

# 페트리넷과 문항반응이론을 이용한 웹 기반 학습 시스템 설계

정희원 정 화 영\*, 홍 봉 화\*\*

## A Design of Web based Learning System using PetriNet and Item Response Theory

Hwayoung Jeong\*, Bonghwa Hong\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 연구는 웹 기반 학습 시스템을 설계하였으며, 학습자에게 효율적인 학습 문항 제시를 위하여 문항반응이론을 적용하였다. 적용된 기법은 문항난이도와 문항변별도를 고려한 2-모수 로지스틱 모형이며, 산출된 문항정보함수 값은 학습자의 학습과정에 피드백 하였다. 이러한 과정에서 학습 시스템은 10개의 학습 프로세스로 구성하였으며, 각 프로세스의 운용에 대한 설계 및 분석을 위한 방법으로 페트리넷을 이용하였다.

**Key Words** : 웹 기반 학습 시스템, 문항반응이론, 2-모수 로지스틱 모형, 페트리넷

### ABSTRACT

In this research, we designed web based learning system. To propose the efficient learning question to learner, we applied the item response theory. This method is 2-parameter logistic model that consider item discrimination and item difficulty. And we made it to feedback item information function value to learner during the learning course. In this process, learning process was consist of 10 learning process. And we used PetriNet for design and analysis of each process operation.

### I. 서론

최근 교육과 관련된 사회적 변화를 살펴보면 교육보다는 학습이 더 중요하게 여겨지고, 학교교육에서도 교육보다는 학습이 강조되고 있는 추세이다. 특히 e-Learning은 기본적으로 "교육상황이 아니라 학습상황"으로 인식되고 있기 때문에 학습의 확대를 기본적으로 가정하고 있다<sup>[1]</sup>. 웹 기반 학습 (WBI : Web Based Instruction)을 통하여 교육의 질을 향상시키고 효과적인 교수-학습이 이루어지도록 하기 위하여 웹 기반 학습에 평가를 도입하였다. 웹 기반 학습 및 평가 시스템은 교사나 학습자 모두 활용하

기 쉽고 누구나 사용가능한 시스템을 제공함으로써 학습자들이 자신이 편리한 시간에 웹상에 제시되어 있는 다양한 학습 자료들을 탐색하며 학습자가 스스로 학습을 해 나가는데 도움을 주도록 하여 교육의 질을 향상시키고 효과적인 교수-학습이 이루어지도록 할 수 있다<sup>[2]</sup>. 또한 학습효과를 높이기 위한 방법으로 문항분석방법이 사용되었다. 문항분석방법에서는 고전검사이론의 문맥에서 학생들의 개인적 성장의 변화를 측정하는 차이점수에 내재된 개념적 오류를 문항반응이론(IRT: Item Response Theory)을 적용하여 해결하려는 연구가 진행되었다<sup>[3]</sup>. 문항반응이론에 따르면 문항마다 고유의 특성이 있어

\* 경희대학교 교양학부(hyjeong@khu.ac.kr), \*\* 경희사이버대학교 정보통신학과(bhhong@khcu.ac.kr), (° : 교신저자)  
논문번호 : 08068-1103, 접수일자 : 2008년 11월 3일

수험생의 집단이 바뀌더라도 문항의 특성은 바뀌지 않으므로 한 문항의 특성을 파악할 수 있다면 수험생의 능력 평가를 더 정확하고 빠르게 할 수 있다는 장점이 있다<sup>4)</sup>. 또한 시스템 분석 및 설계 기법으로 페트리넷을 들 수 있다. 페트리넷은 동시성을 위한 정형화를 제공하는 수학적이고 그래픽한 모델이다. 이는 다양한 도메인에 폭넓게 사용되어 왔다. 이들 도메인들 사이에는 분산 또는 병렬시스템의 정형적 검증과 특성을 가진다<sup>5)</sup>.

본 연구에서는 문항반응이론과 페트리넷을 이용하여 웹 기반 학습 시스템을 설계하고자 한다. 학습 과정에서 각 문항당 특성을 반영하여 학습자에게 전달하기 위하여 문항반응이론을 고려하였으며, 이때 문항난이도와 변별도를 고려하는 2-모수 로지스틱 모형을 사용하였다. 또한 학습 프로세스의 처리에 대한 정형화된 분석 및 설계를 위하여 페트리넷을 이용하였다. 이는 학습콘텐츠와 이를 처리하는 학습프로세스, 학습에 사용되는 문항반응이론을 통한 문항분석 등을 모두 포함하였다.

