

지식공간론을 활용한 학습과제분석 지원도구의 개발*

조형철[†] · 임진숙[†] · 김성식^{††}

요 약

정보화로 급변하는 사회는 학교 교육이 전통적인 교수-학습 방식에서 탈피하여 수업의 혁신과 효율성을 달성할 것을 요구하고 있다. 효율성 있는 수업이 되기 위해서는 학습자의 사전 지식에 대한 분석과 이에 따른 수업계획이 필요하다. 지식공간론은 학습자의 지식상태에 대한 효과적인 분석 방법을 제공해 준다. 본 연구는 지식공간론을 활용한 학습자 지식상태분석의 여러 방법들을 개발하여 교실수업의 효율성을 높이기 위한 학습과제분석 지원도구를 설계 및 구현하였다.

Development of a Tool to Support Learning Tasks Analysis Using the Knowledge Space Theory

Hyeong-Cheol Jo[†] · Jin-Sook Lim[†] · Seong-Sik Kim^{††}

ABSTRACT

This society is rapidly changing into an information-oriented society. As such, revolutionary and efficient teaching methods are needed in school education rather than traditional methods. To be an efficient teaching lesson, teaching plans based on learners' prior knowledge are needed. The knowledge-space theory provides the methods of efficient analysis about learners' status of knowledge. This study designs and implements the support-learning tool based on the knowledge-space theory to increase the efficiency in classroom lessons through the development of various methods of analysis of learners' knowledge status.

Keywords : knowledge space, knowledge structure, Prolog

1. 서 론

2004년에 마지막 12학년의 적용으로 모든 초·중·고등학교가 운영에 있게 될 제7차 교육과정

은 국가 수준의 공통성과 함께 지역, 학교, 개인 수준의 다양성을 추구하며, 자율성과 창의성을 신장하기 위한 학생중심 교육과정으로, 각 학교에서는 국가 수준 교육과정과 시·도별 지침에 따라 그 학교의 실정에 따른 학교 교육과정을 만들어 각 지역과 학교, 학생들에게 알맞은 교육을 하게 된다. 제7차 교육과정은 과거와 달리 교육과정 편성·운영에 있어서 국가 및 교육청과 학

‡ 준 회원: 한국교원대학교 컴퓨터교육과 석사과정
† 정 회원: 한국교원대학교 컴퓨터교육과 박사과정
†† 종신회원: 한국교원대학교 컴퓨터교육과 교수
논문접수: 2003년 12월 11일, 심사완료: 2003년 12월 27일
* 이 논문은 2003년도 한국교원대학교 학술연구비에서 지원된 과제임

교에서의 역할 분담을 강조하고 있다. 새 교육과정 적용의 핵심은 무엇보다도 단위 학교에서의 실질적이고 합리적인 교육과정 편성·운영에 달려 있다. 국가에서 획일적으로 정하여 일방적으로 제시하던 과거의 교육과정과는 달리, 새 교육과정은 해당 학교의 교육 여건, 학생 및 학부모의 요구 등을 종합적으로 반영하여 그 학교에 가장 적합한 학교 교육과정을 당해 학교가 직접 편성·운영할 것을 요구하고 있다[1].

특히, 제7차 교육과정의 단계형 수준별 교육과정의 운영에서 고려해야 할 사항으로 단계 진급 기준에 미달한 학생이 발생한 경우 어떤 방법으로 학습 결손을 보충시켜 일정수준에 도달하도록 할 것인지 구체적인 방법(시기, 기간, 교사배치 등)을 결정하고, 이를 위한 교과별 교수·학습 방법의 개선 및 학생수준을 고려한 보충과정 교수·학습 자료 재구성에 노력하는 것이 학교에 요구되고 있다. 이러한 시점에서 기존의 평가방식과 같이 단순히 평가점수에 따라 학습자를 측정하는 방법보다는 개별 학습자의 학습상태에 대한 보다 분석적인 도구가 요구되고 있다. 즉, 평가의 전체적인 점수가 아닌 학습요소 하나하나에 대한 개별 학습자의 지식 습득여부를 분석하는 도구가 절실히 필요하다.

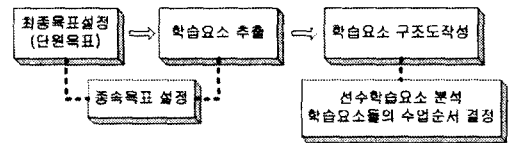
본 연구는 지식공간론의 학습자 지식상태 분석 방법을 활용하여 학습자의 학습정도 및 학습위계 분석도구를 설계하고 이를 바탕으로 효율적인 보충과정 대상자 선정방법에 대해서 연구하였다. 그리고 지식공간론의 몇 가지 제한점을 극복하고 학습자의 지식습득의 구성적 활동을 고려한 새로운 학습자 학습위계분석 방법에 대해 연구하고, 이를 이용하여 차기 교수·학습을 위한 학습과제 분석 지원도구를 설계 및 구현하였다.

2. 이론적 배경

2.1. 수업설계에서의 학습과제분석

학습목표를 명확하게 제시하여 지도함으로써 학습자의 학습력을 높이며, 가르칠 학습내용을 객관적이고 타당하게 평가하기 위해서 먼저 해

야 할 일이 학습과제를 분석하는 일이다. 어떤 내용들을 가르쳐야 하는가에 대한 학습과제(학습내용)가 구체적으로 분석되어야 그것을 기초로 해서 학습목표가 상세화되고 구체화되며, 가르칠 학습요소, 학습요소간의 관련성, 학습순서 등을 밝혀내어 효율적인 수업이 이루어질 수 있다. 학습과제가 구체적으로 타당성 있게 분석되지 않고는 수업목표가 올바르게 설정될 수 없고 그에 따른 수업방법 또한 적절하지 못하며 또 교육성과의 평가 역시 타당성을 띠기 어렵다. (그림 1)은 학습과제분석 절차를 도식화 한 것으로, 학습과제 분석이 학교학습에 있어서 모든 지적 교과 교육활동의 기초가 되기 때문에 단원지도 계획을 세울 때는 학습과제 분석에 깊은 관심을 가져야 한다[2].



