# Introduction to UPPAAL

정세진, 손준익

# Contents

- Introduction
- Timed Automata
- Modeling
- Simulation
- Verification
- Example

# Introduction

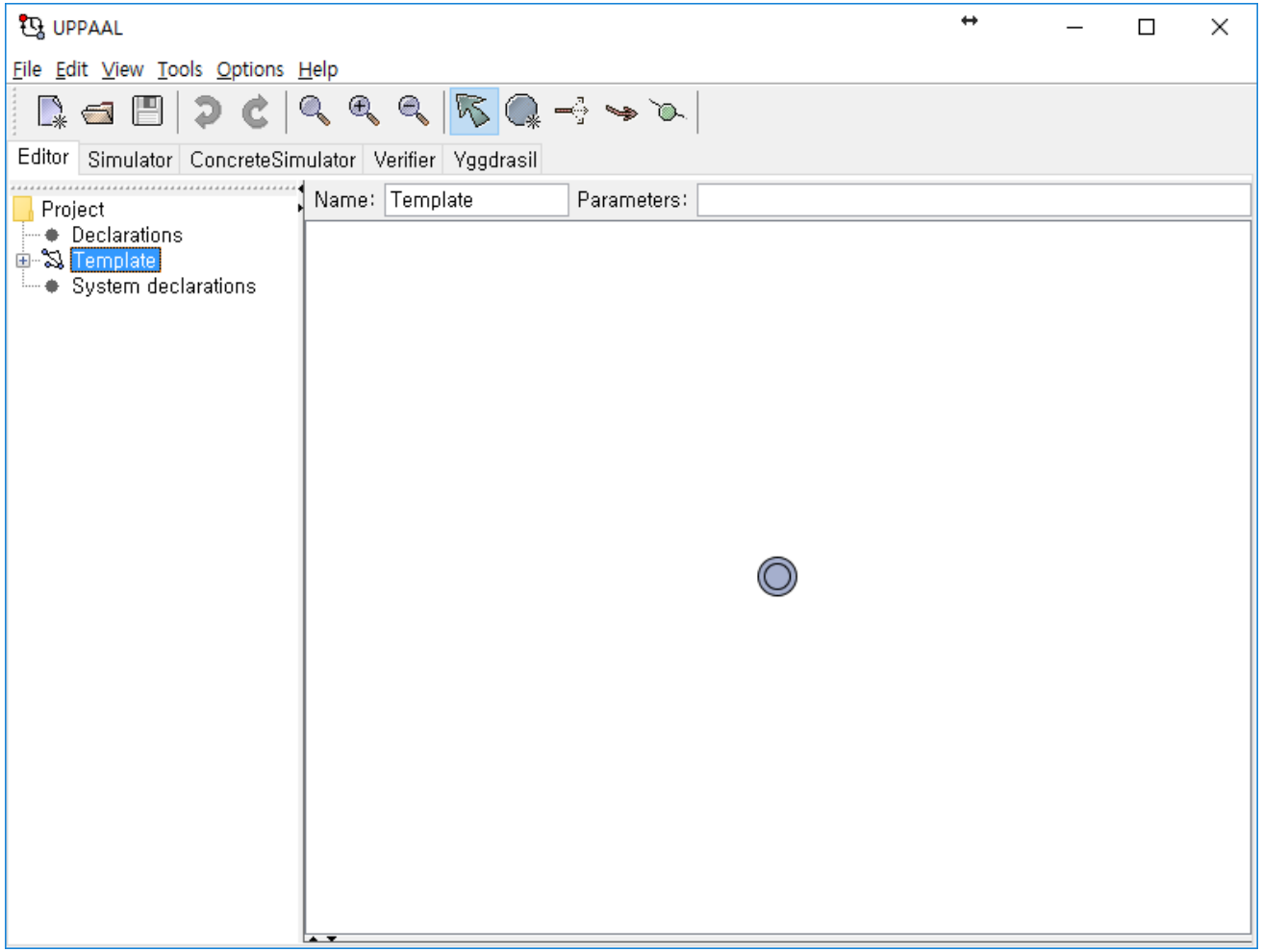
- UPPAAL is a tool box for **validation** (via graphical simulation)
  and **verification** (via model-checking) of **real-time systems**

- UPPAAL은 2개의 주요 파트로 구성:
  - **Graphical User Interface (GUI)**
  - **Model-checker engine**
    - 사용자 인터페이스와 동일한 컴퓨터에서 실행 or 서버에서 독립적으로 실행 가능

- 주요 기능
  - **Modeling** : **real-time system**을 **timed-automata**를 이용하여 **모델링**
  - **Simulation** : 작성한 **모델의 동작**을 시뮬레이션
  - **Verification** : **TCTL** (timed computation tree logic) 표기법을 따라 입력한 **property를 모델이 만족하는지 확인**

