지 뛰어갔다는 이야기도 전합니다. 1947년 8월에는 영국 아마추어 육상 협회(AAA)

마라톤 대회에 나가 2시간 46분 3초로 5위를 차지했습니다. 1948년 런던 올림픽 대표 선발까지 바라볼 만한 기록이었습니다. 하지만 다리를 다치면서 그 꿈은 이루지 못했습니다.

1947년 가을, 튜링은 NPL에 1년 동안의 안식년을 신청하고 케임브리지 킹스 칼리지로 돌아갔습니다. 안식년은 연구자가 원래 하던 일에서 잠시 떠나 쉬거나 새 공부를 하는 기간입니다. 튜링이 떠난 뒤 NPL의 ACE 팀은 그의 조수였던 짐 월킨슨이 이끌었습니다.

케임브리지에서 튜링은 새 공부를 시작했습니다. 사람의 뇌와 신경이 어떻게 일하는지 알고 싶어서 생리학과 신경학을 파고들었습니다. 생각하는 기계를 만들려면 먼저 생각하는 기관인 뇌를 알아야 한다고 보았기 때문입니다. 이 공부는 뒷날 생물의 몸에 나타나는 무늬를 수학으로 풀어 보는 연구로도 이어집니다.

1948년 여름, 튜링은 그동안의 생각을 정리해 NPL에 보고서 한 편을 냈습니다. 제목은 「지능 기계(Intelligent Machinery)」였습니다. 런던수학회 강연에서 말한 배우는 기계를 어떻게 만들 수 있는지 구체적으로 따져 본 글입니다. 오늘날 많은 학자가 이 글을 인공지능을 본격적으로 다룬 첫 보고서 가운데 하나로 꼽습니다.

보고서에서 튜링은 '비조직 기계'라는 개념을 내놓았습니다. 처음부터 특정한 일을 하도록 정교하게 설계된 기계와는 출발점이 다릅니다. 튜링은 여러 전자 부품을 무작위로 연결한 그물 같은 모형을 생각했습니다. 그리고 이 그물에 상과 벌을 주며 가르치면, 좋은 연결은 남고 나쁜 연결은 바뀌면서 그물이 스스로 쓸모 있는 기계로 자란다고 보았습니다. 아이가 칭찬과 꾸중을 들으며 배우는 모습과 비슷합니다. 오늘날 인공지능의 중심에 있는 '인공 신경망'과 닮은 생각입니다.

튜링은 '유전적 탐색' 또는 '진화적 탐색'이라는 생각도 적었습니다. 여러 가지 답을 조금씩 무작위로 바꾸어 보고, 그중 나은 것을 골라 다시 바꾸는 일을 되풀이하면 좋은 답을 찾을 수 있다는 방법입니다. 생물이 오랜 세월 진화해 온 방식을 계산에 빌려 온 셈입니다. 뒷날 '유전 알고리즘'이라는 이름으로 발전하는 생각입니다.

이 보고서에서 튜링은 기계에 지능을 갖추게 하는 두 가지 길을 함께 보았습니다. 하나는 사람이 미리 규칙을 정해 기계에 넣어 주는 길이고, 다른 하나는 기계가 경험을 쌓으며 스스로 배우게 하는 길입니다. 튜링은 어느 한쪽만 고집하지 않았습니다. 아이가 학교에서 정해진 내용을 배우면서도 놀이와 경험으로 스스로 깨치는 것처럼, 기계도 두 길을 함께 걸을 수 있다고 생각했습니다.

그러나 다윈 소장은 이 보고서를 반기지 않았습니다. 그는 이 글을 학생이 쓴 엉성한 작문 정도로 여겼습니다. NPL은 보고서를 책으로 내지 않았고, 「지능 기계」는 오랫동안 연구소 서류함 속에 머물렀습니다. 이 글은 1968년에야 처음 책으로 나왔습니다. 튜링이 세상을 떠나고 14년이 지난 뒤였습니다.

같은 무렵 맨체스터에서 소식이 들려왔습니다. 케임브리지 시절 튜링에게 논리학을 가르쳤고 블레츨리 파크에서 함께 일했던 맥스 뉴먼이 맨체스터 대학교 교수가 되어 계산기 연구소를 세운 것입니다. 레이더 기술자 프레디 윌리엄스와 톰 킬번이 그곳에서 작은 전자 컴퓨터를 만들었습니다. 사람들은 이 기계를 '맨체스터 베이비'라고 불렀습니다. 1948년 6월 21일, 맨체스터 베이비는 기억장치에 저장한 프로그램을 실행하는 데 성공했습니다. 프로그램을 기계 안에 저장해 두고 일하는 전자 컴퓨터가 처음으로 실제로 돌아간 순간이었습니다.

튜링의 이직 결정은 베이비의 첫 실행보다 앞섰습니다. 그는 1948년 봄 뉴먼의 제안을 받아들였고, 5월 NPL에 사직 의사를 밝혔습니다. 같은 해 9월에는 맨체스터 대학교에서 일하기 시작했습니다.

튜링이 떠난 뒤에도 ACE의 설계는 살아남았습니다. 윌킨슨과 동료 도널드 데이비스, 마이크 우저(Mike Woodger) 등은 튜링의 설계를 줄여 작은 기계를 만들었습니다. 이 기계가 '파일럿 ACE'입니다. 파일럿 ACE는 1950년 5월 10일 첫 프로그램을 실행했습니다. 진공관은 약 800개로 에니악의 1만 8천 개보다 훨씬 적었지만, 튜링이 정한 대로 1메가헤르츠의 박자로 움직였습니다. 1950년대 초, 파일럿 ACE는 세계에서 가장 빠른 컴퓨터 가운데 하나였습니다. 영국 회사 잉글리시 일렉트릭은 이 기계를 바탕으로 상업용 컴퓨터 DEUCE를 만들어 1955년부터 팔았습니다. 튜링이 처음 구상한 크기의 ACE는 1958년에야 완성되었습니다.

NPL에서 보낸 3년 동안 튜링은 자기 손으로 완성한 컴퓨터를 한 대도 보지 못했습니다. 그래도 이 시기에 그는 저장 프로그램 컴퓨터의 자세한 설계도를 그렸고, 배우는 기계라는 새로운 질문을 세상에 던졌습니다. 파일럿 ACE는 지금 런던 과학박물관에 있습니다. 그리고 2021년 6월 영국이 새로 발행한 50파운드 지폐 뒷면에는 튜링의 얼굴과 함께 이 기계의 모습이 담겨 있습니다.

제12장. 맨체스터 대학교와 최초의 프로그램 내장식 컴퓨터 (1948-1951)

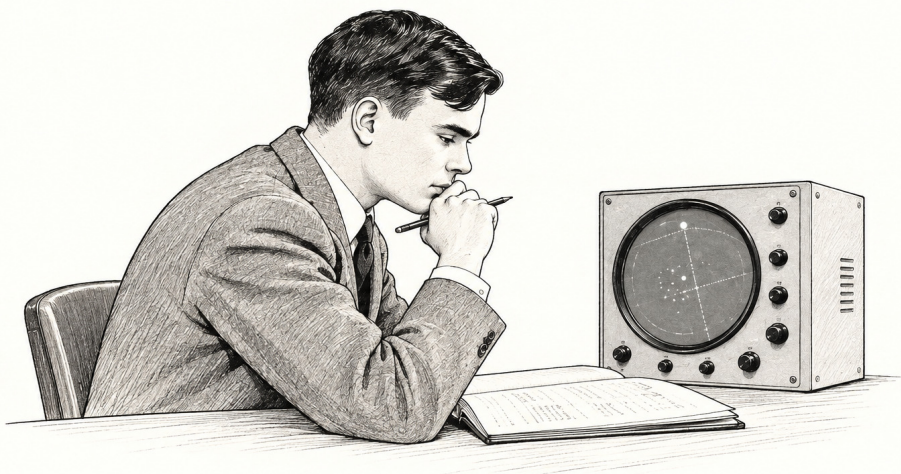


그림 12. 초기 컴퓨터를 연구하던 시기를 표현했습니다.

1948년, 서른여섯 살의 앨런 튜링은 런던 근처 테딩턴의 국립물리연구소(NPL)에서 2년 넘게 컴퓨터 설계에 매달리고 있었습니다. 그가 작성한 자동계산기 ACE의 설계안은 당시로서는 구체적으로 작성된 컴퓨터 설계안이었습니다. 그러나 설계안이 있다고 해서 기계가 만들어지는 것은 아니었습니다. 제작을 맡을 기술자가 모자랐고, 결정은 늘 늦어졌습니다. 1936년에 종이 위에서 구상한 '보편 기계'를 실제 전자 기계로 만들어 보고 싶었던 튜링은 지쳐 가고 있었습니다.

그때 오래 알고 지낸 수학자 한 사람이 튜링을 불렀습니다. 맨체스터 대학교의 맥스 뉴먼 교수였습니다.

12.1. 맥스 뉴먼의 초빙과 이동

튜링과 뉴먼의 인연은 케임브리지에서 시작됩니다. 1935년 튜링은 뉴먼이 가르치는 '수학의 기초' 강의를 들었습니다. 뉴먼은 이 강의에서 독일 수학자 다비트 힐베르트가 제기한 '결정 문제'를 소개했습니다. 어떤 논리 문장이 주어졌을 때, 그 문장이 정해진 논리 규칙으로 증명될 수 있는지를 기계처럼 일정한 절차에 따라 언제나 가려낼 수 있느냐는 문제였습니다. 튜링은 이 질문과 씨름한 끝에 1936년 「계산 가능 수」 논문을 썼고, 튜링 기계와 보편 기계라는 개념이 이 논문에서 나왔습니다.

두 사람은 제2차 세계대전 때 블레츨리 파크에서 다시 만났습니다. 뉴먼은 '뉴먼 리'라는 부서를 이끌며 독일군 최고 사령부가 쓰던 로렌츠 암호를 풀었습니다. 이 일을 위해 기술자 토미 플라워스가 진공관 수천 개로 콜로서스라는 전자식 암호해독기를 만들었습니다. 콜로서스는 빨랐지만 할 수 있는 일은 암호 해독 한 가지뿐이었고, 다른 일을 시키려면 스위치와 전선을 손으로 바꿔 꽃아야 했습니다. 뉴먼과 튜링은 전자 회로가 얼마나 빠르게 계산할 수 있는지를 이곳에서 직접 보았습니다. 빠른 회로에 프로그램을 기억시키면, 프로그램을 바꾸어 계산 가능한 여러 종류의 문제를 하나의 기계로 처리할 수 있었습니다.

전쟁이 끝난 뒤 뉴먼은 맨체스터 대학교 순수수학 교수가 되었습니다. 그는 1946년 영국 왕립학회에서 3만 5,000파운드라는 큰 연구비를 받아 '계산기기 연구소'를 세웠습니다. 한편 맨체스터 대학교 전기공학과에는 전쟁 중 레이더를 연구하던 기술자 두 사람이 왔습니다. 프레디 윌리엄스와 톰 킬번이었습니다. 곧 이어 제프 투틸이 이들과 함께했습니다.

윌리엄스와 킬번은 레이더 화면에 쓰던 음극선관(CRT)으로 0과 1을 저장하는 방법을 찾아냈습니다. 음극선관 화면 위에 작은 빛의 점을 찍어 두면 그 자리에 전기가 잠시 남습니다. 이 흔적을 읽고 다시 써 주는 일을 되풀이하면 숫자를 기

억할 수 있습니다. 이 장치를 '윌리엄스-킬번 관'이라고 부릅니다. 당시 다른 연구소들은 수은을 채운 긴 관 속으로 소리 신호를 돌게 하는 방식을 썼는데, 이 방식에서는 원하는 숫자가 관 끝에 도착할 때까지 기다려야 했습니다. 반면 윌리엄스-킬번 관은 어느 자리의 숫자든 곧바로 꺼내 읽을 수 있었습니다. 원하는 위치의 데이터를 순서대로 기다리지 않고 읽는다는 점은 오늘날의 램(RAM)과 통합니다.

연구비와 연구소, 기술진과 기억 장치가 갖추어진 맨체스터로 뉴먼은 튜링을 초빙했습니다. 튜링은 NPL을 그만두었고, 1948년 9월 맨체스터 대학교 수학과에 리더(Reader)로 자리를 잡았습니다. 리더는 교수 바로 아래 직급입니다. 그는 '왕립학회 계산기기 연구소 부소장'이라는 직함도 받았습니다. 그런데 이 연구소에는 소장이 따로 없었습니다. 맨체스터 대학교의 옛 기록은 이 직함이 이름뿐이었고, 처음에 튜링이 맡은 공식 업무가 무엇이었는데도 분명하지 않다고 적고 있습니다.

튜링은 맨체스터로 옮기기 전부터 그곳 기계에 관심을 보였습니다. 그는 기계가 처리하는 명령어 목록을 미리 받아 보고, 긴 나눗셈을 하는 프로그램을 작성해 보냈습니다. 이 프로그램은 투틸이 수정하여 기계에서 실행되도록 했습니다.

맨체스터 연구소의 일은 크게 둘로 나뉘었습니다. 윌리엄스와 킬번이 이끄는 기술진은 진공관 회로와 기억 장치 같은 기계 본체를 만들었습니다. 튜링은 그 기계로 실제 계산을 하는 방법, 곧 프로그램 쪽을 맡았습니다. 기계를 직접 납땜하는 기술자들과 종이와 연필로 기계를 구상하는 수학자 튜링은 일하는 방식이 달랐고, 서로 생각이 엇갈릴 때도 있었습니다. 그래도 튜링은 실제 전자 컴퓨터가 눈앞에서 작동하는 맨체스터에서 일하는 것을 좋아했습니다.

12.2. 맨체스터 베이비와 Mark 1, 그리고 프로그래머 지침서

튜링이 맨체스터에 오기 석 달쯤 전, 그곳에서는 컴퓨터 역사의 큰 사건이 일어났습니다. 1948년 6월 21일 오전 11시가 조금 지난 시각, 작은 실험용 기계 하나가 첫 프로그램을 실행했습니다. 기계의 정식 이름은 '소형 실험 기계(SSEM)'였지만, 사람들은 '베이비'라고 불렀습니다.

베이비는 처음부터 실용적인 계산기로 만든 기계가 아니었습니다. 윌리엄스-킬번관이 제대로 작동하는지 시험하려고 만든 장치였습니다. 기억 용량은 32비트 짜리 숫자 32개, 모두 1,024비트였습니다. 오늘날 휴대전화와 비교하면 아주 작은 양입니다. 그래도 베이비는 기억 장치 안에 넣어 둔 프로그램을 스스로 꺼내 읽고 실행했습니다. 콜로서스처럼 전선을 바꿔 끼지 않아도, 기억 장치 속 내용만 바꾸면 다른 일을 시킬 수 있었습니다. 이것이 '프로그램 내장식 컴퓨터'입니다. 베이비는 이런 방식으로 실제 작동한 세계 최초의 전자 컴퓨터입니다.

첫 프로그램은 톰 킬번이 작성했습니다. 어떤 수의 가장 큰 진약수, 곧 자기 자신을 뺀 약수 가운데 가장 큰 수를 찾는 프로그램이었습니다. 처음에는 작은 수로 시험했고, 며칠 안에 2를 18번 곱한 수인 262,144까지 시험 범위를 넓혔습니다. 262,144의 가장 큰 진약수는 131,072입니다. 사람이라면 금방 알 수 있는 답이지만, 기계는 큰 수부터 하나씩 나눠 보는 방식으로 찾아야 했습니다. 이 계산에서 베이비는 52분 동안 쉬지 않고 작동한 끝에 정답을 화면의 빛 점으로 보여 주었습니다. 이 일은 튜링이 1936년 논문에서 제시한 생각이 실제 기계 위에서 작동한다는 것을 보여 주었습니다.

베이비가 성공하자 연구진은 곧 이 기계를 확장하는 일에 나섰습니다. 그렇게 만든 컴퓨터가 '맨체스터 Mark 1'이며, 1949년 4월부터 사람들이 쓸 수 있게 되었습니다. 기억 장치는 40비트짜리 숫자 128개로 늘었습니다. 빠르게 회전하는 원통 표면에 자석으로 숫자를 기록하는 '자기 드럼'도 추가했습니다. 자주 쓰는 내

용은 빠른 음극선관에 두고, 많은 내용은 드럼에 넣어 두는 방식이었습니다. 오늘날 컴퓨터가 메모리와 저장 장치를 따로 두는 것과 비슷합니다.

Mark 1에는 'B-라인'이라는 장치도 들어갔습니다. 같은 계산을 여러 번 되풀이할 때, 다음 번에 읽을 숫자의 자리를 자동으로 바꿔 주는 장치입니다. 지금은 '인덱스 레지스터'라고 부르며, 거의 모든 컴퓨터에 들어 있습니다. 전기전자공학자 협회(IEEE)는 베이비를 기념하면서 Mark 1이 인덱스 레지스터를 처음 선보인 기계라고 기록했습니다.

튜링은 Mark 1을 쓸 수 있게 되자 곧바로 이 기계로 일을 시작했습니다. 그 전까지는 스위치를 하나하나 눌러 프로그램을 입력해야 했습니다. 1949년 여름 튜링은 구멍 뚫린 종이 테이프를 프로그램과 숫자를 입력하고 출력하는 장치를 구해와서 Mark 1에 연결하는 일을 거들었습니다.

이 무렵 튜링이 힘을 기울인 일은 사람들이 컴퓨터에 일을 시키는 방법을 정리하는 것이었습니다. 지금은 프로그래밍 언어로 'print'처럼 사람이 읽을 수 있는 말을 씁니다. 그러나 당시 컴퓨터는 0과 1만 처리했습니다. 튜링은 0과 1을 다섯 자리씩 묶어 하나의 글자나 기호로 나타냈습니다. 다섯 자리 0과 1로는 서른두 가지를 나타낼 수 있습니다. 튜링은 전신 타자기에서 쓰던 글자 부호를 가져와 이 서른두 가지에 하나씩 대응시켰습니다. 프로그래머는 길게 늘어선 0과 1 대신 이 기호들로 프로그램을 적었습니다. 이 방법은 쓰는 사람의 실수를 줄여 주었지만, 처음 배우는 사람에게는 여전히 낯선 암호처럼 보였습니다.

튜링은 자주 쓰는 계산을 작은 프로그램으로 따로 만들어 두었습니다. 이것을 '서브루틴'이라고 합니다. 제곱근, 로그, 삼각함수를 구하는 서브루틴과 결과를 종이 테이프에 찍어 내는 서브루틴이 있었습니다. 프로그래머는 필요할 때 이것들을 불러다 쓰면 되었으므로, 같은 계산을 매번 처음부터 작성할 필요가 없었습니다. 오늘날 프로그래머들이 쓰는 '라이브러리'와 같은 발상입니다. 튜링은 음

극선관 기억 장치와 자기 드럼 사이에서 숫자를 '페이지'라는 단위로 옮기는 규칙도 정했습니다.

이 일을 튜링 혼자 한 것은 아닙니다. 수학을 공부한 시실리 포플웰은 튜링의 조수로 일하며 Mark 1의 프로그램을 작성했습니다. 맨체스터 대학교 기록은 튜링이 포플웰의 전일제 도움을 받아 Mark 1의 초기 소프트웨어를 마련했다고 적고 있습니다.

튜링은 이렇게 정리한 내용을 책자로 묶었습니다. 제목은 『맨체스터 전자 계산기 Mark II 프로그래머 지침서』였습니다. 제목에 'Mark II'가 들어간 것은 튜링이 곧 들어올 페란티 회사의 새 기계를 그렇게 불렀기 때문입니다. 그는 그 기계가 도착하기 전에 미리 지침서를 썼고, 지침서의 바탕은 Mark 1을 다루며 쌓은 경험이었습니다. 남아 있는 첫판 한 부에는 1951년 3월 날짜가 적힌 정오표가 붙어 있습니다. 많은 역사학자는 이 책을 프로그램 내장식 컴퓨터를 위해 쓴 세계 최초의 프로그래밍 안내서로 봅니다.

튜링은 이 지침서에서 전자 계산기가 무엇인지도 설명했습니다. 그의 뜻을 풀어 쓰면 이렇습니다. 전자 계산기는 정해진 규칙을 그대로 따르는 사람이 해 오던 계산을 대신하는 기계입니다. 이 사람은 계산하는 법은 알지만 스스로 판단하지는 않습니다. 튜링은 컴퓨터를 신비한 두뇌로 보지 않았습니다. 규칙을 하나도 빠뜨리지 않고 따르는 아주 빠른 계산원으로 보았습니다.