(그림 1) 학습과제 분석 절차

2.2. 지식공간론을 이용한 학습과제분석

교과교육에서 평가의 주된 목적은 학습자의 학습정도를 알기 위함이다. 대부분의 교육평가에 있어서 평가 실시 후, 평가문항의 정답 분포는 학습자 개인의 학습정도에 관한 정보뿐만 아니라 평가가 충분히 많은 학생에 대해서 충실하게 수행되었다면 각 평가문항에 대한 교과내용의 정보도 포함되어 있다고 볼 수 있다. 그러므로 다수 학생에 대한 평가결과를 분석함으로써 학습내용의 위계, 지식의 상사성 등을 알 수 있다. 이와 같이 학습자 개인의 정답문항에서 얻어지는 단편적인 정보들로부터 평가에 관련되는 지식 전체에 대한 정보를 추론하는 이론을 지식공간론(knowledge space theory)이라 한다[3][4].

다양한 지식들이 서로 어떤 위계를 갖고 결합되어 있기 때문에 어떤 지식을 습득하기 위해서는 필요한 선수학습의 과정이 있으며, 그 지식의 학습을 마치면 다음 단계의 상위 위계의 지식을 학습하게 된다. 이것을 지식의 위계성에 대한

추론관계라 한다. 교과교육에서 개념의 도입단계, 난이도 등 각각의 기준에 따라 독립적으로 위계를 분석하지만, 지식공간론을 이용하여 얻은 위계는 모든 분석 기준에 기반을 둔 종합적인 위계이다[5].

지식공간론은 평가문항에 대한 구체적인 배경 지식과 관계없이 지식상태만을 토대로 이론을 전개하는 특징을 갖고 있다. 그러므로 지식상태라는 입력정보만으로 다양한 평가결과를 나타내는 유용한 출력 정보를 얻을 수 있다[6].

다수의 평가 대상자로부터 얻은 평가 결과를 다른 학습자에 대한 학습과정의 설계에 이용할 수 있다. 또한, 이것이 진단평가라면 학습자의 학습결손을 매우기 위한 과정으로도 생각할 수 있다. 지식상태를 통한 지식공간 구성으로 다수의 지식상태의 변화과정을 알 수 있는데 이러한 과정에 거리개념을 도입하면 학습경로를 구할 수 있다[5]. 이 학습경로는 학습요소들의 수업순서를 결정하는데 사용할 수 있다.

2.3. Prolog를 이용한 문제해결

Alain Colmerauer가 고안한 Prolog는 논리 프로그래밍 언어로써 Pascal, C, Ada와 같은 명령언어에 대하여 기술(descriptive)언어로 분류되고 있다[7]. Prolog 프로그래머는 프로그램에서 '어떻게 하라'는 데에 신경을 쓰지 않고 '무엇을 하라'만을 제시하면 된다[8][9].

Robert A. Kowalski는 '알고리즘(algorithm)=논리(logic)+제어(control)'라는 방정식을 만들었는데 무엇(논리)와 어떻게(제어)를 구분하는데 중점을 두고 있다. 즉, 프로그래머는 항상 제어 구성 부분을 지정할 필요가 없다[10][11].

지식공간론을 활용하여 학습자의 지식상태를 분석하고 이를 통해 학습과제분석 지원도구를 실제 프로그램으로 구현하는 다른 방법들도 많이 있을 수 있지만 본 연구에서 문제해결을 위해 Prolog를 사용하였다. Prolog를 문제해결을 위해 사용한 이유는 첫째, 지식공간론의 이론적 전개 방법이 상당히 수학적 접근방법을 사용하고 있다는데 있다. 둘째, 지식공간론에서 거론되는 여

러 개념들이 상호연관이 있는 개념들과의 관계를 정의(definition)하고 정리(theorem)를 증명하는데 치중하여 구체적인 알고리즘을 제시하는 경우는 소수에 지나지 않는다. 따라서 논리 프로그래밍 언어가 아닌 다른 언어로 이를 해결하려 한다면 그 개념을 프로그래밍하고 또한 일반적인 경우에도 적용되게 한다는 것은 실로 많은 시간과 열정을 요구하는 일이다. 하지만 Prolog를 사용한다면 실제 어떻게 해를 구할 것인지에 대한 절차를 명시하지 않아도 Prolog 내부의 제어부분에서 스스로 계산하므로 본 시스템의 문제해결에 매우 적절하다.

3. 학습과제분석 방법

본 연구에서의 학습과제분석은 학습자의 지식상태분석을 통해 학습과제의 임상적 위계를 파악하고 학습결손을 일으키는 학습요소를 찾아내어 보충과정에 대한 효과적인 정보를 제공해 주며, 다음 수업의 학습요소를 재구성하는 등의 절차로 구성된다. 이러한 학습과제분석의 하부 절차를 구현하기 위해 지식공간론을 이용한 KS방법을 설계하고, KS방법의 결점을 보완하기 위해 MKS방법 및 IKS방법을 고안한다. 또한 보충과정의 학습요소 및 대상자 선정 방법으로 EL방법을 고안하고, 다음 수업의 학습요소를 재구성하기 위한 방법으로 DL방법을 제시한다.

3.1. 지식공간 구성방법(KS방법)

학습과제분석을 위한 기본적인 접근방법으로 먼저 지식공간론의 학습자 지식상태 분석방법을 이용하도록 한다. 이를 위해 지식공간론의 몇 가지 개념에 대해 언급하도록 하자.