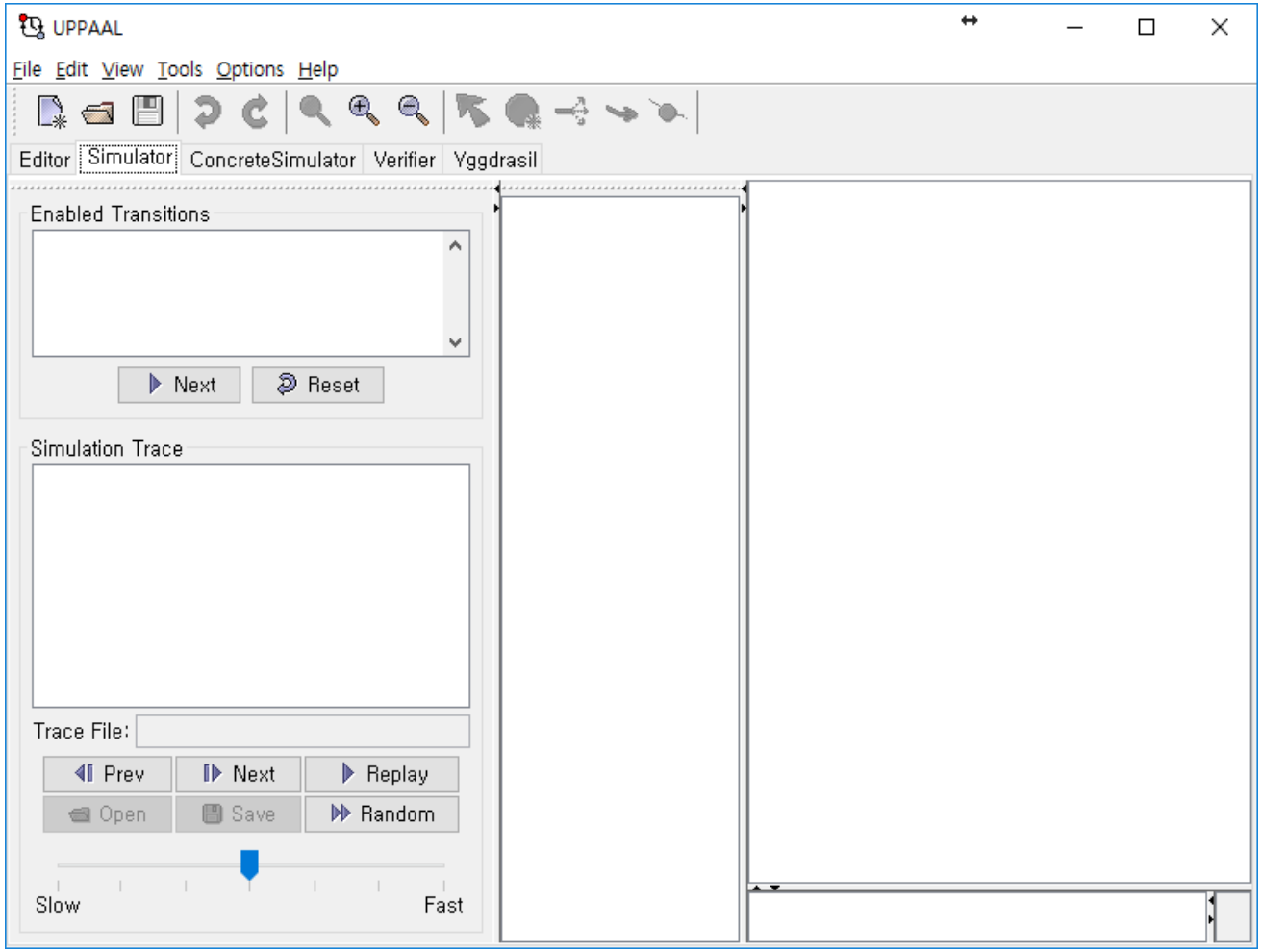
# Introduction

- Graphical User Interface - Editor



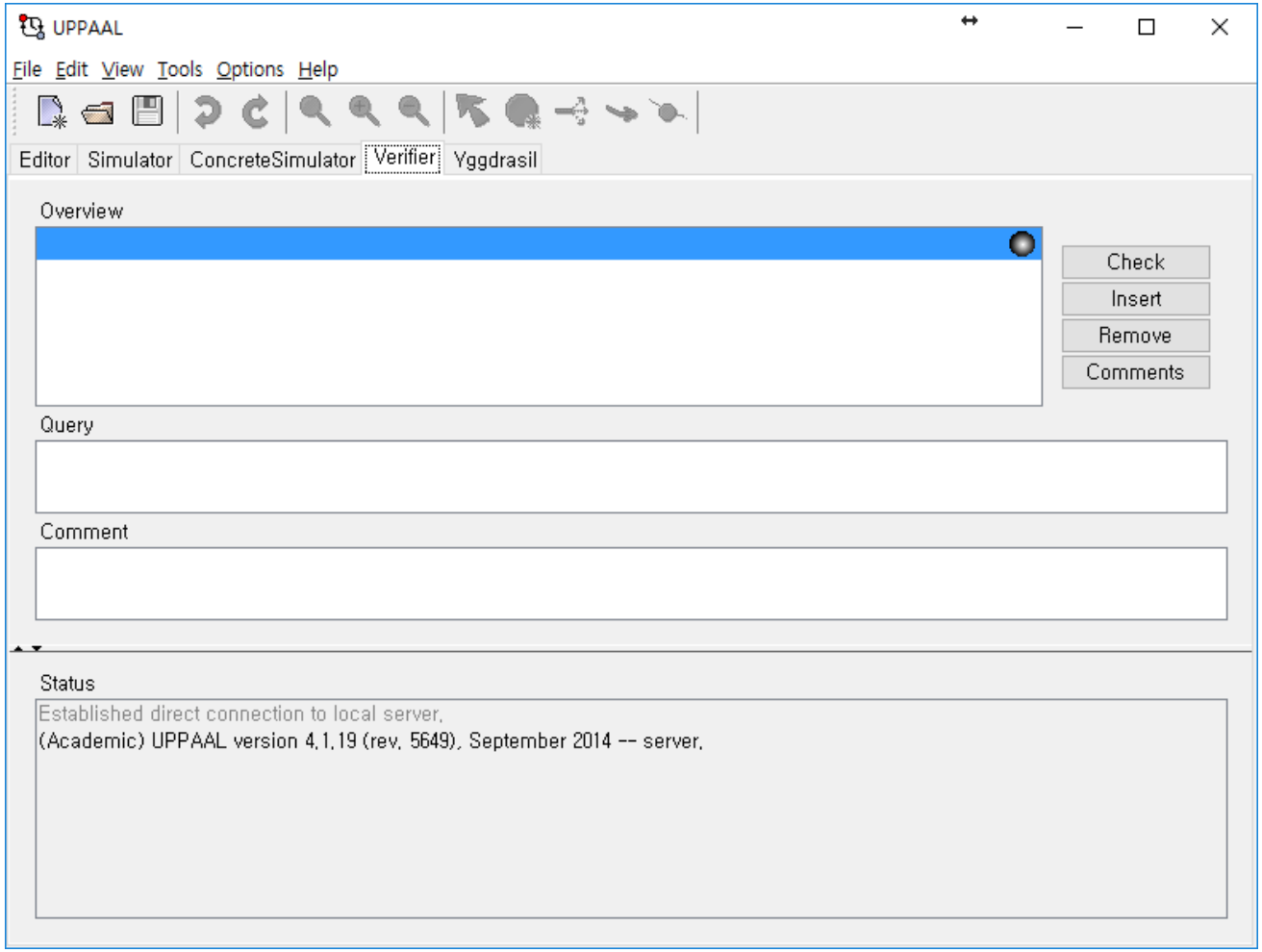
# Introduction

- Graphical User Interface - Simulator



# Introduction

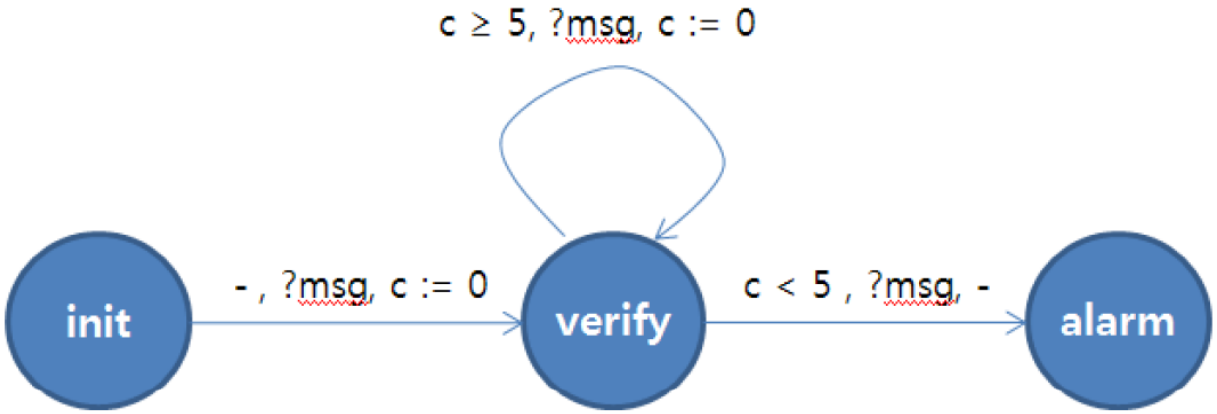
- Graphical User Interface - Verifier



# Timed Automata

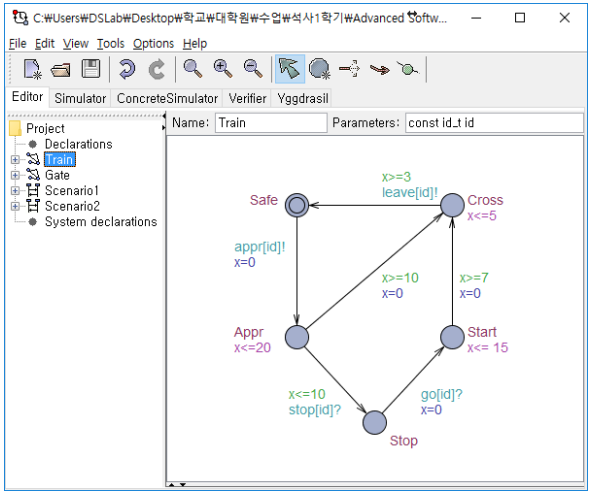
- Timed Automata = Finite State Machine + Clock
  - Clock은 연속적인 시간, 즉 실수 값을 가짐
  - Clock은 시스템의 global clock과 각 모듈의 local clock이 존재
  - 모든 Clock은 동일한 속도로 증가
  - Clock은 Transition의 guard에서 조건으로 사용이 가능하며, Transition에서 reset 될 수 있음

- Invariant : 항상 만족해야 하는 clock 값에 대한 상태의 조건

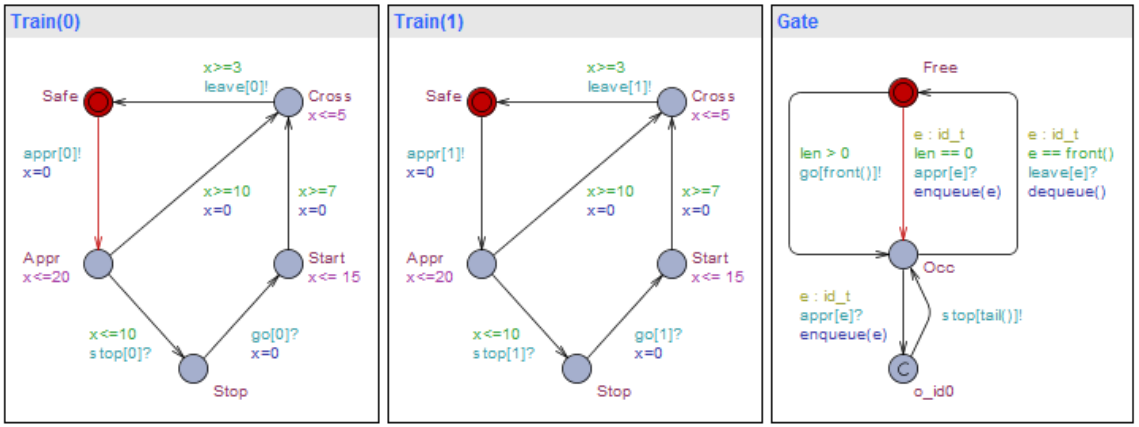


# Modeling

- In UPPAAL, 시스템은 **timed-automata**를 이용하여 모델링됨
  - 각 automaton의 clock은 동일한 속도로 증가
- **Structure of an UPPAL Model**
  - UPPAAL 모델은 동시에 실행되는 프로세스들의 집합으로 구성
  - 각각의 프로세스는 **timed-automaton**으로 디자인
    - Automaton은 **location의 집합**과 **edge**를 가지는 graph로 표현
  - 동일한 automaton의 인스턴스화를 사용하기 위해 **Template**을 사용




Template

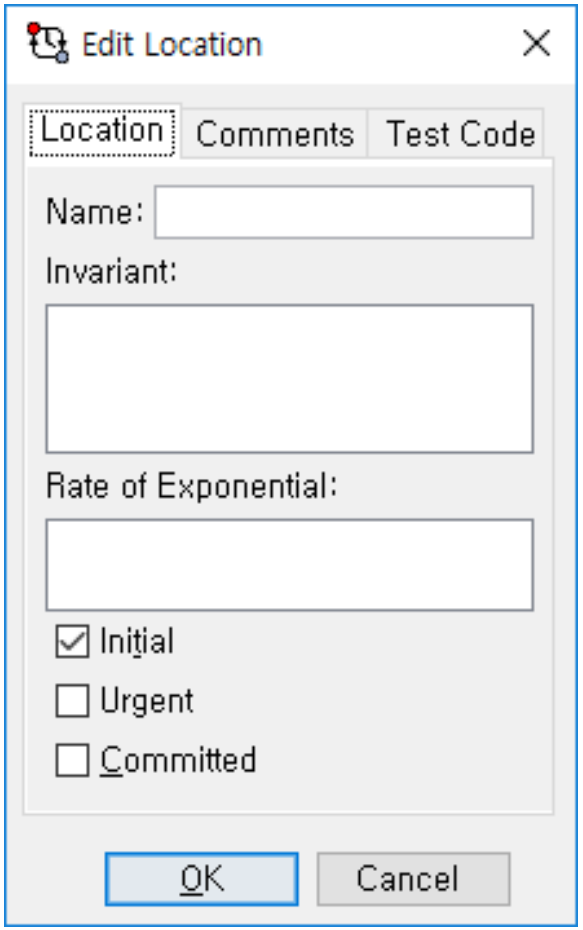



Set of Process

# Modeling

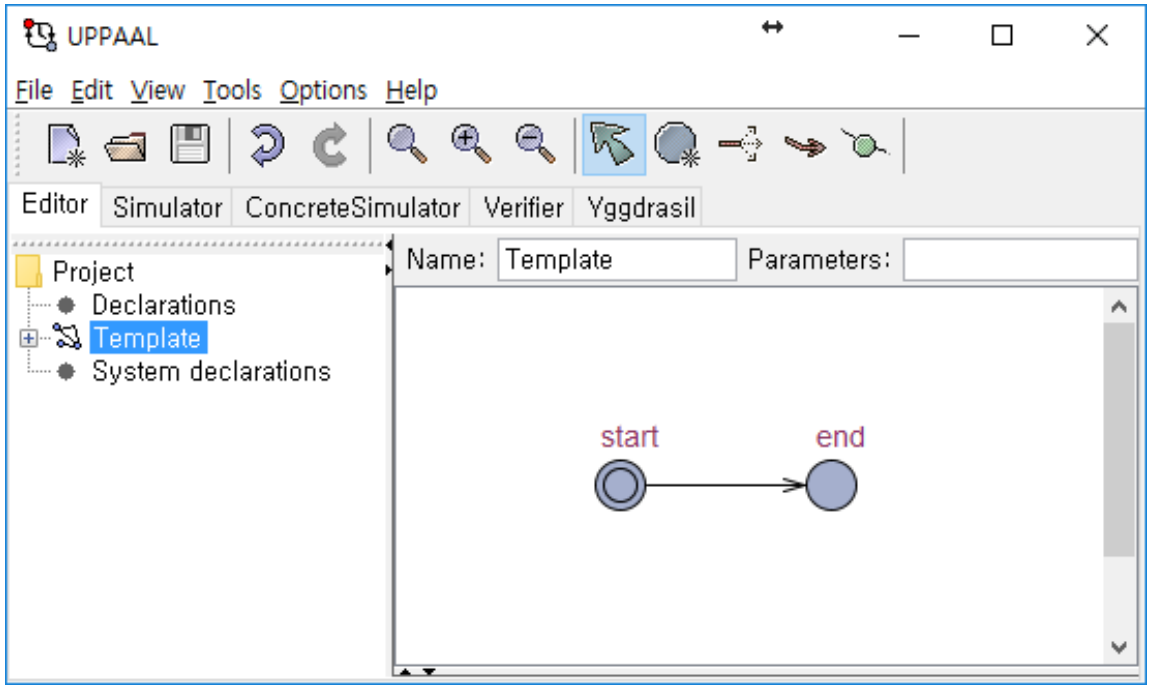
- **Location**은 **이름**과 **Invariant**를 가질 수 있음

