

수준별 개별학습을 지원하는 문제은행 시스템의 설계와 구현

백소영[†] 김명^{††}

요 약

본 연구에서는 학습자의 수준에 적합한 문제를 제공하는 문제은행 시스템을 설계하고 개발하였다. 이 시스템은 CAT 기법에 응용되는 문항반응 이론을 사용하여, 현재까지의 학습결과를 바탕으로 학습자의 수준을 동적으로 계산하고, 이를 바탕으로 학습자의 수준에 가장 적절한 문제를 다음 문제로 제시하는 과정을 반복하면서 수준별 개별 학습을 지원한다. 이 시스템은 테스트 단계, 본 학습 단계와 복습 단계로 이루어진다. 테스트 단계에서는 학습자의 초기 수준을 가능한 한 정확하게 계산하여 본 학습의 수준을 정한다. 본 학습에서는 문항반응 이론에 의한 수준별 개별 학습이 이루어진다. 학습이 끝난 후, 틀린 문제를 복습하여 학습이 견고해지도록 하기 위해, 마지막으로 복습단계가 포함되어 있다. 학습결과로 제시되는 내용은 혼히 사용되는 점수가 아니라, 문항반응 이론에 의해 계산된 학습자의 능력을 절대 수치값으로 나타낸 것으로, 이를 통해 학습 능력의 향상 정도를 객관적으로 파악할 수 있도록 하였다.

Design and Implementation of a Test Bank System Dynamically Adjusting to Students' Achievement Levels

So-Young Baek[†] · Myung Kim^{††}

ABSTRACT

We developed a test bank system which dynamically adjusts to students' achievement levels. In order to dynamically calculate the student's achievement level, our system uses the question-response theory which is usually adopted to CAT. The system proposes appropriate questions depending on the students' achievement levels so that they can do self-directed and individualized learning. The system consists of pre-test, main learning, and review stages. In the pre-test stage, the intellectual level of the student is examined to determine the starting point in the main stage. In the main learning stage, individualized learning is performed. Finally, a review session is added to re-examine the questions that the student gave wrong answers. The output from the learning process of the system is not the usual test scores but the level of the student's intellectual ability which is produced through the question-response theory. The intellectual ability level index objectively measures the degree of improvement of the student's learning ability.

1. 서 론

문제은행은 시험을 치르는 피험자나, 공부하는 학습자에게 제공되는 문제들의 집합이다. 현재 개발되어 운영되고 있는 문제은행들로는 학습지, 웹사이트의 문제은행[5], 저작 도구를 통해 제작이 가능한 문제은행[6], 교육용 CD-ROM 타이틀

[†] 준회원: 이화여대 교육대학원 컴퓨터학 석사과정
^{††} 정회원: 이화여대 컴퓨터학과 교수
논문접수: 2000년 8월 7일, 심사완료: 2000년 10월 24일
이 논문은 정보통신부 우수시범대학(대학원) 지원 사업으로 수행되었음

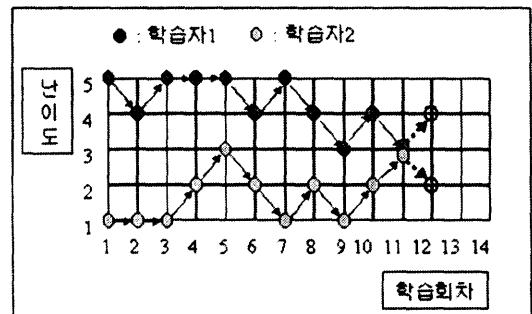
[4]등을 들 수 있다. 이들은 대체로 다양하고 풍부한 문제들을 제공하고 있지만, 피험자나 학습자 수준에 부합되는 문제들을 제공하지 못하거나, 제공한다고 하더라도 초보적인 수준에 그치고 있다. 본 연구에서는 학습자 개인의 수준에 맞는 적절한 문제들을 제공하는 문제은행 시스템을 제안한다.

지금까지 개발된 시스템들의 특징을 우선 살펴보기로 하자. 1998년에 한국교육정보 네트워크사에서 '리틀 에디슨 7.0'[4]을 개발하였고, 1999년 '대구 에듀넷' [5]의 문제은행이 개발되었는데, 이들은 학습자의 수준에 관계없는 문제들을 출제하고, 출제한 문제의 수나 순서가 고정되어 있어서 학습자는 수동적이고 정적이며 비효율적인 학습을 시킨다.

