

# 이산사건 시스템 형식론을 활용한 교육용 콘텐츠 평가 체계 구축 방법론

최창범\*, 석문기\*, 김탁곤\*

## Discrete Event System Formalism based System Development Methodology for Educational Content Assessment

Changbeom Choi, Moon Gi Seok, Tag Gon Kim

---

### Abstract

Interaction between trainer and trainee is important in educational environment using e-Learning. In order to embrace the educational feature, the 3D contents consumption platform, such as virtual world, supports the novel educational experience to the trainer and the trainee. In the virtual world, unlike real world, the virtual world can provide educational contents to the trainees so they can experience various situation which can not be happen in the real world. During the virtual training, the education assessment system should monitor the trainees behaviors which actions are something trainee must not do and something trainee should do until the deadline. In this paper, we propose development methodology for education content assessment based on the Discrete Event System(DEVS) Formalism. First, we classify the assessment items into safety assessment item and liveness assessment item. Then, we model those items into Atomic models of the DEVS formalism. By applying DEVS Formalism, we can utilize the hierarchical and modular features of the DEVS formalism to manage the assessment items.

---

**Key Words** : *DEVS Formalism Educational Contents, Assessment System, Virtual World*

---

\* 한국과학기술원

## 1. 서론

현대 사회는 정보통신 인프라가 구축되어 언제 어디서든지 콘텐츠를 소비할 수 있는 환경이 구축되어 있다. 이렇게 구축된 정보통신 인프라를 활용하여 e-Learning 개념은 보편화 되고 있으며 다양한 교육 콘텐츠를 다양한 플랫폼에서 활용할 수 있게 되었다. e-Learning은 전자적 수단, 정보통신 및 전파 방송 기술을 활용하여 이루어지는 학습으로 인터넷을 통하여 교육이 이루어지며 학습자와 교사가 상호 작용하는 학습 환경이 구성된다. 이러한 e-Learning 학습 환경은 학습 관리 시스템과 학습 콘텐츠, 상호작용의 세 가지로 구성요소를 가지고 있다[1].

학습 관리 시스템은 학습 콘텐츠를 처리하고 학습 관리를 지원하는 시스템이고, 학습 콘텐츠는 e-Learning을 통해 제공되는 강의 내용으로 학습 관리 시스템에서 처리되는 산출물이다. 그리고 상호작용은 해당 과목의 교수와 학습자가 학습 관리 시스템이나 오프라인을 통하여 서로 상호작용하는 것을 정의한다. 이러한 대표적인 e-Learning 플랫폼으로 가상세계가 있다[2][3]. 가상세계는 사용자가 컴퓨터 안에서 3차원으로 구성되어진 세계 속에서 생활하면서 마치 현실 세계와 같은 느낌을 느끼게 한다. 따라서 e-Learning 플랫폼으로서 학생과 교사가 3차원 공간에서 서로 상호 작용하고, 새로운 교수법을 사용하여 효과적으로 학습 콘텐츠를 소비할 수 있도록 할 수 있는 장점이 있다. 또한, 가상세계는 현실 세계에서 수행할 수 없는 다양한 상황들을 가상의 3차원 세계 속에서 구현함으로써 현실 세계 내에서 쉽게 경험하기 힘든 상황을 구현하고, 해당 상황에서 가상의 훈련을 수행함으로써 소방 방재, 국방 분야 등 다양한 도메인에서의 훈련 절차를 습득하는데 사용되고 있다.

이러한 교수와 사용자, 그리고 학습 콘텐츠 관리 시스템이 서로 상호작용하는 교육용 플랫폼인 가상세계 내에서는 다양한 도메인 분야의 교육용 콘텐츠가 개발되어질 수 있기 때문에 교육용 콘텐츠의 관리뿐만 아니라 학생의 교육 성취도 평가를 하기 위한 평가 체계를 구축하는 것이 필요하다. 이러한 평가 체계를 구축함에 있어서 e-Learning 학습 관리 시스템에서는 시험 문제를 출제하고 해당 문제를 제한된 시간 내에 풀고, 문제에 대한 답변을 정확하게 하였는지를 판단하여 학습 성취도를 평가하는 정적인 방식을 채택하였다. 하지만, 3차원 가상세계 내의 학습은 교수와 학생 사이의 상호 작용 및 다양한 환경에서의 훈련 절차 습득을 수행해야 하며 해당 훈련 절차를 정확하게 습득하였는지 확인하기 위해서는 적재 적시에 학생이 행동하는 지를 확인해야 하는 요구사항이 있다. 즉, 3차원 가상세계를 활용한 교육용 콘텐츠에서는 기존의 e-Learning에서의 평가 체계와는 달리 일련의 절차로 기술된 교육용 콘텐츠에 대해서 적재 적시에 학생이 해당 행동을 수행하는 지 평가해야 한다. 또한 평가 시스템은 다양한 도메인의 학습 콘텐츠의 평가를 지원하기 위해서 재사용할 수 있는 평가 항목들을 재사용하고, 용이하게 평가 항목들을 관리해야 한다.