- Location은 4가지 타입이 존재
  - Normal
  - Initial
  - Urgent
  - Committed



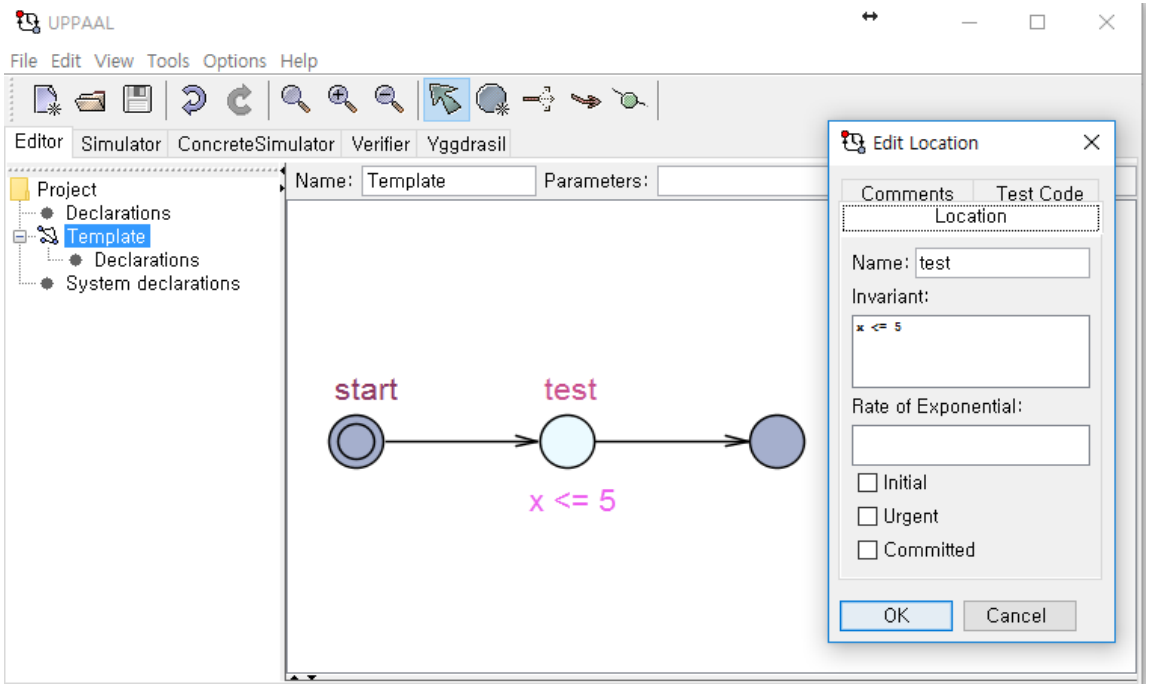
# Modeling

- **Initial location**
  - 템플릿은 특정 위치에서 시작해야 해야함
  - 각 템플릿은 initial로 표시된 위치가 하나 존재 해야함
  - Initial location은 이중 원으로 표현



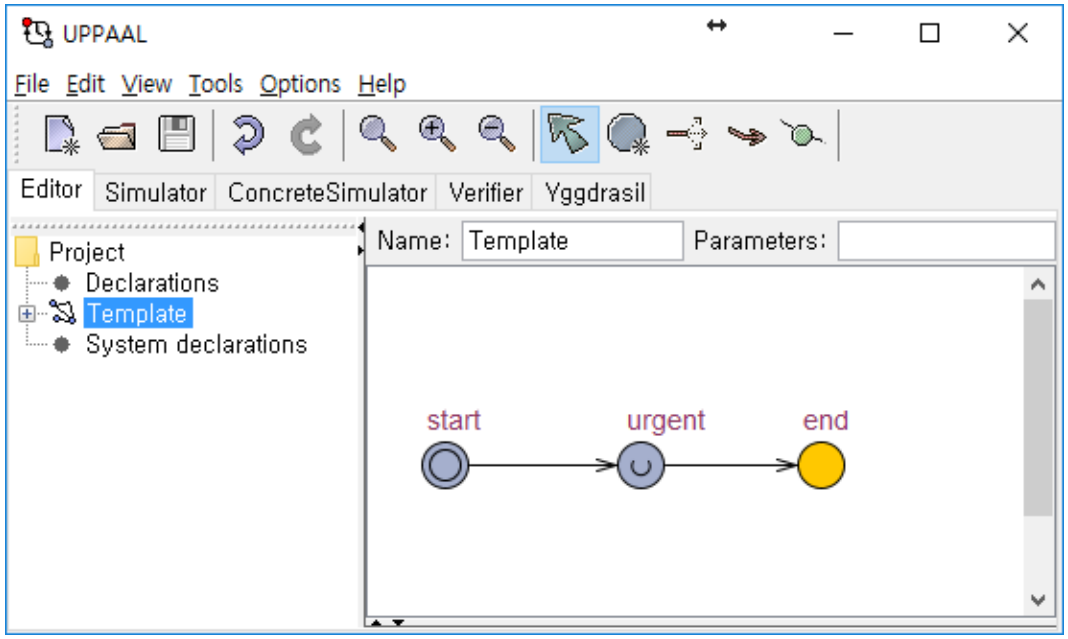
# Modeling

- **Invariant**
  - Invariant는 automaton이 해당 location에 있는 동안 무조건 만족되어야 하는 조건
  - Initial, Normal location은 invariant를 가질 수 있음
  - 각 location의 Invariant는 clock에 대한 제약 조건을 표시



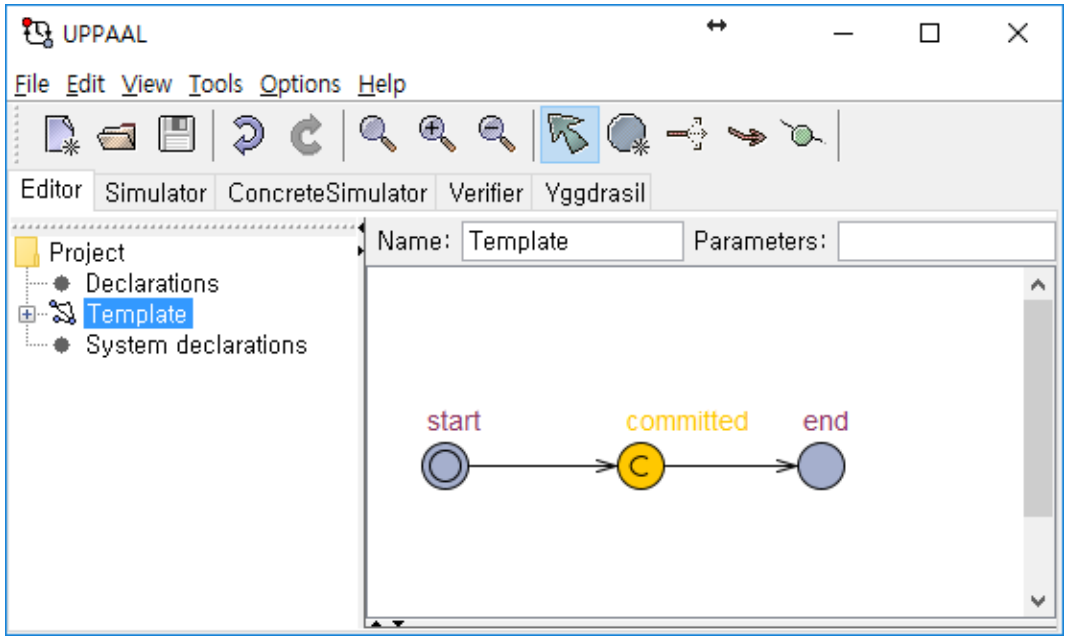
# Modeling

- **Urgent location**
  - Urgent location에서는 시간이 흐르지 않음
  - 시간이 지나기 전에 urgent location에서 전이가 일어나야 함
  - 동시에 실행중인 다른 프로세스에서는 Urgent location에서 전이가 일어나기 전에 전이가 발생할 수 있음
  - Urgent location은 "U"로 표현



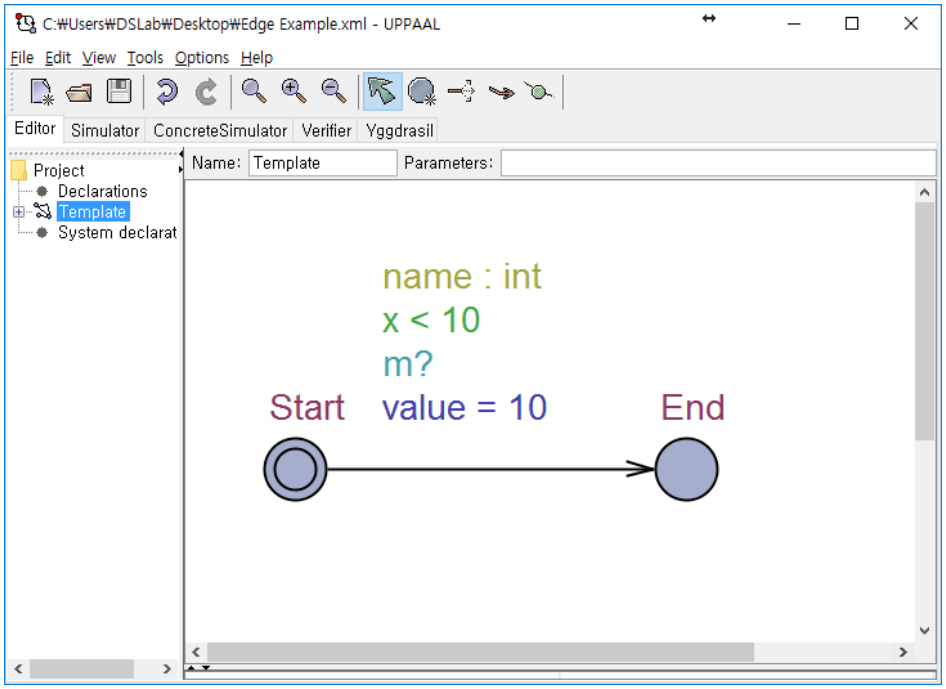
# Modeling

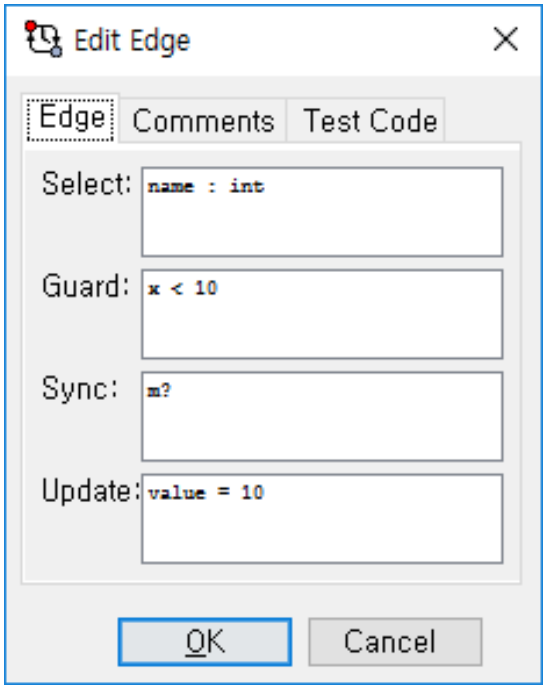
- **Committed location**
  - Committed location에서는 시간이 흐르지 않음
  - 동시에 실행중인 다른 프로세스에서는 Committed location에서 전이가 일어나기 전까지는 전이가 발생할 수 없음
    - Committed location은 atomic sequence를 만드는데 유용함
  - Committed location은 "C"로 표현