지침서에는 눈에 띄는 명령어도 있었습니다. '후트(hoot)'라는 명령입니다. 컴퓨터에 붙은 스피커에서 '뚜' 하는 소리를 내게 하는 명령으로, 원래는 계산이 멈췄다는 것을 기계 앞의 사람에게 알리는 신호였습니다. 그런데 이 소리를 빠르게 여러 번 내면 높낮이가 다른 음을 만들 수 있었습니다. 튜링은 지침서에 이 방법을 적어 두었고, 이것이 뒷날 컴퓨터 음악의 출발점이 됩니다.

맨체스터 컴퓨터는 연구소 밖에서도 주목을 받았습니다. 1949년 6월 9일, 맨체스터의 신경외과 의사 제프리 제퍼슨이 「기계 인간의 마음」이라는 강연을 했습니다. 그는 기계가 사람처럼 생각하거나 느낄 수는 없다고 말했습니다. 이튿날 신문이 이 강연을 다루었고, 기자가 튜링을 찾아갔습니다. 1949년 6월 11일 자 『타임스』에는 「기계 두뇌: 300년 묵은 계산의 답을 찾다」라는 기사가 실렸습니다. 여기서 '300년 묵은 계산'은 2를 여러 번 곱한 뒤 1을 뺀 수 가운데 어떤 것이 소수인지 찾는 문제였습니다. 이런 수를 메르센 수라고 부릅니다. 뉴먼과 튜링은 1948년 여름부터 이 문제를 맨체스터 기계로 풀어 보려고 준비했습니다.

이 기사에서 튜링은 '이것은 앞으로 올 일의 맛보기일 뿐이고, 장차 올 것의 그림자일 뿐이다'라고 말했습니다. 그는 기계가 사람의 지능이 다루는 분야에 들어가 언젠가 사람과 겨룰 수 있다고 보았습니다. 72년 뒤인 2021년, 영국은 튜링의 얼굴을 넣은 50파운드 지폐를 새로 발행했습니다. 그 지폐에 이 말이 적혀 있습니다.

튜링은 Mark 1로 자신의 연구도 했습니다. 1950년에는 수학에서 오래 풀리지 않은 문제인 리만 가설과 관련된 계산을 이 기계로 해 보았습니다. 같은 해 그는 「계산 기계와 지능」이라는 논문을 발표했습니다. 이 논문은 기계가 생각할 수 있느냐는 물음을 다루었습니다.

12.3. 페란티 상용 컴퓨터 컨설팅

베이비의 성공 소식은 영국 정부에도 전해졌습니다. 정부의 보급부는 맨체스터 대학교의 기술을 기업에 이전하여 판매할 수 있는 컴퓨터로 만들기로 했습니다. 1948년 말, 정부는 맨체스터의 전기 회사 페란티와 계약을 맺었습니다. 대학 실험실에서 만든 기계를 회사가 견고하게 다시 제작하여 판매하는 일이었습니다. 1949년 7월, 새 기계의 기본 설계가 페란티로 넘어갔습니다.

튜링은 페란티의 자문을 맡았습니다. 그는 회사 기술자들에게 새 기계의 설계와 프로그램 작성 규칙에 관해 의견을 냈고, 그 의견은 기계 곳곳에 반영되었습니다.

대표적인 것이 '무작위 수 발생 장치'입니다. 주사위를 던지듯 미리 알 수 없는 수를 만들어 내는 장치입니다. 튜링의 제안으로 페란티 Mark 1에는 전자 회로의 잡음을 이용해 무작위 수를 만드는 장치가 들어갔습니다. 이런 수는 날씨나 생물처럼 우연이 섞인 현상을 모사하는 계산이나 게임을 하는 프로그램에 유용합니다. 새 기계에서는 B-라인도 여덟 개로 늘었고, 명령어도 더 많아졌습니다.

튜링은 기계 회로를 되도록 단순하게 두고, 복잡한 일은 프로그램으로 처리하자는 입장이었습니다. 진공관을 하나 더 넣을 때마다 고장 날 곳이 하나 더 생기고 비용도 오릅니다. 반대로 프로그램은 한 번 잘 작성해 두면 몇 번이고 다시 쓸 수 있습니다. 1936년부터 '보편 기계' 하나로 프로그램을 바꾸어 여러 종류의 계산 가능한 문제를 처리할 수 있다고 생각해 온 튜링의 관점이 이어진 입장이었습니다.

1951년 2월, 페란티가 만든 첫 컴퓨터가 맨체스터 대학교 튜링의 연구소에 들어왔습니다. 사람들은 이 기계를 '페란티 Mark 1'이라고 불렀습니다. 페란티 Mark 1은 회사가 만들어 시장에 내놓은 세계 최초의 범용 전자 컴퓨터입니다. 미국에서 처음으로 판매용으로 만든 컴퓨터 유니박 I보다 몇 주 앞섰습니다.

새 기계가 들어오자 튜링의 지침서는 사용 설명서 역할을 했습니다. 이 기계를 쓰려는 사람은 누구나 그 지침서로 프로그래밍을 배웠습니다. 그 가운데 튜링의 친구 크리스토퍼 스트레이치가 있었습니다. 스트레이치는 1951년 이 기계로 체커 게임 프로그램을 작성했고, 후트 명령을 써서 음악을 연주하는 프로그램도 만들었습니다. 그해 영국 BBC 방송이 맨체스터를 찾아와, 컴퓨터가 영국 국가와 「Baa Baa Black Sheep」, 「인 더 무드」를 연주하는 소리를 녹음했습니다. 컴퓨터 보존 협회는 이보다 앞선 컴퓨터 음악 녹음을 알지 못한다고 밝혔습니다.

페란티 Mark 1은 여러 과학자와 기술자의 계산에 쓰였습니다. 튜링도 이 기계로 생물의 무늬가 생기는 원리를 계산했습니다.

1951년 무렵 튜링은 맨체스터 컴퓨터를 만드는 일에서 한발 물러났습니다. 프로그래머들을 돕는 일은 새로 온 토니 브루커가 이어받았습니다. 그러나 튜링이 마련한 것은 그대로 이어졌습니다. 명령어를 기호로 적는 방법, 서브루틴을 모아두는 방식, 사람들에게 프로그래밍을 가르치는 지침서가 그것이었습니다. 기계가 있어도 그 기계에 일을 시키는 방법이 없으면 컴퓨터는 쓸모가 없습니다. 튜링은 맨체스터에서 그 방법의 첫 틀을 세웠습니다.

1948년에는 맨체스터 기술진이 만든 프로그램 내장식 전자 컴퓨터가 작동했고, 1951년에는 상업용 기계도 등장했습니다. 계산에 관한 이론은 여러 연구자와 기술자의 작업을 거쳐 실제 기계와 프로그램으로 발전했습니다. 튜링은 그 과정에서 이론과 설계, 프로그래밍에 기여했으며, 기계의 지능에 관한 연구도 이어갔습니다.

제13장. 튜링 테스트: 기계는 생각할 수 있는가? (1950)

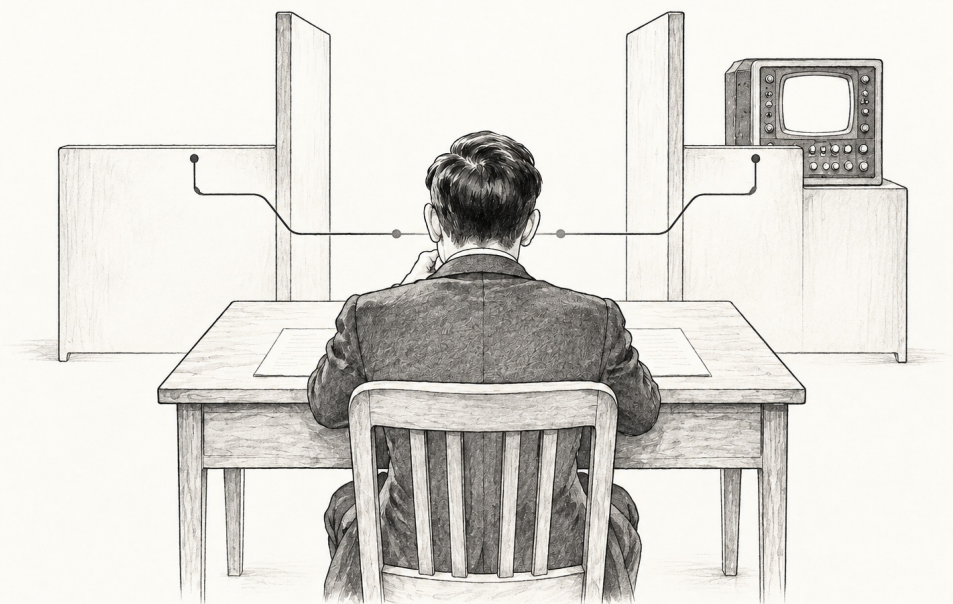


그림 13. 대화로 사람과 기계를 구별하는 모방 게임의 개념도입니다.

1950년 10월, 영국의 철학 학술지 『마인드(Mind)』 제59권 236호에 28쪽에 이르는 논문 한 편이 실렸습니다. 제목은 「계산 기계와 지능(Computing Machinery and Intelligence)」 이었고, 글쓴이는 맨체스터 대학교 계산기 연구소의 부소장으로 일하던 서른여덟 살의 수학자 앨런 튜링이었습니다. 논문은 짧은 질문 하나로 시작합니다. "기계는 생각할 수 있는가?"

오늘날 많은 사람이 이 논문을 인공지능 연구의 출발점으로 꼽습니다. 그러나 논문이 나온 1950년에는 '인공지능'이라는 말이 아직 없었습니다. 이 말은 1955년 미국의 존 매카시와 동료들이 쓴 연구 제안서에 처음 나왔고, 1956년 다트머스

대학교에서 열린 여름 연구 모임을 거쳐 널리 퍼졌습니다. 튜링은 학문의 이름이 생기기도 전에, 그 학문이 오래도록 다루게 될 질문을 먼저 던진 셈입니다.

13.1. 철학적 전환과 『Mind』 논문

수학자가 철학 학술지에 글을 쓰다

튜링은 그때까지 주로 수학자이자 기술자로 일했습니다. 1936년에는 종이 테이프와 규칙으로 다른 튜링 기계의 계산을 흉내 내는 상상의 기계, 곧 보편 튜링 기계를 생각해 냈습니다. 전쟁 중에는 블레츨리 파크에서 봄브를 설계하고 반부리스무스라는 통계 기법을 만들어 독일군 암호를 풀었습니다. 전쟁이 끝난 뒤에는 국립물리연구소에서 ACE 컴퓨터를 설계했고, 1948년부터는 맨체스터 대학교에서 실제로 작동하는 컴퓨터의 프로그램을 짰습니다.

그러나 튜링에게는 이 일들과 나란히 이어져 온 다른 물음이 있었습니다. 열일곱 살 때 친구 크리스토퍼 모컴을 잃은 뒤로, 그는 마음과 영혼이 무엇인지, 생각은 몸의 어디에서 생기는지 오래 고민했습니다. 컴퓨터가 설계도 속의 구상에서 눈앞의 현실로 바뀌자 이 오래된 물음은 새로운 형태로 돌아왔습니다. 사람의 생각도 결국 일정한 규칙에 따라 이루어지는 일이라면, 기계도 생각할 수 있지 않겠느냐는 물음이었습니다.

이 물음은 튜링 한 사람의 관심사에 머물지 않았습니다. 1949년에는 신문에까지 오르내렸습니다. 그해 6월, 뇌신경외과 의사 제프리 제퍼슨 교수가 런던에서 강연을 하며 기계는 사람의 뇌와 같아질 수 없다고 주장했습니다. 신문 『타임스』는 이 강연을 다루면서 맨체스터 컴퓨터 이야기도 함께 실었고, 기자는 튜링에게 의견을 물었습니다. 튜링은 지금 벌어지는 일은 앞으로 올 일의 맛보기에 지나지 않는다는 뜻으로 답했습니다.

튜링은 이 문제를 신문 기사 속의 짧은 답변으로 끝내지 않았습니다. 생각을 차분히 정리해 철학자들이 읽는 학술지에 싣기로 했고, 그렇게 나온 글이 『마인드』 논문입니다. 당시 이 학술지의 편집장은 옥스퍼드 대학교의 철학자 길버트 라일

이었습니다. 컴퓨터를 직접 설계하고 프로그램을 짜 본 사람이, 기계와 생각의 관계라는 철학의 문제를 철학자들의 지면에서 다룬 것입니다.

질문을 바꾸는 것에서 시작하다

튜링은 논문 첫머리에서 자신이 던진 질문부터 문제 삼았습니다. "기계는 생각할 수 있는가?"라는 질문은 너무 흐릿하다는 것입니다. '기계'와 '생각한다'라는 낱말의 뜻부터 정하려고 하면 끝없는 말다툼에 빠집니다. 그렇다고 사람들이 이 낱말을 평소에 어떻게 쓰는지 조사해서 답을 정한다면, 그것은 여론조사로 과학 문제를 푸는 것과 같다고 튜링은 보았습니다.

그래서 튜링은 원래 질문을 버리고, 뜻이 분명하고 실제로 시험해 볼 수 있는 새 질문을 내놓았습니다. 기계가 생각하는지를 마음속을 들여다보며 따지지 말고, 기계가 하는 행동을 보고 판단하자는 것이었습니다. 낱말의 정의를 두고 다투던 문제가 이로써 조건을 정해 결과를 확인할 수 있는 문제로 바뀌었습니다. 철학의 오래된 질문을 실험실의 질문으로 옮겨 놓은 전환이었습니다.

논문은 모두 일곱 부분으로 이루어져 있습니다. 튜링은 먼저 새 질문인 '모방 게임'을 소개하고, 이 게임에 쓸 기계가 디지털 컴퓨터라는 점과 디지털 컴퓨터가 어떤 성질을 지녔는지 설명했습니다. 그다음 기계 지능에 반대하는 아홉 가지 주장을 하나씩 따졌고, 마지막으로 스스로 배우는 기계를 어떻게 만들 수 있을지에 관한 생각을 펼쳤습니다.

13.2. 모방 게임(Imitation Game)과 튜링 테스트

세 사람이 하는 게임

튜링은 새 질문을 설명하려고 한 가지 게임을 제시했습니다. 이 게임에는 세 사람이 참여합니다. 남자 A와 여자 B가 참여하고, 질문하는 사람 C는 두 사람과 떨어진 방에 있습니다. C는 두 사람의 얼굴을 볼 수도, 목소리를 들을 수도 없습니다. 질문과 대답은 타자기로 친 글이나 텔레프린터라는 전신 타자기로만 주고받습니다. C는 대화를 나눈 뒤 둘 중 누가 남자이고 누가 여자인지 맞혀야 합니다.

두 사람의 역할은 서로 다릅니다. 남자 A는 C가 틀린 답을 내도록 속입니다. 머리 모양을 묻는 질문을 받으면 A는 자기가 여자인 것처럼 거짓으로 대답할 수 있습니다. 반대로 여자 B는 C가 바른 답을 내도록 돕습니다. B는 "내가 여자예요, 저 사람 말을 믿지 마세요"라고 진실을 말하면 되지만, A도 똑같은 말을 할 수 있으므로 C는 쉽게 판단하지 못합니다.

튜링은 이 게임에 한 가지 변화를 주었습니다. 남자 A의 자리에 기계를 앉히면 어떻게 되겠느냐는 것입니다. 질문자 C가 사람과 기계를 상대로 대화할 때 틀린 판단을 내리는 횟수가, 남자와 여자를 상대로 할 때만큼 많아질 수 있을까 하는 물음이었습니다. 튜링은 이것이 "기계는 생각할 수 있는가?"를 대신할 새 질문이라고 했습니다. 튜링 자신은 이 시험을 '모방 게임'이라고 불렀고, 훗날 사람들은 여기에 그의 이름을 붙여 '튜링 테스트'라고 부르게 되었습니다.

글로만 대화하게 한 까닭

튜링이 얼굴과 목소리를 가린 데에는 분명한 이유가 있었습니다. 그는 기계의 몸과 기계의 지능을 따로 떼어 보고자 했습니다. 사람 피부와 똑같은 인공 피부를 만들어 기계에 입힌다고 해서 그 기계가 더 똑똑해지지는 않습니다. 생각하는 능력을 재려면 생김새나 목소리가 아니라 말의 내용만 보아야 한다고 튜링은 판단했습니다.

이 조건은 공정함과도 관계가 있습니다. 사람이 비행기와 달리기 시합에서 졌다고 해서 사람을 낮추어 보지는 않습니다. 마찬가지로 기계가 미인 대회에서 상을 받지 못한다고 해서 기계를 탓할 이유도 없습니다. 모방 게임은 겉모습 때문에 사람이나 기계 어느 쪽도 손해 보지 않도록 짠 시험이었습니다.

겉모습을 가려도 시험이 느슨해지지는 않습니다. 글로 하는 대화라면 질문할 거리에 끝이 없기 때문입니다. 튜링은 논문에서 몇 가지 예를 들었습니다. 질문자는 스코틀랜드의 포스 다리를 주제로 시를 써 달라고 할 수 있고, 다섯 자리 수 두 개의 덧셈을 시킬 수도 있고, 체스 문제를 낼 수도 있습니다.

튜링이 든 예에서 대답하는 쪽은 시는 못 쓴다고 사양하고, 덧셈 문제에는 30초 쯤 틈을 들인 뒤 답을 냅니다. 그런데 그 답이 맞지 않습니다. 34,957과 70,764를 더하라는 문제에 105,621이라고 답하는데, 바른 답은 105,721입니다. 학자들 가운데 일부는 이것을 사람처럼 보이려고 일부러 낸 실수의 예로 읽고, 일부는 튜링이 숫자를 잘못 적었다고 봅니다. 어느 쪽이든 이 예는 사람다운 대답이 늘 정확한 대답과 같지는 않다는 점을 보여 줍니다.

컴퓨터 한 대가 모든 기계를 흉내 낸다

다음으로 정해야 할 것은 이 게임에 어떤 기계를 내보낼 것인가였습니다. 튜링은 디지털 컴퓨터를 골랐습니다. 디지털 컴퓨터는 정보를 담아 두는 기억 장치, 계산을 하는 장치, 명령을 차례대로 처리하게 하는 제어 장치로 이루어집니다. 튜링은 1936년의 보편 기계 논문에서 밝힌 생각을 여기서 다시 꺼냈습니다. 충분히 크고 빠른 디지털 컴퓨터 한 대는 알맞은 프로그램만 넣어 주면 단계별로 움직이는 다른 어떤 기계든 흉내 낼 수 있습니다. 따라서 게임에 나설 기계를 종류별로 따로 따질 필요가 없고, 새 질문은 결국 "알맞은 프로그램을 넣은 컴퓨터가 모방 게임을 잘 해낼 수 있는가?"가 됩니다.

50년 뒤를 내다본 예측

질문을 이렇게 구체적으로 다듬은 튜링은 답에 관한 예측도 수치로 적었습니다. 앞으로 50년쯤 지나 2000년 무렵이 되면, 10억(10의 9제곱) 비트쯤의 기억 장치를 가진 컴퓨터가 모방 게임을 꽤 잘하게 된다고 했습니다. 10억 비트는 오늘날 단위로 약 125메가바이트입니다. 그는 보통의 질문자가 5분 동안 대화한 뒤 사람과 기계를 바르게 가려낼 확률이 70퍼센트를 넘지 못할 것이라고 내다보았습니다. 20세기가 끝날 무렵에는 사람들이 '생각하는 기계'라는 말을 써도 아무도 반박하지 않는 때가 올 것이라고도 썼습니다.

실제 역사는 튜링의 예측보다 조금 느리게 움직였습니다. 2000년 무렵의 컴퓨터는 기억 용량에서 튜링의 예상을 훌쩍 넘어섰지만, 사람처럼 자연스럽게 대화하는 일은 해내지 못했습니다. 1991년 시작된 뢰브너상 대회에서는 일부 심사위원이 프로그램을 사람으로 판단하기도 했습니다. 다만 첫 대회는 대화 주제를 제한했기 때문에, 그 결과를 폭넓은 대화 능력의 증거로 보기는 어려웠습니다. 2014년에는 '유진 구스트만'이라는 프로그램이 심사위원의 3분의 1가량을 속였다는

발표가 있었지만, 열세 살 우크라이나 소년이라는 설정으로 서툰 대답을 감추었다는 비판을 받았습니다.