## II. 관련연구

### 2.1 웹 기반 학습 시스템

e-Learning이란 정보통신기술의 활용을 기본 전제로 인터넷을 기반으로 하는 학습을 의미하며, 온라인 학습, 웹 기반 학습, 사이버 교육, 인터넷 기반 학습, 네트워크 학습 등을 포괄하는 의미의 용어이다. 즉, e-Learning이란 “네트워크를 중심으로 내용을 전달하고 학습자와 상호작용하며 학습을 촉진시키는 일련의 과정”을 의미한다<sup>6)</sup>. 웹 기반 교육은 학습자와 교수간의 상호 작용으로 이루어지지만 대부분 혼자서 하는 독립적 학습 상황이 많다. 그래서 학습자 스스로 학습 방법을 결정하고 실행해 나가기 때문에 교실 수업과는 반대로 개별 학습자의 학습 형태, 학습 목표, 학습 목적에 적합한 학습 콘텐츠와 제시 순서 등을 제공하여야 한다<sup>7)</sup>. 또한 학습에서도 학습의 효과를 높이기 위해 문항난이도를 고려한 문항반응이론을 적용하고 있다. 이는 학습과정에서 학습자의 답안을 기반으로 정답과 오답에 따라 문항의 유형을 달리함으로써 학습자가 보다 쉽게 학습 시스템에 적응하기 위함이다. 그림 1은 이와 같은 학습 시스템의 순서도 예시를 나타낸다<sup>8)</sup>. 선다형 평가는 학습자가 정답을 입력하는 즉시 정답 및 오답에 대한 피드백이 제공되며 실시간평가 및 결과 확인이 가능하게 한다. 학습자 모듈은

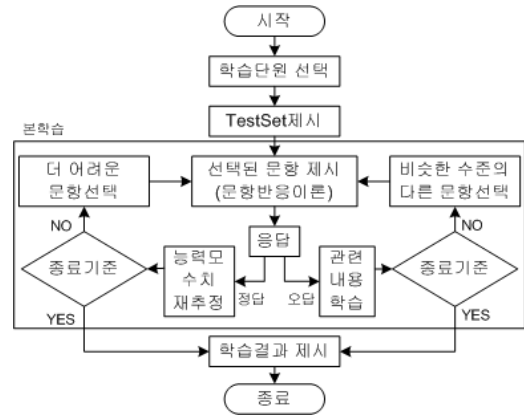


그림 1. 학습 시스템의 순서도 예시

웹상에서 학습자가 학습을 진행하면 서 문제를 풀고 답안을 작성하면 문제는행 데이터베이스의 정답과 비교하여 자동으로 채점되어 채점결과와 피드백을 학습자에게 즉시 제공함으로써 학습 성취도를 확인할 수 있으며 학습의 동기를 부여할 수 있도록 한다<sup>2)</sup>.

### 2.2 문항반응이론

문항반응이론에서 문항난이도와 변별도를 고려하는 2-모수 로지스틱 모형은 다음과 같다.  $P(\theta)$ 를 문항의 답을 맞힐 확률, 변별도 모수를  $a$ , 난이도 모수를  $b$ , 학습자의 능력 수준을  $\theta$ 라고 하면 2-모수 로지스틱 모형은 식 (1)과 같이 나타낸다.

$$P(\theta) = \frac{1}{1 + e^{-a(\theta - b)}} \quad (1)$$

문항정보함수란 문항이 전체 능력 범위에 흠어져 있는 피험자의 능력을 얼마나 정확하게 추정하고 있는지를 나타내는 것으로, 문항 정보 값이 높으면 피험자의 능력을 정확히 추정하였다는 것을 의미한다. 즉, 검사문항이 피험자의 능력 수준과 같을 때 피험자의 능력을 정확하게 추정할 수 있기 때문에, 문항 정보 값이 최대인 문항을 선택하여 학습자에게 제공한다.

$$I_i(\theta) = a_i^2 P_i(\theta) (1 - P_i(\theta)) \quad (2)$$

식 (2)는 문항정보함수를 나타내며, 이는 문항이 전체 능력 범위에 흠어져 있는 피험자의 능력을 얼마나 정확하게 추정하고 있는지를 나타내는 것으로, 문항 정보 값이 높으면 피험자의 능력을 정확히 추정하였다는 것을 의미한다. 즉, 검사문항이 피험자

표 1.  $\Theta=0$  일 때 문항정보함수 값

문항	변별도	난이도	$I_i(\Theta)$
.	.	.	.
3	1.36	0.34	0.267
.	.	.	.
6	2.36	0.14	0.866
.	.	.	.
9	1.54	1.13	0.123
10	0.55	0.56	0.037

의 능력 수준과 같을 때 피험자의 능력을 정확하게 추정할 수 있기 때문에, 문항 정보 값이 최대 인 문항을 선택하여 학습자에게 제공한다.