# Modeling

- **Edge는 Guard, Update, Select and Synchronization** 로 labeling 됨
  - 각각의 label은 필수가 아니라 선택적



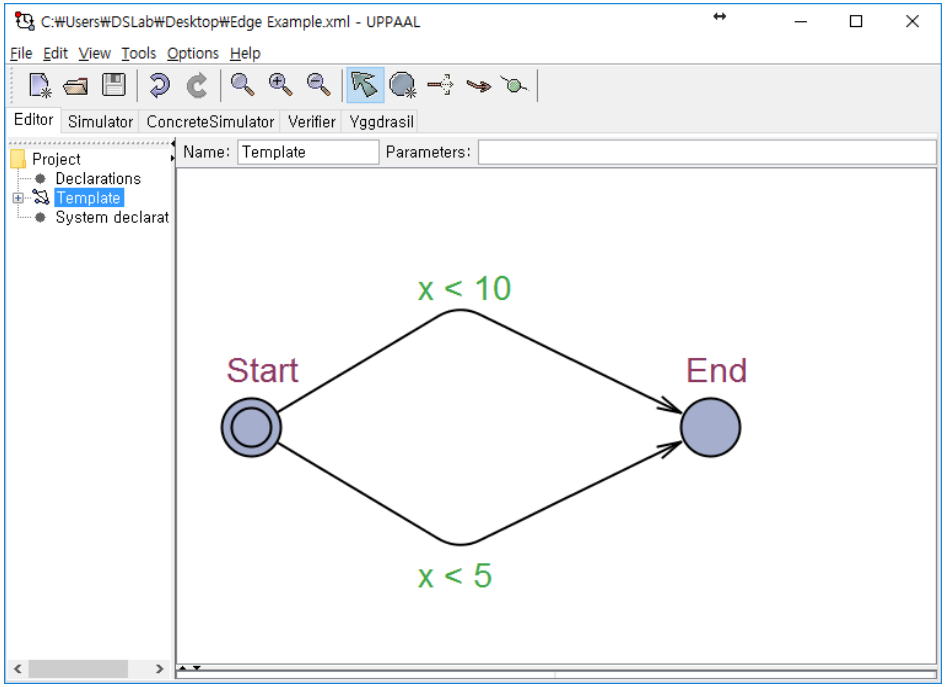



# Modeling

- **Guard**는 모델의 clock과 variable을 사용한 표현식으로 언제 전이가 가능한지 나타내기 위해 사용

  ex) x > 0, x == 10

  - 특정 시간에 여러 개의 edge가 guard를 만족하는 경우 그 중 하나의 edge만 전이가 발생함



# Modeling

- **Update**는 전이가 일어났을 때 시스템의 상태를 변화시키기 위해 사용
  - 표현식은 Clock, integer variables, constant만을 사용

    clock에는 정수 값만 할당

    ex) clock = 0, set = true,

- **Select**는 edge에서만 사용되는 임의의 값을 갖는 변수를 사용하기 위해 사용
  - name : type 으로 표현
    - name : 변수의 이름
    - type : 정의된 type (built-in or custom)

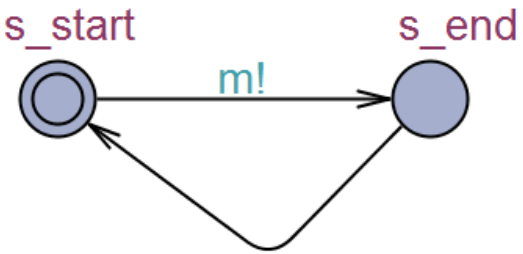
# Modeling

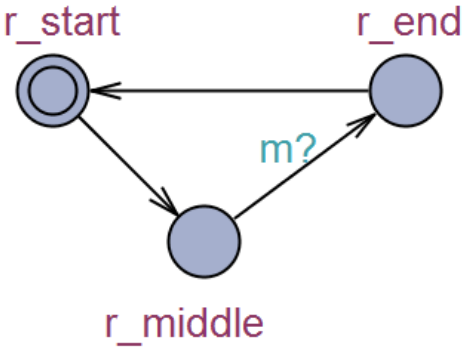
- **Synchronization** 은 둘 이상의 프로세스의 동작을 조정하는 데 사용되는 기본 메카니즘으로 Message Passing framework를 따름
  - 둘 또는 그 이상의 프로세스가 동시에 전이를 발생
    - **m!** : Emitting a message
    - **m?** : Reception of the message


- UPPAAL에는 3가지 다른 synchronization이 존재
  - Regular channel
  - Urgent channel
  - Broadcast channel

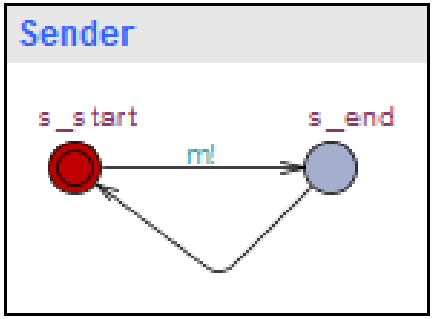
# Modeling

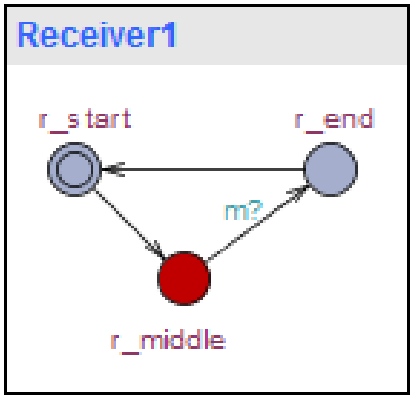
- **Regular channel**
  - Declaration에서 다음과 같이 선언, e.g. chan c;
  - 메시지 emission과 reception이 동시에 만족하는 경우 동시에 전이가 발생

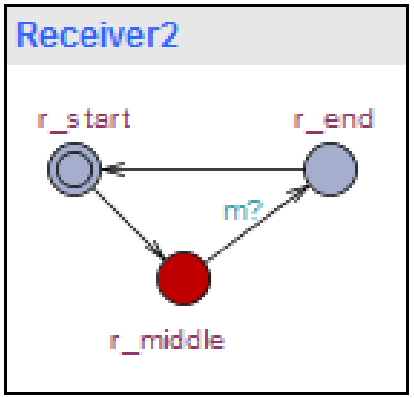



  - 동시에 여러 프로세스가 가능할 경우 non-deterministic 하게 하나의 쌍만 전이가 발생

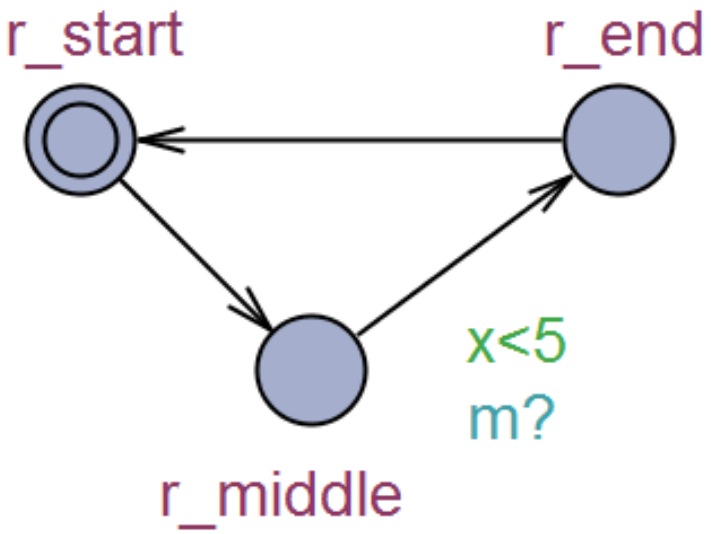


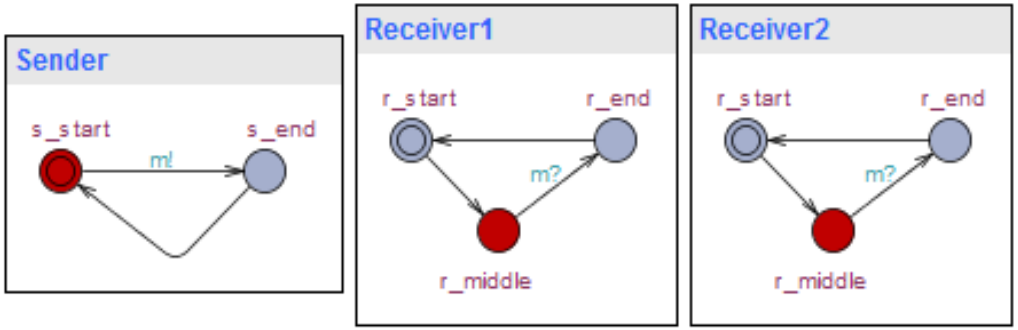
# Modeling

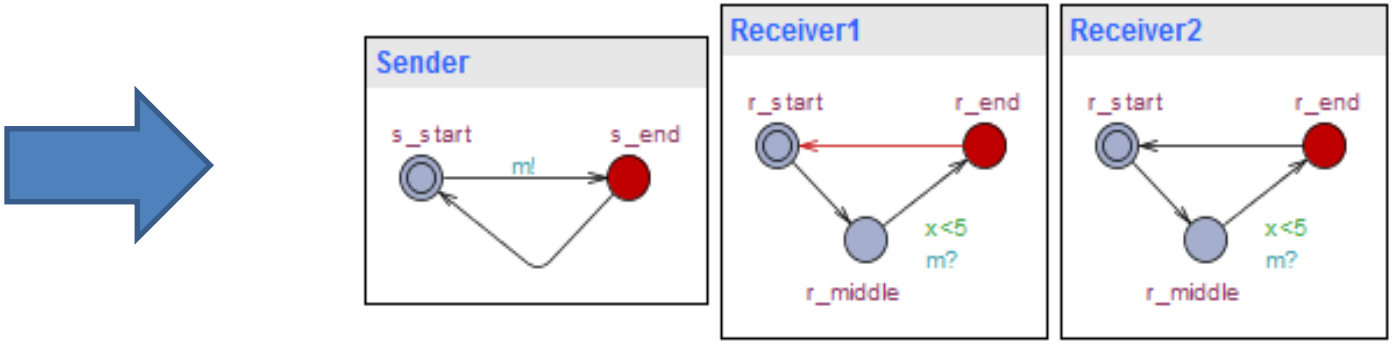
- **Urgent channel**
  - Declaration에서 다음과 같이 선언, e.g. urgent chan c;
  - Regular channel과 거의 유사
  - 두 프로세스가 이미 동기화 될 수 있는 상황에서 지연을 방지하기 위해 사용
  - urgent channel이 있는 edge에서는 guard에 clock이 허용되지 않음
    - 아래와 같은 경우, m에 대해서 regular channel은 가능하지만 urgent channel은 불가능