상황이 크게 바뀐 것은 2020년대에 들어서면서입니다. 2025년 미국 캘리포니아대학교 샌디에이고 캠퍼스의 캐머런 존스와 벤저민 버겐은 참가자가 사람 한 명, 인공지능 한 개와 동시에 5분씩 대화한 뒤 어느 쪽이 사람인지 고르는 실험을 했습니다. 사람처럼 행동하라는 지시를 받은 GPT-4.5는 73퍼센트의 경우에 사람으로 선택되었고, 이는 진짜 사람이 선택된 비율보다 높았습니다. 같은 실험에서 1960년대의 대화 프로그램 엘리자는 23퍼센트에 그쳤습니다. 이 연구는 뒤에 학술지 『미국국립과학원회보(PNAS)』 에도 실렸습니다.

이 결과는 튜링이 제안한 평가 방식을 다시 살펴보는 계기가 되었습니다. 다만 수치를 읽을 때에는 두 가지를 구별해야 합니다. 먼저 튜링의 70퍼센트는 질문자가 사람과 기계를 바르게 가려내는 비율을 뜻하고, 이 실험의 73퍼센트는 GPT-4.5가 사람으로 선택된 비율을 뜻하므로, 두 수치가 재는 대상은 서로 다릅니다. 또 많은 학자는 이 결과가 곧 기계가 사람처럼 생각한다는 증거는 아니라고 말합니다. 튜링의 질문을 둘러싼 논쟁은 지금도 이어지고 있습니다.

13.3. 인공지능(AI) 반론에 대한 해명

튜링은 자기 생각에 반대하는 목소리가 많으리라는 것을 잘 알았습니다. 그래서 논문의 여섯째 부분에서 앞으로 나올 만한 반대 주장 아홉 가지를 스스로 골라내고, 하나씩 답했습니다. 상대가 공격하기 전에 미리 약점을 짚고 대답을 마련한 것입니다. 아홉 가지 반론은 종교적 믿음과 두려움에서 나온 것부터 수학의 정리, 의식, 기계의 능력, 뇌의 구조, 그리고 초감각적 지각에 관한 것까지 폭이 넓습니다.

첫째, 신학적 반론입니다. 생각은 신이 사람에게만 준 영혼이 하는 일이고, 신은 동물이나 기계에게 영혼을 주지 않았으니 기계는 생각할 수 없다는 주장입니다. 튜링은 이 주장이 오히려 신의 힘을 좁게 본다고 답했습니다. 사람이 아이를 낳으면 신이 그 아이에게 영혼을 준다고 믿는다면, 사람이 만든 기계에 신이 영혼을 주지 못할 까닭도 없습니다. 튜링은 지난날 갈릴레이 시대에 지동설을 반대할 때에도 종교의 논리를 끌어왔지만 결국 틀렸다는 점을 들며, 이런 주장으로 과학 문제를 판단할 수는 없다고 보았습니다.

둘째, '머리를 모래에 파묻는' 반론입니다. 기계가 생각한다면 너무 무서운 일이니 그런 일이 없기를 바라고 믿자는 태도입니다. 위험을 보면 모래에 머리를 묻는다는 타조 이야기에서 이름을 땄습니다. 튜링은 이것을 반론이라기보다 바람에 가깝다고 보았습니다. 무엇이 일어나기를 바라는지와 무엇이 실제로 일어날 수 있는지는 서로 다른 문제이기 때문입니다. 튜링은 이런 주장에는 반박보다 위로가 어울린다며 가볍게 받아넘겼습니다.

셋째, 수학적 반론입니다. 앞의 두 반론과 달리 이 반론은 엄밀하게 증명된 정리에 기대고 있습니다. 1931년 쿠르트 괴델은, 자연수의 기본 산술을 담고 있고 일정한 절차에 따라 공리를 나열할 수 있는 모순 없는 수학 체계라면, 그 체계 자신의 규칙만으로는 증명도 반증도 할 수 없는 문장이 반드시 있다는 것을 증명했습

니다. 튜링도 1936년 논문에서 어떤 기계로도 풀 수 없는 문제가 있다는 것을 증명했습니다. 반대하는 사람들은 바로 이 결과를 들어, 기계에는 넘을 수 없는 한계가 있으니 사람보다 못하다고 주장했습니다.

튜링은 기계 하나하나에 한계가 있다는 것은 사실이라고 인정했습니다. 그러나 이 반론이 성립하려면 사람의 지성에는 그런 한계가 없어야 하는데, 그것을 증명한 사람은 어디에도 없습니다. 사람도 자주 틀린 답을 냅니다. 또 어떤 사람이 기계 한 대를 이길 수는 있어도, 모든 기계를 한꺼번에 이길 수는 없습니다. 자기가 증명한 정리가 거꾸로 자기 주장을 공격하는 근거로 쓰였지만, 튜링은 그 정리가 말하는 범위를 정확히 짚어 답했습니다.

넷째, 의식에 바탕을 둔 반론입니다. 1949년의 강연으로 이 논쟁을 신문에 오르게 했던 제퍼슨 교수의 주장이 여기에 해당합니다. 제퍼슨 교수는 기계가 진정으로 생각과 감정을 느끼고 그 때문에 시를 쓰거나 음악을 지을 때까지는 기계를 뇌와 같다고 인정할 수 없다고 했습니다. 기계가 스스로 무엇을 하는지 알고, 기뻐하고 슬퍼해야 한다는 것입니다.

튜링은 이 주장을 끝까지 밀고 가면 이상한 결론에 이른다고 답했습니다. 다른 사람이 정말 생각하고 느끼는지 확실히 아는 방법은 내가 그 사람이 되어 보는 것뿐입니다. 그렇다면 나는 나 말고는 아무도 생각한다고 믿을 수 없게 됩니다. 그래서 사람들은 서로의 말과 행동을 보고 상대도 생각한다고 받아들이는, 예의 바른 약속을 지키며 삽니다. 튜링은 기계에도 같은 기준을 적용하는 것이 공정하다고 보았습니다. 기계가 자기가 쓴 시에 대한 날카로운 질문에 말이 되게 답한다면, 제퍼슨 교수도 기계를 쉽게 무시하지 못할 것이라고 덧붙였습니다.

다섯째, 여러 가지를 '못한다'는 반론입니다. 사람들은 기계가 결코 할 수 없는 일의 목록을 늘어놓았습니다. 친절하게 굴기, 유머 감각 갖기, 옳고 그름 가리기, 실수하기, 사랑에 빠지기, 딸기와 크림을 즐기, 경험에서 배우기, 새로운 일 해내

기 같은 것들입니다. 튜링은 이런 주장 대부분이 근거 없이 나온다고 보았습니다. 사람들은 지금까지 본 서툰 기계들을 떠올리며 앞으로의 기계도 그럴 것이라고 짐작할 뿐입니다.

튜링은 목록 가운데 몇 가지를 골라 구체적으로 답했습니다. 실수에 대해서는 두 가지를 나누어 설명했습니다. 부품이 고장 나서 생기는 실수가 있고, 주어진 정보로 추론하다가 잘못된 결론을 내리는 실수가 있습니다. 기계도 뒤쪽 실수는 얼마든지 저지를 수 있습니다. 또 일부러 계산을 틀리게 하는 프로그램을 넣으면 모방 게임에서 사람처럼 실수하는 척할 수도 있습니다. 딸기와 크림 이야기에는, 기계가 그 맛을 즐기게 만들 수는 있겠지만 그런 일에 힘을 쏟는 것은 어리석다고 답했습니다.

여섯째, 러브레이스 부인의 반론입니다. 영국의 수학자 에이다 러브레이스는 찰스 배비지가 설계한 해석 기관에 관한 글을 1843년에 발표했습니다. 그는 이 기계가 스스로 무엇을 새로 만들어 내지는 못하고, 사람이 시키는 일만 한다고 썼습니다. 반대하는 사람들은 이 말을 들어 기계는 독창적일 수 없고 사람을 놀라게 할 수도 없다고 주장했습니다.

튜링은 러브레이스가 살던 시대의 기계를 보고 그렇게 판단한 것은 이해할 만하다고 했습니다. 그러나 그 판단을 모든 기계로 넓히는 데에는 동의하지 않았습니다. 사람의 독창성도 따지고 보면 배운 것과 겪은 것에서 자라난 것일지 모릅니다. 그리고 튜링은 자기 경험을 들려주었습니다. 기계는 자주 자기를 놀라게 한다는 것이었습니다. 프로그램을 짤 때 사람은 그 결과를 모두 머릿속에서 미리 계산하지 못합니다. 그래서 컴퓨터가 내놓는 결과는 만든 사람에게도 새롭게 다가옵니다.

일곱째, 신경계의 연속성에 관한 반론입니다. 사람의 신경은 전기 신호가 아주 조금만 달라져도 결과가 바뀌는 연속적인 장치입니다. 반면 디지털 컴퓨터는 0

과 1처럼 분명하게 끊어지는 상태로 움직입니다. 그러니 컴퓨터는 신경계를 따라 할 수 없다는 주장입니다. 튜링은 두 기계가 다르다는 점은 인정했습니다. 그러나 모방 게임에서는 그 차이가 드러나지 않는다고 답했습니다. 그는 당시 쓰이던 아날로그 계산기인 미분 해석기를 예로 들었습니다. 디지털 컴퓨터는 이 기계의 대답을 충분히 비슷하게 흉내 낼 수 있어서, 질문자는 둘을 가려내기 어렵습니다.

여덟째, 행동의 비형식성에 관한 반론입니다. 사람이 모든 상황에서 따를 규칙을 빠짐없이 적은 목록은 있을 수 없습니다. 사람이 규칙대로만 움직인다면 기계와 다를 바 없겠지만, 사람은 그렇지 않습니다. 그러니 규칙대로 움직이는 기계는 사람이 될 수 없다는 주장입니다. 튜링은 신호등을 예로 들었습니다. "빨간불이면 멈춘다"는 규칙이 있어도 빨간불과 초록불이 동시에 켜지는 일이 생기면 사람은 규칙 없이 판단합니다.

튜링은 여기서 두 가지를 나누었습니다. 하나는 사람이 마음먹고 따르는 생활의 규칙이고, 다른 하나는 사람의 몸과 뇌를 움직이는 자연의 법칙입니다. 신호등의 예가 보여 주는 것은 생활의 규칙이 모든 경우를 다 담지 못한다는 사실입니다. 그렇다고 해서 뇌를 움직이는 자연의 법칙까지 없다고 말할 수는 없습니다. 우리가 그 법칙을 아직 다 찾지 못했을 뿐입니다.

아홉째, 초감각적 지각에 관한 반론입니다. 사람에게 텔레파시나 투시 같은 능력이 있다면, 질문자는 마음을 읽어 사람과 기계를 쉽게 가려낼 것이라는 주장입니다. 튜링은 이 반론을 가볍게 넘기지 않았습니다. 당시 미국의 조지프 라인 등이 한 실험 결과를 보고, 텔레파시에 관한 통계적 증거가 강하다고까지 썼습니다. 그래서 그는 텔레파시가 통하지 않는 방에서 게임을 하면 된다는 해결책을 내놓았습니다. 오늘날 과학계는 초감각적 지각이 있다는 믿을 만한 증거를 찾지 못했습니다. 이 대목은 튜링 같은 사람도 자기 시대의 과학 분위기에서 자유롭지 못했다는 것을 보여 줍니다.

아홉 가지 반론에 답하는 일은 기계가 생각할 수 없다는 주장을 물리치는 데까지였습니다. 생각하는 기계를 실제로 어떻게 만들 것인가는 별개의 문제였고, 튜링은 논문의 마지막 부분에서 이 문제로 한 걸음 더 나아갔습니다. 어른의 뇌를 처음부터 통째로 프로그래밍하는 일은 너무 어렵습니다. 그 대신 처음에는 아는 것이 적어도 교육을 통해 능력을 키울 수 있는 '아이 기계'를 먼저 만들고, 상과 벌을 주며 가르치자고 제안했습니다. 아이가 선생님과 대화하며 자라듯 기계도 교육을 받으며 똑똑해질 수 있다는 생각입니다. 오늘날 인공지능은 많은 데이터로 스스로 배우는 방식으로 발전하고 있습니다. 튜링의 아이 기계 구상은 완성된 지식을 모두 입력하는 대신 학습 과정을 설계한다는 생각을 담았습니다. 구체적인 학습 방법은 오늘날의 인공지능과 다르지만, 배움을 통해 기계의 능력을 키운다는 질문은 이어지고 있습니다.

튜링은 논문을 이런 뜻의 문장으로 끝맺었습니다. 우리는 앞을 조금밖에 내다보지 못합니다. 그래도 그 짧은 거리 안에 해야 할 일이 많다는 것은 분명히 보입니다.

제14장. 형태발생학: 생명의 패턴을 수학으로 풀다 (1951-1952)



그림 14. 생물의 형태에서 수학적 규칙을 찾는 연구를 표현했습니다.

1950년 가을, 앨런 튜링은 철학 학술지 『마인드』에 「계산 기계와 지능」이라는 논문을 실었습니다. 이 논문을 계기로 "기계는 생각할 수 있는가"라는 물음이 세상에 널리 알려졌습니다. 그때 튜링은 서른여덟 살이었습니다. 전쟁 중에는 독일군의 암호를 해독했고, 전쟁이 끝난 뒤에는 컴퓨터를 설계하고 프로그램을 작성했으며, 이제 기계의 지능이라는 새로운 연구 주제까지 내놓은 뒤였습니다.

그런데 이 무렵 튜링의 관심은 전혀 다른 대상으로 향하고 있었습니다. 표범 가죽의 점무늬, 얼룩말의 줄무늬, 해바라기 씨앗이 그리는 나선이었습니다. 생명체는 누구의 지시도 받지 않고 이런 무늬와 모양을 만들어 냅니다. 튜링은 그 과정

이 어떻게 가능한지 알고 싶었고, 이 문제를 수학과 컴퓨터로 풀어 보기로 했습니다. 암호와 컴퓨터를 다루던 수학자가 생물학이라는 낯선 분야의 문제를 연구하기 시작한 것입니다.

14.1. 왕립학회 피선

생물학 연구를 시작하던 해에 튜링은 영국 왕립학회 회원으로 선출되었습니다. 왕립학회는 1660년 런던에서 창립된 과학 단체입니다. 세계에서 가장 오래된 과학 단체 가운데 하나이고, 아이작 뉴턴도 회장을 지냈습니다. 회원이 되려면 기존 회원들의 추천을 받아야 하고, 학회는 후보의 연구를 면밀히 심사한 뒤 회원을 선출합니다. 선출된 사람은 이름 뒤에 FRS라는 글자를 붙입니다. 왕립학회 회원(Fellow of the Royal Society)임을 나타내는 표시이며, 영국 과학자에게는 큰 영예입니다.

튜링이 회원으로 선출된 날은 1951년 3월 15일이고, 그때 나이는 서른여덟 살이었습니다. 추천서에 적힌 핵심 사유는 1936년에 발표한 논문 「계산 가능 수와 결정 문제에의 응용」이었습니다. 튜링은 이 논문에서 상상 속의 계산 기계, 곧 튜링 기계를 고안했습니다. 그리고 무엇을 계산할 수 있고 무엇을 계산할 수 없는지를 수학으로 밝혔습니다. 이 연구는 수리논리학과 오늘날 컴퓨터 과학의 바탕이 되었습니다.

추천서에 담기지 못한 업적도 있었습니다. 제2차 세계대전 동안 블레츨리 파크에서 에니그마 암호를 해독한 일입니다. 이 일은 국가 기밀법의 적용을 받았기 때문에 누구도 공개적으로 언급할 수 없었습니다. 튜링이 전쟁 중에 나라를 위해 한 가장 큰 일은 이렇게 감추어진 채로 남았습니다. 그렇더라도 왕립학회 회원이 되었다는 사실은 튜링이 영국 과학계를 대표하는 학자의 한 사람으로 인정받았음을 뜻했습니다. 튜링은 이 자리에서 새로운 연구를 시작했습니다.

그 연구의 대상인 생명체의 형태는 튜링이 갑자기 관심을 갖게 된 주제가 아니었습니다. 열 살 무렵 튜링은 『모든 아이가 알아야 할 자연의 신비』라는 책을 선물로 받았습니다. 이 책은 생명체의 몸을 신비한 힘으로 설명하지 않고 하나의 기계처럼 설명했습니다. 어린 튜링은 이 책을 아끼며 여러 번 읽었습니다. 어머

니 사라 튜링이 남긴 그림 가운데에는 친구들이 하키 시합을 하는 동안 혼자 땅에 핀 데이지꽃을 들여다보는 아들의 모습이 있습니다. 셔본 학교에 다닐 때도 튜링은 화학 실험을 즐겼고, 꽃잎과 잎이 배열된 모양을 유심히 관찰했습니다.

성인이 된 뒤에는 스코틀랜드의 생물학자 다시 톰프슨이 1917년에 쓴 『성장과 형태에 관하여』를 읽었습니다. 톰프슨은 생물의 형태를 수학과 물리학으로 설명하려 한 학자였습니다. 튜링은 톰프슨의 시도에서 한 걸음 더 나아가고 싶었습니다.

튜링이 풀려던 문제는 배아에서 출발합니다. 배아란 동물의 몸이 될 세포 덩어리가 자라기 시작한 아주 이른 단계를 말합니다. 이 덩어리는 거의 둥글고, 그 안의 세포들도 서로 거의 똑같습니다. 그런데 시간이 지나면 한쪽은 머리가 되고 다른 쪽은 꼬리가 됩니다. 눈이 생기고 다리가 자랍니다. 처음에는 어느 부분이나 똑 같던 몸에서 어떻게 서로 다른 부분이 생겨나는지, 둥근 공 같은 덩어리가 어떻게 말이나 사람처럼 앞과 뒤, 위와 아래가 다른 몸으로 자라나는지가 튜링의 물음이었습니다.

생명체의 형태가 만들어지는 과정에는 아직 풀리지 않은 문제가 많았습니다. 튜링은 그 가운데 일부를 수학으로 설명하려 했습니다. 화학 물질이 서로 반응하고 퍼져 나가는 법칙만으로도 생명체의 형태를 설명할 수 있다고 보았습니다. 튜링은 이 생각이 성립한다는 것을 수학으로 증명해 보기로 했습니다.

14.2. 반응-확산 방정식의 발견

튜링은 1951년 11월 왕립학회에 논문 한 편을 제출했습니다. 제목은 「형태발생의 화학적 기초」였습니다. 형태발생이란 생명체가 자라면서 자기 몸의 형태를 갖추어 가는 과정을 말합니다. 이 논문은 1952년 8월 14일 왕립학회의 생물학 학술지 『필로소피컬 트랜잭션스 B』 237권 37쪽부터 72쪽에 실렸습니다. 모두 36쪽 분량입니다.

이 논문에서 튜링은 '모르포겐'이라는 말을 처음 썼습니다. 그리스어로 '형태를 만드는 것'이라는 뜻입니다. 튜링은 몸속 세포와 조직 사이를 오가며 퍼지는 어떤 화학 물질이 세포에게 무엇이 될지 알려 준다고 생각했습니다. 그 물질이 많은 곳의 세포와 적은 곳의 세포는 서로 다른 길을 가게 됩니다. 다만 그 시절에는 이런 물질을 실제로 찾아내지 못했으므로, 모르포겐은 튜링이 가정한 물질이었습니다.

모르포겐이 어떻게 무늬를 만드는지 설명하기 위해 튜링은 두 가지 과정에 주목했습니다. 하나는 '반응'이고 다른 하나는 '확산'입니다. 반응은 화학 물질끼리 만나서 새로운 물질을 만들거나 서로를 없애는 일입니다. 확산은 물질이 많은 곳에서 적은 곳으로 퍼져 나가는 일입니다. 물이 담긴 컵에 잉크 한 방울을 떨어뜨리면 잉크는 천천히 퍼져서 컵 전체가 고르게 물듭니다. 이것이 확산입니다.

잉크의 예에서 보듯이 사람들은 보통 확산이 모든 것을 고르게 섞는다고 생각했습니다. 잉크가 퍼지면 무늬는 사라지고 한 가지 색만 남기 때문입니다. 그런데 튜링은 정반대의 결과가 나올 수 있다는 것을 수학으로 보였습니다. 두 가지 화학 물질이 서로 반응하면서 서로 다른 속도로 퍼지면, 처음에 고르던 상태가 오히려 깨지고 무늬가 생긴다는 것이었습니다.

오늘날 이 생각을 설명할 때 자주 쓰는 두 물질 모형에서는 물질의 역할을 다음과 같이 나눕니다. 하나는 활성화제이고 다른 하나는 억제제입니다. 활성화제는 자기 자신을 더 많이 만들어 내고, 동시에 억제제도 만들어 냅니다. 억제제는 활성화제가 늘어나지 못하게 억누릅니다. 여기에 중요한 조건이 하나 붙습니다. 억제제가 활성화제보다 훨씬 빨리 퍼져야 한다는 것입니다.