표 1은 학습자의 초기 능력치  $\Theta$ 값을 0으로 설정하고 각 문항들에 대한 문항 정보 값들을 구한 내용이다. 문항 6번의  $I_i(\Theta)$ 의 값이 0.866로서 가장 크기 때문에 학습자에게 6번 문항이 제공된다<sup>[9]</sup>.

### 2.3 페트리넷

페트리넷의 일반적인 특성은 다음과 같다<sup>[10]</sup>. 첫째, 시스템의 자료분할 행위와 동시성, 동기성을 따른다. 둘째, 작업수행 분석을 위한 결과를 나타낸다. 셋째, 객체지향 소프트웨어 구조에서 자동적인 행위 분석의 의미로 사용된다. 즉, 페트리넷은 동시성, 분산, 동기성, 병렬성, 결정적과 비결정적을 포함하는 다양한 시스템을 위한 정형적인 명세도구이다.

기본 페트리넷 구조는 Place와 Transition의 유한집합, arc들의 유한집합, 초기 마킹을 정의하는 토큰의 집합들로 구성된다. arc들은 입력과 출력의 기능을 갖고 있으며, 기능들은 Place에서 Transition으로, Transition에서 Place로의 토큰에 대한 흐름을 나타낸다. 페트리넷은  $(P, T, A_i, A_o, m_0)$ 과 같이 나타낼 수 있다. P는 Place집합, T는 Transition집합,  $A_i$ 은 입력 Incidence Matrix,  $A_o$ 은 출력 Incidence Matrix를 나타낸다. 또한  $m_0$ 은 초기 마킹을 나타낸다. 이에 따라, Place와 Transition의 입출력 관계는 식 (3)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \bullet p &= \{t \mid a(t,p) \neq 0, t \in T\}, & p \bullet &= \{t \mid a(p,t) \neq 0, t \in T\} \\ \bullet t &= \{p \mid a(p,t) \neq 0, p \in P\}, & t \bullet &= \{p \mid a(t,p) \neq 0, p \in P\} \end{aligned} \quad (3)$$

또한 입력 Place에 대한 Transition의 활성화 규칙은 식 (4)와 같다.

$$\forall p \in \bullet t, a(p,t) \leq m(p) \quad (4)$$

Transition t가 활성화 된 후에 대한 점화규칙은 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \forall p \in \bullet t, m'(p) &= m(p) - a(p,t) \\ \forall p \in t \bullet, m'(p) &= m(p) + a(t,p) \end{aligned} \quad (5)$$

위 식에서, 현재의 마킹  $m$ 은 새로운 마킹  $m'$ 으로 변화되면서 Transition t이전의 Place 토큰이 연결된 arc수만큼 감소되고, t이후의 Place 토큰은 연결된 arc수만큼 가산됨을 알 수 있다<sup>[11]</sup>.

## III. 페트리넷을 이용한 웹 기반 학습 시스템 설계

### 3.1 문항반응이론의 적용과 시스템 구성

본 논문에서 적용한 문항반응이론은 2.2절의 2-모수 로지스틱 모형이다. 학습과정에서 문항반응이론을 적용한 것은 그림 2와 같다.