지식공간은 지식상태의 집합으로 구성되며, 합집합 또는 합집합과 교집합에 대해 닫혀있다. 지식공간의 지식상태들은 어떤 위계를 갖게 되며 이를 추론관계(surmise relation, 간단히 SR)나 추론계(surmise system, SS) 또는 함의(entailment, EN)로 표현할 수 있다. 역으로 추론관계나 추론계 또는 함의를 사용하여 다시 지식공간을 구성할 수 있는데, 추론관계에 의해서

구성된 지식공간은 준순서 지식공간(quasi ordinal space)을 만들고, 추론계를 통한 지식공간은 세분적 지식공간(granular knowledge space)를 만들며, 함의는 일반적인 지식공간을 만든다. 여기서 추론관계와 추론계 및 함의의 보다 정확한 정의 살펴보자. 추론관계 S는 지식구조 (Q, K) 의 모든 지식상태 K에 대해서 조건 (1)을 만족하는데, 이것의 의미는 학습요소 q' 를 습득했다면 학습요소 q 도 지식상태 K에 있을 때 관계를 qSq' 로 나타낸 것이다[12].

$$\text{만약 } qSq' \text{ 이고 } q' \in K \text{ 이면 } q \in K \text{ 이다. (1)}$$

추론계는 추론관계를 확장한 개념으로 지식상태 K에 조항(clause) C가 포함되는 속성함수 σ 를 정의하여 지식구조 (Q, σ) 를 구성한다. 조건 (2)는 추론계와 지식상태 K사이의 관계를 나타낸 것이다.

$$q \in K \text{ 이면 } C \subset K \text{ 인 } C \text{ 가 } \sigma(q) \text{ 안에 존재한다. (2)}$$

함의는 추론계를 다시 확장한 것으로 학습자가 학습요소 p_1, p_2, \dots, p_n 을 해결하지 못했을 때, 학습요소 q 도 역시 해결하지 못한다고 교사가 판단한 학습위계를 관계로 표현한 것으로 조건 (3)을 만족한다.

$$ARq \Leftrightarrow (\forall K \in K: A \cap K = \emptyset \Rightarrow q \notin K) \text{ (3)}$$

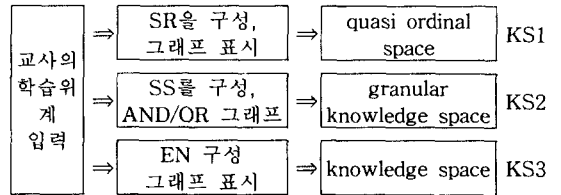
KS1방법은 합집합과 교집합에 닫혀있는 추론관계를 통해서 지식공간을 생성하고, KS2방법은 합집합에 닫혀 있는 추론계를 통해서 지식공간을 생성하여 학습자의 지식상태를 분석한다. 함의는 합집합에 닫힌 지식공간을 생성한다는 점에서 KS2와 유사하나 KS2가 각 지식상태에서 원자(atom)를 갖는 세분적 성질을 만족하는 경우로 제한된 점에서 벗어나 일반적인 지식공간을 구성한다는 점에서 다르다.

같은 지식상태에 포함된 학습요소들의 집합을 개념(notion)이라 하는데 모든 개념이 하나의 학습요소를 갖을 때 구별적이라 한다. 추론관계가 구별적이면 부분순서관계를 만족하게 되어 Hasse diagram으로 표현할 수 있다[13]. 교사가 수업 계획시에 같은 학습요소인데도 둘을 구별

하여 분류하는 일은 없을 것이기 때문에 추론관계를 구별적 지식공간으로 축약한 것으로 간주하고, 본 연구의 구현에서는 지식공간이 따로 구별적인지 아닌지는 검사하지 않고 바로 사용하였다.

지식공간을 표현하는 세 가지 방법을 통해 교사가 학습위계를 표시하고 학습자들의 평가반응을 통해 학습자의 지식상태를 분석하는 것이 바로 KS방법이다. 따라서 KS방법은 지식공간론을 그대로 적용한 방법이다.

KS방법을 도식화하면 (그림 2)와 같다.



(그림 2) KS방법

3.2. 변형된 지식공간 구성방법(MKS방법)

KS방법은 교사의 학습과제에 대한 위계를 기초를 두고 학습자의 지식상태를 분석하였는데, 여기에는 적어도 두 가지 문제점을 갖고 있다. 첫째, 교사의 학습위계를 만족하지 않는 학습자의 지식상태는 분석하지 못한다는 점이다. 둘째, 지식공간의 원소인 지식상태가 학습요소의 개수에 따라 지수적으로 증가하여 실현하기에 적절하지 않은 큰 자료가 된다는 점이다. 간단한 예로 학습요소가 100개라고 하면 최악의 경우, 지식상태의 개수는 2^{100} 개가 되기 때문이다. 학교 현장에서 학습요소수가 100개를 넘는 것은 당연하고 따라서 지식공간론을 학교교육현장에서 적용시키기 위해서는 이런 제한점을 극복할 방법을 찾을 필요가 있다. 이상의 두 가지 문제점을 극복하기 위한 방법으로 MKS방법을 고안하였다. KS방법이 교사의 학습과제위계를 추론관계나 추론계, 함의로 표현하여 지식공간을 구성하고 학습자의 지식상태를 분석하기 때문에 교사의 학습과제위계에 벗어나는 학습자의 지식상태는 구해진 지식공간에 존재하지 않게 된다.