이 조건이 왜 무늬를 만드느지는 숲에서 난 불에 견주어 보면 이해하기 쉽습니다. 마른 숲 곳곳에서 작은 불씨가 생겼다고 해 보겠습니다. 불씨는 가까운 나무로 번지며 커집니다. 이것이 활성화제에 해당합니다. 불이 나면 소방관들이 출동합니다. 소방관들은 불보다 훨씬 빨리 움직여서 불이 난 곳 주변의 나무에 미리 물을 뿌립니다. 이것이 억제제에 해당합니다. 그러면 불은 처음 붙은 자리에서만 타고, 그 주변은 젖은 채로 남습니다. 숲을 하늘에서 내려다보면 탄 곳과 타지 않은 곳이 점처럼 흩어진 무늬가 보입니다. 실제 수학 모형에서는 물질의 반응과 확산 조건에 따라 점무늬나 줄무늬 등 서로 다른 형태가 나타납니다.

튜링은 이 과정이 어디에서 시작되는지도 설명했습니다. 처음에는 두 물질이 어디서나 고르게 섞여 있습니다. 하지만 완벽하게 고른 상태는 현실에 없습니다. 아주 작은 곳에서 아주 조금씩 차이가 생깁니다. 보통은 이런 차이가 금방 사라집니다. 그러나 튜링이 찾은 조건에서는 이 작은 차이가 점점 커집니다. 활성화제가 조금 많던 곳은 더 많아지고, 그 주변은 억제제 때문에 더 적어집니다. 이렇게 고르던 상태가 깨지는 것을 과학자들은 '대칭성 깨짐'이라고 부릅니다. 처음의 균형이 무너지는 이 현상에는 오늘날 '튜링 불안정성'이라는 이름이 붙어 있습니다.

튜링은 복잡한 방정식을 풀어서 이 과정이 점무늬, 줄무늬, 물결 같은 무늬를 만든다는 것을 보였습니다. 이런 무늬를 오늘날 '튜링 패턴'이라고 부릅니다. 바깥에서 누가 그려 주지 않아도 물질들이 서로 반응하고 퍼지는 동안 무늬가 저절로 생긴다는 것이 튜링 이론의 핵심입니다.

이 이론은 유전자의 역할에 대한 견해도 담고 있었습니다. 논문이 나온 시기를 보면 이 점이 더 분명해집니다. 제임스 왓슨과 프랜시스 크릭이 DNA의 이중 나선 구조를 밝힌 것은 1953년입니다. 튜링이 논문을 쓸 때는 유전자가 어떻게 생겼는지 아무도 몰랐습니다. 그런데도 튜링은 유전자가 하는 일을 짐작했습니다. 그는 유전자가 몸의 형태를 하나하나 그려 놓은 설계도가 아니라고 보았습니다. 유전자는 화학 물질이 얼마나 빨리 반응하고 얼마나 빨리 퍼질지와 같은 조건만 정합니다. 실제 형태는 그 조건 아래에서 반응과 확산의 법칙에 따라 저절로 생겨난다는 것이 튜링의 생각이었습니다.

튜링은 이 이론의 한계도 논문에 밝혀 두었습니다. 논문 첫머리에서 그는 자신의 모형이 실제 생명체를 단순화하고 이상화한 것이며, 그래서 실제와 다른 부분이 있을 수 있다고 적었습니다. 새로운 이론을 내놓으면서도 그것으로 모든 것이 설명된다고 주장하지는 않았습니다.

14.3. 계산 생물학의 개척

튜링의 방정식은 손으로 풀기 어려웠습니다. 몇 가지 간단한 경우는 종이와 연필로 풀 수 있었지만, 무늬가 실제로 어떻게 생기는지 보려면 많은 계산이 필요했습니다. 튜링에게는 그 계산을 맡길 기계가 있었습니다. 맨체스터 대학교의 페란티 마크 1이었습니다.

페란티 마크 1은 1951년 2월 맨체스터 대학교에 설치되었습니다. 회사가 만들어 판매한 범용(여러 종류의 계산에 두루 쓸 수 있는) 전자 컴퓨터로는 세계에서 처음이었습니다. 튜링은 이 컴퓨터의 프로그래밍 안내서를 직접 썼습니다. 누구보다 이 기계를 잘 알았기 때문에, 자신의 방정식을 계산하는 프로그램을 작성해 형태발생 연구에 활용했습니다.

다만 1952년 논문에 실린 얼룩무늬 그림은 컴퓨터가 아니라 손으로 계산해 얻은 것이었습니다. 튜링은 이 그림을 몇 시간에 걸친 손 계산으로 구했다고 논문에 적었습니다. 그 시절 컴퓨터에는 오늘날처럼 화면에 그림을 보여 주는 장치가 없었고, 계산 결과도 숫자로만 나왔습니다. 튜링은 더 복잡한 형태가 변해 가는 과정을 다룰 때에는 디지털 컴퓨터를 쓸 수 있다고 내다보았습니다.

컴퓨터로 생명 현상을 다루는 것은 과학의 역사에서 새로운 일이었습니다. 그때까지 컴퓨터는 대포의 탄도나 암호처럼 숫자를 다루는 일에 주로 쓰였습니다. 튜링은 생명체가 무늬를 만드는 과정을 컴퓨터로 모의해 보려 했습니다. 실험실에서 동물을 키우는 대신 컴퓨터 속에서 반응과 확산의 과정을 따라가 본 것입니다. 오늘날 이런 연구를 계산 생물학이라고 부르며, 튜링은 이 분야를 처음 연 사람 가운데 하나로 꼽힙니다.

1952년 논문을 발표한 뒤 튜링은 식물로 연구 대상을 넓혔습니다. 이번에 매달린 문제는 '잎차례'였습니다. 잎차례는 줄기에 잎이 붙는 순서와 배열을 말합니

다. 해바라기 꽃 한가운데를 보면 씨앗들이 나선을 그리며 촘촘히 박혀 있습니다. 시계 방향으로 도는 나선과 시계 반대 방향으로 도는 나선이 함께 보입니다. 이 나선의 개수를 세면 34개와 55개, 또는 55개와 89개처럼 일정한 짝을 이룹니다. 솔방울에서는 8개와 13개 같은 짝이 자주 나옵니다.

이 숫자들은 모두 피보나치 수열에 들어 있습니다. 피보나치 수열은 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89처럼 앞의 두 수를 더해 다음 수를 만드는 수열입니다. 새 잎이나 씨앗은 바로 앞의 것에서 약 137.5도 돌아간 자리에 생기는 경우가 많습니다. 이 각도를 황금각이라고 부릅니다. 이렇게 배열되면 잎과 씨앗이 서로 겹치지 않고 빈틈없이 자리를 잡습니다. 사람들은 오래전부터 이 규칙을 알고 있었지만, 식물이 왜 이 규칙을 따르는지는 설명하지 못했습니다.

튜링은 맨체스터 대학교의 식물학자 클로드 워드로와 함께 이 문제를 연구했습니다. 튜링은 식물 줄기 끝에서 새 잎이 생겨나는 자리에도 모르포겐의 반응과 확산이 일어난다고 생각했습니다. 한 곳에 잎이 생기면 그 주변에서는 새 잎이 생기기 어렵고, 조금 떨어진 곳에서 다음 잎이 생깁니다. 튜링은 이런 과정이 쌓여 피보나치 수의 나선이 나타나는 과정을 수학으로 추적해 보려 했습니다.

이 연구에는 젊은 연구자들도 참여했습니다. 대학원생 버나드 리처즈는 튜링의 방정식을 공 모양의 표면에 적용해 보았습니다. 그는 방산충이라는 아주 작은 바다 생물의 둥근 껍데기 모양과 계산 결과를 비교했습니다. 튜링은 이 연구들을 『잎차례의 모르포겐 이론』이라는 세 편짜리 원고로 정리하고 있었습니다. 하지만 1954년 6월 튜링이 갑자기 세상을 떠나면서 원고는 완성되지 못했습니다. 이 원고들은 오랫동안 묻혀 있다가 1992년 피터 손더스가 엮은 튜링 전집의 형태발생학 권에 실렸습니다.

튜링이 마무리하지 못한 잎차례 문제는 훗날 맨체스터에서 다시 다루어졌습니다. 2012년 튜링 탄생 100주년을 맞아 '튜링의 해바라기'라는 시민 과학 행사가 열

린 것입니다. 시민 과학이란 전문 과학자가 아닌 일반 시민이 자료 수집에 직접 참여하는 연구를 말합니다. 이 행사에서는 시민들이 키운 해바라기 657송이의 자료를 모았습니다. 나선의 수가 피보나치 수인 사례가 많았지만, 그 규칙을 따르지 않는 배열도 확인되었습니다. 튜링이 끝맺지 못한 물음을 여러 사람이 함께 확인해 본 자리였습니다.

무늬에 관한 1952년의 이론도 튜링이 살아 있을 때에는 큰 관심을 받지 못했습니다. 1953년 DNA 구조가 밝혀진 뒤 생물학자들의 관심은 유전자와 분자 연구로 쏠렸습니다. 방정식으로 생명의 무늬를 설명하려 한 튜링의 이론은 수학적으로는 그럴듯해도 실제 생물에서 확인되지 않은 생각으로 여겨졌습니다.

상황은 수십 년이 지난 뒤에 바뀌었습니다. 1990년 프랑스의 드 케퍼 연구진은 실험실의 화학 용액 속에서 튜링이 예측한 점무늬를 실제로 만들어 냈습니다. 1995년에는 일본의 생물학자 콘도 시게루와 아사이 리하코가 학술지 『네이처』에 줄무늬 엔젤피시에 관한 연구를 발표했습니다. 이 물고기는 몸이 자라면서 줄무늬가 갈라지고 새로 생기는데, 그 변화가 튜링의 방정식으로 계산한 결과와 일치했습니다. 2014년에는 생쥐의 발가락이 다섯 개로 나뉘는 과정에도 튜링이 말한 원리가 작동한다는 연구가 나왔습니다.

최근에도 튜링의 이론을 검증하고 보완하는 연구가 이어지고 있습니다. 2023년 3월 미국 조지아 공과대학교의 플라비오 펜턴 교수 연구팀은 미국물리학회 학술대회에서 치아씨드 실험 결과를 발표했습니다. 연구팀은 치아씨드를 쟁반에 고르게 뿌리고 물의 양과 흙의 종류를 바꾸어 가며 길렀습니다. 그러자 싹들이 점무늬나 미로 무늬 같은 모양으로 무리를 지어 자랐습니다. 이 무늬는 반응과 확산 방정식으로 만든 컴퓨터 계산 결과와 닮아 있었습니다. 연구팀은 살아 있는 식물로 이런 모형을 직접 확인한 것은 처음이라고 밝혔습니다.

같은 해 11월 미국 콜로라도 대학교 볼더 캠퍼스의 앙쿠르 굽타 교수 연구팀은 학술지 『사이언스 어드밴시스』에 거북복이라는 물고기의 무늬에 관한 연구를 실었습니다. 튜링의 방정식만으로는 거북복 가족의 또렷한 육각형 무늬를 다 설명하기 어려웠습니다. 연구팀은 화학 물질이 퍼질 때 색을 만드는 세포들도 함께 끌려가는 현상을 계산에 추가했습니다. 그러자 실제 물고기와 닮은 선명한 무늬가 나왔습니다. 이 연구는 튜링의 이론을 바탕으로 하고 그 위에 새로운 설명을 보탠 것입니다.

오늘날 튜링의 1952년 논문은 수리생물학(생명 현상을 수학으로 설명하는 학문)과 계산 생물학의 출발점으로 꼽힙니다. 표범의 점무늬, 물고기의 줄무늬, 손가락이 생기는 과정, 사막 식물이 무리 지어 자라는 모양까지, 과학자들은 튜링의 생각을 바탕으로 생명의 무늬를 연구합니다. 컴퓨터로 생명 현상을 모의하는 연구도 튜링이 시작한 방법을 잇고 있습니다.

튜링은 생명의 신비를 마법으로 남겨 두지 않았습니다. 그는 생명체의 아름다운 무늬도 자연의 법칙을 따르며, 그 법칙은 수학으로 쓸 수 있다고 믿었습니다. 그리고 그 믿음을 수학과 컴퓨터로 직접 시험해 보았습니다. 암호와 컴퓨터, 기계의 지능에 이어 생명의 형태까지, 튜링은 서로 멀리 떨어져 보이던 분야의 문제를 같은 방법으로 다루었습니다.

제15장. 재판과 국가의 차별 (1952~1954)



그림 15. 법정에 서야 했던 튜링의 처지를 표현했습니다.

들어가며

1952년 초, 앨런 튜링은 서른아홉 살이었습니다. 그는 맨체스터 대학교 계산기 연구소의 부소장이었고, 한 해 전인 1951년에는 영국 과학자에게 큰 명예인 왕립학회 회원(FRS)으로 뽑혔습니다. 그 무렵 튜링이 몰두한 연구는 얼룩말의 줄무늬나 식물의 잎이 돌는 순서 같은 생명의 무늬를 수학으로 풀어내는 일이었습니다. 밤이면 대학의 페란티 Mark 1 컴퓨터 앞에 앉아 긴 계산을 했습니다.

반면 전쟁 때 그가 한 일을 아는 사람은 거의 없었습니다. 튜링은 블레츨리 파크에서 독일군의 에니그마 암호를 푸는 일에 앞장섰습니다. 그가 설계한 암호 해독 기계 봄브와 반부리스무스라는 통계 방법은 대서양을 건너는 연합군 배들을 독일 잠수함에게서 지키는 데 큰 힘이 되었습니다. 역사학자들은 이 암호 해독 덕분에 전쟁이 짧아지고 많은 목숨을 구했다고 평가합니다. 다만 이것은 추정입니다. 잭 코플랜드가 제시한 1,400만 명이라는 숫자도 전쟁이 더 오래 이어졌을 경우를 가정한 계산입니다.

이 모든 일은 국가 기밀이었습니다. 1946년 6월 영국 정부의 관보에는 튜링에게 대영 제국 훈장(OBE)을 수여한다는 내용이 실렸습니다. 그러나 튜링은 왜 훈장을 받았는지 가족에게도 말할 수 없었습니다. 국가기밀법이 그의 입을 막았기 때문입니다. 그래서 세상 사람들 눈에 그는 조금 괴짜인 대학 수학자일 뿐이었습니다.

1952년, 작은 도난 사건 하나가 튜링의 삶을 송두리째 바꾸어 놓았습니다. 이 장은 1952년부터 1954년 초여름까지 튜링이 겪은 재판과 처벌, 그리고 그가 지킨 나라가 그에게 등을 돌린 과정을 따라갑니다.

15.1. 도난 사건과 '중대 외설죄' 기소

튜링은 1950년 맨체스터 남쪽의 작은 도시 윌름슬로에 집을 사서 혼자 살았습니다. 대학까지는 기차나 자전거로 다녔고, 틈이 나면 들길을 달렸습니다. 그는 젊은 시절부터 장거리 달리기를 즐겼고, 마라톤 선수 못지않은 기록을 낸 적도 있었습니다.

1951년 12월, 튜링은 맨체스터 시내 옥스퍼드 로드 of 극장 근처에서 열아홉 살 청년 아놀드 머레이(Arnold Murray)를 만났습니다. 머레이는 일자리가 없는 가난한 청년이었습니다. 튜링은 그를 점심 식사에 초대했고, 두 사람은 그 뒤 몇 차례 만나며 연인 사이가 되었습니다. 남자가 남자를, 여자가 여자를 사랑하는 것을 동성애라고 합니다. 튜링은 학생 시절부터 자신이 남자에게 끌린다는 사실을 알았고, 가까운 친구들에게는 이를 숨기지 않았습니다.

1952년 1월 23일, 튜링이 집에 돌아와 보니 도둑이 들어 옷가지와 생활용품 몇 가지를 훔쳐 간 뒤였습니다. 튜링은 경찰에 신고했습니다. 며칠 뒤 머레이는 도둑이 자기가 아는 사람인 것 같다고 털어놓았습니다. 해리라는 청년이었습니다. 경찰은 집에 남은 지문을 조사해 범인을 알아냈습니다.

그런데 범인을 쫓는 과정에서 경찰은 튜링과 머레이가 어떤 사이인지도 알게 되었습니다. 1952년 2월, 경찰관들이 튜링의 집을 찾아와 이 일을 물었습니다. 튜링은 숨기지 않았습니다. 그는 머레이와의 관계를 사실대로 말했고, 그 내용을 진술서로 직접 써서 냈습니다. 튜링은 성인 두 사람이 서로 동의한 관계를 잘못이라고 생각하지 않았습니다.

당시 영국 법은 그렇게 보지 않았습니다. 1885년에 만든 형법 개정법 제11조는 남자끼리의 동성애 행위를 '중대 외설죄(gross indecency)'라는 범죄로 정했습니다. 두 사람이 서로 원했는지는 따지지 않았습니다. 이 죄로 유죄 판결을 받으

면 최대 2년까지 감옥에 갈 수 있었습니다. 1895년 아일랜드 출신의 유명 작가 오스카 와일드를 감옥에 보낸 법이 바로 이 조항이었고, 1950년대 영국에서도 해마다 많은 남성이 이 법으로 처벌을 받았습니다. 튜링이 경찰에게 사실대로 쓴 진술서는 이 법 아래에서는 곧 범죄의 증거였습니다.

경찰은 튜링과 머레이를 함께 체포해 재판에 넘겼습니다. 1952년 2월 27일, 윌름슬로 치안법원에서 첫 심리가 열렸습니다. 정식 재판은 1952년 3월 31일 너츠퍼드 4분기 법원에서 열렸습니다. 4분기 법원은 한 해에 네 번, 계절마다 열리는 영국의 지방 형사 법원입니다. 재판의 공식 이름은 '국왕 대 튜링과 머레이 (Regina v. Turing and Murray)'였습니다.

재판을 앞두고 튜링은 어떻게 대응할지 정해야 했습니다. 그는 법이 틀렸다고 믿었고, 처음에는 법정에서 자신이 잘못하지 않았다고 맞설 생각도 했습니다. 그러나 형 존 튜링과 변호사의 걱정은 컸습니다. 끝까지 다투다가 지면 감옥에 갈 수 있었고, 그러면 연구도 컴퓨터 일도 모두 멈추게 됩니다. 두 사람은 튜링을 오래 설득했습니다. 튜링은 결국 죄를 인정하는 쪽을 골랐습니다. 생각을 바꾼 것은 아니었습니다. 연구를 계속하려고 법 앞에서 뜻을 굽혔을 뿐이었습니다.

법정에는 동료 수학자 맥스 뉴먼과 블레츨리 파크 시절 동료 휴 알렉산더가 나와 튜링의 인품을 증언했습니다. 휴 알렉산더는 튜링이 나라에 꼭 필요한 귀한 인재라고 말했습니다. 그러나 왜 그런지는 설명할 수 없었습니다. 튜링이 전쟁 중에 한 일이 여전히 기밀이었기 때문입니다. 훈장을 받은 이유를 가족에게 말하지 못하게 한 바로 그 비밀이, 이번에는 그의 공로를 법정에서 한마디도 꺼낼 수 없게 했습니다.

판사는 튜링에게 유죄를 선고했습니다. 머레이에게는 조건부 석방 판결을 내렸습니다. 정해진 기간 동안 다시 죄를 짓지 않으면 따로 벌을 주지 않는다는 뜻입

니다. 재판 소식은 지역 신문에 실렸습니다. 이웃과 대학 사람들, 그리고 어머니 사라 튜링도 이 일을 알게 되었습니다.

15.2. 잔혹한 선택: 화학적 강제 투여

유죄 선고와 함께 판사는 튜링에게 두 길 가운데 하나를 고르게 했습니다. 감옥에 가거나, 보호관찰을 받으면서 호르몬 치료를 받는 것이었습니다. 보호관찰은 감옥에 가두는 대신 사회에서 지내게 하면서 정해진 조건을 지키는지 관리하는 제도입니다. 훗날 공개된 사면장에 따르면, 튜링은 12개월 동안 보호관찰을 받으며 맨체스터 왕립 병원(Manchester Royal Infirmary)의 자격 있는 의사에게 치료를 받아야 했습니다.