# Modeling

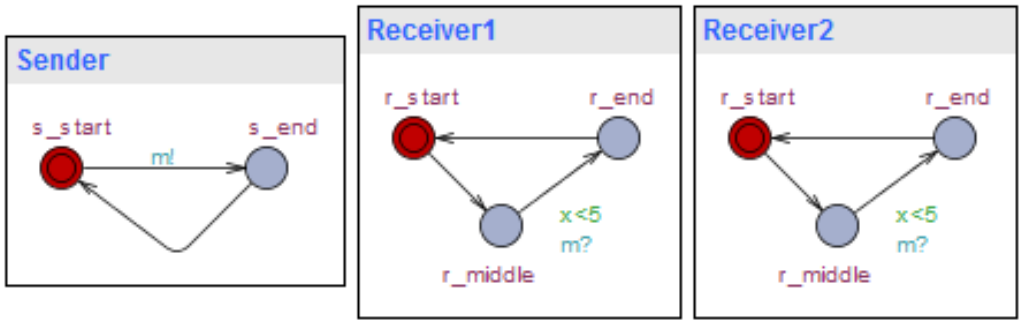
- **Broadcast channel**
  - Declaration에서 다음과 같이 선언, e.g. broadcast chan c;
  - 동시에 여러 프로세스가 가능 할 경우, 가능한 모든 프로세스에서 전이가 발생