MKS1방법은 이런 점을 해결하기 위해 먼저 학습자들의 지식상태들을 합집합 또는 합집합과 교집합에 닫히게 지식상태를 추가하여 지식공간을 구성한다. 그런 다음, 구해진 지식공간에 연관된 추론관계를 구하는 방법을 사용함으로써 모든 학습자들의 지식상태를 지식공간에 표현하는 방법이다. MKS2방법은 학습요소의 증가에 따라 지수적으로 증가하게 되는 지식상태에 대한 해결책으로 고안한 방법이다. Hockemeyer [14][15]는 학습자의 지식상태를 측정하는데 있어 많은 수의 지식상태를 갖는 지식공간의 효율적인 처리를 위해 기저(Base)를 이용하여 기존의 알고리즘에 대한 속도와 메모리에 있어서 성능향상을 가져오는 방법을 제시하였다. 그러나 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 기저를 이용하지 않고 두 SR을 병합하는 방법을 고안하여 이를 해결하려 하였다. 학교수업은 차시별로 구별되어진 학습요소들을 갖는다. 한 차시의 학습요소는 7±2가 적절하다. 그러므로 10개미만의 학습요소에 대해서 KS방법을 사용하는데 문제가 없기 때문에 한 차시에 대해서는 그대로 KS방법을 적용한다. 그러나 여러 차시에 대해서 분석하려 할 때는 문제가 된다.

n차시가 m차시보다 시간적으로 이전에 시행되었고, 현재 m차시에 대한 분석을 n차시의 학습요소와 통합하여 분석하려 한다면 다음과 같이 생각할 수 있다. m차시의 학습요소 집합을 A라 하고, n차시의 학습요소 집합을 B라 하면, m차시를 기준으로 B-A의 학습요소는 직접적으로 m차시의 학습에 영향을 받지 않다고 가정하면 B-A의 학습요소는 n차시의 학습요소이고 m차시에 독립되어 있으므로 n차시의 SR을 그대로 적용할 수 있다. 결국, m차시의 학습요소 A의 SR과 n차시의 학습요소 B-A의 SR의 합집합을 m차시를 우선하는 학습요소 A와 B에 대한 통합된 SR로 정의할 수 있다.

이렇게 m차시에서 병합된 SR을 통해서 연관된 지식공간을 구할 수 있고, 이 지식공간은 처음부터 지식공간을 구할 때와는 다르게 n차시의 학생수 정도의 지식상태와 m차시의 학생수 정도의 지식상태로 제한되고, m차시와 n차시는 동

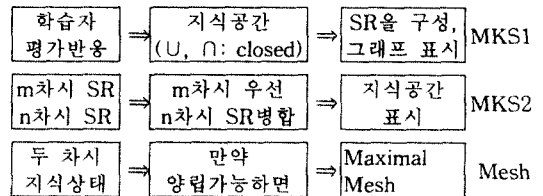
일 학습집단에서 시행된 것이기 때문에 병합된 것도 학습요소에 지수적으로 큰 지식상태가 아닌 학생수에 따른 지식상태의 수로 제한시킬 수 있다.

지식공간론에서 두 지식구조를 병합하는 방법으로 메쉬(Mesh)를 정의하고 있으므로[13] 이를 이용하는 방법도 살펴보고, 본 시스템에 구현하도록 한다. 두 지식구조 (Y, F)와 (Z, G)에 대해서 $X = Y \cup Z$ 이고 F와 G가 지식구조 (X, K)의 자취(trace)일 때 (X, K)를 (Y, F)와 (Z, G)의 메쉬라 한다. 지식구조 (Q, K)에 대해서, 식 (4)와 같은 지식구조 (A, H)의 지식상태 $A \cap K$ 를 지식상태 K에 대한 자취(trace)라 한다.

$$H = \{ X \in 2^Q \mid X = A \cap K \text{ for some } K \in K \} \quad (4)$$

그러나 메쉬가 모든 두 지식구조에 대해서 구해 질 수 있는 것은 아니다. 어떤 경우에는 없을 수도 있고, 어떤 경우에는 두 개 이상 있을 수 있다. 그래서 메쉬 가능한지를 검사하기 위해서 양립가능(compatible)을 정의하고 있다. 두 지식구조 (Y, F), (Z, G)에서, $A \in F$ 인 모든 A에 대하여 $A \cap Z$ 가 G의 Y에 대한 자취(trace)가 될 때, 양립가능하다고 하고, 양립가능하면 메쉬가능하다. 양립가능한 두 지식구조가 지식공간이라면 그 둘의 메쉬도 지식공간이 되고, 만약 구별적 지식공간이라면 그 메쉬도 구별적 지식공간이 된다[13].

MKS방법을 도식화하면 (그림 3)과 같다.



(그림 3) MKS방법

3.3. 지식공간 구성의 다른방법(KS방법)

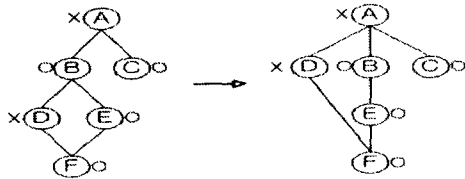
KS방법과 MKS방법은 모두 학습집단에 대해 오직 하나의 지식공간이 존재한다는 가정에서 출발한다. 그러나, 구성주의적 학습자의 지식구

성과정은 객관적이고 고정적인 인식의 틀을 부정하고 개별학습자들이 각기 다른 인식의 방법들로 학습상황에 접근함을 알 수 있다. 따라서 학습 집단 안에 상이한 여러 지식공간이 학습자 소그룹으로 존재할 수 있다. IKS방법은 이런 상이한 지식공간을 한 학습 집단 안에서 표현하기 위해서 고안하게 되었다.

IKS방법은 교사의 학습과제위계에서 출발하여 학습요소가 교사의 수업지도 활동을 통해 학습자들에게 인식되면서 교사의 학습위계에서 학습자의 학습위계로 분화되는 방법으로 접근한다. 즉 객관적이라고 교사가 믿고 있는 학습요소가 여러 학습자의 인식의 틀들에 의해 각기 다른 주관적인 학습자들의 학습위계로 변형된다는 의미이다.

IKS1방법은 이런 추론관계의 변형이 학습자의 평가반응에 의해 일정한 규칙에 따라 자동적으로 이루어지는 방법이다.

교사의 학습위계가 주어졌을 때 어떤 S학생의 지식상태가 변형 전 (그림 4)의 왼쪽과 같으면 학습요소 D는 추론관계를 만족하지 않게 되어 이 학생은 교사의 학습위계로 구성된 지식공간에서 표현되지 않는다. 따라서 (그림 4)의 오른쪽과 같이 추론관계를 변경시키고 변경된 추론관계로 생성한 지식공간은 S학생의 지식상태를 포함하게 된다.