이때 학습자는 학습단원을 선택하게 되고 학습에 따른 문항난이도를 선택하게 된다. 제공된 문항난이도는 전체 분포를 아주 쉬움, 쉬움, 보통, 어려움, 아주 어려움과 같이 5단계로 분류되며, 문항 난이도의 초기 설정 값은 문항을 제작한 교수자의 판단에 의해 직관적으로 설정하게 된다. 이후 학습이 진행되는 동안 문항반응이론에 의해 문항난이도 값이 산출되면 그 값으로 변경된다. 학습자에 의해 문항난이도가 선택되면 학습시스템은 문제은행에서 학습자에게 맞는 문항을 선별하여 문항을 출제하게 된다. 문제풀기를 수행한 후 학습결과가 산출되면 학

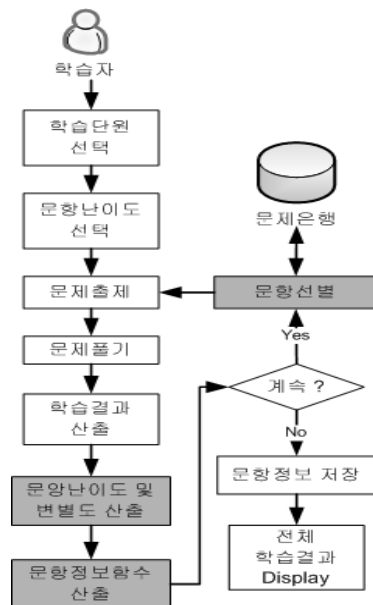


그림 2. 문항 반응이론의 적용

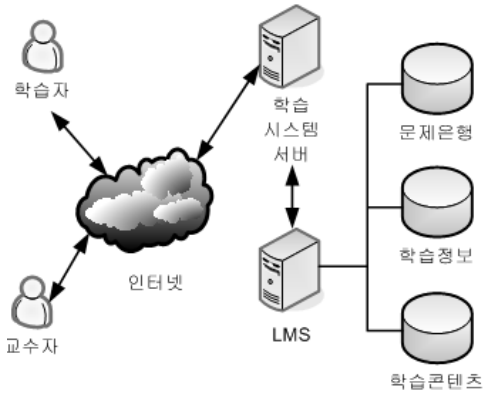


그림 3. 학습 시스템의 구성

습결과에 따라 문항난이도와 변별도를 산출하고 이를 통해 문항정보함수 값을 구한다. 만일 학습자가 계속 학습을 진행하고자 한다면 학습자는 문항정보함수 값을 기반으로 문제은행에서 학습자에게 맞는 문제를 추출하게 된다. 학습을 종료하게 될 경우 산출된 문항정보 값들을 저장한 후 학습자의 모든 학습 결과 값을 제공한 후 학습을 종료한다.

그림 3은 학습 시스템의 구성을 나타낸다. 시스템의 구성은 학습 시스템 서버와 LMS(Learning Management System)을 두고, LMS에 문제은행, 학습정보, 학습 콘텐츠 등을 두었다. 학습 시스템 서버는 학습자의 요청에 따라 LMS와 통신하여 문제를 출제하고 채점하며, 그 결과를 다시 학습정보에 저장하게 된다.

### 3.2 페트리넷을 이용한 시스템 분석 및 설계

본 시스템의 학습 프로세스는 그림 2의 문항반응이론의 적용에 대한 과정들이 된다. 문항반응이론을 적용한 페트리넷은 그림 4와 같다. 이때 Place p1은 학습단원 선택, Place p2는 문항난이도 선택, Place p3은 문제출제, Place p4는 문제풀기, Place p5는 학습결과 산출, Place p6는 문항난이도 및 변별도 산출, Place p7은 문항정보함수 산출, Place p8은 문항선별, Place p9은 문항정보 저장, Place p10은 전체 학습결과 Display를 타나낸다. 또한 Transition t1은 문항 난이도 요청 메시지를 나타내며, Transition t2는 문제 제시 요청 메시지, Transition t3은 문제 Display 요청 메시지, Transition t4는 학습결과 평가 요청 메시지, Transition t5는 문항난이도 및 변별도 산출 요청 메시지, Transition t6은 문항정보함수 산출 요청 메시지, Transition t7은 문항선별 요청 메시지를 나타내며, Transition t8은 선별

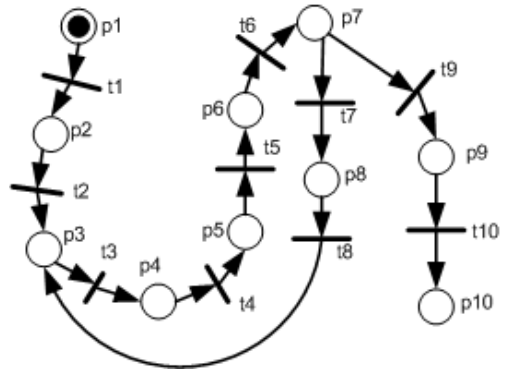


그림 4. 문항반응이론을 적용한 학습 시스템의 페트리넷

된 문항 제시 요청 메시지, Transition t9는 문항정보 저장 요청 메시지, Transition t10은 학습결과 Display 요청 메시지를 나타낸다.