법원이 형벌 대신 '치료'를 내놓을 수 있었던 것은 당시의 잘못된 의학 지식 때문이었습니다. 영국의 많은 의사와 판사는 동성애를 고쳐야 할 병으로 알았습니다. 몸속 호르몬의 균형이 깨져서 생긴다고 여겼고, 여성 호르몬을 넣어 성욕을 누르면 치료가 된다고 믿었습니다. 근거 없는 생각이었습니다. 오늘날 의학은 동성애를 병으로 보지 않으며, 세계보건기구(WHO)는 1990년 동성애를 질병 목록에서 뺐습니다. 당시 이 처치의 이름은 '오르가노테라피(organotherapy)'였습니다. 지금은 이를 '화학적 거세'라고 부릅니다. 약으로 남성의 성 기능을 억누른다는 뜻입니다.

튜링은 호르몬 치료를 받아들였습니다. 감옥에 가면 연구실에 갈 수 없었습니다. 계산하던 수식도, 컴퓨터로 돌리던 프로그램도 그대로 멈춰야 했습니다. 죄를 인정할 때와 마찬가지로 이번에도 판단의 기준은 연구를 이어 갈 수 있느냐였습니다. 겉으로는 스스로 고른 길이었지만, 감옥이라는 위협 앞에서 다른 선택지는 없었습니다.

1952년 4월부터 튜링은 스틸보에스트롤(stilboestrol)이라는 약을 받았습니다. 화학 이름은 디에틸스틸베스트롤(diethylstilbestrol)로, 사람이 만든 합성 여성 호르몬입니다. 처음에는 알약으로 먹었고, 나중에는 허벅지 피부 아래에 약을 심어 몸속으로 조금씩 퍼지게 했습니다. 이 처치는 약 1년 동안 이어졌습니다.

약은 튜링의 몸을 바꾸어 놓았습니다. 그는 남성으로서의 성 기능을 잃었고, 살이 찌고 몸의 모양이 변했습니다. 가슴이 여성처럼 부풀어 오르는 여성형 유방증(gynaecomastia)도 생겼습니다. 들판을 몇십 킬로미터씩 달리던 사람에게 자기 몸이 남의 몸처럼 낯설어지는 일은 큰 고통이었습니다. 몸의 변화는 마음에도 깊은 상처를 남겼습니다.

그 무렵 튜링의 마음은 친구들에게 보낸 편지에 남아 있습니다. 재판을 앞두고 제자이자 친구인 노먼 라우틀리지에게 보낸 편지에서, 그는 이 일을 다 겪고 나면 자신이 다른 사람이 되어 있겠지만 어떤 사람일지는 아직 모르겠다고 적었습니다. 치료가 시작된 뒤 수학자 친구 필립 홀에게 보낸 편지에서는, 이 약이 성욕을 줄이지만 치료가 끝나면 원래대로 돌아온다고들 하니 그 말이 맞기를 바란다고 썼습니다.

튜링은 무너지지 않으려고 애썼습니다. 가까운 친구들에게는 약 때문에 가슴이 커지고 있다고 농담처럼 말하기도 했습니다. 고통을 웃음으로 견디려는 그 나름의 방식이었습니다. 영화나 소설에서는 호르몬 치료 뒤 튜링의 정신이 곧바로 무너진 것처럼 그리기도 하지만, 실제 기록은 다릅니다.

기록이 보여 주는 것은 이 시기에도 멈추지 않은 연구입니다. 1952년에는 생명의 무늬를 수학으로 설명한 논문 「형태발생의 화학적 기초」가 영국 왕립학회 학술지에 실렸습니다. 튜링은 밤마다 페란티 Mark 1 컴퓨터로 식물의 잎차레를 계산하는 일도 계속했습니다. 1953년에는 맨체스터 대학교가 그를 위해 '계산 이론 부교수(Reader in the Theory of Computing)' 자리를 새로 만들었습니다. 1954년에는 일반 독자를 위해 「풀 수 있는 문제와 풀 수 없는 문제」라는 글을 써서 과학 잡지에 실었습니다.

호르몬 치료는 1953년 봄에 끝났습니다. 그러나 '범죄자'라는 이름표는 사라지지 않았습니다. 몸에 남은 변화와 사람들의 시선은 튜링의 마음에 오래 남았습니다.

15.3. 박탈된 비밀 등급과 고립

유죄 판결이 튜링에게서 빼앗은 것은 몸의 건강만이 아니었습니다. 그는 나라의 비밀을 다루는 자격도 잃었습니다. 이 자격을 '보안 등급' 또는 '보안 허가'라고 합니다. 정부는 이 등급을 가진 사람에게만 국가 기밀을 보여 줍니다.

전쟁이 끝난 뒤 블레츨리 파크의 암호 해독 조직은 1946년 정부통신본부(GCHQ)라는 이름으로 바뀌었습니다. 튜링은 맨체스터 대학교에서 일하면서도 GCHQ의 암호 자문을 맡고 있었습니다. 전쟁 때 쌓은 지식과 경험이 여전히 필요했기 때문입니다. 그러나 유죄 판결로 보안 허가가 취소되면서, 전쟁 뒤 맡아 온 이 자문 일도 더는 할 수 없게 되었습니다. 튜링이 처음 길을 연 암호 연구의 세계에서 그의 이름이 지워진 것입니다.

정부가 이렇게 한 데에는 시대 배경이 있었습니다. 전쟁이 끝난 뒤 세계는 미국과 영국 쪽, 소련 쪽으로 나뉘어 서로를 의심했습니다. 총을 쏘지는 않지만 차갑게 맞선 이 시기를 냉전이라고 합니다. 두 진영은 서로의 비밀을 캐내려고 첩자를 보냈습니다.

영국에서는 한 사건이 이 불안을 동성애자에 대한 의심으로 이어 놓았습니다. 1951년 5월, 영국 외무부의 외교관 가이 버제스와 도널드 매클린이 갑자기 소련으로 달아났습니다. 두 사람은 오랫동안 소련에 비밀을 넘긴 첩자였고, 버제스는 동성애자로 알려져 있었습니다. 이 사건 뒤 영국 정부 안에는 동성애자에게 비밀을 맡기면 위험하다는 생각이 퍼졌습니다. 외무부는 동성애자를 고용할 때의 보안 위험을 몰래 조사하기도 했습니다.

정부의 논리는 이러했습니다. 동성애가 범죄인 사회에서 동성애자는 들키면 처벌을 받으니, 적국이 이를 약점 삼아 협박하면 비밀을 넘길 수 있다는 것입니다.

그러나 그 약점을 만든 것은 동성애를 범죄로 정한 법 자체였습니다. 그런데도 정부는 법을 고치는 대신 사람을 의심했습니다.

미국도 비슷했습니다. 미국 정부는 동성애자를 공무원 자리에서 몰아냈고, 1952년에는 새 이민법으로 외국인 동성애자가 들어오는 길을 막았습니다. 전쟁 중 미국 해군과 암호 기술을 나누며 함께 일했던 튜링은 유죄 판결 뒤 미국 입국을 거부당했습니다.

자격을 빼앗긴 데 이어 감시도 따라왔습니다. 나라의 중요한 암호 비밀을 머릿속에 담은 사람이 '범죄자'가 되자, 정보 기관은 그를 위험 인물로 보았습니다. 경찰과 정보 당국은 튜링이 누구를 만나고 어디로 가는지 지켜보았습니다.

튜링은 두 차례의 여행에서 이 감시를 겪었습니다. 1952년, 그는 노르웨이로 여행을 떠났습니다. 북유럽 나라들은 영국보다 동성애에 너그러운 편이었습니다. 그곳에서 그는 쉘 칼손(Kjell Carlson)이라는 청년을 만났습니다. 1953년 3월, 칼손이 튜링을 만나러 영국에 오려 하자 경찰이 먼저 움직였습니다. 칼손은 튜링을 만나지 못한 채 노르웨이로 돌려보내졌습니다. 튜링은 친구들에게 이 일을 재판에 맞먹는 큰 위기라고 털어놓았습니다. 자신이 누구를 만나는지까지 나라가 들여다보고 있다는 사실을 몸으로 겪은 것입니다.

1953년에는 그리스의 코르푸섬으로 휴가를 떠났습니다. 코르푸는 공산주의 국가 알바니아와 좁은 바다를 사이에 두고 마주 보는 섬입니다. 전기 작가들은 국가 기밀을 아는 튜링이 공산권 국경 가까운 곳을 여행하는 일을 정보 당국이 불안하게 지켜보았다고 전합니다.

튜링은 대학의 연구직은 지켰고, 연구도 계속할 수 있었습니다. 그러나 그가 속했던 세계는 점점 좁아졌습니다. 케임브리지 킹스 칼리지와 블레츨리 파크에서는 그의 별난 성격과 생각을 받아 주는 동료들이 곁에 있었습니다. 이제 그는 나

라가 믿지 못하는 사람이 되었습니다. 옛 동료들과도 비밀 업무 이야기는 나눌수 없었고, 이웃의 눈길도 예전과 달랐습니다.

그렇다고 튜링이 혼자 버티기만 한 것은 아닙니다. 그는 맨체스터의 정신분석가 프란츠 그린바움(Franz Greenbaum) 박사를 찾아가 상담을 받았습니다. 그린바움 박사의 권유로 밤마다 꿈의 공책에 적으며 자기 마음을 들여다보았습니다. 박사의 가족과도 가까워져 집에 놀러 가기도 했습니다. 친구들과 편지를 주고받았고, 수학 문제와 생물의 무늬에 관한 계산도 이어 갔습니다.

그래도 나라가 자신을 잠재적 배신자이자 범죄자로 대한다는 현실은 바뀌지 않았습니다. 전쟁 중 그는 나라를 위해 독일의 비밀을 풀었습니다. 전쟁이 끝난 뒤 그 나라는 그의 사생활을 범죄로 만들고, 몸에 약을 넣고, 비밀의 문을 닫고, 그의 발걸음을 지켜보았습니다. 이 장의 제목에 '국가의 차별'이라는 말이 들어간 까닭이 여기에 있습니다.

1954년 6월 7일 저녁, 앨런 튜링은 윌름슬로의 집에서 세상을 떠났습니다. 마흔 두 번째 생일을 2주쯤 앞둔 때였습니다. 다음 날인 6월 8일 아침, 집안일을 돕던 사람이 그를 발견했습니다.

제16장. 튜링의 죽음과 뒤늦은 명예 회복 (1954년 이후)



그림 16. 튜링을 기억하는 마음을 빈 벤치와 노트로 표현했습니다.

1954년 초여름, 영국 북서부의 작은 도시 윌름슬로에서 수학자 앨런 튜링이 마흔한 살로 세상을 떠났습니다. 그는 상상 속의 계산 기계를 고안해 컴퓨터의 이론적 바탕을 놓았고, 전쟁 중에는 독일군의 암호를 해독해 많은 사람의 목숨을 구하는 데 기여했습니다. 맨체스터에서는 실제 컴퓨터로 프로그램을 짰고, 해바라기 씨앗의 배열이나 동물의 무늬가 생기는 원리를 수학으로 설명하려 했습니다.

그러나 그가 세상을 떠날 때 이런 업적을 제대로 아는 사람은 거의 없었습니다. 전쟁 중에 한 일은 국가 기밀이었고, 많은 사람은 그를 동성애를 이유로 처벌받

은 사람으로만 알았습니다. 영국 사회는 그 뒤 반세기가 넘는 시간에 걸쳐 잊고 있던 이 수학자를 조금씩 다시 찾아냈습니다. 정부의 늦은 사과와 왕실 사면, 그의 이름으로 불리는 법, 그의 초상을 담은 지폐가 그 과정을 보여 줍니다.

16.1. 1954년 6월 8일의 비극

책과 영화에서는 튜링이 6월 8일에 세상을 떠났다고 적는 경우가 많습니다. 그러나 그가 숨을 거둔 날과 발견된 날은 서로 다릅니다. 튜링은 1954년 6월 7일 월요일 밤, 윌름슬로 애들링턴 로드 43번지에 있는 자기 집 침실에서 숨을 거두었습니다. 그날은 영국의 공휴일이었습니다. 다음 날인 6월 8일 화요일 아침, 집안 일을 도우러 온 가사 도우미가 침대에 누운 그를 발견했습니다. 마흔두 번째 생일을 열셋새 앞둔 때였습니다.

경찰과 의사가 집에 와서 시신을 살폈고, 부검 결과 사망 원인은 사이안화물 중독으로 밝혀졌습니다. 사이안화물은 몸의 세포가 산소를 이용하는 기능을 방해하는 독성 물질입니다. 튜링이 도금 실험에 쓴 청산가리, 곧 사이안화칼륨도 여기에 속합니다. 며칠 뒤에는 검시 심리가 열렸습니다. 검시 심리는 갑작스러운 죽음의 원인을 공식적으로 가리는 절차입니다. 이 자리에서 검시관은 튜링이 스스로 목숨을 끊었다고 판단했습니다. 튜링의 유해는 6월 12일 워킹 화장장에서 화장되었고, 재는 그곳에 뿌려졌습니다. 몇 해 전 아버지의 재를 뿌린 곳과 같은 장소였습니다.

검시관의 판정과 함께 널리 퍼진 것이 '청산가리 사과' 이야기입니다. 침대 옆 탁자에는 몇 입 베어 먹은 사과가 하나 놓여 있었고, 사람들은 튜링이 사과를 청산가리에 담갔다가 먹었다고 생각했습니다. 그런데 이 이야기에는 확인되지 않은 부분이 있습니다. 당시 경찰과 검시관은 그 사과에 독이 들어 있는지 검사하지 않았습니다. 유서도 나오지 않았습니다. 사과가 죽음의 도구였다는 말은 검사로 확인된 사실이 아니라 현장의 모습에서 나온 짐작입니다.

이처럼 검사하지 않은 사과와 남아 있지 않은 유서 때문에, 튜링의 죽음을 두고 지금도 서로 다른 해석이 있습니다. 첫째는 검시관의 판정대로 스스로 목숨을 끊었다는 해석입니다. 튜링의 대표적인 전기를 쓴 수학자 앤드루 호지스가 이 견해

를 지지합니다. 튜링은 1938년 케임브리지에서 디즈니 만화 영화 『백설공주와 일곱 난쟁이』를 본 뒤, 마녀가 사과를 독약에 담그는 장면을 좋아해 자주 흉내 냈다고 합니다. 호지스는 튜링이 그 장면을 따라 했을 수 있고, 어머니가 덜 슬퍼하도록 사고처럼 보이게 꾸몄을 수도 있다고 보았습니다.

둘째는 사고였다는 해석입니다. 튜링의 어머니 사라 튜링은 아들이 자살했다는 판정을 평생 받아들이지 않았습니다. 튜링은 집의 작은 방에 실험실을 차려 두고, 전기를 이용해 손가락에 금을 입히는 도금 실험을 하고 있었습니다. 이 도금 실험에는 청산가리가 쓰였습니다. 사라는 아들에게 손을 잘 씻지 않는 버릇이 있었으므로, 실험 중에 손에 묻은 독을 모르고 삼켰을 것이라고 주장했습니다.

셋째는 두 해석 사이에서 증거를 다시 따져 본 학자들의 견해입니다. 튜링 연구자 잭 코플랜드는 튜링 탄생 100주년이 되던 2012년, 검시 판정을 다시 살펴볼 필요가 있다고 말했습니다. 그가 든 근거는 튜링의 평소 습관과 마지막 며칠의 행적입니다. 튜링은 잠들기 전에 사과를 먹는 습관이 있었고, 다 먹지 않고 남기는 일도 흔했습니다. 따라서 침대 옆의 먹다 남은 사과가 특별한 의미를 지닌다고 보기는 어렵다는 것입니다. 또 튜링은 금요일에 사무실을 나서며 월요일에 할 일을 적은 메모를 남겼고, 주변 사람들은 그가 마지막까지 밝고 유머가 있었다고 기억했습니다. 코플랜드는 실험 중에 발생한 사이안화수소 기체를 들이마셨을 가능성도 있다고 보았습니다.

세 가지 해석 가운데 어느 것이 맞는지는 지금도 알 수 없습니다. 여기서 확정된 것과 확정되지 않은 것을 구별할 필요가 있습니다. 튜링이 사이안화물 중독으로 숨졌다는 것은 부검으로 확인된 사실입니다. 그러나 중독에 이른 구체적인 경위와 경로는 확정되지 않았습니다. 사과에 독이 들어 있었다는 이야기도 확인된 사실이라기보다 사람들 사이에 퍼진 이야기에 가깝습니다.

사과와 관련해 퍼진 소문이 하나 더 있습니다. 미국 컴퓨터 회사 애플의 로고, 곤한 입 베어 먹은 사과 모양이 튜링을 기리는 표시라는 소문입니다. 이 소문은 사실이 아닙니다. 로고를 그린 디자이너 룽 자노프는 튜링과는 관계가 없다고 여러 번 밝혔습니다. 베어 먹은 자국은 사과가 체리나 토마토처럼 보이지 않도록 넣은 것이었습니다. 영국 배우 스티븐 프라이가 스티브 잡스에게 이 소문을 물었을 때, 잡스는 그랬으면 좋았겠다고 웃으며 아니라고 답했다고 합니다.

16.2. 뒤늦은 사과와 왕실 사면

튜링이 세상을 떠난 뒤에도 그가 전쟁 중에 한 일은 오랫동안 비밀이었습니다. 그는 1946년 대영 제국 훈장(OBE)을 받았지만, 훈장을 주는 이유는 '외무부에서 한 일'이라는 짧은 설명뿐이었습니다. 블레츨리 파크에서 에니그마 암호를 풀었다는 사실은 국가기밀법 때문에 누구에게도 말할 수 없었습니다. 튜링 자신도 가족에게조차 이 이야기를 하지 못한 채 세상을 떠났습니다.

비밀이 풀리기 시작한 것은 1970년대였습니다. 영국 정부는 전쟁 중의 암호 해독 기록을 조금씩 공개했습니다. 1974년에는 블레츨리 파크의 암호 해독 작전 '울트라'를 다룬 책이 나왔고, 사람들은 그곳에서 일어난 일을 처음으로 알게 되었습니다. 1983년에는 앤드루 호지스가 『앨런 튜링: 에니그마』라는 전기를 펴냈습니다. 많은 사람이 이 책을 통해 튜링이 컴퓨터의 아버지이자 전쟁의 숨은 공로자였다는 사실을 알게 되었습니다. 동시에 그런 사람이 동성애를 이유로 재판을 받고, 감옥에 가지 않는 대신 여성 호르몬 주사를 맞아야 했다는 사실도 알려졌습니다.

업적과 처벌이 함께 알려지자, 국가가 이 일에 책임 있는 태도를 보여야 한다는 요구가 나왔습니다. 2009년 8월, 영국의 컴퓨터 프로그래머 존 그레이엄커밍은 정부가 튜링에게 공식으로 사과해야 한다는 온라인 청원을 시작했습니다. 몇 주 사이에 3만 명이 넘는 사람이 서명했고, 과학자와 작가, 정치인도 이름을 보탰습니다.

정부의 답은 한 달쯤 뒤에 나왔습니다. 2009년 9월 10일, 고든 브라운 총리가 영국 정부를 대표해 성명을 발표했습니다. 브라운 총리는 튜링이 받은 대우가 끔찍했고 완전히 부당했다고 인정했습니다. 그리고 영국 정부와 튜링 덕분에 자유롭게 살아가는 모든 사람을 대신해 이렇게 말했습니다. "우리는 미안합니다. 당신

은 훨씬 나은 대우를 받아야 했습니다." 튜링이 세상을 떠난 지 55년 만에 국가가 처음으로 잘못을 인정한 것이었습니다.

하지만 사과는 법적인 효력이 있는 조치가 아니었습니다. 튜링의 유죄 판결은 법적인 기록으로 그대로 남아 있었습니다. 그래서 사과를 넘어, 이미 내려진 유죄 판결에 대한 사면을 요구하는 목소리가 이어졌습니다. 사면은 국가가 이미 내린 형벌이나 그 결과를 용서하고 거두어 주는 일입니다. 다만 사면은 재판을 다시 열어 죄가 없다고 선고하는 것과는 다릅니다. 유죄 판결 자체가 잘못되었다고 바로잡는 것이 아니라, 그 판결에 따른 처벌을 용서하는 조치이기 때문입니다.

사면 요구는 의회와 과학계에서 함께 나왔습니다. 맨체스터 위딩턴 지역의 하원 의원 존 리치는 튜링을 사면하는 법안을 여러 차례 의회에 냈습니다. 상원에서는 샤키 경이 같은 내용의 법안을 냈습니다. 2012년 12월에는 물리학자 스티븐 호킹, 왕립학회 회장 폴 너스, 천문학자 마틴 리스 같은 과학자들이 신문에 편지를 실어 사면을 요구했습니다.