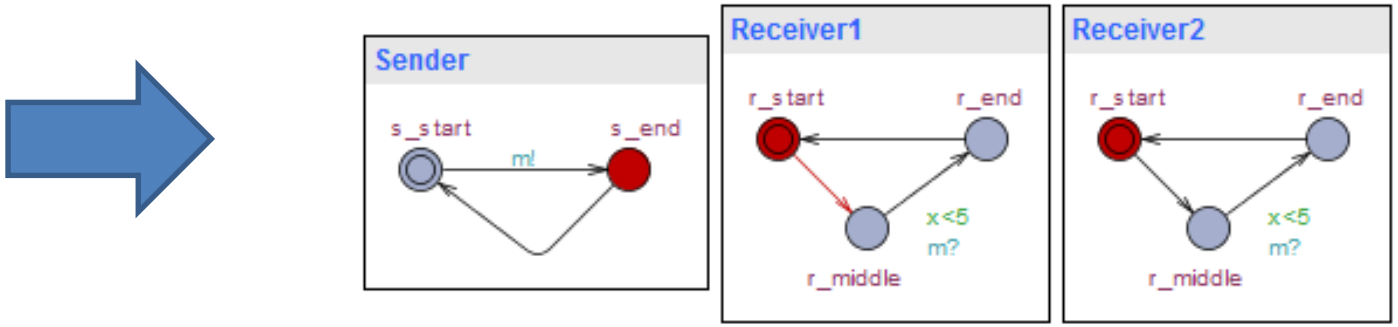


# Modeling

- **Broadcast channel**
  - 메시지를 emission하는 프로세스만 있는 경우에도 전이가 발생

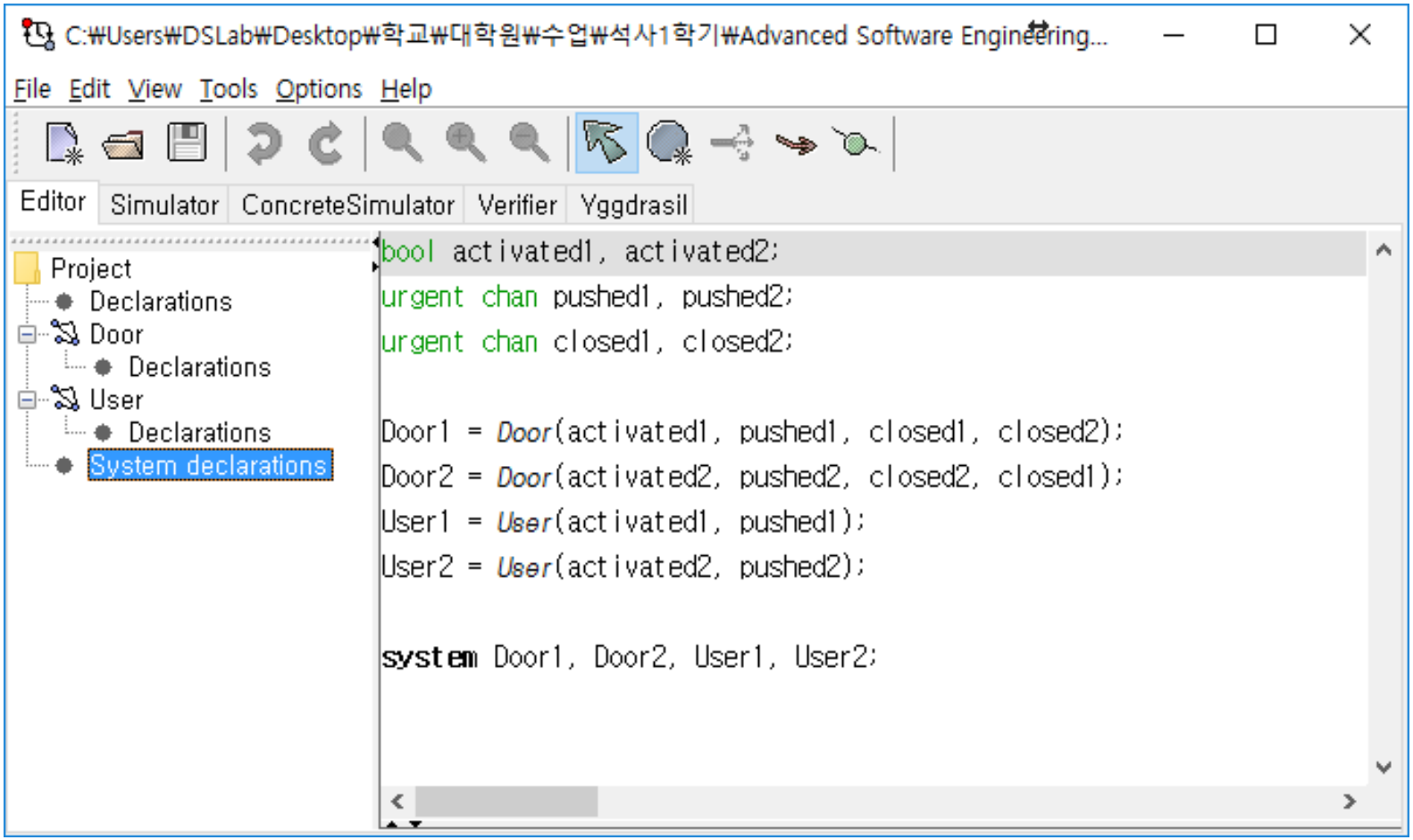



  - urgent channel과 마찬가지로 edge의 guard에 clock이 허용되지 않음

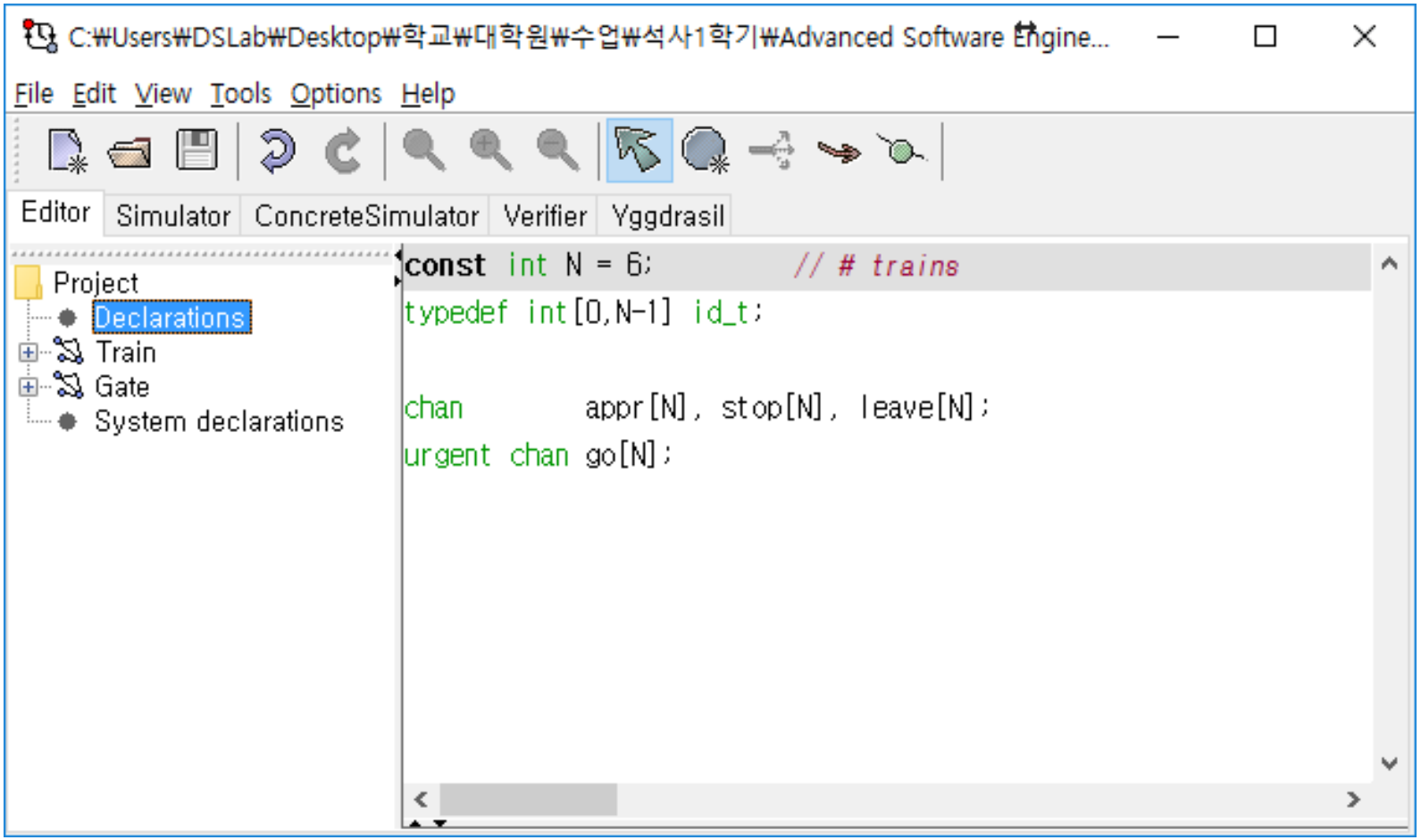
# Modeling

- **System declarations**



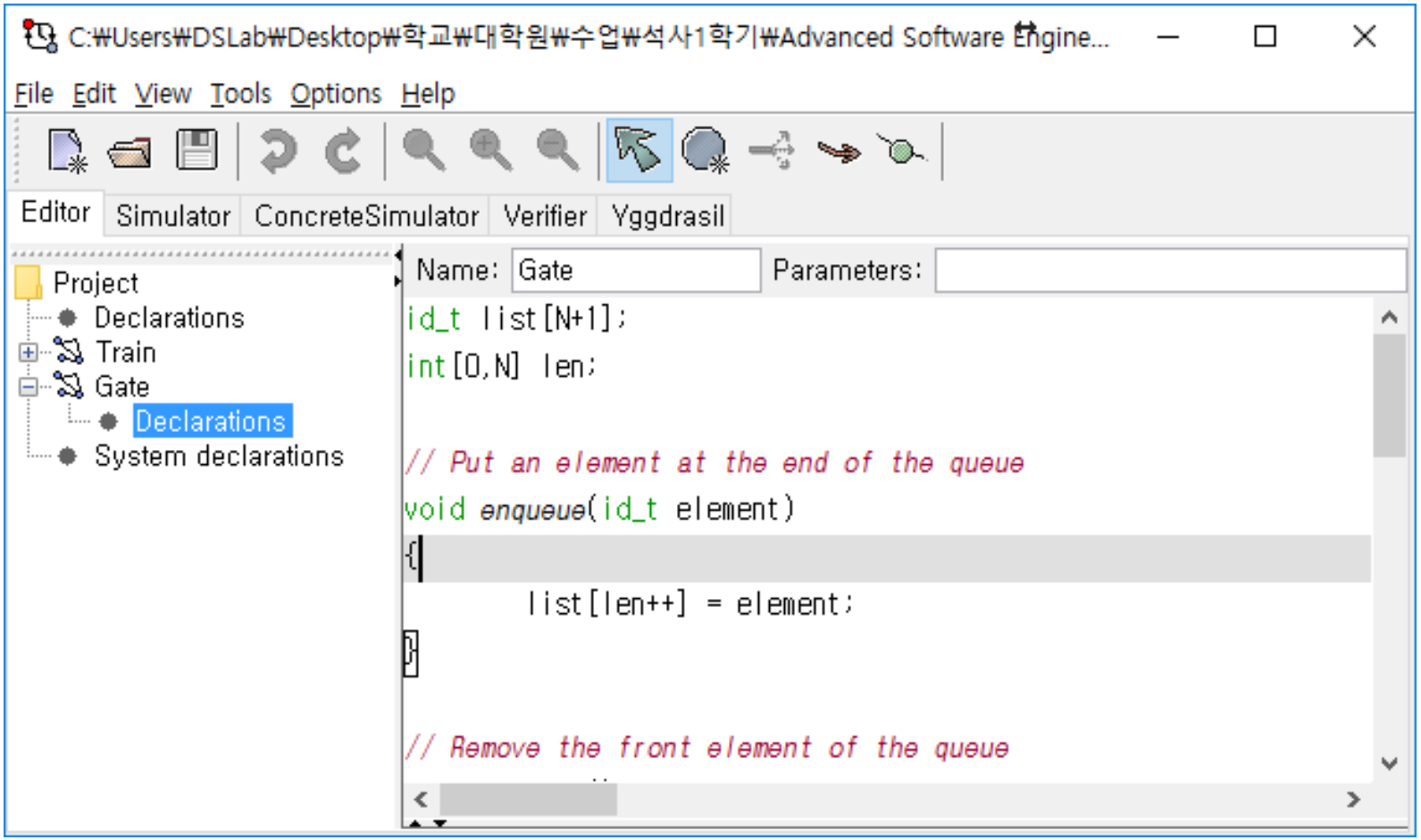
# Modeling

- **Global Declarations**



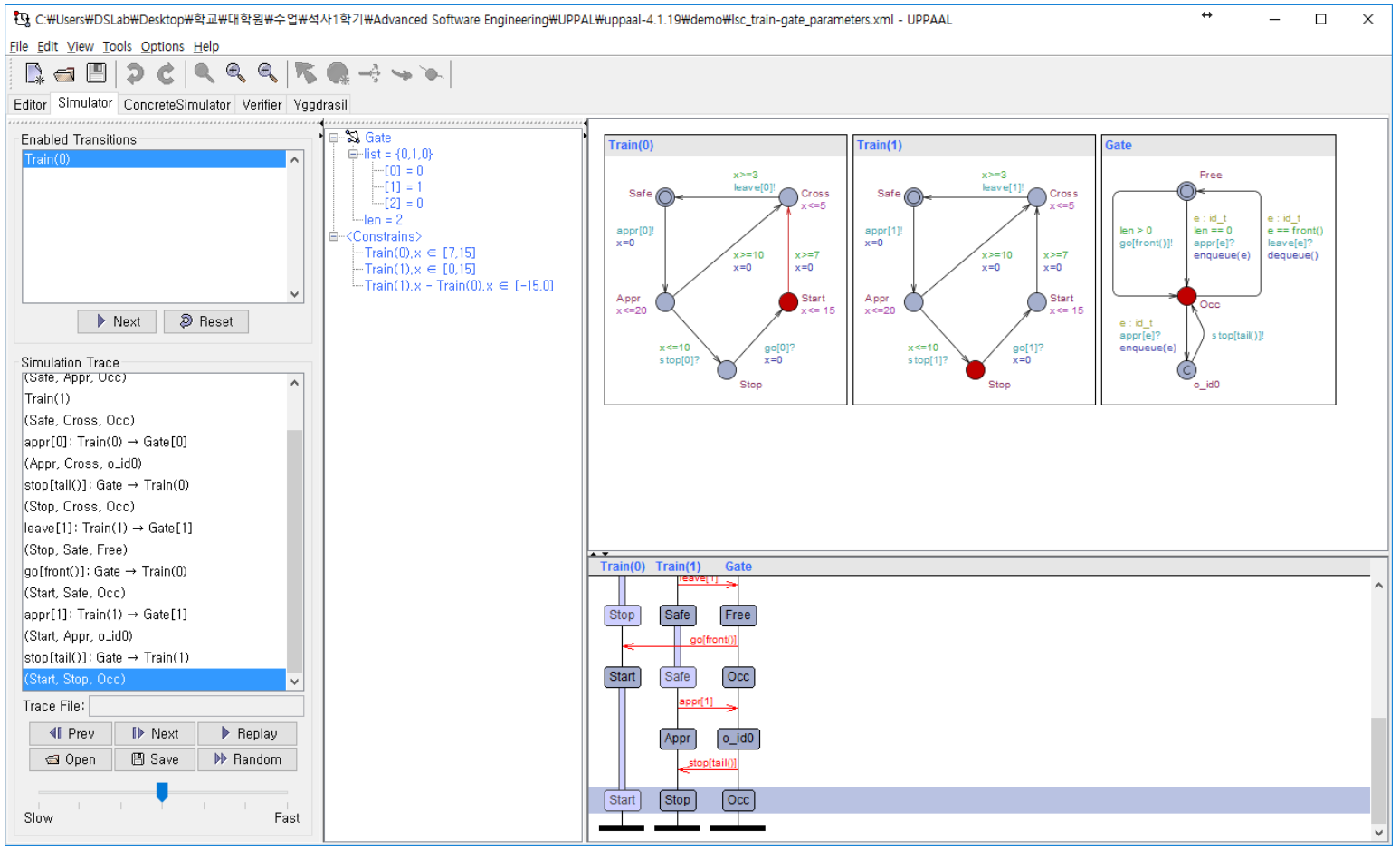
# Modeling

- **Template Declarations**



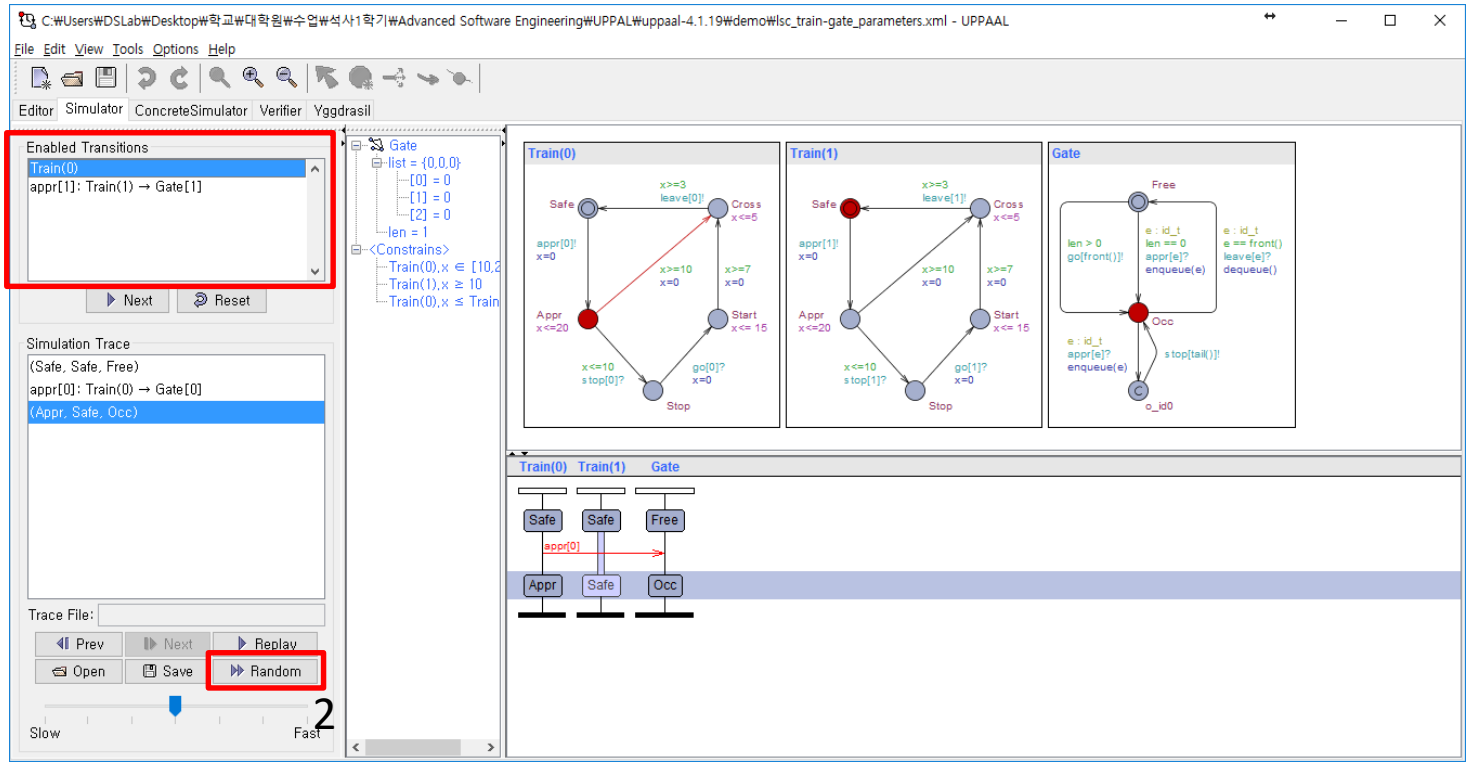
# Simulation

- 정의한 System의 행동을 단계 별로 확인
  - 단계별 각 프로세스의 상태와 변수 값 확인 가능



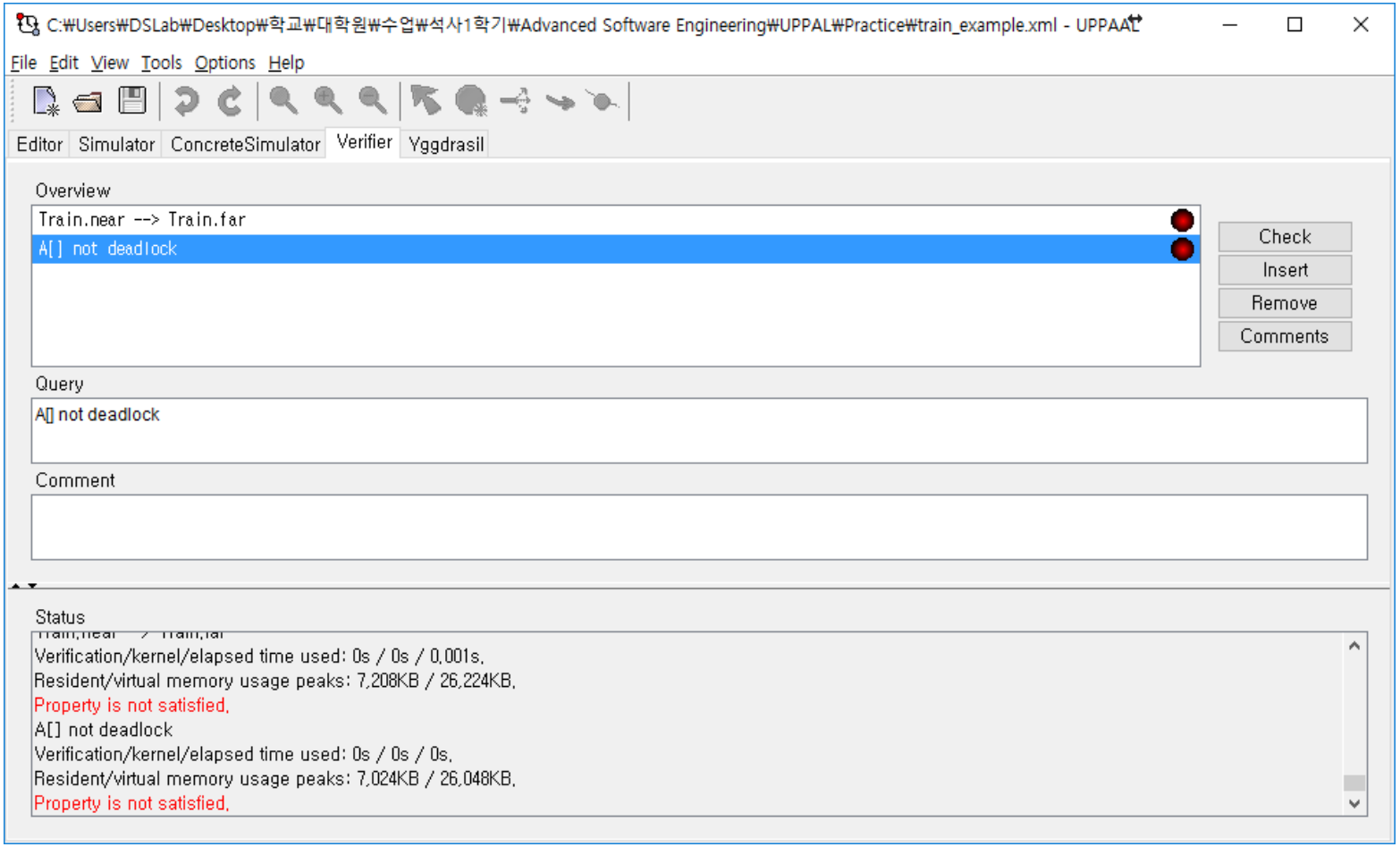
# Simulation

- **Simulator**는 3가지 방법으로 사용 가능
  1. 사용자가 그 다음 단계로 취할 전이를 선택하면서 수동으로 시스템을 시뮬레이션