그 후, 학습자 수준이 고려된 시스템들도 개발되었는데, 그러한 시스템들로는 1999년에 개발된 WebSoft사의 '큐피'[6]와 1997년에 개발된 원광대학교의 '인터넷을 이용한 문제은행 공동저작 및 능동적 원격개별학습시스템' [1]을 들 수 있다. '큐피'는 학습자의 수준에 맞추어 문제들을 제시하기는 하지만, 학습자 수준을 구별짓는 단위가 학습 단원이다. 따라서, 학습 단원에 대한 학습정도에 따라 진도를 나갈 것인지 복습을 할 것 인지가 결정된다. 학습자 수준을 구별하는 단위가 좀 더 잘게 나뉘어져서, 학습자의 수준과 문제별 난이도를 고려한 세심한 학습을 제공하지는 못한다.

원광대학교의 '원격개별학습시스템'[1]은 메일(email) 서비스를 통해 학습자가 문제를 받아 풀어보는 시스템이다. 학습 시작 전에 자신에게 적합하다고 생각되는 난이도의 문제를 먼저 요청한다. 학습자는 메일로 제공된 일정량의 문제를 풀고, 80점 이상의 점수를 받으면 한 단계 높은 난이도를, 그렇지 않으면 한 단계 낮은 난이도의 문제들을 메일로 제공받는다. 수준별 학습에 가깝게 접근한 형태이지만 처음 제공되는 문제의 난이도는 학습자의 주관적 판단에 의해 결정되므로 실제로는 적절한 수준이 아닐 수도 있다는 단점이 있다.

이제, 이러한 이 시스템의 단점을 (그림 1)을 통해 살펴보기로 한다. 첫째, 기본실력은 무시되



(그림 1) 두 학습자의 학습 회차별 난이도 변화

고 정오답 여부만으로 난이도가 배정된다. 즉, 맞으면 한 단계 위의 난이도를, 틀리면 한 단계 아래의 난이도 문제가 제공된다. 그림 1에서 세로축은 문제의 난이도를 나타낸다. 숫자가 커질수록 문제가 어렵다는 것을 뜻한다. 학습자1은 학습자2보다 실력이 뛰어나다는 것을 즉시 알 수 있을 정도로 수준 차이가 난다. 그러나, 11회차 학습에서는 똑같이 난이도 3의 문제를 풀게 된다. 두 사람의 기본 실력이 크게 차이가 나지만, 두 학습자 모두, 그 문제를 맞추면 난이도 4로, 틀리면 난이도 2로 가게 된다. 이것이 지금까지 제공된 수준별 학습의 한계점 중의 하나이다.

둘째, 점수만으로 학생의 실력을 결정짓는다. 일반적으로, 학습 후의 성적을 점수(총 문항 당 맞은 문항 수의 백분율)로 보여주는데, 이것은 실제 학습자 능력과 상관관계가 낮다. 예를 들어, 동급의 실력을 가진 두 학습자가 있다고 할 때, 한 학생은 난이도가 높은 학습을 하여 50점을 받고, 다른 학생은 난이도가 낮은 학습을 하고 90점을 받았다고 하자. 이 때 후자의 실력이 더 뛰어나다고 잘못 판단할 수도 있다. 학습의 목적은 실력향상에 있는 것이므로, 학습 결과로써 점수보다는 학생의 능력 향상정도를 나타내 주는 것이 더 바람직할 것이다.

본 연구에서는 기존 시스템들의 단점을 보완하여 보다 향상된 학습시스템을 설계하였다. 이 시스템은 CAT (computerized adaptive testing)의 여러 기법 중 문항반응 이론[3]이 적용된 기법을 적용 및 응용한 것으로, 향상된 수준별 개별학습을 돋는 문제은행 시스템이다. 본 논문의 2절에서 문항반응이론과 본 연구를 통해 설계된 문제

은행 시스템을 소개한다. 3절에서는 연구결과와 향후 연구과제에 관해 언급하기로 한다.