(그림 4) SR 자동 변경 예

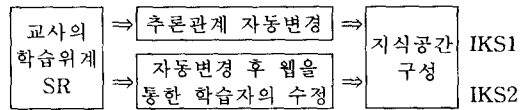
IKS1방법의 추론관계 변경 알고리즘은 (그림 5)와 같다.

학습요소 a 와 학습요소 b 사이에 $sr(a,b)$ 만족
 만약 학습자 k가 a를 습득하지 못하고
 b를 습득했을 때 추론관계 자동 변경이 실행됨
 (1) a의 부모요소 중에 학습이 안된 학습요소가
 있으면 $sr(a,b)$ 는 삭제
 (2) a의 부모요소 모두가 학습된 상태이면 a의 가장
 가까운 학습이 안된 조상을 찾아서 그 조상이
 m라면 $sr(a,m)$ 를 추가시키고 $sr(a,b)$ 를 삭제한다.

(그림 5) SR 변경 알고리즘

IKS1방법은 학습자의 지식상태가 교사의 학습위계에 위반되는 것이라면 추론관계를 변경함으로써 학습 집단에서 분화된 지식공간을 구성하는 방법이다. IKS2방법은 IKS1이 자동적으로 추론관계를 변경한다는 점에 반해, 수동적으로 개별학습자에 의해서 변경된다는 점에서 다르다. 학습자에게 자신의 학습위계에 대한 접근을 제공함으로써 자신의 지식상태와 지식공간에서의 관계를 파악할 수 있으며 이런 활동을 통해 자신이 어떤 학습요소에 대해 학습을 이루지 못했다면, 어떻게 하면 학습을 이룰 수 있을 지에 대한 해결책을 본인이 직접 찾을 수도 있기 때문에 IKS2방법은 구성주의적 학습자관에 맞는 적절한 방법이라 생각된다.

IKS방법을 도식화하면 (그림 6)과 같다.



(그림 6) IKS방법

3.4. 보충과정 대상자 선정 방법(EL방법)

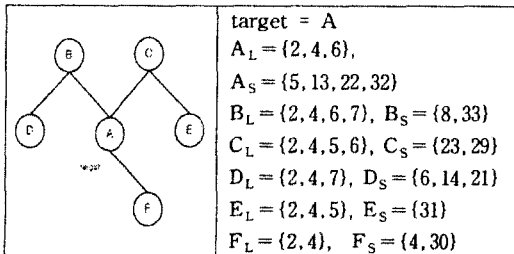
7차 교육과정에서는 단계형 수준별 교육과정이 도입되어 단계 진급기준에 미달인 학생이 발생한 경우, 어떤 방법으로 학습결손을 보충시켜 일정수준에 도달하도록 할 것인지 구체적인 방법을 결정하고, 이를 고려한 교수-학습방법의 개선에 대한 노력을 일선 학교에 요구하고 있다. 위의 요구에 대한 하나의 해결책으로 다음과 같은 EL방법을 고안하게 되었다.

수업 후 평가 자료를 통해 얻은 학습자들의 지식상태는 학습 집단을 분할하게 된다. 즉 같은 지식상태를 갖는 소그룹으로 구성되고 그 분할은 그 분할에 속해 있는 학습자수를 갖는다.

최대 학습자수를 갖는 분할에 대응하는 지식상태를 중심지식상태로 정의하면 중심지식상태의 경계에서 보충과정 학습내용을 선정하는 방법을 생각할 수 있다. EL방법은 중심지식상태의 경계에 해당하는 학습요소들은 전이가 쉬운 인접 지식상태를 포함하게 되고 보충과정 운영에서 최대 효율을 보장해 준다는 가정에서 출발한다.

EL방법의 설명에 앞서 지식공간론의 경계(fringe)에 대한 정의를 살펴보자. 지식공간 (Q, K) 에서 지식상태 K 의 경계 $F(K)$ 는 「 $q \in K$ 이면 $K - \{q\} \in K$ 이거나 $q \notin K$ 이면 $K \cup \{q\} \in K$ 」를 만족하는 학습요소의 집합이다. 조건의 앞부분이 내부경계이고, 뒷부분이 외부경계이다. 즉 경계는 지식상태에서 하나의 학습요소를 차이로 다른 지식상태로의 전이 가능한 지식상태에 대한 정보를 제공해 준다. 학습자가 현재 자신의 지식상태에서 학습부담을 최소화시키면서 습득되지 못한 학습요소로 학습을 전개하기 위한 최선책은 그 학습자의 지식상태에 대한 경계의 학습요소를 학습함으로써 접근할 수 있다. 보충과정에서 경계를 이용하는 것이므로 지식상태의 모든 학습요소는 학습자의 평가반응을 통해 지식공간으로 구성되어 있으므로 각 학습요소는 경계로 표현될 수 있다. EL방법을 간단히 설명하면 <표 1>과 같다. 단, 지식상태 K 의 학습요소를 K_L 로 표기하고, 해당 학습자 집합을 K_S 로 표기한다.

<표 1> EL방법의 예



중심지식상태를 A는 학습자를 그룹화 했을 때 가장 많은 학습자를 갖는 지식상태로 정한다. 위의 예에서 A의 외부경계는 5, 7 이고 내부경계는 6이다. 내부경계의 6의 영향을 받는 것은 지식상태 F의 학습그룹이고, 외부경계5의

영향을 받는 것은 지식상태 D이고 외부경계 7의 영향을 받는 것은 지식상태 E이다. 보충과정이 중심지식상태 A로 이루어질 경우 보충과정의 학습요소는 내부경계와 외부경계의 합집합 {5,6,7}로 되고, 보충과정 대상자들은 내부경계에 의해서 F와 외부경계에 의해서 A, D, E의 학습그룹으로 선정할 수 있다. 이 보충과정이 실시된 후 학습그룹들은 A에서 B 또는 C 혹은 B, C의 상위 지식상태로 변화 가능하고, D와 E에서는 B와 C의 상위 지식상태로, F는 A로 변화 가능하다. 각 지식상태의 학습그룹들은 보충과정의 학습요소에 대해 각기 다른 만족도를 갖게 된다. 만족도를 수치로 나타낸다면 만족도는 보충과정의 학습요소가 학습자의 필요에 비해함을 알 수 있다.