초기 마킹  $m_0$ 는  $m_0=(1,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ 이다. 따라서, p1에 대한 토큰은  $m(p1)=1$  이다. p1에서 t1로의 arc수  $a(p1,t1)=1$ 이므로 t1에 관한 활성화 규칙이 성립되며, 집화규칙에 의하여  $m(p1)=0$ 이 되며  $m(p2)=1$ 이 된다. 따라서 학습자의 학습단원 선택 이후 문항난이도 선택 프로세스가 실행됨을 알 수 있다. 이러한 방법으로 문제출제, 문제풀기, 학습결과 산출, 문항난이도 및 변별도 산출, 문항정보함수 산출 프로세스가 실행되며, 문항정보 산출 프로세스를 나타내는 p7에서는  $\{t7, t9\} \in p7$  이 되므로 t7와 t9가 동시에 발화하지 못하며 t9나 t10중 하나가 발화하게 된다. 따라서 문항정보 산출 프로세스 실행 이후 학습 계속 여부에 따라 문항선별을 요청하거나 문항정보 저장을 실행하게 된다. p8의 문항선별 이후에는 t8이 발화되면서 선별된 문항 제시 요청을 하게 되고, 이는 p3의 문제출제 프로세스로 이어진다. 이러한 방법에 따라 그림 5는 문항반응이론을 적용한 시퀀스 다이어그램을 나타낸다. 이는 페트리넷에서 나타난 10개의 프로세스를 기반으로 학습자의 요청에 따른 처리의 흐름을 나타낸다. 학습자가 학습단원을 선택하게 되면 학습단원 선택 프로세스는 LMS를 통해 학습정보 데이터베이스의 정보를 참조하게 된다. 또한 학습자가 문항난이도를 선택하게 되면 문항난이도 프로세스는 문제은행 데이터베이스를 참조하여 각 문제별 설정 및 산출된 난이도 수치를 기반으로 문항난이도를 분류하여 학습자에게 제공한다. 문제출제에서도 학습자가 원하는 수준의 난이도를 가진 학습문항을 선별한 후 이를 학습자에게 제공한다. 문제풀기에서는 문제은행