본 논문에서는 이산 사건 시스템 형식론(Discrete Event System Formalism: DEVS) 기반의 평가 시스템 구축 방법을 제안한다. 이산사건 시스템 형식론은 시간과 이벤트를 바탕으로 시스템의 동작을 명세하는 방법 중 하나이다. 이러한 이산사건 시스템 형식론을 바탕으로 학생이 평가 중에 수행하면 안 되는 행동을 수행하였는지 평가하는 것과 특정 시간 내에 반드시 수행하는 항목들은 이산사건 시스템 형식론을 바탕으로 기술함으로써 평가 체계를 구축하는 방법에 대해서 소개한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는

교육용 콘텐츠 평가 시스템을 정형적으로 기술하기 위한 배경지식을 소개한다. 3장에서는 이산사건 시스템 형식론을 활용한 교육용 콘텐츠 평가 방식을 소개하고, 이산사건 시스템 형식론으로 교육용 콘텐츠 평가 시스템을 구축하는 과정에 대해서 설명한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 배경 지식

본 장에서는 교육용 콘텐츠에서 훈련자를 평가하기 위한 평가 시스템의 평가 항목을 정형적으로 기술하기 위한 배경 지식을 소개한다.

### 2.1 요구사항 명세 기법

훈련자가 교육용 콘텐츠를 소비하고, 이를 평가하는 과정에서 훈련자를 평가하기 위한 항목은 제한 시간을 포함하지 않는 항목과 제한 시간을 포함하는 항목으로 나눌 수 있다. 제한 시간을 포함하지 않는 평가 항목은 훈련자가 평가 과정 전체에 대해서 만족해야 하는 평가 항목들과 훈련 절차 내에서 실행하면 안 되는 항목들에 해당된다. 즉, “훈련자는 훈련 중에 훈련 교관의 지시에 따라야 한다.” 혹은 전술 훈련 모의에서 “기동하는 부대가 목표 지점까지 도달하기 전까지는 선행하고 있는 부대를 추월하면 안 된다.”와 같은 항목은 훈련자가 훈련 과정 중에서 보여서는 안 되는 행동에 대한 항목들이다. 이러한 요구사항 항목들은 Safety 항목들이라 한다[4]. 일반적으로 요구 공학(Requirement Engineering)에서 Safety 특성은 “시스템 내에서 나쁜 일은 절대 일어나지 않음”을 기술하는 항목으로 평가 시스템에도 동일하게 평가 중 혹은 교육 과정 중에서 절대 일어나서는 안 되는 항목들을 기술할 수 있다. 이와 반대로 “기동하는 부대는 특정 시점까지 목표지점까지 도달해야 한다”와

같이 제한된 시간 내에 훈련자가 특정 행동을 보여야 한다는 요구사항들은 Liveness 요구사항 항목들이라 한다. 마찬가지로 요구 공학에서는 Liveness 요구사항 항목을 “언젠가 좋은 일이 일어난다.”로 정의하고 있다. 따라서 학습 콘텐츠의 평가 항목으로 Liveness 요구사항 항목들은 특정 시간 내에 학습 과정 중에 나타나야 하는 항목들로 정의할 수 있다. 교육용 콘텐츠의 평가를 위한 요구사항을 명세하는 기법은 이러한 Safety 요구사항과 Liveness 요구사항 모두를 반영할 수 있어야 한다.

### 2.2 이산 사건 시스템 형식론

DEVS 형식론은 집합론에 근거한 수학적인 틀이다. DEVS 형식론은 모델링할 대상 이산사건 시스템을 객체 단위로 원자 모델을 사용하여 모듈화 하고 결합 모델을 사용하여 시스템을 세부 모델의 결합과 계층적으로 구성할 수 있도록 한다[4]. 또한, DEVS 형식론은 행동적 의미론(Operational Semantics)을 가지고 있어 실제 시스템을 모의하는 시뮬레이션 모델을 활용하여 시뮬레이션을 수행할 수 있는 장점이 있다.