지식상태 A에 대한 만족도를 A_M 으로 나타내면, 다음과 같은 수식을 얻을 수 있다.

$$A_M = \frac{\text{지식상태 A의 필요한 학습요소수}}{\text{보충과정 학습요소수}}$$

위의 만족도 산출방법에 따라 각 보충대상 학습그룹의 만족도를 구하면, $A_M = \frac{2}{3}$, $D_M = \frac{2}{3}$,

$E_M = \frac{2}{3}$, $F_M = \frac{3}{3}$ 이고, 각 지식상태에서 얻은 만족도가 영향을 주는 학습자 수를 고려해서 다음과 같은 수식으로 만족도 총합을 구한다.

보충과정 T의 만족도 총합 =

$$\sum_{A \in T} \left\{ \frac{\text{지식상태 A의 필요한 학습요소수}}{\text{보충과정 학습요소수}} \times n(A) \right\}$$

위의 예에서의 보충과정 만족도 총합은 다음과 같다.

$$\frac{2}{3} \times 4 + \frac{2}{3} \times 3 + \frac{2}{3} \times 1 + 1 \times 2 = \frac{22}{3}$$

여기서 다시 보충과정의 중심지식상태 선택의 적절함에 대한 측정 방법으로 만족지수를 생각할 수 있다. 만족지수는 만족도 총합에 비해하고 단위 학습요소에 대한 효율성 정도로써, 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{보충과정 T의 만족지수} = \frac{\text{보충과정 T의 만족도총합}}{\text{보충과정 학습요소수}}$$

위의 예를 살펴보면 최대 학습자를 갖는 지식상태를 중심지식상태로 선택했는데 사실 내부경계에서 만족도가 1이 된다. 중심지식상태가 1인

만족도를 내게 한다면 만족도 총합은 더 커질 것이라는 생각에서 중심지식상태를 하나 이상으로 설정하여 계산을 할 수 있다. 이 방법을 EL2 방법이라 한다. EL3방법은 각 지식상태에 대한 만족지수의 값을 자동으로 계산해 출력함으로써 EL1과 EL2에서의 중심지식상태 선택을 용이하게 했다. 만족지수와 만족도 총합사이에는 단위 학습요소의 만족도에 대한 고려를 하는지 않는지에 따라 구분되어지는데 이것은 달리 생각하면 만족지수는 보충과정의 만족 정도가 보충과정의 학습요소수에 반비례하다는 가정을 둔 것이다. EL4방법은 이런 단위 학습요소에 대한 만족지수가 아닌 만족도 총합으로 각 지식상태에 대한 만족도 값을 모두 출력해서 보충과정을 결정하는 방법이다.

3.5. 수업계획 변경 방법(DL방법)

교실수업에서 단원계획은 교육과정이 요구하는 지식과 내용을 파악하여 매 수업에 대한 세부적인 계획을 세우게 된다. 이렇게 계획된 매 차시의 수업계획은 그 이전의 수업의 결과와 학습자들의 반응 및 최종 지식상태에 의해서 재조정될 필요가 있다. 수업계획 변경(DL방법)은 이런 단원 초기에 계획된 수업의 학습요소에 대한 변경 및 재조정에 대한 방법이다.

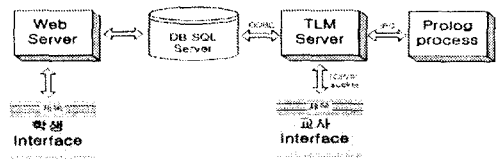
차시 수업요소가 이전 수업요소에 대해 위계적인 관계가 없는 독립적인 것이라면 학습자들이 단원 초기에 계획했던 수업요소에 대해 그대로 교수 학습활동을 전개할 수 있다. 하지만 차시수업의 학습요소가 이전의 수업요소와 위계적 관계를 갖고 있고, 그 이전의 학습요소가 학습되지 않은 학습자들이 다수 있는 경우 차시수업의 학습요소는 결손 학습요소에 대한 고려를 한 수업계획을 다시 세워야 한다. DL방법은 분리와 통합이라는 과정으로 설명할 수 있다. 분리는 하나의 학습요소를 습득된 것과 습득되지 않은 것으로 분리를 의미하고, 결합은 이전 학습활동에서 습득되지 않은 학습요소와 차시수업의 학습요소와 연관이 있는 요소들을 통합하여 새로운 학습요소로 재구성함을 의미한다. DL방법은 교사의 전문성이 무엇보다도 요구되어진다. 이런

의미에서 DL방법은 단순히 수업계획 활동에 지원도구으로써 역할을 하는 것을 목표로 한다.

DL1방법은 이전 수업요소에 대한 습득하지 못한 학습자들을 표시해 줌으로써 교사가 수업계획을 재조정하는데 편의를 제공해 주는 기능이다. 선택된 이전 수업의 학습요소는 결합될 차시 수업요소와 함께 병합되어 새로운 학습요소로 변형된다. DL2방법은 보충과정 알고리즘을 이용하여 선정된 학습요소를 병합될 학습요소로 정하고, 차시수업의 학습요소를 교사가 결정하는데 도움을 주는 방법이다.