처음에 정부는 망설였습니다. 당시의 법에 따라 내려진 판결이므로 지금 와서 뒤집기는 어렵다는 이유였습니다. 그러나 사면을 요구하는 여론은 갈수록 커졌습니다. 마침내 2013년 12월 24일 크리스마스 이브에, 엘리자베스 2세 여왕이 튜링을 사면했습니다. 크리스 그레일링 법무부 장관의 건의를 받아들여, 국왕만이 쓸 수 있는 '자비의 특권'으로 1952년의 유죄 판결을 사면한 것입니다.

튜링의 사면 소식은 세계 여러 나라에 알려졌습니다. 그런데 이 사면은 새로운 문제를 드러냈습니다. 튜링과 같은 법으로 처벌받은 사람은 수만 명이 넘었고, 그들 대부분은 이름이 알려지지 않은 보통 사람이었습니다. 유명한 과학자 한 사람만 용서받는 것이 옳은가 하는 비판이 나왔습니다. 이 비판은 사면의 대상을 넓히자는 요구로 이어졌습니다.

16.3. '앨런 튜링 법'과 50파운드 신권

이 요구를 이해하려면 먼저 그 법이 얼마나 오래, 얼마나 많은 사람에게 적용되었는지 알아야 합니다. 잉글랜드와 웨일스에서는 남성 간 성행위를 처벌하는 법이 오랫동안 시행되었습니다. 1967년에는 21세 이상 남성들이 동의 아래 사적인 장소에서 한 성행위가 처벌 대상에서 제외되었습니다. 차별적인 일부 조항은 그 뒤에도 남아 있다가 2003년에 폐지되었습니다. 그동안 많은 사람이 체포되고 재판을 받았습니다. 직장을 잃거나 가족과 멀어진 사람도 많았습니다. 법이 바뀐 뒤에도 그들의 범죄 기록은 그대로 남아 있었습니다.

튜링이 사면을 받은 뒤, 존 리치 의원과 샤키 경, 그리고 인권 단체들은 같은 법으로 처벌받은 모든 사람을 사면해야 한다고 주장했습니다. 튜링의 가족도 나섰습니다. 2015년에는 튜링의 조카손녀 레이철 반스를 비롯한 가족이 50만 명 넘게 서명한 청원서를 총리 관저에 전달했습니다. 주요 정당들도 차례로 이 요구를 받아들이겠다고 약속했습니다.

그 결과가 『2017년 경찰 및 범죄법』입니다. 이 법은 2017년 1월 31일 왕실의 재가를 받았습니다. 이 법에 따라 잉글랜드와 웨일스에서는 과거의 동성애 처벌 조항으로 유죄 판결을 받은 사람 가운데 일정한 조건을 갖춘 사람들이 사면을 받게 되었습니다. 조건은 상대방이 당시 16세 이상이었고 관계에 동의했으며, 그 행위가 현재에도 범죄가 되는 경우가 아니어야 한다는 것이었습니다. 사람들은 이 법의 사면 조항을 '앨런 튜링 법'이라고 부릅니다. 정식 이름은 아니지만, 튜링의 사면에서 시작된 법이기 때문입니다.

사면의 방식은 대상자가 이미 세상을 떠났는지에 따라 달랐습니다. 이미 세상을 떠난 약 4만 9천 명은 이 법으로 사면을 받았습니다. 흔히 5만여 명이라고 말하는 숫자가 이것입니다. 살아 있는 사람은 정부에 신청해 범죄 기록을 지운 뒤 사면을 받을 수 있게 했습니다. 범죄 기록을 지우는 일을 영국에서는 '기록 말소'라

고 부릅니다. 2022년에는 법을 한 번 더 고쳐 기록을 지울 수 있는 범위를 넓혔습니다. 한 사람에 대한 사면이 결국 수만 명의 명예를 되찾아 주는 법으로 이어진 것입니다.

튜링의 이름은 법전에만 남지 않았습니다. 사람들이 날마다 손에 쥐는 돈에도 새겨졌습니다. 2018년, 영국의 중앙은행인 잉글랜드 은행은 새 50파운드 지폐에 실을 과학자를 국민에게 추천받았습니다. 20만 건이 넘는 추천이 들어왔습니다. 은행은 후보를 추린 뒤 2019년 7월 15일, 앨런 튜링을 새 50파운드 지폐의 인물로 정했다고 발표했습니다. 당시 은행 총재 마크 카니는 튜링을 현대 컴퓨터의 이론적 바탕을 놓은 사람이라고 소개했습니다.

새 지폐는 튜링의 생일인 2021년 6월 23일에 처음 발행되었습니다. 종이가 아니라 질기고 오래가는 플라스틱 재질인 폴리머로 만들었습니다. 지폐 뒷면에는 튜링의 삶과 연구를 보여 주는 그림들이 담겨 있습니다. 먼저 1951년에 찍은 튜링의 사진이 있고, 1936년 논문 「계산 가능한 수와 결정 문제의 응용」에 나오는 표와 수식이 있습니다. 튜링이 설계한 컴퓨터 ACE의 시험용 모델인 파일럿 ACE와, 에니그마 해독에 쓴 봄브의 설계 도면도 들어 있습니다. 기계에 넣는 종이 띠 그림에는 튜링의 생일인 1912년 6월 23일이 0과 1로 이루어진 이진수로 적혀 있습니다. 지폐에 붙은 꽃 모양의 붉은 금박은 해바라기에서 따온 것으로, 튜링이 말년에 연구한 형태발생학을 기립니다. 그 아래에는 튜링의 서명과 함께, 1949년 그가 신문 『타임스』와 한 인터뷰의 한 구절이 적혀 있습니다. "이것은 앞으로 올 일의 맛보기일 뿐이며, 앞으로 일어날 일의 그림자에 지나지 않습니다." 컴퓨터가 앞으로 훨씬 큰 일을 해내리라는 그의 예상을 담은 말입니다.

이 지폐에는 연구 업적을 기리는 것과는 다른 의미도 있습니다. 튜링은 잉글랜드 은행 지폐에 실린 첫 성소수자 인물이 되었습니다. 발행을 기념해 은행은 런던 본점 건물 위에 무지개 깃발을 걸었습니다. 70년 전 동성애를 이유로 한 사람을

처벌했던 나라가, 같은 이유로 고통받은 사람을 잉글랜드은행이 발행하는 최고 액면인 50파운드 지폐에 올린 것입니다.

그 뒤 영국의 국왕이 바뀌었지만 지폐 속 튜링의 자리는 그대로입니다. 2022년 엘리자베스 2세 여왕이 세상을 떠나고 찰스 3세가 왕위에 오르면서 지폐 앞면의 초상도 바뀌어야 했습니다. 2024년 6월 5일부터 찰스 3세의 얼굴이 들어간 새 지폐가 나왔지만, 지폐 뒷면은 바꾸지 않았습니다. 50파운드 지폐의 뒷면에는 지금도 앨런 튜링이 있습니다.

튜링을 기억하는 방법은 이 밖에도 많습니다. 미국 컴퓨터학회는 1966년부터 해마다 컴퓨터 과학에서 큰 업적을 세운 사람에게 '튜링상'을 줍니다. 컴퓨터 과학의 노벨상이라고 불리는 상입니다. 2001년 맨체스터 색빌 공원에는 사과를 손에 든 채 벤치에 앉은 튜링의 동상이 세워졌습니다. 2015년 영국은 데이터 과학과 인공지능을 연구하는 국가 연구소를 세우고 그 이름을 '앨런 튜링 연구소'라고 지었습니다. 그가 일하던 블레츨리 파크는 박물관이 되어 해마다 많은 방문객을 맞고 있습니다.

1954년 6월, 튜링은 윌름슬로의 집에서 혼자 세상을 떠났습니다. 그가 마지막 밤을 어떻게 보냈는지는 지금도 알 수 없습니다. 그러나 그가 남긴 생각은 사라지지 않았습니다. 지금 우리가 쓰는 스마트폰과 컴퓨터, 그리고 사람과 대화하는 인공지능은 그가 1936년에 종이 위에 그려 낸 상상의 기계에 이론적 뿌리를 두고 있습니다.

제17장. 인공지능의 역사와 발전 (1950년대~2020년대)



그림 17. 체스와 신경망을 통해 인공지능 연구의 흐름을 표현했습니다.

앨런 튜링은 1948년에 보고서 「지능 기계」를 썼습니다. 이 보고서에서 그는 기계를 똑똑하게 만드는 두 가지 길을 함께 내다보았습니다. 첫째는 사람이 규칙을 하나하나 정해 주는 길입니다. 둘째는 뇌의 신경세포처럼 연결된 기계가 경험을 쌓으며 스스로 배우는 길입니다.

2년 뒤인 1950년, 튜링은 학술지 『마인드』에 논문 「계산 기계와 지능」을 실었습니다. 이 논문에서 그는 "기계는 생각할 수 있는가"라는 질문을 던졌고, 사람과 기계를 대화로 가려내는 모방 게임을 제안했습니다.

튜링은 1954년 6월, 마흔한 살에 세상을 떠났습니다. 그러나 그가 남긴 질문은 사라지지 않았습니다. 튜링이 떠난 뒤 70년 동안 과학자들은 그가 내다본 두 길을 번갈아 걸었습니다. 한쪽 길이 막히면 다른 쪽 길이 열렸고, 기대가 부풀었다가 꺼지는 일도 여러 번 되풀이되었습니다. 오늘날의 인공지능은 이런 과정을 거쳐 만들어졌습니다.

17.1. 다트머스 회의와 기호주의 AI의 태동 (1956~1970s)

인공지능이라는 이름이 생기다

튜링은 자신이 연구한 분야를 '기계 지능'이라고 불렀습니다. 이 분야에 지금의 이름이 붙은 것은 튜링이 세상을 떠난 이듬해입니다. 1955년 여름, 미국의 젊은 수학자 존 매카시는 동료 세 사람과 함께 연구 제안서를 썼습니다. 하버드 대학교의 마빈 민스키, 벨 연구소의 클로드 새넌, IBM의 나사니엘 로체스터가 함께 했습니다. 이 제안서의 제목에 처음 등장한 낱말이 '인공지능(Artificial Intelligence)'입니다.

제안서에 따라 1956년 여름, 미국 뉴햄프셔주 하노버의 다트머스 대학교에서 약 두 달 동안 연구 모임이 열렸습니다. 이 모임을 다트머스 회의라고 합니다. 제안서를 쓴 사람들은 학습을 비롯한 지능의 모든 특징을 정확하게 설명할 수 있다면 기계가 그것을 흉내 내도록 만들 수 있다고 보았습니다. 많은 학자는 이 회의를 인공지능이 하나의 학문으로 태어난 때로 꼽습니다. 튜링이 세상을 떠나고 2년 뒤의 일입니다.

규칙과 기호로 생각하는 기계

다트머스 회의에는 이 생각을 뒷받침하는 프로그램이 이미 나와 있었습니다. 회의에 참석한 허버트 사이먼과 앨런 뉴얼이 가지고 온 '논리 이론가(Logic Theorist)'입니다. 이 프로그램은 수학책에 실린 논리 정리를 스스로 증명했습니다. 사람의 지혜가 필요하다고 여겨 온 일을 기계가 해낸 초기의 대표적 사례로 꼽힙니다. 두 사람은 뒤이어 여러 종류의 문제를 같은 방법으로 풀려는 '보편 문제 해결자(GPS)'를 만들었습니다. 매카시는 1958년에 인공지능 연구에 알맞은 프로그래밍 언어 리스프(LISP)를 만들었습니다.

이 초기 연구자들은 사람의 생각을 기호와 규칙으로 바꿀 수 있다고 믿었습니다. "모든 새는 날 수 있다"와 "참새는 새다"라는 두 문장을 기호로 적어 두면, 기계는 "참새는 날 수 있다"는 결론을 끌어냅니다. 이처럼 지식을 기호로 나타내고 논리 규칙에 따라 계산하는 방식을 '기호주의 AI'라고 부릅니다. 사람이 위에서 규칙을 정해 주고 기계가 그 규칙을 따르기 때문에 '하향식' 방법이라고도 합니다. 이 방식은 사람이 계산 규칙을 명시한다는 점에서 튜링이 검토했던 접근과 연결해 볼 수 있습니다.

게임은 기호주의 AI가 즐겨 다룬 과제였고, 튜링도 일찍이 이 길을 걸었습니다. 1948년 튜링은 친구 데이비드 챔퍼나운과 함께 체스 프로그램 '투로챔프'를 설계했습니다. 그때는 이 프로그램을 실행할 컴퓨터가 없었습니다. 그래서 1952년 튜링은 종이와 연필로 프로그램의 계산을 직접 따라 하면서 동료와 체스를 두었습니다. 한 수를 두는 데 30분 가까이 걸렸다고 합니다. 투로챔프는 앞으로 둘 수 있는 수를 여러 단계 내다보고 가장 나은 수를 고르는 방법을 썼는데, 이 방법은 체스 프로그램의 기본이 되었습니다. 그 길은 1997년 5월에 한 지점에 이르렀습니다. IBM의 체스 컴퓨터 딥 블루가 세계 챔피언 가리 카스파로프를 이긴 것입니다.

말을 주고받는 프로그램도 나왔습니다. 1966년 미국 MIT의 조지프 와이젠바움은 대화 프로그램 '일라이자(ELIZA)'를 발표했습니다. 일라이자는 심리 상담사의 말투를 흉내 냈습니다. 사용자가 엄마 이야기를 꺼내면 엄마에 대해 더 말해 달라고 되묻는 식이었습니다. 일라이자는 문장 속 낱말을 찾아 정해진 틀에 맞춰 대답할 뿐, 문장의 뜻은 이해하지 못했습니다. 그런데도 많은 사람이 일라이자에게 속마음을 털어놓았습니다. 와이젠바움의 비서는 일라이자와 대화하는 동안 자리를 비켜 달라고 부탁했다고 합니다. 와이젠바움은 이 모습을 보고 오히려 걱정했습니다. 사람들이 기계를 너무 쉽게 믿는다고 느꼈기 때문입니다.

1972년에는 정신과 의사 케네스 콜비가 '패리(PARRY)'라는 프로그램을 만들었습니다. 패리는 남을 지나치게 의심하는 환자의 말투를 흉내 냈습니다. 정신과 의사들에게 대화 기록을 보여 주었더니, 의사들은 패리와 실제 환자를 잘 가려내지 못했습니다. 대화만 보고 사람과 기계를 가려내게 했다는 점에서 튜링의 모방 게임을 닮은 실험이었습니다.

부풀어 오른 기대

정리 증명, 체스, 대화에서 성과가 이어지자 연구자들은 큰 꿈을 품었습니다. 허버트 사이먼은 1965년에, 20년 안에 기계가 사람이 하는 일은 무엇이든 할 수 있게 된다고 내다보았습니다. 마빈 민스키도 한 세대 안에 인공지능의 핵심 문제가 거의 풀린다고 말했습니다.

튜링의 예측은 이보다 조심스러웠습니다. 튜링은 1950년 논문에서, 약 50년 뒤에는 보통 사람이 5분 동안 대화한 뒤 상대가 기계인지 맞힐 확률이 70%를 넘지 않을 것이라고 썼습니다. 초기 연구자들의 기대는 튜링의 예측보다 훨씬 앞서나갔습니다. 정부와 군대는 연구자들의 약속을 믿고 많은 연구비를 내놓았습니다.

17.2. AI 겨울과 연결주의의 반격 (1980s~2000s)

벽에 부딪힌 기호주의

연구자들의 약속은 기대만큼 이루어지지 않았습니다. 1970년대에 들어서면서 기호주의 AI는 두 가지 벽에 부딪혔습니다.

첫째 벽은 '조합 폭발'입니다. 체스나 퍼즐처럼 규칙이 분명한 문제도 한 단계 더 내다볼 때마다 따져 볼 경우의 수가 몇 배씩 늘어납니다. 작은 연습 문제에서 잘 작동하던 프로그램이 실제 세상의 문제 앞에서는 끝없는 계산에 갇혔습니다.

둘째 벽은 '상식'입니다. 앞에서 본 "모든 새는 날 수 있다"는 규칙은 펭귄과 타조 앞에서 틀립니다. 날개를 다친 새, 그림 속의 새, 구운 통닭도 날지 못합니다. 사람은 이런 예외를 따로 배우지 않아도 압니다. 그러나 기계에게는 예외 하나하나를 규칙으로 적어 주어야 했고, 세상의 예외에는 끝이 없었습니다.

연구비를 대던 쪽은 실망했습니다. 1973년 영국의 수학자 제임스 라이트힐은 정부의 의뢰를 받아 인공지능 연구를 평가하는 보고서를 냈습니다. 그는 인공지능 연구가 약속한 성과를 내지 못했다고 판단했습니다. 이 '라이트힐 보고서'가 나온 뒤 영국 정부는 인공지능 연구비를 크게 줄였습니다. 미국 국방부의 연구 기관인 다르파(DARPA)도 비슷한 시기에 지원을 줄였습니다. 여러 연구 사업이 멈추었고, 학생들은 다른 분야로 떠났습니다. 사람들은 이 시기를 '첫 번째 AI 겨울'이라고 부릅니다.

전문가 시스템의 봄과 두 번째 겨울

1980년대에 인공지능은 다시 봄을 맞는 듯했습니다. 이번 주인공은 '전문가 시스템'이었습니다. 전문가 시스템은 세상 전체가 아니라 좁은 한 분야의 지식만 다룹니다. 의사나 기술자 같은 전문가에게 물어서 얻은 지식을 "만약 이런 증상이 있으면 이런 병일 가능성이 높다" 같은 규칙 수백, 수천 개로 정리해 컴퓨터에 넣습니다. 규칙을 사람이 정해 준다는 점에서는 기호주의의 길을 그대로 따르되, 다루는 범위를 좁힌 방식입니다.

실제로 쓸모를 보인 사례도 나왔습니다. 1970년대 미국 스탠퍼드 대학교에서 만든 '마이신(MYCIN)'은 약 600개의 규칙으로 혈액 감염 환자에게 알맞은 항생제를 추천했습니다. 컴퓨터 회사 DEC는 1980년부터 '엑스콘(XCON)'이라는 전문가 시스템으로 고객 주문에 맞는 컴퓨터 부품 조합을 골랐고, 해마다 큰 비용을 아꼈습니다. 각국 정부도 움직였습니다. 1982년 일본 정부는 '제5세대 컴퓨터' 계획을 시작했고, 미국과 영국도 서둘러 인공지능 연구비를 다시 늘렸습니다.

그러나 이 봄도 오래가지 못했습니다. 전문가의 머릿속 지식을 규칙으로 옮기는 데에는 시간이 많이 들었습니다. 전문가 자신도 자기 판단을 규칙으로 설명하지 못할 때가 많았습니다. 규칙이 수천 개로 늘어나자 규칙끼리 부딪치는 일이 생겼고, 한 곳을 고치면 다른 곳에서 문제가 생겼습니다. 규칙에 없는 상황을 만나면 시스템은 아무 일도 하지 못했습니다.

1987년 무렵 인공지능 전용 컴퓨터 시장이 무너졌습니다. 일본의 제5세대 컴퓨터 계획도 목표를 이루지 못한 채 1992년에 끝났습니다. 1980년대 말부터 1990년대 초까지 이어진 이 침체기를 '두 번째 AI 겨울'이라고 부릅니다.

뇌를 닮은 기계, 신경망

기호주의가 겨울을 나는 동안 다른 길을 걷던 연구자들이 조용히 힘을 모으고 있었습니다. 이들은 사람의 뇌에서 답을 찾았습니다. 사람의 뇌에는 약 860억 개의 신경세포가 있고, 신경세포들은 서로 연결되어 신호를 주고받습니다. 무언가를 배우면 이 연결의 세기가 바뀝니다.

이 원리를 흉내 낸 컴퓨터 프로그램을 '인공 신경망'이라고 합니다. 신경망의 연결을 통해 지능을 만들려는 생각은 '연결주의'라고 부릅니다. 규칙을 위에서 내려 주는 대신 기계가 경험에서 배우며 아래에서부터 지능을 쌓아 올리기 때문에 '상향식' 방법이라고도 합니다.

이 생각의 뿌리에도 튜링이 있습니다. 튜링은 1948년 보고서 「지능 기계」에서 '비조직 기계'를 상상했습니다. 처음에는 부품들이 아무렇게나 연결된 기계지만, 상과 벌을 주며 가르치면 연결이 조금씩 바뀌어 쓸모 있는 기계로 자란다는 생각입니다. 튜링은 갓난아기의 뇌가 이와 비슷하다고 보았습니다. 그러나 튜링이 일하던 국립물리연구소의 소장은 이 보고서를 학생의 글짓기 수준으로 낮게 평가했습니다. 보고서는 튜링이 세상을 떠나고 14년이 지난 1968년에야 책에 실려 세상에 알려졌습니다.