#### 2.2.1 원자 모델 표현

원자 모델(Atomic Model)은 DEVS 형식론을 구성하는 가장 기본적인 모듈로서 시스템의 행동을 기술하는 모델이다. 원자 모델 M의 수학적 표현은 다음과 같다.

$$AM = \langle X, Y, S, \delta_{ext}, \delta_{int}, \lambda, ta \rangle$$

X: 이산사건 입력 집합

Y: 이산사건 출력 집합

S: 일련의 이산사건 상태의 집합

$\delta_{ext} : Q \times X \rightarrow S$ : 외부 상태 천이 함수

$Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$

:시스템 M의 전체 상태  
 $\delta_{int} : Q \rightarrow Q$ : 내부 상태 천이 함수  
 $\lambda : Q \rightarrow Y$ : 출력 함수  
 $ta: S \rightarrow R_{0,\infty}^+$ : 시간 진행 함수

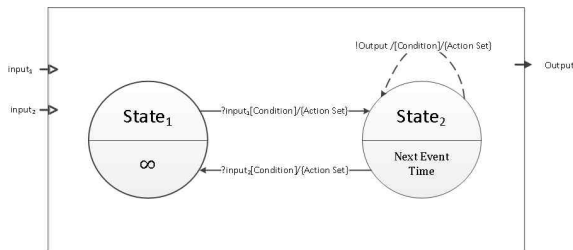


그림 1. 이산 사건 시스템 형식론의 원자 모델

원자 모델은 시스템의 상태를 정의하고, 입력에 대한 상태 천이와 시간의 흐름에 따른 상태 천이를 구분하여 정의하고, 각각에 대하여 조건부 행동을 취할 수 있도록 정의하여 상태 천이 시에 해당 모델이 실행해야 하는 행동을 실행할 수 있도록 모의할 수 있는 특징을 지니고 있다.

### 2.2.2 결합 모델

결합 모델(Coupled Model)은 여러 모델을 내부적으로 연결하여 만든 모델이다. 내부 구성요소가 되는 모델은 원자 모델과 결합 모델이 모두 가능한데, 이러한 내부 모델들을 계속 합쳐서 더욱 큰 시스템을 표현할 수 있다. 다음은 결합 모델의 수학적 명세이다.

$$CM = \langle X, Y, \{M_i\}, EIC, EOC, IC, SELECT \rangle$$

- X : 이산사건 입력 집합
- Y : 이산사건 출력 집합
- {M<sub>i</sub>} : 모든 이산사건 컴퍼넌트 모델들의 집합
- EIC : 외부 입력 연결 관계
- EOC : 외부 출력 연결 관계
- IC : 내부 연결 관계
- SELECT :  $2^{\{M_i\}} - \emptyset \rightarrow M_i$ : 같은 시각에 존재하는 사건을 발생하는 모델들에 대한 선택 함수

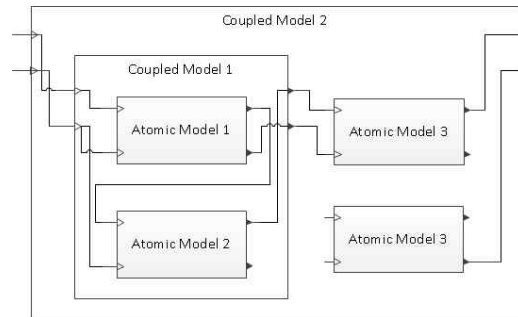


그림 2. DEVS 형식론의 결합 모델

위 그림은 결합 모델을 통한 DEVS 형식론의 계층적 구조와 재사용성을 보여준다. 즉, 결합 모델은 내부에 해당 시스템이 나타내야 하는 기본 행동을 모의하는 원자 모델을 결합하여 시스템을 구성한다. 또한 계층적으로 시스템을 구성할 수 있도록 각 모델을 관리한다.

### 3. DEVS 형식론을 활용한 교육용 콘텐츠 요구사항 명세 기법

본 장에서는 이산 사건 시스템 형식론을 사용하여 평가 시스템의 Safety 평가 항목과 Liveness 평가 항목을 원자 모델로 기술하는 방법을 소개하고, 결합 모델을 활용하여 이들 평가 항목을 관리하는 방법에 대해서 설명한다.