4. 학습과제분석 지원도구 전체구조

(그림 7)은 시스템 전체구조를 나타낸 것으로, TLM(Teaching and Learning Management) server는 교사 인터페이스에서 데이터를 받아 추론엔진이 필요하면 Prolog 프로세스에 명령을 내리고, 단순히 데이터를 검색하거나 저장할 때는 DBMS에 연결을 제공하며, C++로 문제 해결이 가능한 기능들도 처리한다. TLM server와 Prolog 프로세스 사이에는 IPC 방법을 통한 데이터 전달이 이루어지고, TLM server와 DBMS 사이에는 ODBC를 통해서 데이터 전달을 하며, TLM server와 교사 인터페이스에는 TCP/IP 기반 소켓을 통해 프로세스간의 통신을 한다.



(그림 7) 학습과제분석 지원도구 전체구조

학생 인터페이스는 웹페이지를 통해서 DB에 있는 자신의 학습상태를 볼 수 있다. 본 시스템의 모든 자료는 DB에 저장하고 Prolog는 필요한 자료를 DB로부터 받아 처리한 후 결과를 다시 DB에 저장한다.

5. 구현

본 연구의 구현은 지식공간론에서 정의하는 추

론관계, 추론계, 합의, 지식상태, 지식구조, 지식공간, 경계 등의 개념들과 앞서 개발한 각 지식공간 구성방법들을 먼저 Prolog로 프로그래밍하였고, 이 추론엔진들을 손쉽게 교사가 접근하기 위해서 KS, MKS, IKS, EL, DL방법에 대한 교사 인터페이스를 C++로 구현하였다.

(그림 8)은 추론관계를 통해 지식공간을 구성하는 Prolog 프로그램인데, 학습요소 전체집합 Q의 부분집합 K에 대해 satisfyKSSR(K)를 만족하면 부분집합 K가 지식상태가 된다. 구체적으로 "A와 B가 추론관계 sr(A,B)를 만족하고, 만약 B가 K의 원소일 때 A가 K의 원소가 아니면 K는 지식상태가 아니다"라고 정의하고 있다.

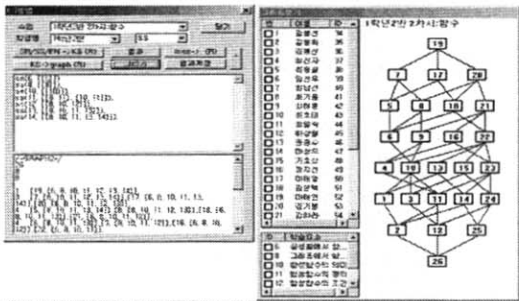
추론관계는 sr(하위 학습요소, 상위 학습요소)의 형식으로 학습요소 전체집합을 Q로 하고 그것의 모든 부분집합 중에서 sr의 위계를 만족하는 것으로 지식공간을 구성한다.

```

getsubset([], []).
getsubset([X|Y],[X|Z):- getsubset(Y,Z).
getsubset(Y,[_|Z):- getsubset(Y,Z).
satisfyKSSR(K):- sr(A,B),member(B,K),
                 not( member(A,K)),!, fail.
satisfyKSSR(_):- !.
subKSfrSR(Q,K):-getsubset(K,Q), satisfyKSSR(K).
getKSfrSR(Q,L):-setof(K,subKSfrSR(Q,K),L).
pr:-setof(X,Y^sr(X,Y),L1),getKSfrSR(L1,L),write(L).
    
```

(그림 8) 추론관계에서 지식공간 구성

(그림 9)는 KS방법에 대한 교사 인터페이스로 교사의 학습위계에 따라 지식공간을 구성하고 각 학습자의 지식상태를 파악한다.

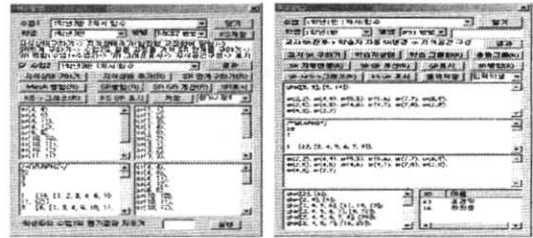


(그림 9) KS 방법

(그림 10)은 MKS방법에 대한 교사 인터페이스로 학습자의 지식상태에서 지식공간을 구하는 방

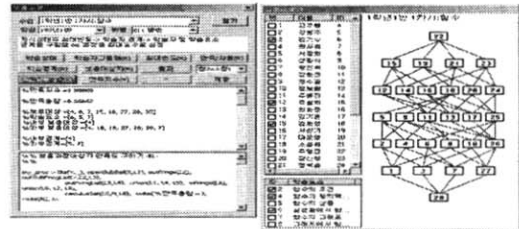
법, sr병합 또는 메쉬를 이용한 방법을 선택하여 지식공간을 구성할 수 있게 하였다.

(그림11)은 IKS방법으로 sr 자동변경 방법 또는 웹을 이용한 학습자의 자신의 학습위계 변경한 데이터를 통해 학습 집단 내에 다른 지식공간을 구성한다.



(그림 10) MKS 방법 (그림 11) IKS 방법

(그림 12)는 보충과정 대상자 선정을 위한 교사 인터페이스로 여러 방법으로 구성된 지식공간에 대해서 중심지식상태를 지정하고 이것의 경계(fringe)를 이용하여 최대 효과를 낼 보충과정의 학습요소를 선정한다.



(그림 12) EL 방법

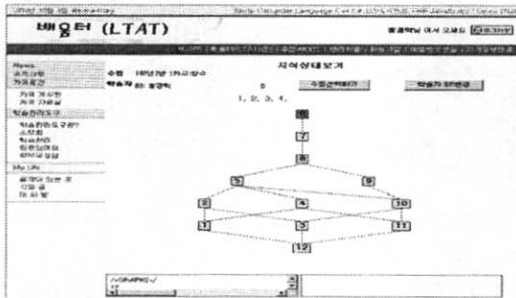
(그림 13)은 교사의 수업계획을 변경하기 위해 기존의 학습요소를 분리 또는 통합하는 작업을 보조하는 DL방법에 대한 인터페이스이다.