2. 문항 반응 이론과 이를 적용한 문제은행 시스템

CAT 기법은 컴퓨터를 이용한 개별 적용 검사에 쓰이는 기법이다. 이는 교육 및 심리 검사를 위한 새로운 방법으로서 컴퓨터를 이용하여 개인의 특성을 잘 파악하기 위한 일종의 추정학적 기법이다[2]. 본 연구에서는 CAT 기법 중의 하나인 문항반응 이론에 근거한 문제은행 시스템을 설계하였다. 이 시스템은 “테스트”, “본 학습”, “복습”의 세 단계로 이루어지며, 각 단계마다 문항반응 이론이 적용되어, 학습자의 능력에 맞는 개별교육을 시킨다.

학습의 첫째 단계인 테스트 단계에서는 본격적인 학습에 앞서, 테스트를 통해 학습자의 능력(θ)-이하 ‘학습자 모수치’라 함-을 추정하는 단계이다. 두 번째 단계인 학습단계에서는 테스트 과정에서 추정된 학습자 능력에 가장 적절한 문제를 문제은행에서 추출하여 학습자에게 제시한다. 한 문항씩 학습이 진행될 때마다, 학습자 모수치 재추정 작업을 통해 학습자 수준에 맞는 문제가 동적으로 추출되어 제공된다. 이제 문제은행 시스템의 각 단계를 설명하고, 그 단계에 문항반응 이론이 어떻게 적용되었는가를 살펴 보기로 한다.

2.1. 테스트 단계

이 단계의 목적은 본 학습이 시작되기 전에 학생의 수준을 측정하기 위한 것이다. 학습자가 문항에 정답을 낼 확률 $P(\theta)$ 를 추정하는 데는 여러 가지 방법[3]이 있는데, 크게 정규 오자이브 모형과 로지스틱 모형으로 나눠진다. 본 연구에서는 로지스틱 모형을 적용하였고 그 이유는 정규 오자이브 모형에 비해 계산이 용이하고 문항반응이론 전개에 문제가 없는 보편화된 모형이기 때문이다. 그 중에서 난이도와 변별도를 찾기 위해 다음과 같은 2-모수 로지스틱 모형을 채택하

였다. $P(\theta)$ 의 추정은 다음과 같이 계산된다.

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

여기서, e 는 지수로서 상수 2.718이고, b 는 문항난이도 모수, a 는 문항변별도 모수, θ 는 피험자의 능력 수준을 나타낸다.

위의 식(1)에서 얻어진 $P(\theta)$ 값을 가지고 학습자 모수치를 추정단계로 넘어간다. 결합최대 우도 추정법(joint maximum likelihood estimation)이라는 방법을 통해 모수치를 반복해서 추정하다 보면 일정한 값에 수렴하고, 그 값이 바로 검사를 통해 추정된 학습자 모수치가 된다.

각 문항 모수치인 난이도(b), 변별도(a), 문항반응벡터(U : 정답시에는 1, 오답시에는 0), 학습자 모수치(θ) 초기값을 1로하여 N 개의 문항 테스트 결과를 다음 식에 적용한다. 여기서 S 는 반복하여 추정한 횟수를 의미한다. 학습자 모수치 추정 공식은 (2)와 같다.

$$\theta_{s+1} = \theta_s + \frac{\sum_{i=1}^N a_i [U_i - P_i(\theta_s)]}{\sum_{i=1}^N a_i^2 [P_i(\theta_s) \times (1 - P_i(\theta_s))]} \quad (2)$$

식(2)에서 θ 는 s 번째 반복교정을 통해 얻은 능력추정치, a_i : 문항 i 의 변별도, U_i : 피험자의 문항 i 에 대한 응답을 나타낸다.

본격적인 학습단계로 들어갈 때 식(2)에서 얻어진 수치를 참고하여 학습자 능력에 가장 알맞은 문항, 즉 최대 정보 문항을 선정할 수 있게 된다.