튜링의 보고서가 묻혀 있는 동안에도 신경망 연구는 따로 시작되었지만, 그 길 역시 순탄하지 않았습니다. 1958년 미국의 심리학자 프랭크 로젠블랫은 글자와 모양을 배워서 구별하는 '퍼셉트론'을 발표해 큰 관심을 모았습니다. 그러나 1969년 마빈 민스키와 시모어 페퍼트는 책 『퍼셉트론』에서, 층이 하나뿐인 퍼셉트론은 쉬운 논리 문제조차 풀 수 없다는 사실을 수학으로 보여 주었습니다. 두 사람이 든 예는 두 입력 가운데 하나만 참일 때 답이 참이 되는 'XOR' 문제였습니다. 이 책이 나온 뒤 신경망 연구는 오랫동안 연구비를 받기 어려웠습니다.

오차역전파, 다시 일어난 신경망

문제를 푸는 열쇠는 신경망을 여러 층으로 쌓는 데 있었습니다. 층을 쌓으면 XOR 같은 문제도 풀 수 있습니다. 하지만 층이 많아지면 새로운 어려움이 생겼습니다. 안쪽 층의 연결을 어떻게 고쳐야 할지 알기 어려웠던 것입니다.

1986년 데이비드 러멜하트, 제프리 힌턴, 로널드 윌리엄스는 과학 학술지 『네이처』에 '오차역전파(백프로파게이션)' 방법을 정리해 발표했습니다. 비슷한 생각은 미국의 폴 워보스가 1974년 박사 논문에서 먼저 내놓은 바 있습니다. 원리는 이렇습니다. 신경망이 답을 내면 정답과 비교해서 틀린 정도, 곧 오차를 잽니다. 그다음 이 오차를 출력 쪽에서 입력 쪽으로 거꾸로 전달하면서, 연결 하나 하나가 오차에 얼마나 책임이 있는지 계산해 조금씩 고칩니다. 시험을 본 뒤 틀린 문제를 거슬러 올라가며 어디서 실수했는지 찾아 고치는 공부법과 닮았습니다.

이 방법은 곧 실제 문제에 쓰였습니다. 1989년 프랑스 출신 연구자 얀 르쿤은 미국 벨 연구소에서 오차역전파로 손글씨 숫자를 읽는 신경망을 만들었습니다. 르쿤의 신경망은 그림을 작은 조각으로 나누어 살펴보는 '합성곱 신경망'이었습니다. 이 기술은 1990년대 미국 은행에서 수표에 쓴 숫자를 읽는 데 쓰였습니다.

그래도 1990년대와 2000년대 초까지 신경망은 인공지능 연구의 주인공이 되지 못했습니다. 컴퓨터는 느렸고, 신경망을 가르칠 데이터는 부족했습니다. 다른 방법이 더 좋은 성적을 내는 경우도 많았습니다. 그런 가운데에도 힌턴과 르쿤, 캐나다의 요슈아 벤지오 같은 연구자들은 신경망 연구를 놓지 않았습니다. 기계가 경험에서 배울 수 있는지 묻는 연구는 여러 연구자의 서로 다른 접근을 통해 이어졌습니다.

17.3. 딥러닝 혁명과 생성형 AI 시대의 개막 (2010s~2020s)

세 가지 재료가 만나다

신경망이 주인공이 되지 못한 까닭은 느린 컴퓨터와 부족한 데이터였습니다. 2010년 무렵, 신경망 연구자들에게 오래 기다리던 세 가지 재료가 한꺼번에 갖춰졌습니다.

첫째 재료는 빅데이터입니다. 인터넷과 스마트폰이 퍼지면서 사진, 글, 영상이 엄청나게 쌓였습니다. 페이스북 리와 프린스턴 대학교 연구팀은 사진에 무엇이 찍혔는지 이름표를 붙인 '이미지넷(ImageNet)'을 2009년에 공개했습니다. 당시 논문은 약 320만 장의 사진을 소개했으며, 이후 자료가 1,400만 장 이상으로 늘어났습니다.

둘째 재료는 GPU입니다. GPU, 곧 그래픽 처리 장치는 원래 컴퓨터 게임의 화면을 그리려고 만든 부품입니다. GPU는 화면을 이루는 수많은 점을 한꺼번에 계산합니다. 이 능력은 신경망의 수많은 연결을 한꺼번에 계산하는 일에도 꼭 맞습니다.

셋째 재료는 층이 깊은 신경망을 잘 가르치는 기술입니다. 힌튼을 비롯한 연구자들은 여러 층을 깊이 쌓은 신경망을 훈련하는 방법을 하나씩 찾아냈습니다. 층이 깊은 신경망으로 배우는 기술을 '딥러닝'이라고 부릅니다.

2012년, 이 세 재료가 한자리에서 만났습니다. 이미지넷 사진 인식 대회에서 힌튼의 제자 알렉스 크리젱스키와 일리아 수츠케버가 힌튼과 함께 만든 신경망 '알렉스넷(AlexNet)'이 1등을 했습니다. 알렉스넷은 게임용 GPU 두 개로 훈련했습니다. 가능성이 높은 답 다섯 개 안에 정답이 없는 비율을 보면, 알렉스넷은 약 15%였고 2등 팀은 약 26%였습니다. 2등과 10%포인트 넘게 차이가 난 것입니

다. 이 결과를 본 연구자들과 기업들은 앞다투어 딥러닝으로 방향을 바꾸었습니다. 사진 속 얼굴 찾기, 말소리를 글로 바꾸기, 외국어 번역이 몇 년 사이에 몰라 보게 좋아졌습니다.

2016년 3월, 알파고와 이세돌

딥러닝을 대중에게 널리 알린 사건이 서울에서 일어났습니다. 2016년 3월 9일부터 15일까지 서울의 한 호텔에서 구글 딥마인드의 바둑 프로그램 알파고와 이세돌 9단이 다섯 판을 두었습니다. 바둑은 둘 수 있는 경우의 수가 우주의 원자 수보다 많아서, 체스처럼 수를 하나하나 따져 보는 방법이 통하지 않습니다. 그래서 많은 전문가는 컴퓨터가 최고 수준의 바둑 기사를 이기려면 10년은 더 걸린다고 보았습니다.

데미스 허사비스와 데이비드 실버가 이끈 연구팀은 이 문제를 풀려고 알파고에 두 가지 신경망을 넣었습니다. 하나는 다음에 둘 만한 수를 고르는 신경망이고, 다른 하나는 지금 판세에서 누가 이길지 가늠하는 신경망입니다. 알파고는 먼저 사람들이 둔 기보에서 뽑은 약 3,000만 개의 장면을 보고 배웠습니다. 그다음 자기 자신과 수없이 대국하며 실력을 키웠습니다. 이기면 그때 둔 수를 더 자주 두고, 지면 덜 두도록 스스로를 고쳤습니다. 이런 학습 방법을 '강화학습'이라고 합니다.

대국 결과는 알파고의 4 대 1 승리였습니다. 둘째 판에서 알파고가 둔 37번째 수는 처음에 프로 기사들이 실수로 여겼지만, 나중에 승부를 가른 수로 평가받았습니다. 이세돌 9단은 넷째 판에서 78번째 수로 알파고의 계산을 흔들고 한 판을 이겼습니다. 이 판은 알파고가 사람에게 진 유일한 공식 대국으로 남았습니다.

알파고의 학습 방법은 튜링의 오래된 제안과 이어집니다. 튜링은 1950년 논문의 마지막 절 「학습하는 기계」에서, 어른의 머리를 흉내 내는 대신 아이의 머리

를 닮은 기계를 만들고 상과 벌로 가르치자고 제안했습니다. 알파고는 66년 전의 그 제안을 거대한 규모로 실현한 사례였습니다. 이듬해인 2017년 딥마인드는 사람의 기보 없이 바둑 규칙만 알고 혼자 배운 '알파고 제로'를 발표했습니다. 알파고 제로는 이세돌 9단을 이긴 알파고와 100판을 두어 모두 이겼습니다.

트랜스포머, 문장을 한꺼번에 읽다

그림과 바둑 다음은 언어였습니다. 그때까지의 언어 신경망은 문장을 앞에서부터 한 단어씩 차례로 읽었습니다. 그래서 문장이 길어지면 앞부분 내용을 잊어버리기 쉬웠고, 앞 단어의 계산이 끝나야 다음 단어로 넘어갈 수 있어서 속도도 느렸습니다.

2017년 6월, 구글의 연구자 여덟 명은 「어텐션만 있으면 된다(Attention Is All You Need)」라는 논문을 발표하고 '트랜스포머'라는 새로운 신경망 구조를 내놓았습니다. 트랜스포머는 문장의 모든 단어를 한꺼번에 놓고, 단어마다 다른 단어들과 얼마나 관련이 있는지 계산합니다. 이 계산을 '어텐션(주의 집중)'이라고 합니다. "철수는 영희에게 책을 빌려주었고, 그녀는 고마워했다"라는 문장을 예로 들어 보겠습니다. 트랜스포머는 '그녀'가 '영희'와 깊이 관련된다는 사실을 계산으로 찾아냅니다. 문장이 길어져도 멀리 떨어진 단어 사이의 관계를 직접 계산하는 것입니다. 또 트랜스포머는 학습할 때 여러 위치의 계산을 병렬로 처리할 수 있어 GPU를 효율적으로 활용했습니다. 다만 글을 새로 생성할 때는 이미 나온 내용을 바탕으로 다음 부분을 차례로 만들어 갑니다.

거대언어모델과 챗GPT

트랜스포머를 바탕으로 '거대언어모델(LLM)'이 생겨났습니다. 거대언어모델은 책, 기사, 백과사전 같은 많은 글을 읽으며, 문장에서 다음에 올 단어를 맞히는 연습을 되풀이합니다. 글 자체가 문제와 정답이 되므로 사람이 일일이 이름표를 붙일 필요가 없습니다.

미국의 오픈AI는 2018년 첫 GPT를 내놓은 뒤 모델의 크기를 계속 키웠습니다. 2020년에 나온 GPT-3에는 연결의 세기를 나타내는 숫자, 곧 매개변수가 1,750억 개 들어 있었습니다. 크기를 키우자 모델은 따로 배우지 않은 일도 해내기 시작했습니다. 시를 짓고, 컴퓨터 프로그램을 짜고, 여러 언어를 번역했습니다.

2022년 11월 30일, 오픈AI는 대화형 서비스 '챗GPT'를 공개했습니다. 누구나 웹사이트에 들어가 우리말로 질문하면 자연스러운 문장으로 답을 받을 수 있었습니다. 챗GPT의 사용자는 공개 두 달 만에 약 1억 명에 이르렀다는 추정이 나왔습니다. 그 뒤 구글, 엔트로픽, 메타 같은 기업들이 잇달아 거대언어모델을 내놓았습니다. 글뿐 아니라 그림, 음악, 영상까지 새로 만들어 내는 인공지능을 묶어 '생성형 AI'라고 부릅니다.

인공지능 연구를 발전시킨 성과는 주요 학술상에서도 인정받았습니다. 힌턴, 르쿤, 벤지오는 2018년 튜링상 수상자로 뽑혔습니다. 튜링상은 컴퓨터 과학의 노벨상으로 불리는 상이고, 그 이름은 앨런 튜링에게서 따왔습니다. AI 겨울 동안 신경망 연구를 지킨 세 사람이 튜링의 이름이 붙은 상을 받은 것입니다. 2024년에는 신경망 연구의 기초를 놓은 존 홉필드와 제프리 힌턴이 노벨 물리학상을 받았습니다. 같은 해 데미스 허사비스와 존 점퍼는 알파폴드를 통한 단백질 구조 예측으로, 데이비드 베이커는 컴퓨터를 이용한 단백질 설계로 노벨 화학상을 받았습니다.

75년 만에 다시 열린 모방 게임

튜링이 제안한 모방 게임도 다시 무대에 올랐습니다. 2025년 3월, 미국 캘리포니아 대학교 샌디에이고의 캐머런 존스와 벤저민 버겐은 튜링이 처음 제안한 세 사람 방식 그대로 진행한 실험 결과를 발표했습니다. 참가자는 사람 한 명, 인공지능 하나와 동시에 5분 동안 문자로 대화한 뒤 어느 쪽이 사람인지 골랐습니다. 사람처럼 행동하라는 지시를 받은 GPT-4.5는 73%의 경우 사람으로 선택되어, 진짜 사람보다 더 자주 사람으로 뽑혔습니다. 같은 실험에서 일라이자는 23%를 기록했습니다. 이 연구는 2026년 미국 학술지 『미국국립과학원회보(PNAS)』에 정식 논문으로 실렸습니다.

이 결과가 곧 기계가 사람처럼 생각한다는 뜻은 아닙니다. 앞서 나온 튜링의 70%는 질문자의 정답률이고, 이 실험의 73%는 AI가 사람으로 선택된 비율이므로 두 수치를 직접 비교할 수는 없습니다. 실험 조건도 살펴야 합니다. 연구자들은 GPT-4.5에게 인터넷 문화에 익숙하고 속어를 쓰는 내성적인 젊은 사람처럼 대화하도록 지시했습니다. 이런 지시 없이 실험하자 점수는 36%로 떨어졌습니다. 그럴듯한 대답과 이해를 같은 것으로 볼 수 있는지도 오래된 쟁점입니다. 철학자 존 설은 1980년 '중국어 방' 사고 실험에서, 규칙에 따라 기호를 바꾸어 그럴듯한 대답을 내는 일과 뜻을 이해하는 일은 서로 다르다고 주장했습니다. 이 문제를 두고 학자들은 지금도 의견이 갈립니다.

1956년 다트머스에서 이름을 얻은 인공지능은 규칙의 길과 학습의 길을 오가며 자랐습니다. 규칙의 길에서 딥 블루가 나왔고, 학습의 길에서 알파고와 챗GPT가 나왔습니다. 튜링의 1948년 보고서는 기계의 규칙과 학습을 함께 탐구한 초기 연구 가운데 하나입니다. 과학자들은 "기계는 생각할 수 있는가"라는 튜링의 질문에 답하려고 70년 넘게 연구를 이어 왔고, 그 과정에서 나온 기술이 오늘 우리의 생활을 바꾸고 있습니다.

제18장. 2026년의 인공지능과 남은 과제



그림 18. 인공지능의 답을 함께 살펴보는 학생들을 그린 삽화입니다.

1950년 10월, 앨런 튜링은 영국 철학 학술지 『마인드(Mind)』에 「계산 기계와 지능」이라는 논문을 실으면서 '기계는 생각할 수 있는가?'라는 질문을 던졌습니다. 그는 이 질문의 답을 찾는 방법으로 '모방 게임'을 내놓았습니다. 질문자가 글로만 대화를 나눈 뒤 상대가 사람인지 기계인지 맞히는 시험입니다. 튜링은 여기에 예측을 하나 덧붙였습니다. 약 50년 뒤에는 컴퓨터가 이 게임을 잘 해내서, 보통의 질문자가 5분 동안 대화한 뒤 상대를 바르게 맞힐 확률이 70퍼센트를 넘지 못할 것이라고 했습니다.

튜링이 이 글을 쓴 지 76년이 지났습니다. 지금은 2026년 10월입니다. 튜링이 상상한 '생각하는 기계'를 떠올리게 하는 인공지능이 이제 학교와 병원, 법원과 회사, 연구실 곳곳에서 쓰이고 있습니다. 이 장에서는 2026년의 인공지능이 어

디까지 왔는지, 사람들의 삶을 어떻게 바꾸고 있는지, 그리고 튜링이 남긴 질문이 지금 우리에게 무엇을 묻는지 차례로 살펴봅니다.

18.1. 2026년 10월, AI의 도약과 현주소

사람으로 선택된 인공지능

튜링의 논문이 나온 뒤 오랫동안 많은 프로그램이 튜링 테스트에 도전했습니다. 그러나 대부분은 지능을 보여 주기보다 사람을 속이는 요령에 기대었다는 비판을 받았습니다. 2014년의 '유진 구스트만'이 그런 예입니다. 이 프로그램은 영어가 서툰 열세 살 우크라이나 소년인 척해서 자신의 실수를 감추었습니다.

2025년 3월, 미국 캘리포니아 대학교 샌디에이고의 캐머런 존스와 벤저민 버겐이 새로운 실험 결과를 발표했습니다. 튜링의 모방 게임을 바탕으로 구성한 실험이었습니다. 참가자는 사람 한 명, 기계 한 대와 동시에 5분 동안 글로 대화한 뒤, 둘 중 누가 사람인지 골랐습니다. 사람처럼 행동하라는 지시를 받은 GPT-4.5는 73퍼센트의 경우에 사람으로 뽑혔습니다. 함께 대화한 진짜 사람보다 더 자주 사람으로 선택된 것입니다. 같은 지시를 받은 LLaMa-3.1은 56퍼센트였고, 비교용으로 넣은 ELIZA와 GPT-4o는 각각 23퍼센트와 21퍼센트에 그쳤습니다. 연구진은 이 결과를 기계가 표준적인 3인 튜링 테스트를 통과한 첫 실험 증거라고 설명했습니다. 이 논문은 나중에 미국국립과학원회보(PNAS)에 정식으로 실렸습니다.

이 결과를 두고 튜링의 예언이 이루어졌다고 말하기도 합니다. 그러나 튜링이 말한 70퍼센트와 이 실험의 73퍼센트는 재는 대상이 서로 다릅니다. 튜링의 70퍼센트는 질문자가 상대를 바르게 가려내는 비율이고, 이 실험의 73퍼센트는 GPT-4.5가 사람으로 뽑힌 비율입니다. 평가 방식과 수치의 의미가 다르므로 두 숫자를 곧바로 견주어서는 안 됩니다.

이 실험에는 눈여겨볼 대목이 하나 더 있습니다. 연구진은 GPT-4.5에게 인터넷 문화에 익숙하고 속어를 쓰는 내성적인 젊은 사람처럼 대화하도록 지시했습니다.

이런 연기 지시가 없을 때 GPT-4.5가 사람으로 뽑힌 비율은 36퍼센트로 떨어졌습니다. 어떤 인물처럼 대화하라는 지시가 결과에 큰 영향을 준 것입니다. 따라서 이 실험이 평가한 것은 대화에서 사람처럼 보이는 능력입니다. 이 결과만으로 기계가 말의 뜻을 이해하는지까지 입증할 수는 없습니다.

말하는 기계에서 일하는 기계로

2026년 인공지능에서 주목받는 흐름 가운데 하나는 '에이전트 AI'입니다. 에이전트는 '대신 일을 맡아 하는 사람'이라는 뜻입니다. 대중에게 익숙한 초기 대화형 서비스는 주로 질문에 답을 내놓는 방식이었습니다. 에이전트 AI는 사람이 목표를 주면 그 일을 여러 단계로 나누고, 필요한 자료를 찾고, 프로그램을 짜서 실행해 보고, 틀린 곳을 고치며 작업을 이어 갈 수 있습니다. 다만 중간에 실수하거나 과제를 끝내지 못할 수도 있으므로 사람이 결과를 확인해야 합니다.

프로그래밍은 에이전트 AI가 활발하게 쓰이는 분야입니다. 1950~1951년 무렵 튜링은 맨체스터 대학교에서 컴퓨터를 다루는 사람들을 위해 『프로그래머 지침서』를 마련했습니다. 그때는 사람이 기계의 언어를 한 줄씩 배워야 했습니다. 2026년에는 사람이 평범한 말로 원하는 프로그램을 설명하면, 인공지능이 코드를 쓰고 시험하고 고칩니다.

그렇다면 인공지능은 혼자서 얼마나 긴 일을 해낼 수 있을까요. 미국의 연구 단체 METR이 이것을 쟁니다. 소프트웨어 개발, 기계학습, 보안 같은 분야에서 숙련된 사람이 일정 시간 걸리는 과제를 여럿 마련하고, 인공지능이 절반 정도의 확률로 성공해 내는 과제의 길이를 재는 방식입니다. METR은 이 길이를 그 인공지능의 '과제 시간 지평'이라고 부릅니다. 2024년 초에는 앞선 모델들도 약 4분 짜리 일을 해내는 수준이었습니다. 그 시간이 빠르게 늘어 2026년 2월에는 하루 근무 시간을 넘는 약 14.5시간이라는 추정치가 나오기도 했습니다. 그러나 이 값은 통계 방법의 오류를 바로잡으면서 낮아졌고, METR이 2026년 3월에 내놓

은 분석에서는 클로드 오퍼스 4.6 모델의 과제 시간 지평을 약 12시간으로 설명했습니다.