  2. 시스템이 랜덤하게 자체적으로 시뮬레이션
  3. verification을 이용하여 특정 속성에 대한 reachable state를 추적하는 시뮬레이션



# Verification

- 특정 property를 시스템이 만족하는지 확인 – Model Checking



# Verification

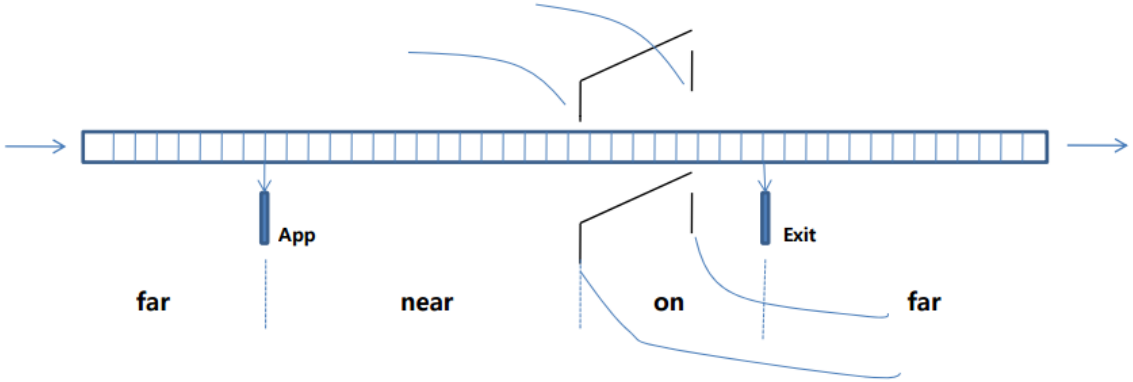
- Syntax and Semantic of Properties
  - E<> p : there exists a path where p eventually holds. (= EF p)
  - E[ ] p : there exists a path where p always holds. (= EG p)
  - A<> p : for all paths p will eventually holds. (= AF p)
  - A[ ] p : for all paths p always holds. (= AG p)
  - p --> q : whenever p holds q will eventually hold.
  - E<> deadlock : Exists deadlock
  - A[ ] not deadlock : There is no deadlock

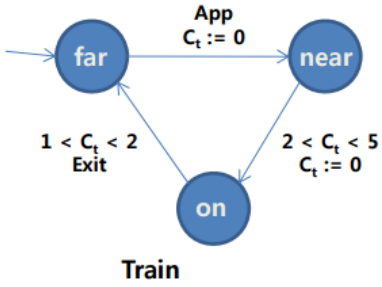
- 템플릿의 인스턴스에 dot(.)을 사용하면 location 및 템플릿 변수에 접근 가능