2.2. 본 학습단계

테스트 단계에서 계산한 학습자 모수치로 문제은행의 모든 문항들에 대해 문항 정보를 계산한다. 각 학습자 수준에 따른 각 문제의 문항정보가 달라지기 때문에 각 문항은 학습자 수준(학습

자 모수치)을 변수로 하는 함수 형태를 하게 되고 이를 문항 정보 함수(item information function)라고 한다. 2-모수 로지스틱 모형에 알맞은 함수식은 (3)과 같다.

$$I_i = a_i^2 P_i(\theta)(1 - P_i(\theta)) \quad (3)$$

이 식에서 a_i 는 문항 i 에 대한 문항 변별도 모수치, $P_i(\theta)$ 는 2모수 모형에 의한 학습자의 정답 확률, θ 는 관심의 대상이 되는 능력 수준을 나타낸다. 최대 문항 정보를 가지는 문항이 수준에 가장 적합한 것이고, 학습자에게 다음 학습할 문제로 제공된다. 그러면 시스템은 이 문제의 정, 오답 여부로 학습자 모수치를 다시 추정하고 그에 따라 최대 문항정보를 갖는 문제를 다음 학습할 문제로 제시한다. 학습이 진행되면 될 수록, 학습자 능력 추정치는 더욱 정밀해지고, 학습자의 실제 수준에 아주 근접하게 된다.

본 연구에서 개발한 학습 시스템은 기존 시스템들과는 다음과 같은 차이가 있다.

• 학습 시작 전 능력 테스트 단계

본격적인 학습을 시작하기 전에 테스트 단계를 통해 학습자의 능력을 매우 근접하게 추정하고, 이를 바탕으로 수준별 학습이 시작된다.

• 학습 회차별 누적정보를 사용한 학습자의 능력 추정

학습 시작 문항부터 계속 누적 저장된 학습 결과를 다음 문제 선정할 때 활용한다. 이 과정이 계속 될 수록 실제 학습자 능력에 보다 정교하게 근접한다.

• 학습자 능력에 맞는 문제를 문제은행에서 추출

개인 학습능력이 다르기 때문에, 학습자 능력에 적합한 난이도와 변별도를 지닌 문항들이 각 개인에게 제시된다. 학습자 능력에 맞는 수준별 학습이 이루어지는 가장 핵심적인 부분이다.

• 학습자 능력 수치를 통해 실력의 향상

정도 판단

학습의 목적은 실력향상에 있다. 따라서 점수보다는 학습자 능력으로 추정된 값을 보임으로써 실력 평가의 객관도를 높인다.

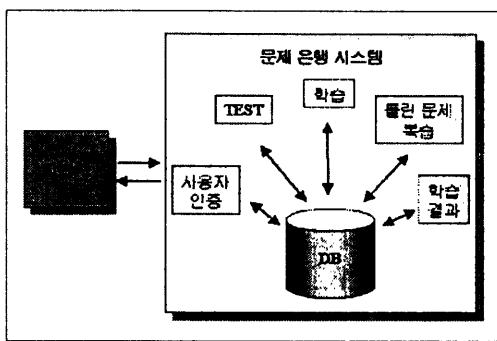
이제, 본 연구에서 개발한 문제은행 시스템을 소개한다. 본 수준별 개별 학습을 돋는 문제은행 시스템은 PC 기반의 윈도우즈 98환경에서 동작하며 윈도우즈 프로그래밍에 적합한 마이크로 소프트사의 비주얼 베이직 5.0으로 작성되었다.

학습자가 문제은행 시스템을 기동시키면 시스템은 구축되어있는 데이터베이스와 연동되어 학습 프로그램을 진행시킨다. 학습프로그램의 전체적인 구조는 (그림 2)와 같다.

시스템은 크게 사용자 인증, 테스트, 학습 후 작업으로 나뉘지며, 학습 후는 틀린 문제 복습과 학습 결과보기, 다시학습, 프로그램 종료로 나뉘진다. 학생이 원할 때 다른 단원 학습, 틀린 문제 복습, 학습 결과 보기 등을 선택할 수 있고 언제든지 학습을 종료할 수 있다. 시스템의 주요 모듈과 하는 일은 <표 1>에 요약되어 있다.