추정치가 한 달 사이에 달라진 데서 알 수 있듯이, 이 수치는 어떤 과제를 골라 어떤 방법으로 재는지에 따라 달라집니다. METR 스스로도 이 숫자의 한계를 밝혔습니다. 시험 과제는 모두 혼자 끝낼 수 있는 과제였고, 사람이 몇 달씩 하는 실제 일은 대부분 여러 사람의 협업이 필요하다는 것입니다. 숫자가 커졌다고 해서 사람의 일을 그대로 맡길 수 있다는 뜻은 아닙니다.

과학자의 연구 동료가 된 인공지능

인공지능은 과학 연구의 모습도 바꾸고 있습니다. 먼저 단백질 연구를 들 수 있습니다. 단백질은 우리 몸속에서 여러 가지 일을 맡아 하는 분자입니다. 단백질이 어떤 모양으로 접히는지 알면 병의 원인을 이해하고 약을 설계하기 쉬워집니다. 구글 딥마인드의 알파폴드는 이 모양을 컴퓨터로 예측합니다. 이 공로로 2024년 노벨 화학상은 알파폴드를 만든 데미스 허사비스와 존 점퍼, 그리고 컴퓨터로 새 단백질을 설계한 데이비드 베이커에게 돌아갔습니다.

새로운 물질을 찾는 일도 빨라졌습니다. 2023년 11월, 구글 딥마인드는 GNoME이라는 인공지능으로 새로운 결정 구조 후보 220만 개를 계산으로 예측했고, 그 가운데 약 38만 개는 안정할 것으로 내다보았습니다. 이 숫자는 계산으로 예측한 후보의 수이며, 후보를 실제로 합성해 확인하는 일은 별개의 과제입니다. 그래도 배터리나 반도체에 쓸 새 재료를 찾는 데 도움이 될 수 있는 결과입니다. 약을 만드는 분야에서도 진전이 있었습니다. 인공지능을 활용해 치료 표적을 찾고 약물 분자를 설계한 폐섬유증 치료 후보 물질이 사람을 대상으로 한 임상 시험을 거쳤고, 2025년 6월 그 초기 결과가 학술지 『네이처 메디신』에 실렸습니다.

수학에서도 큰 소식이 있었습니다. 2025년 7월 오스트레일리아에서 열린 국제 수학올림피아드(IMO)의 문제를 두고, 구글 딥마인드와 오픈AI의 인공지능이 각각 42점 만점에 35점에 해당하는 평가를 받았습니다. 사람 참가자라면 금메달을 받는 점수입니다. 다만 인공지능이 사람들과 함께 대회에 출전해 메달을 받은 것은 아닙니다. 같은 문제를 푸는 평가에서 금메달 기준 점수에 도달했다는 뜻입니다. 두 결과의 성격도 조금 다릅니다. 구글 딥마인드의 성적은 대회 조직위원회가 공식적으로 채점한 평가였고, 오픈AI의 성적은 회사가 자체 연구로 진행한 실험 발표였습니다. 그럼에도 시험 시간 안에 사람처럼 글로 증명을 써냈다는 점에서 수학자들도 이 결과를 주의 깊게 보았습니다.

범용 인공지능은 왔는가

이런 성과를 보고 어떤 기업과 연구자들은 사람 수준의 '범용 인공지능(AGI)'에 이미 이르렀거나 문턱에 섰다고 말합니다. 범용 인공지능이란 한 가지 일만 잘하는 기계가 아니라, 사람처럼 처음 보는 문제도 배우고 풀어내는 기계를 뜻합니다.

그러나 많은 전문가는 이 주장에 동의하지 않습니다. 2025년 3월 인공지능진흥협회(AAAI)가 연구자들에게 물었을 때, 응답자의 76퍼센트는 지금의 방식을 더 크게 키우는 것만으로 범용 인공지능을 만들 가능성이 낮거나 아주 낮다고 답했습니다. 게다가 이 분야에는 범용 인공지능을 무엇으로 정의하고 어떻게 시험할지에 대한 합의도 아직 없습니다. 기준이 정해지지 않았으니 도달했는지를 판정하기도 어렵습니다.

더 근본적인 물음도 있습니다. 1980년 철학자 존 설은 '중국어 방'이라는 생각 실험을 내놓았습니다. 중국어를 모르는 사람이 방 안에서 두꺼운 규칙책만 보고 중국어 질문에 알맞은 답을 써서 내보냅니다. 밖에서 보면 이 사람은 중국어를 잘하는 것처럼 보입니다. 그러나 이 사람은 글자의 뜻을 하나도 모릅니다. 설은 이 예를 들어, 기호를 규칙에 따라 잘 다루는 것과 그 뜻을 이해하는 것은 다른 일

이라고 주장했습니다. 2026년의 인공지능이 말을 유창하게 한다고 해서 세상을 이해한다고 말할 수 있는지는 아직 답이 나오지 않은 질문입니다. 범용 인공지능이 왔다고 단정할 근거는 아직 부족하며, 이 문제는 열린 논쟁으로 남아 있습니다.

18.2. 사회·산업 및 인간성의 재정의

일하는 방식이 바뀐다

에이전트 AI가 등장하면서 많은 직장에서 일하는 방식이 바뀌고 있습니다. 보고서 초안을 쓰고, 자료를 정리하고, 이메일에 답하고, 프로그램 오류를 찾는 일을 인공지능이 먼저 해 놓고 사람이 검토합니다. 그 결과 일이 빨라진 곳도 있고, 사람이 하던 일자리가 줄어든 곳도 있습니다.

이런 변화가 어느 쪽으로 흘러갈지를 두고 경제학자 에릭 브린올프슨은 2022년에 '튜링의 닷'이라는 말을 만들었습니다. 기술 개발이 사람을 똑같이 흉내 내서 사람을 대신하는 쪽으로만 흘러가면, 일하는 사람의 임금이 떨어지고 빈부 격차가 커질 수 있다는 경고입니다. 브린올프슨은 다른 길을 제안했습니다. 사람이 원래 못 하던 일을 할 수 있도록 사람의 능력을 넓혀 주는 쪽, 곧 '증강'으로 기술을 키우자는 것입니다. 계산기가 수학자를 없애지 않고 수학자가 더 어려운 문제에 매달리게 했듯이, 인공지능도 사람을 돕는 방향으로 쓰일 수 있습니다.

의료와 법률 현장의 변화

사람의 건강과 권리를 다루는 현장에서는 인공지능이 맡는 일과 사람이 맡는 일의 경계가 더 분명하게 드러납니다. 병원에서는 인공지능이 엑스레이와 CT 영상을 읽고 의심되는 부분을 표시합니다. 환자의 진료 기록을 정리해 의사가 놓친 점을 알려 주기도 합니다. 그러나 진단을 내리고 치료 방법을 정하는 일에는 의사의 판단이 필요합니다. 인공지능이 영상을 아무리 잘 읽어 내도, 그 결과를 검토하고 환자에게 책임을 지는 의사의 역할은 여전히 중요합니다.

법률 분야도 사정이 비슷합니다. 인공지능은 판례를 찾고 계약서와 소장의 초안을 씁니다. 그런데 인공지능은 있지도 않은 판례를 그럴듯하게 지어내기도 합니

다. 여러 나라에서 변호사가 인공지능이 만든 가짜 판례를 확인하지 않고 법원에 냈다가 제재를 받은 일이 있었습니다. 법률 문서에 서명하고 그 내용을 책임지는 사람은 변호사입니다. 그래서 인공지능이 쓴 초안을 그대로 믿지 않고 사실을 확인하는 변호사의 검토가 여전히 필요합니다.

나라마다 인공지능을 다루는 법도 만들고 있습니다. 유럽연합은 인공지능법을 만들어 단계별로 시행하고 있습니다. 한국에서는 「인공지능 발전과 신뢰 기반 조성 등에 관한 기본법」이 2026년 1월 22일부터 시행되었습니다. 사람의 생명이나 권리에 큰 영향을 줄 수 있는 인공지능은 더 꼼꼼히 관리하고, 사람들이 인공지능이 만든 결과물임을 알 수 있게 하자는 것이 이런 법들의 공통된 생각입니다.

창작의 주인은 누구인가

인공지능은 그림을 그리고, 음악을 만들고, 소설을 씁니다. 인공지능이 만든 노래가 많은 사람에게 사랑받기도 합니다. 화가와 작곡가 가운데에는 인공지능을 붓이나 악기처럼 다루며 새로운 작품을 만드는 사람도 있습니다.

그러자 인공지능이 만든 작품의 주인은 누구인가 하는 새로운 물음이 생겼습니다. 미국 저작권청은 2025년 1월에 낸 보고서에서, 사람이 창작에 의미 있게 기여한 부분이 있어야 저작권으로 보호할 수 있다는 입장을 밝혔습니다. 기계가 혼자 만든 결과물에는 저작권을 주지 않는다는 뜻입니다. 결과물만이 아니라 학습 과정도 쟁점입니다. 인공지능이 배우는 과정에서 작가들의 글과 그림을 허락 없이 썼다는 문제를 두고 여러 소송이 이어지고 있습니다.

도구로서의 인공지능과 사람의 자리

기계가 새로운 것을 만들어 낼 수 있는지는 튜링도 다룬 문제입니다. 튜링은 1950년 논문에서 에이다 러브레이스의 생각을 소개했습니다. 19세기 수학자 러브레이스는 기계가 새로운 것을 스스로 만들어 내지 못하며, 사람이 시킨 일만 할 수 있다고 썼습니다. 튜링은 이 주장에 반대했습니다. 기계도 배우고, 사람을 놀라게 할 수 있다고 보았습니다.

2026년의 인공지능은 그 둘 사이 어딘가에 있습니다. 인공지능은 사람을 자주 놀라게 합니다. 그러나 오늘날의 인공지능 시스템은 주어진 목표와 규칙에 따라 다음에 할 일을 정하고 행동합니다. 그러므로 사람은 그 목표와 권한을 정하고 결과를 검토해야 합니다.

체스에서 좋은 예를 찾을 수 있습니다. 1997년 컴퓨터 딥블루에 진 세계 챔피언 가리 카스파로프는 그 뒤 사람과 컴퓨터가 한 팀이 되어 겨루는 경기를 제안했습니다. 사람의 판단과 기계의 계산이 함께할 때 좋은 결과가 나온다는 생각이었습니다. 2026년에 사람들이 찾고 있는 공존의 방식도 이와 닮았습니다. 기계는 빠르게 계산하고 많은 자료를 다루고, 사람은 목표를 정하고 옳고 그름을 따지고 책임을 집니다.

18.3. 튜링의 철학적 질문 재방문과 미래 윤리

튜링 테스트 이후의 시대

튜링 테스트만으로 기계의 지능을 모두 평가할 수 없다는 논의는 오래전부터 있었습니다. 2025년의 실험은 이 논의에 구체적인 사례를 보였습니다. 앞에서 보았듯이 GPT-4.5는 특정한 인물처럼 대화하라는 지시를 받은 조건에서 높은 성적을 냈습니다. 사람처럼 보이는 것과 사람처럼 생각하는 것은 다릅니다. 이제 연구자들은 기계가 얼마나 사람 같은지보다, 기계가 얼마나 정확하고 안전하며 믿을 만한지를 묻습니다.

속이는 지능과 속지 않는 지성

인공지능이 사람처럼 자연스럽게 말하게 되면서 새로운 위험이 생겼습니다. 하나는 '환각'입니다. 인공지능은 틀린 내용도 자신 있는 말투로 매끄럽게 씁니다. 사실이 아닌 내용을 사실처럼 꾸며 내는 이 현상을 환각이라고 부릅니다. 다른 하나는 악용입니다. 사람인 척 상대를 속일 수 있는 능력은 가짜 뉴스를 퍼뜨리거나 사기를 치는 데 쓰일 수도 있습니다. 존스와 버겐도 논문에서 이런 위험을 경고했습니다.

그래서 인공지능을 비판적으로 활용하는 태도가 중요합니다. 인공지능을 무조건 멀리하자는 말이 아닙니다. 인공지능의 답이 아무리 그럴듯해도 한 걸음 물러서서 출처를 확인하고, 다른 자료와 견주어 보고, 스스로 판단하는 태도를 가리킵니다. 학생이 인공지능으로 숙제를 도움받을 때도 이 태도가 필요합니다.

정렬: 기계의 목표를 사람의 가치에 맞추는 일

사용자가 조심하는 것만으로는 충분하지 않습니다. 인공지능 자체가 사람이 바란 대로 행동하도록 만드는 연구도 필요합니다. 오늘날 인공지능 안전 연구의 핵심 개념 가운데 하나는 '정렬(Alignment)'입니다. 정렬이란 인공지능의 목표와 행동을 사람의 가치와 안전, 존엄에 맞추는 일입니다.

정렬이 어려운 까닭이 있습니다. 사람이 인공지능에게 '시험 점수를 높여라'라고 시키면, 인공지능은 실력을 키우는 대신 채점 규칙의 빈틈을 찾을 수도 있습니다. 시킨 말과 원래 바란 뜻 사이의 틈을 기계가 엉뚱하게 메우는 것입니다. 인공지능이 더 많은 일을 혼자 하게 될수록 이 틈은 큰 문제가 됩니다. 영국과 한국을 비롯한 여러 나라가 인공지능 안전 연구소를 세우고, 강한 인공지능을 내놓기 전에 위험한 행동을 하지 않는지 시험하는 것도 이 때문입니다.

튜링은 이 문제를 일찍 내다보았습니다. 1951년 무렵 한 강연에서 그는 기계가 생각하기 시작하면 머지않아 사람의 약한 능력을 앞지를 것이며, 언젠가 기계가 주도권을 쥐는 날을 예상해야 한다고 말했습니다. 1950년 논문에는 해법의 실마리도 남겼습니다. 처음부터 어른의 머리를 가진 기계를 만들기보다 아이의 머리를 닮은 기계를 만들어 가르치자고 했습니다. 오늘날 인공지능은 실제로 많은 글을 읽으며 배우고, 사람의 평가를 받으며 행동을 다듬습니다. 기계를 가르친다는 튜링의 생각은 이제 기계에게 무엇을 가르쳐야 하는가라는 질문으로 이어집니다.

기계에게도 마음이 있을까

인공지능이 사람처럼 말하자, 기계에게 마음이나 감정이 있는지를 묻는 사람도 늘었습니다. 인공지능과 친구처럼 지내는 사람도 생겼습니다. 튜링은 1950년 논문에서 이 문제를 '의식에 근거한 반론'이라는 이름으로 다루었습니다. 기계가 정말 느끼는지 알 수 없다는 반론에 대해, 튜링은 우리가 다른 사람의 마음도 직접 들여다볼 수 없다고 답했습니다. 우리는 서로의 말과 행동을 보고 상대방에게 마음이 있다고 여기며 살아간다는 것입니다.

2026년에도 이 질문에는 정해진 답이 없습니다. 과학자와 철학자들은 기계의 의식을 어떻게 알아볼 수 있는지 연구하고 있지만, 지금의 인공지능에게 의식이 있다고 판단할 합의된 과학적 근거는 아직 확립되지 않았습니다. 의식에 관한 논의가 어떻게 흘러가든 책임의 소재는 따로 따져야 합니다. 기계가 내린 판단 때문에 누군가 피해를 입었다면, 이를 개발하고 운영한 사람과 기관의 책임을 물어야 합니다.

튜링이 꿈꾼 지평

튜링은 열일곱 살에 모컴을 잃은 뒤 마음과 몸의 관계를 고민했습니다. 훗날에는 계산 과정을 수학으로 분석하고 기계 지능을 평가할 방법을 제안했습니다. 이 책에서 살펴본 그의 삶과 연구에는 서로 다른 질문들이 이어집니다. 그 질문들을 따라가다 보면 우리는 생각한다는 것이 무엇인지도 다시 묻게 됩니다.

76년이 지난 지금, 기계는 사람의 말을 능숙하게 흉내 냅니다. 그러자 시험대에 오른 쪽은 오히려 사람입니다. 매끄러운 답 앞에서도 스스로 생각하고 따져 보는 힘, 기술이 낳은 결과를 끝까지 책임지는 자세가 지금 사람에게 필요한 능력입니다. 기계가 사람을 흉내 내는 시대에 사람다움을 무엇으로 지켜 갈 것인가 하는 물음이 우리 앞에 남아 있습니다.

튜링은 1950년 논문의 마지막 문장을 이렇게 썼습니다. "우리는 앞을 조금밖에 내다볼 수 없지만, 그곳에 해야 할 일이 많다는 것은 분명히 볼 수 있다." 그 뒤 많은 사람이 각자의 연구와 선택으로 컴퓨터와 인공지능을 발전시켰습니다. 이 기술을 어디에 쓰고 어떤 기준으로 평가할지는 앞으로도 사람들이 함께 결정해야 할 문제입니다.

주요 참고자료 · 생애와 원자료

주요 참고자료 · 생애와 원자료

Andrew Hodges, Alan Turing: The Enigma, Burnett Books, 1983; Princeton University Press, 2012년판.

Sara Turing, Alan M. Turing, Cambridge University Press, 2012년판(초판 1959). Dermot Turing, Prof: Alan Turing Decoded, The History Press, 2015.

B. Jack Copeland 편, The Essential Turing, Oxford University Press, 2004. 논리학·암호·컴퓨터·인공지능에 관한 튜링의 주요 글을 모은 자료입니다.

King's College, Cambridge, The Turing Digital Archive. 편지와 원고, 딜라이라 연구 자료를 참조했습니다. turingarchive.kings.cam.ac.uk

The Old Shirburnian Society, Alan Turing 관련 학교 기록·편지·전시 자료. oldshirburnian.org.uk/alan-turing/

A. M. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, Proceedings of the London Mathematical Society, 42, 1936~1937.

A. M. Turing, Systems of Logic Based on Ordinals, Proceedings of the London Mathematical Society, 45, 1939.

A. M. Turing, Computing Machinery and Intelligence, Mind, 59(236), 1950. Intelligent Machinery, NPL 보고서, 1948.

A. M. Turing, The Chemical Basis of Morphogenesis, Philosophical Transactions of the Royal Society B, 237, 1952.

주요 참고자료 · 컴퓨터와 인공지능

Bletchley Park Trust, The National Museum of Computing, National Physical Laboratory, University of Manchester의 암호 해독·봄브·ACE·초기 컴퓨터 역사 자료.

영국 정부, Royal pardon for WW2 code-breaker Dr Alan Turing(2013); Thousands officially pardoned under Turing's Law(2017). Policing and Crime Act 2017. gov.uk; legislation.gov.uk

Bank of England, Think science and celebrate Alan Turing. 튜링 도안 50파운드 지폐의 공식 설명. bankofengland.co.uk/thinkscience

D. E. Rumelhart 외, Learning Representations by Back-propagating Errors, Nature, 323, 1986. A. Vaswani 외, Attention Is All You Need, NeurIPS, 2017.

D. Silver 외, Mastering the Game of Go with Deep Neural Networks and Tree Search, Nature, 529, 2016.

C. R. Jones·B. K. Bergen, Large Language Models Pass a Standard Three-party Turing Test, PNAS, 2026. doi:10.1073/pnas.2524472123

METR, Measuring AI Ability to Complete Long Tasks(2025), Impact of modelling assumptions on time horizon results(2026). metr.org

A. Merchant 외, Scaling deep learning for materials discovery, Nature, 624, 2023. Z. Xu 외, 인공지능 설계 TNIK 억제제의 폐섬유증 2a상 임상시험, Nature Medicine, 2025.

AAAI, 2025 Presidential Panel on the Future of AI Research. Nobel Prize, 2024년 물리학상·화학상 공식 자료. U.S. Copyright Office, Copyright and Artificial Intelligence, Part 2, 2025.

앨런 튜링

컴퓨터와 인공지능의 시작을 찾아서

ISBN |

저 자 | 김경진

펴낸이 | 김경진

펴낸곳 | 김경진 변호사 출판사

출판사등록 | 2025. 3. 10. (제2025-000015호)

주 소 | 서울특별시 동대문구 전농로 91, 백일빌딩 304호

전 화 | 02-6338-1905

이메일 | kimkj008@gmail.com

© 김경진 2026

본 책은 저작자의 지적 재산으로서 무단 전재와 복제를 금합니다.

표지 사진: Anna Zaro / Unsplash. 장별 삽화는 인공지능으로 생성했습니다.

일부 내용과 편집 과정에는 인공지능 도구의 도움을 받았습니다.

후원 안내

이 책을 잘 읽으셨으면

그리고 새로운 가치있는 지식을 얻으셨다고 판단되시면

농협 302-1096-0948-81

(예금주 김경진)에 자발적 후원 부탁드립니다.

김경진 변호사

(김경진 변호사 저)