#### 3.1 Safety 평가 항목

Safety 평가 항목은 그림 3과 같이 학습 과정 혹은 평가 과정에서 학생이 발생시키는 이벤트에 대해서 평가를 수행한다. Safety 평가 항목은 평가 과정 전체 중에서 발생하는 이벤트들에 대해서 교육용 콘텐츠의 Safety 요구사항을 위반하는 이벤트 발생 시에 시간 전진이 무한대인 상태로 천이하는 상태로 표현될 수 있다. 즉, Safety 평가 항목은 학생 혹은

훈련자가 특정 행동을 하지 않는다는 것을 요구사항으로 명세하기 때문에 Safety 요구사항을 만족하고 있는 상태에 머물고 있다가 Safety 특성을 위반하게 행동이 모니터링이 되면 상태를 천이하여 이를 보고하고 어떤 사건이 발생하더라도 위반 상태에 머무르는 DEVS 원자 모델로 작성될 수 있다.

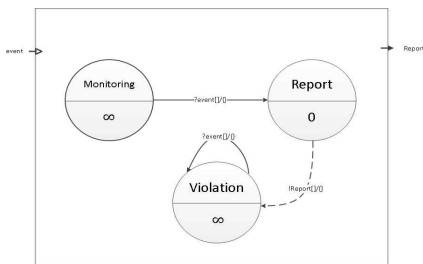


그림 3. Safety 평가 항목

### 3.2 Liveness 평가 항목

Liveness 평가 항목을 표현하기 위해서는 특정 시간을 초과하기 전에 학생 혹은 훈련자가 반드시 보여야 하는 행동이 모니터링 되는지를 확인해야 한다. 또한, Liveness 평가 항목은 한 번의 평가가 완료된 이후 다음 Liveness 평가 항목을 평가하도록 할 수 있다. 즉, 훈련 절차를 습득하는 교육 콘텐츠에서 일련의 절차를 따라가며 학생 혹은 훈련자가 교육 콘텐츠에서 요구되는 행동을 수행하는지 평가를 할 수 있어야 한다.

특정 시간을 초과하기 전에 학생 혹은 훈련자가 반드시 보여야 하는 행동을 확인하는 평가 항목에 대해서는 DEVS 형식론의 원자 모델에서 시간 전진함수를 정의하여 특정 시간을 초과하면 상태가 천이되도록 명세할 수 있다. 이를 통해 학습 콘텐츠를 교수하는 사용자가 요구하는 Liveness를 정확하게 표현할 수 있다. 다음 그림 4는 단일 사건에 대한 Liveness 평가 항목을 원자 모델로 표현한 것이다.

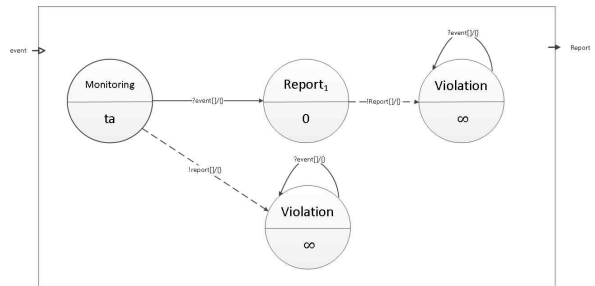


그림 4. 단일 Liveness 평가 항목

이와 비슷하게 일련의 훈련절차들에 대해서 학생 혹은 훈련자가 Liveness 평가 항목들을 만족하는지를 평가하기 위해서는 위의 단일 Liveness 평가 항목을 시작으로 절차를 확인할 수 있는 Liveness 평가 원자 모델을 정의할 수 있다. 다음 그림 5는 절차적 Liveness 평가 항목을 위한 원자 모델이다.

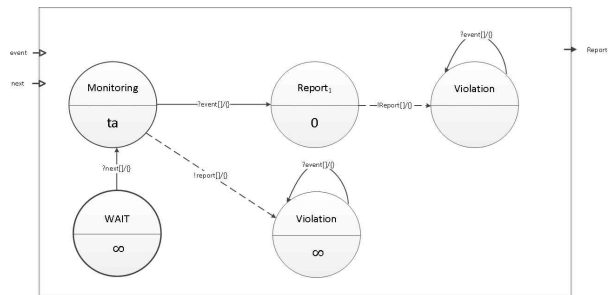


그림 4. 절차적 Liveness 평가 항목

절차적 Liveness 평가 항목을 위한 원자 모델은 단일 Liveness 평가 항목을 위한 원자 모델과 다르게 WAIT 상태에 대기하고 있다가 이전 절차를 수행하였다는 next 이벤트를 받으면 단일 Liveness 평가 항목을 위한 원자 모델과 동일하게 동작을 수행한다.