본 연구에서 설계하고 개발한 문제은행을 학습자가 사용하는 과정이 (그림3)에 있고, 시스템의 작동 과정은 (그림 4)에 있다. (그림 3)을 보면, 학습자는 테스트 단계를 거쳐서 본 학습 단계로 들어가게 되고, 본 학습 단계에서 자신의 수준에 적절한 문제들을 제공받아 공부하게 된다는 것을 알 수 있다. 학습을 종료하면, 복습 단계에서 틀린 문제풀이를 통해 자신의 실력을 향상시키게 된다. 이 시스템이 학습자에게 부가적으로 제공하는 서비스는 단원별/학습 회차별 학습 시간, 문항 당 평균 소요시간, 학습자 능력을 나타내는 수치 제공을 들 수 있다. 이 자료는 학습자가 자신의 학습과정을 돌아보면서 자신의 학습 향상 정도를 파악할 수 있도록 해 준다.

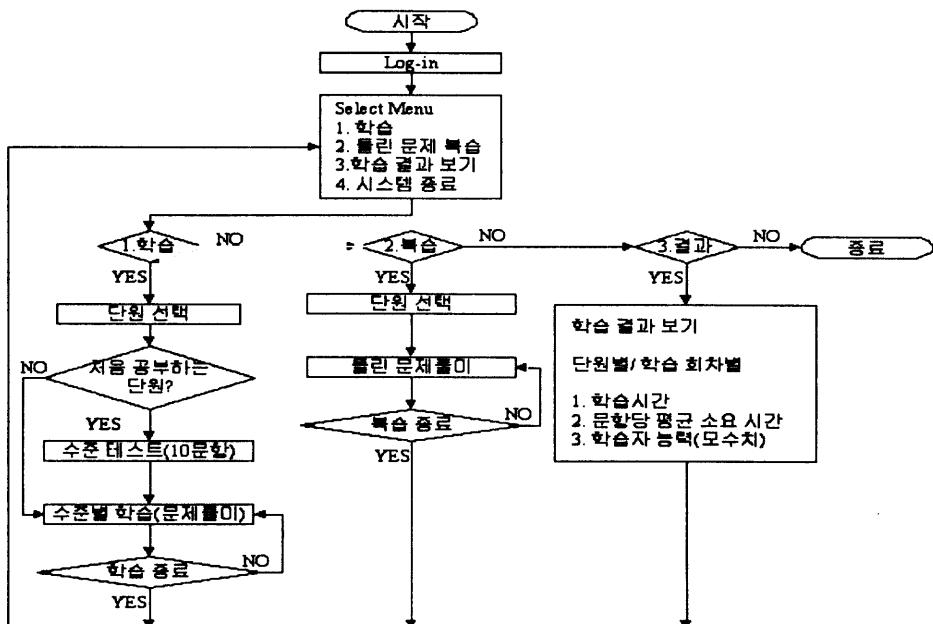
(그림 4)는 문제은행이 작동하는 과정을 보인다. 이 시스템은 각 모듈별로 데이터베이스와 연동하면서 문제들을 검색하여 제시하고, 학습 과정에 따라 파생되는 학습자 모수치와 같은 정보들을 저장한다.



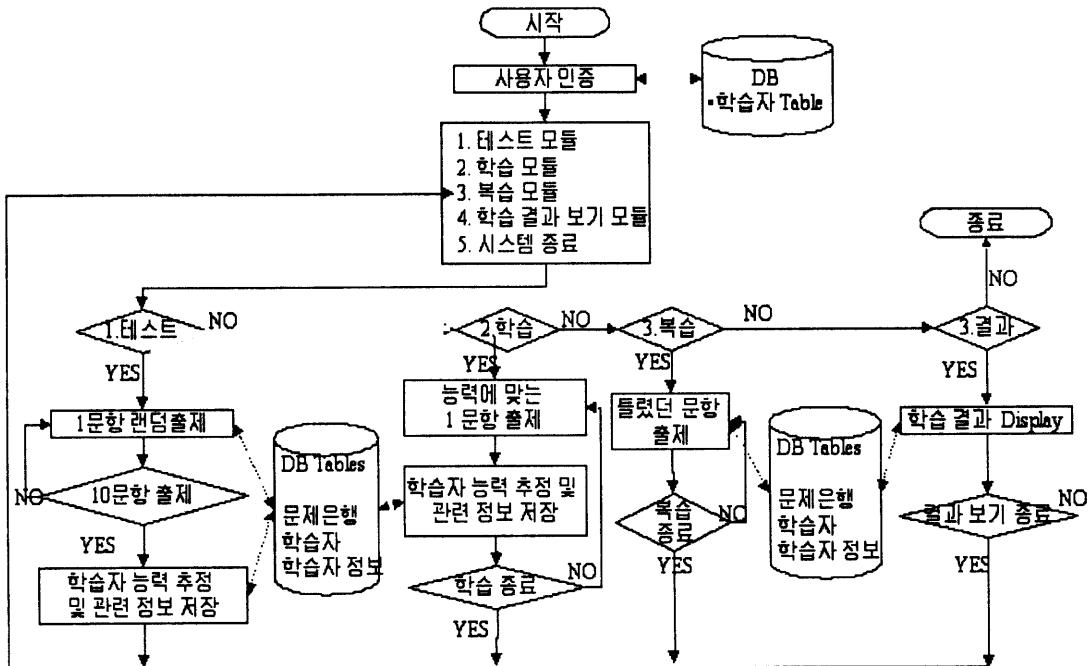
(그림 2) 문제은행 시스템 구조.