의 데이터를 참조하여 학습자에게 적절한 문제가 템 개발에 의한 적용결과를 산출하지는 못하였으나

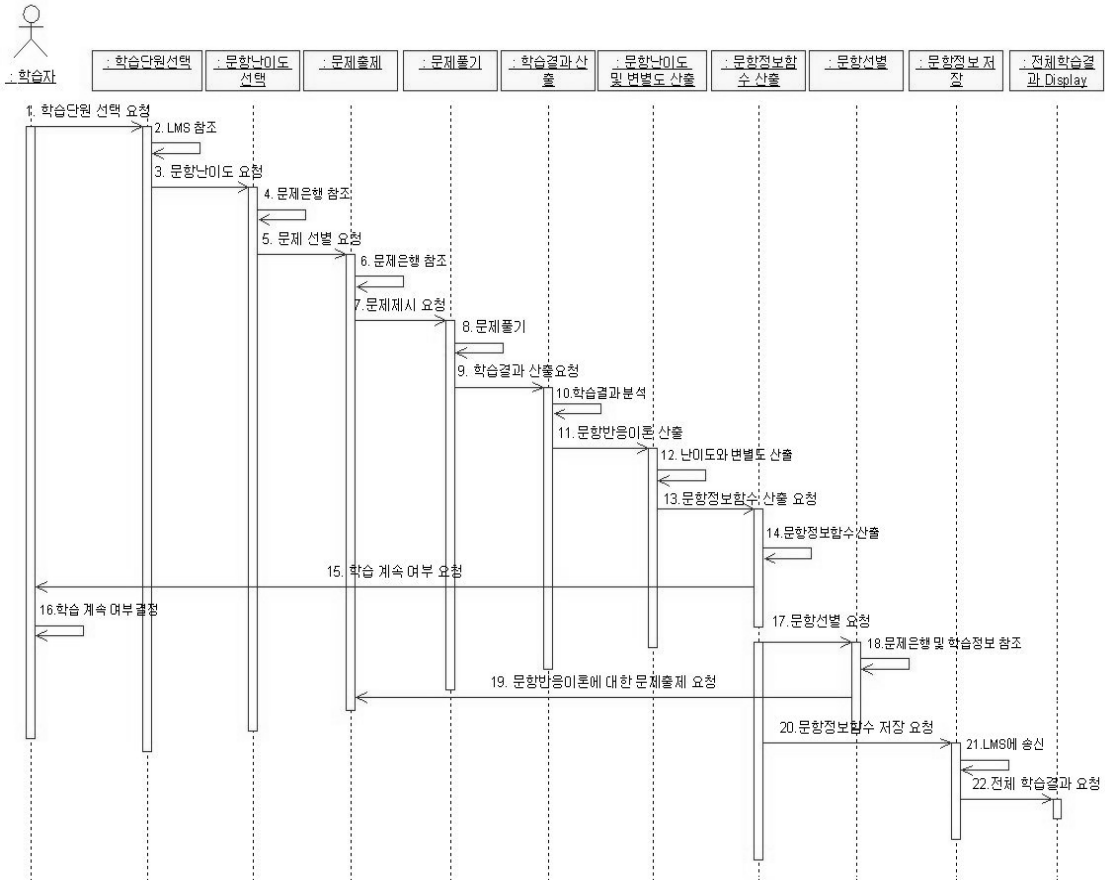


그림 5. 문항반응이론을 적용한 학습 시스템의 시퀀스 다이어그램

제공되도록 하며, 문제풀기가 끝난 후 학습결과 산출을 요청하도록 하였다. 학습결과가 산출되면 이에 따른 문항난이도와 변별도를 산출하게 되고, 문항정보합수를 산출하게 된다. 문항정보합수의 산출 이후에는 학습자에 의해 학습을 계속할 것인지 아닌지에 대한 유무 결정이 내려진다. 만일 학습을 계속한다면 문항선별을 요청하게 되는데 이때 학습결과로부터 산출된 문항정보합수 값을 기반으로 문제출제를 요청하게 된다. 만일 학습을 계속하지 않는다면 현재까지의 문항정보합수값을 저장하고 LMS를 통해 학습정보와 문제은행에 저장한다. 또한 전체 학습결과를 학습자에게 제공함으로써 학습자 스스로 학습결과를 평가할 수 있도록 하였다.

#### IV. 분석 및 평가

본 연구는 학습 시스템을 설계한 것으로서 시스

표 2와 같은 비교가 가능하였다. 본 논문에서는 문항반응이론을 제안하여 문항난이도에 적용함으로써 기존의 김남희<sup>[2]</sup>, 김명희<sup>[7]</sup>, 한금희<sup>[11]</sup>의 연구에서 제시하고 있는 문항분석 기법을 적용한 연구보다 학습자에게 보다 효율적인 문항제시가 가능하였다. 또한 김남희<sup>[2]</sup>, 김명희<sup>[7]</sup>의 연구에서는 LMS와 연동하였으며, 문항제시 및 관리의 문제은행을 이용함으로써 학습 시스템을 효율적으로 관리하였으나 학습 시스템 설계시 정형화된 기법을 사용하지 않아 각 학습 프로세스의 검증이 어려웠다. 반면 한금희<sup>[11]</sup>의 연구에서는 페트리넷을 이용하여 학습 시스템을 설계하였으나 LMS와 문제은행 등을 이용하지 않았다. 본 제안기법에서는 페트리넷을 이용하여 학습 프로세스의 운용과정을 검증할 수 있었으며, LMS와 문제은행을 이용함으로써 학습자에게 제공하는 문항들의 효율적인 관리 및 처리가 가능하였다.

표 2. 설계 기법의 항목별 비교

항목	김남희[2]	김명희[7]	한금희[11]	제안 기법
학습단원 선택	○	○	○	○
문항분석 기법	문항난이도 적용	문항난이도 적용	문항난이도 적용	문항반응이론 적용
LMS와 연동	○	○	×	○
문제은행 적용	○	○	×	○
학습 시스템의 정형화된 설계기법	없음	없음	페트리넷	페트리넷