### 3.3 평가 항목 관리 체계

다양한 도메인에 대해서 학습 콘텐츠를 개발하고, 이에 대한 평가 체계를 구축하기 위해서는 평가 항목에 대한 체계적인 관리가 필

요하다. DEVS 형식론에서는 모듈성을 제공하여 원자 모델로 기술된 평가 항목들을 결합 모델로 구성하여 재사용성을 증대시킬 수 있다. 다음 그림은 Safety 평가 항목들을 조합하여 Safety 평가 결합 모델을 만드는 과정을 나타낸 것이다.

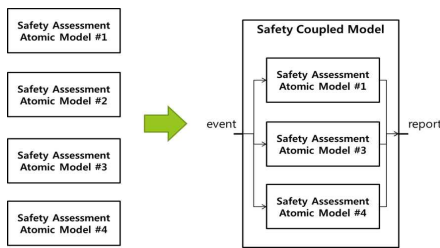


그림 5. Safety 평가 결합 모델의 구성 방법

위 그림과 같이 Safety 평가 결합 모델은 다양한 도메인 분야에서 개발된 Safety 평가 원자 모델 중에서 필요한 평가 항목들을 선택하여 결합 모델로 구성할 수 있다.

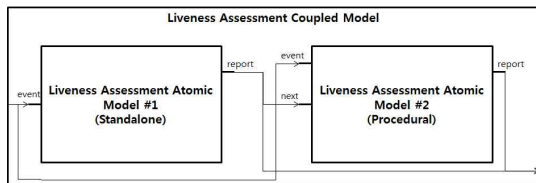


그림 6. Liveness 평가 결합 모델의 구성 방법

Liveness 평가 결합 모델은 두 종류의 Liveness 평가 원자 모델을 조합하여 구성할 수 있다. 즉, 일련의 절차에 대해서 Liveness 평가 항목을 구축하기 위해서는 단일 Liveness 평가 항목과 절차적 Liveness 평가 항목을 위한 원자 모델을 추가하고 이들 원자 모델들을 서로 연결함으로써 Liveness 평가 요구사항을 명세할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 보편화된 e-Learning 콘텐츠

의 평가 시스템을 구축함에 있어서 평가 항목을 Safety 평가 항목과 Liveness 평가 항목으로 구분하고 이를 정형적으로 명세할 수 있는 이산 사건 시스템 형식론을 활용하여 명세하였다. 본 논문에서 제안하는 교육용 콘텐츠 평가 구축 방법은 이산 사건 시스템 형식론이 가지는 계층적이고 모듈러하다는 장점이 반영되어 평가 항목에 대해서 용이하게 관리할 수 있으며 정형적으로 평가 항목을 기술할 수 있으므로 평가 체계의 객관성을 확보할 수 있다.

#### Acknowledgement

본 연구는 문화체육관광부 및 한국 콘텐츠진흥원의 2009 년도 문화콘텐츠산업기술지원 사업의 연구결과로 수행되었음

#### 참고문헌

- [1] 윤영한, “최근 우리나라 e-Learning 시장의 주요 동향 및 향후 전망,” 통상정보연구 제9 권 2호, pp.103~120, 2007
- [2] Constance Steinkuehler, Kurt Squire, “Virtual worlds and learning”, On the Horizon, Vol. 17 Iss: 1, pp.8 - 11, 2009
- [3] Warburton, S., “Second Life in higher education: Assessing the potential for and the barriers to deploying virtual worlds in learning and teaching,” British Journal of Educational Technology, 40: 414 - 426. 2009
- [4] Martin Abadi and Leslie Lamport, “Composing Specifications,” ACM Transaction on Programming Languages, vol. 15, No. 1, pp. 73-132, 1993
- [5] Bernard P. Zeigler, Herbert Praehofer and Tag Gon Kim, Theory of Modelling and Simulation (2nd Edition), Academic Press, 2000.