<표 1> 문제은행 시스템의 모듈별 기능.

| 모듈 | 기능 |
|----------|--|
| 사용자 인증 | 기존 또는 신규 학습자 인증을 통해 시스템 사용 허가 |
| 테스트 | 학습을 원하는 단원의 학습자 능력 추정 |
| 본 학습 | 학습자 능력에 알맞는 최적의 문제 풀이 |
| 틀린 문제 복습 | 틀린 문제 다시 학습 |
| 학습 결과 | 학습 시간, 문항당 평균 소요시간 및 학습 회차별 학습자 능력 변화 제시 |



(그림 3) 학습자 풀로우



(그림 4) 시스템 플로우

3. 결론

본 연구에서는 수준별 개별 학습이 이루어지도록 향상된 문제은행 시스템을 설계하고 구현하였다. 학습자 수준에 적절한 문제를 제시하기 위하여, 문항반응 이론을 적용하여 CAT기반 문제은행 시스템을 설계하였다. 이 시스템은 다음과 같이 3가지 특징을 갖는다. 첫째, 문항반응 이론을 적용함으로써 정교한 수준별 학습이 이루어지도록 하였다. 둘째, 검사기법인 CAT를 학습 보조 도구인 문제은행에 적절하게 변형, 응용함으로써 그 응용 범위를 확대하고 학습의 효율성을 높였다. 세째, 학습의 궁극적 목적은 실력의 변화를 피하는 것이고, 이 시스템은 학습자의 능력 변화를 학습 결과로 제시한다.

향후 연구 과제로는 본 시스템을 학습에 적용해본 후 피드백을 받아 보완작업을 통해 실제 학습 현장에 적용 및 응용이 가능하도록 하는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김대인, 이현희, 정성태, “인터넷을 이용한 문제은행 공동저작 및 능동적 원격 개별학습 시스템의 구현,” 교육공학연구, 제14권1호, pp. 1-25, 1997.
- [2] 백순근, 채선희, “컴퓨터를 이용한 개별적응 검사,” 원미사, 1998.
- [3] 성태제 편역, “문항반응이론 입문 (F.B. Baker),” 양서원, 1991.
- [4] CD-Rom Title 리틀에디슨 7.0. 개발원: (주) 한국교육정보네트워크.
- [5] <http://edu.taegu-o.ed.taegu.kr/pbank/h199912/h199911.htm>.
- [6] <http://www.cein.co.kr/qp2000.htm>.

박 소 영



1996 한국항공대학교 전산과
(이학사)
2000 이화여자대학교
교육대학원 전산교육전공
(교육학석사)
1996~1998 현대전자 메모리사업부 근무
2000~현재 동국대학교 전산원 강사
2000~현재 (주)썬스탁 인터넷팀 과장
관심분야 : 컴퓨터교육
E-Mail : vvct0186@dreamx.net



김 명

1981 이화여자대학교 수학과
(이학사)
1983 서울대학교 계산통계학과
(석사)
1993 미국 캘리포니아 주립대학교(산타바바라)
컴퓨터학 박사
1993~1994 미국 캘리포니아 주립대학교
(산타바바라) Postdoc.
1995~현재 이화여자대학교 부교수
관심분야 : 지식공학, 병렬처리, 저작도구
E-Mail : mkim@mm.ewha.ac.kr