(그림 13) DL 방법

본 연구의 구현에서는 학습자가 직접 자신의 학습위계 및 학습집단의 지식공간을 살펴보고 이를 변경하는 작업이 학습과정에서 어려움을

해결할 수 있는 기회를 제공할 수 있다는 생각에서 학습자의 이러한 접근을 제공하기 위한 인터페이스로 (그림 14)과 같이 웹을 사용하여 구현하였다.



(그림 14) 웹을 통한 지식공간 접근

6. 결 론

본 연구는 지식공간론의 지식상태 분석방법을 여러 가지 형태로 변형하여 학습과제분석 지원 도구에 활용할 수 있는 방법을 고안하였다. KS 방법은 지식공간론의 방법을 그대로 적용한 것이다. 교사의 학습위계를 추론관계(surmise relation)로 표현하거나, 추론계(surmise system) 또는 함의(entailment)로 표현하여 지식공간을 구성하는 방법을 구현하였다. MKS 방법은 기존의 지식공간론의 몇 가지 제한점을 극복하고자 두 가지 방법을 고안한 것이다. 먼저, MKS1 방법은 지식공간이 교사의 학습위계를 벗어난 학습자의 지식상태는 배제됨을 주목하여 교사의 학습위계로 지식공간을 구성하지 않고 학습자의 지식상태들을 합집합(또는 합집합과 교집합)에 단혀 있게 지식상태를 추가하여 지식공간을 구성하는 방법으로 모든 학습자들에 대한 지식상태를 지식공간에 표현하였다. MKS2 방법은 두 차시 수업의 추론관계를 병합하는 방법을 고안하여 많은 수의 학습요소에 대한 지식공간을 구성하는데 유효적인 접근방법을 사용하였다. IKS 방법은 개별학습자들이 자기 다른 인식의 방법들로 학습상황에 접근하기 때문에 지식공간도 자기 다르게 구성할 수 있다는 가정으로 학습그룹별로 상이한 지식공간을 한 학습 집단 안에서

표현하기 위해서 고안되었다. IKS1 방법은 학습자의 평가반응을 통한 자동 구성방법인데 반해 IKS2 방법은 학습자가 스스로 자신의 학습위계를 수정하는 방법으로 지식공간을 구성하게 하였다. 지식공간론을 여러 형태로 변형한 방법들을 실제 학습과제 분석 지원도구에 적용하는 방법으로 보충과정 대상자 선정방법(EL방법)과 수업계획 변경방법(DL방법)도 고안하였다. EL 방법은 보충과정의 학습요소선정을 위해 중심지식상태를 정하여 이것의 경계(fringe)를 이용하여 학습요소와 대상자를 선정하는 방법이다. DL 방법은 차시수업에 대한 현재의 학습자의 지식상태를 반영하여 수업계획을 변경하는 것을 목적으로 고안한 방법이다. 본 연구의 지식공간론을 활용한 학습과제분석 지원도구는 학습자의 지식상태를 분석하고 보충과정 및 수업계획을 변경하는 등의 효과적인 방법을 교사에게 제공해 줌으로써 효율적인 수업을 창출할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김정수, 윤보근(2003). 일반계 고등학교 학교 교육과정 준비에서 평가까지. 교육인적자원부 교육과정 정책과.
- [2] 하영철(1993). 단위시간의 교수-학습지도의 실패. 형성출판사.
- [3] 공주대학교 과학교육연구소(2002). 원격교육과 평가. 보성.
- [4] 변두원, 박달원, 이덕호(2002). 지식공간론에 기초한 학습경로 탐색 알고리즘 연구. Report of science education vol. 33, (175-187).
- [5] 공주대학교 과학교육연구소(2002). 지식공간론입문. 보성.
- [6] 김기태, 유현창(2003). 지식공간론을 활용한 교육평가 시스템의 설계 및 구현. 컴퓨터교육학회 학술발표논문지 제7권 제1호, (201-208).
- [7] 이태욱(1999). 컴퓨터 교육론. 좋은 소프트.
- [8] 김성식(1996). 인공지능 기법. 홍릉과학출판사.
- [9] 류성렬(역)(1990). PROLOG 인터프리터. Feliks Kluzniak & Stanislaw Szpakowicz의

PROLOG FOR PROGRAMMERS.

academic press. 도서출판 세화.

[10] 류성렬(역)(1996). 문제해결논리. Robert Kowalski 의 Logic for Problem Solving. Elsevier North Holland. 동일출판사.

[11] Bratko, Ivan(1998). PROLOG. Addison-Wesley Publishing Company.

[12] Albert, D.(Ed.)(1994). Knowledge Structures. Springer-Verlag.

[13] Doignon, J.-P. & Falmagne, J.-Cl.(1999). Knowledge Spaces. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

[14] Hockemeyer, C.(1997). Using the Basis of a Knowledge Space for Determining the Fringe of a Knowledge State. *Journal of mathematical psychology*. vol. 41. (275-279).

[15] Hockemeyer, C.(2001). Automata for the Assessment of Knowledge. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*. vol. 13, no. 3, may/june 2001, (451-461).

조형철



1993 순천대학교
수학교육과(학사)
2002~현재 한국교원대학교
컴퓨터교육과 석사과정

관심분야: 인공지능, 컴퓨터교육
E-Mail: choc3@chol.com

김성식



1977 고려대학교 경영학과
(학사)
1988 미국 오리곤주립대학교
전산학과 (석사)

1992 고려대학교 전산학과 (이학박사)
1992~현재 한국교원대학교 컴퓨터교육과 교수
관심분야: 인공지능, 원격교육
E-Mail: seongkim@knue.ac.kr

임진숙



1994 창원대학교 전산학과(학사)
2001 한국교원대학교
컴퓨터교육과(석사)
2002~현재 한국교원대학교
컴퓨터교육과 박사과정

관심분야: 컴퓨터교육, 원격교육, 정보윤리교육
E-Mail: jslim@blue.knue.ac.kr