### V. 결론

본 연구에서는 페트리넷을 이용하여 웹 기반 학습 시스템을 설계하였다. 또한 학습자의 효율적인 학습 결과 및 평가를 수행하고 이를 학습에 반영하기 위하여 문항반응이론의 2-모수 로지스틱 모형을 사용하였다. 각 학습 프로세스에서 학습자는 학습단원 선택을 통해 원하는 학습단원을 학습 전에 설정할 수 있었으며, 또한 문항난이도를 선택함으로써 자신의 학습수준에 맞는 문항을 제시받을 수 있도록 하였다. 설정된 학습자의 난이도에 따라 문제가 출제 되면 문제풀기를 수행하고 이에 대한 학습결과 산출하게 된다. 이러한 학습결과를 기반으로 문항반응 이론에서 필요한 문항난이도 및 변별도와 문항정보 함수를 산출하게 된다. 이때 학습자가 학습을 계속 하게 되면 산출된 문항정보함수 값에 의하여 학습자에게 적절한 문항을 문제은행으로부터 선별하여 제시하게 된다. 그러나 학습 종료를 원한다면 산출된 문항정보를 저장하고 현재까지의 전체 학습결과를 학습자에게 제시함으로써 학습자 스스로가 학습 결과를 정리하고 평가할 수 있도록 하였다. 이러한 각 학습 프로세스들은 페트리넷을 통해 분석 및 검증할 수 있었다.

향후 연구과제로는 설계된 학습 시스템을 개발하고 학습 대상 모집단을 구성하여 실제 그 효과를 검증하는 것이 필요하다.

### 참 고 문 헌

[1] 박인우, “교육의 관점에서 e-Learning의 방향”, 한국멀티미디어학회지 제8권 제3, 4호, 2004.

[2] 김남희, 서혜영, 박기홍, “웹 기반 수학 학습 평가 시스템의 설계 및 구현”, 한국콘텐츠학회 논문지 제7권 제6호, 2007.

[3] 강계남, “자이참조개별적응검사의 차이 점수 측정을 위한 문제은행의 특성 탐색”, 교육평가연구 제19권 제1호, 2006.

[4] 정금희, 임미경, “간호사국가시험 문항분석에 문항반응이론의 적용 가능성”, 보건의료교육평가 제2권 제1호, 2005.

[5] 오하령, 김준형, “서브넷의 동적인 특성에 기초를 둔 페트리넷 추양 방법”, 한국정보과학회 논문지 제22권 제4호, 1995.

[6] 김정렬, 조혜정, “e-Learning기반 초등 영어 수준별 과제 구성의 적용 및 효과”, 영어교육연구 제19권 3호, 2007.

[7] 김명희, 이현태, 오용선, “학습자 특성을 고려한 적응적 학습 관리 시스템의 설계 및 구현”, 한국콘텐츠학회논문지 제4권 제1호, 2004.

[8] 조여원, 최용석, “피드백을 제공하는 CAT 기반 학습시스템”, 한국컴퓨터종합학술대회 Vol. 32, No. 1, 2005.

[9] 최숙영, 양형정, 백현기, “문항반응 이론에 의한 컴퓨터 적응적 평가와 동적 학습내용 구성에 기반한 적응형 교수 시스템”, 정보과학회 논문지: 소프트웨어 및 응용 제 32권 제5호, 2005.

[10] David, R. and Alla, H.(1994), “Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems: A Survey,” Automatica, Vol.30, No.2, pp.175-202.

[11] 한금희, 정화영, 김종훈, “페트리넷을 이용한 EJB기반의 시험문제 학습 시스템 분석 및 구현”, 정보교육학회논문지, 제7권, 제3호, 2003.

정 화 영 (Hwa-Young Jeong)

정회원



1994년 2월 경희대학교 전자계산공학과 공학석사  
 2004년 8월 경희대학교 전자계산공학과 공학박사  
 2000년 3월~2005년 2월 예원예술대학교 만화게임영상학부 조교수

2004년 5월~현재 (사)한국인터넷정보학회 논문지 편집위원  
 2005년 3월~현재 경희대학교 교양학부 조교수  
 <관심분야> 소프트웨어공학, CBD, 교육공학

**홍 봉 화** (Bong-Hwa Hong)

정회원



1983년 3월 경희대학교 전자  
공학과 공학사

1992년 8월 경희대학교 전자  
공학과 공학석사

2001년 8월 경희대학교 전자  
공학과 공학박사

2002년 9월~2004년 2월 세명대  
학교 컴퓨터수리정보학과 조교수

2005년 5월~현재 경희사이버대학교 정보통신학과 부  
교수

<관심분야> 전자공학, 정보통신공학, 방송통신공학