

## 8.1 Turing Machine

Turing Machine(TM)은 1936년 Allan Turing에 의하여 발표된 이론적인 자동기계(automatic machine)이다. TM은 컴퓨터에 이론적인 모델로 알려져 있다. TM 이상의 컴퓨터 모델이 있는가의 의문은 당연히 생길 수 있는 질문인데, Church에 의하여 정의된 partial recursive function(prf)<sup>1)</sup>과 TM이 동등함(equivalent)이 증명<sup>2)</sup>하였고, first-order logic, rewriting system 등 많은 수학적 모델이 TM 혹은 prf와 동등하다는 증명이 있고, 그 이상의 수학적 모델도 개발되지 않아 TM을 계산할 수 있는 **최고의 모델**로 보는 것이 현대 전산학의 흐름이다.

TM으로 계산할 수 있는(recursively enumerable; RE, computable, programmable) 문제(problem)가 전산학 혹은 현대수학에서 다룰 수 있는 문제이다. TM으로도 계산할 수 없는 문제(problem)는 1901년에 이미 발표된 Russel의 모순(paradox)<sup>3)</sup>로 설명되는<sup>4)</sup> halting problem 혹은 uncountable 등은 수학이아 현대수학에서도 계산할 수 없는 문제(non-recursively enumerable; non-RE, nonprogrammable)로 알려져 있다.

TM으로 계산할 수 있는 문제는 끝나는 문제(recursive, decidable, terminate, algorithm)와 끝나지 않는 문제(nonrecursive but RE, undecidable, nonterminate)를 포함한다. 끝나지 않는 문제는 컴퓨터 프로그램에서 무한 반복(infinite loop)으로 설명되며, partial recursive function에서는 함수 값이 정의되지 않는 경우이다.

## Chomsky's Hierarchy

이미 배운 언어 클래스 중 정규(regular) 언어가 촘스키의 언어계급 중 가장 낮은 type 3로 정의하며, 문맥자유(context-free) 언어가 type 2로 recursive가 type 1으로 recursively enumerable이 type 0로 각각 정의된다. type 0가 아닌(non-RE, type -1) 경우까지를 고려하면 우리는 모두 5개의 언어(type 2,3) 와/또는 문제(type 1, 0, -1) 클래스를 가지고 있다.

Type 3 정규언어를 표현하는 문법(grammar)는 정규(regular)문법으로, type 2는 문맥자유(context-free) 문법으로, type 1 혹은 type 언어는 제약이 없는<sup>5)</sup> 일반적인 문법으로 표현 가능하다<sup>6)</sup>.

Type 3 정규언어를 해결하는 기계는 finite automata로, type 2인 문맥자유 언어는 fa에 기억장치로 stack을 추가한 pda로 type 1 혹은 그 이상 문제인 type 0는 TM으로 각각 대응된다. Type 1과 type 0에 구분은 끝나는(terminate)가 아닌가에 있는데, type 1을 위한 TM으로 tape의 크기에 유한한 한계를 두는 linear bounded automata(lba)를 정의하기도 한다.

1)  $\mu$ (minimization)-recursive function이라고도 부른다.

2) Turing Church's Hypothesis(가설)라고 부른다.

3) Let  $R = \{x \mid x \notin x\}$ . Then  $R \in R \Leftrightarrow R \notin R$ .  $\therefore$  모순.

4) Russel-like paradox

5) 문법 규칙의 좌변에 터미널이나 년 터미널 문자열(string)이 올 수 있다.

6) Non-RE은 물론 표현할 수 있는 문법이나 기계가 없다.