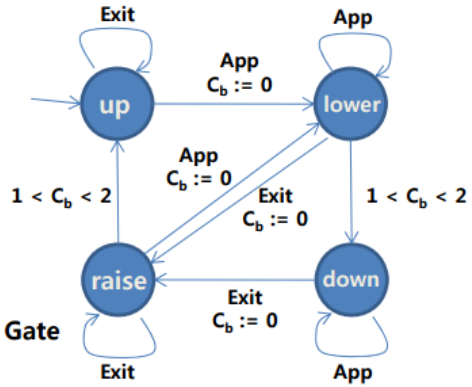
  Ex) Train.near --> Train.far

# Example

- Railroad examples in lecture note



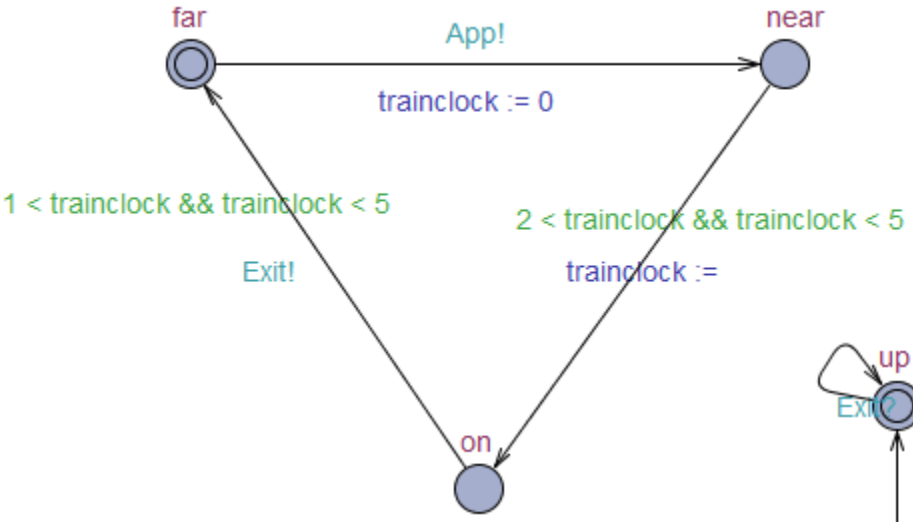



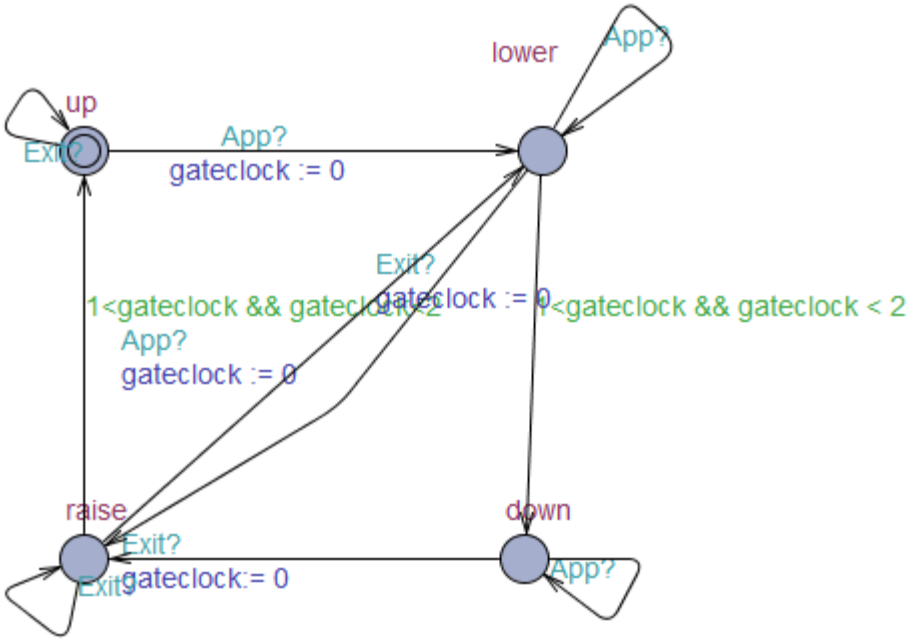

- Example : modeling a railroad crossing

# Example

- Railroad examples in lecture note



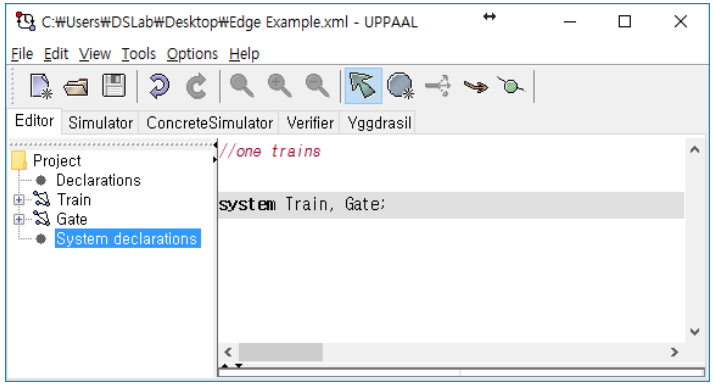

**Train**



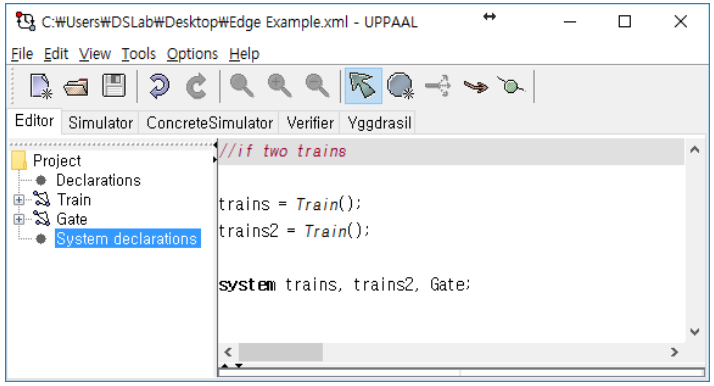

**Gate**

# Example

- System Declaration
  - If one trains

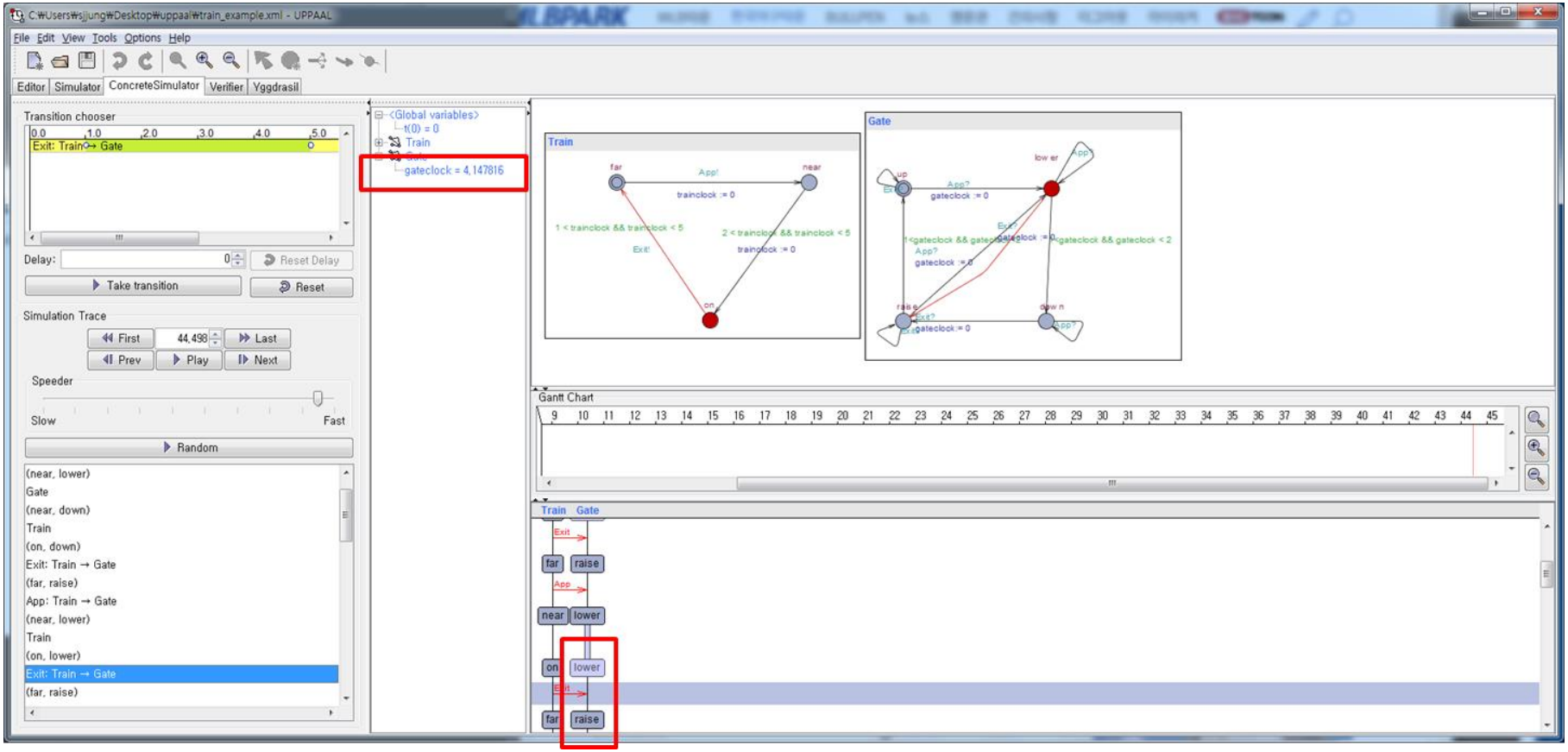



  - If two trains



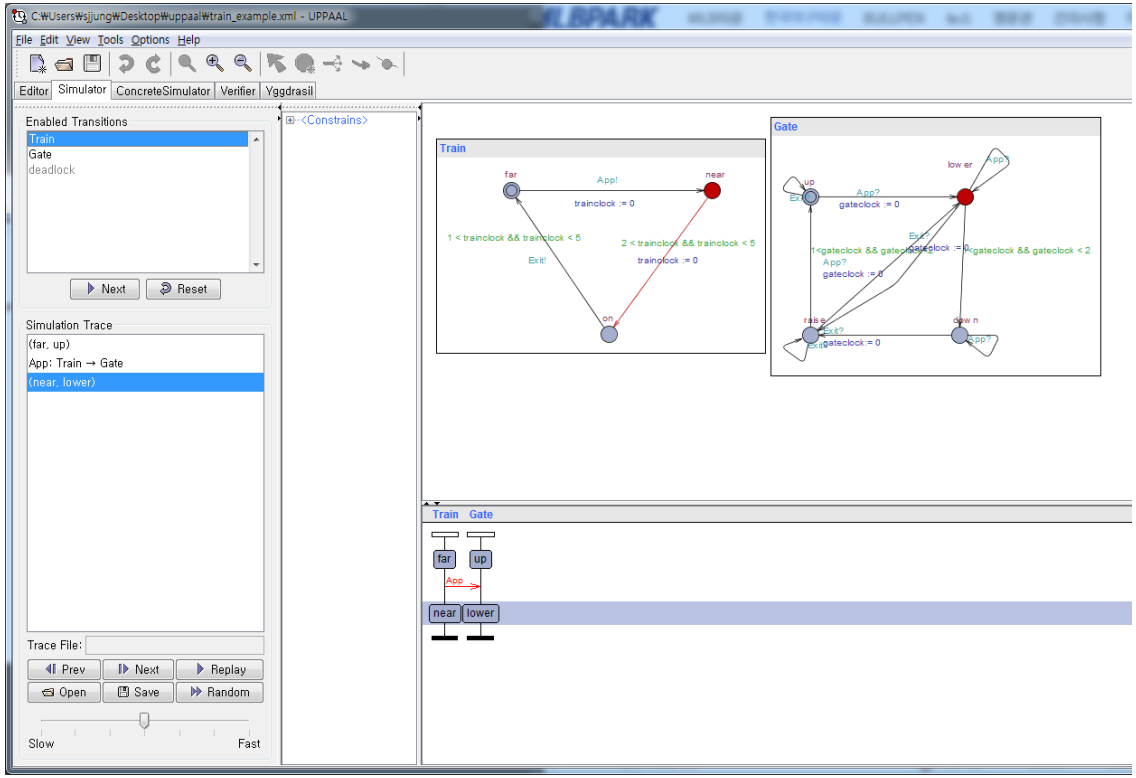
# Example

- Simulation
  - Lower -> Raise로 바로 transition 발생
  - Gateclock이 guarding condition을 넘어감



# Example

- Verification
  - Property : A[] !deadlock
  - Unsatisfied : Lower location 에서 invariants가 없어서 deadlock이 될 수 있다고 추측
  - Counter example



# Example

- Verification
  - Property : Train.near --> Train.far
  - Unsatisfied : 위와 같은 이유로 추측
  - Counter example