

# 지식상태 분석법을 통한 예비 물리교사들의 학년별 물리개념 위계도 분석

박상태\* · 변두원 · 이희복 · 김준태 · 육근철

공주대학교 과학교육연구소

## A Look at the Physics Concept Hierarchy of Pre-service Physics Teacher Through the Knowledge State Analysis Method

Park, Sang-Tae\* · Byun, Du-Won · Lee, Hee-bok · Kim, Jun-Tae · Yuk, Keun-Cheol

Institute of Science Education, Kongju National University

**Abstract:** In order to be efficient teachers should understand the current level of learners through diagnostic evaluation. However, it is arduous to administer a diagnostic examination in every class because of various limitations. This study examined, the major issues arising from the development of a new science diagnostic evaluation system by incorporating the using knowledge state analysis method. The proposed evaluation system was based on the knowledge state analysis method. Knowledge state analysis is a method where by a distinguished collection of knowledge uses the theory of knowledge space. The theory of knowledge space is very advantageous when analyzing knowledge in strong hierarchies like mathematics and science. It helps teaching plan through methodically analyzing a hierarchy viewpoint for students' knowledge structure. The theory can also enhance objective validity as well as support a considerable amount of data fast by using the computer. In addition, student understanding is improved through individualistic feedback. In this study, an evaluation instrument was developed that measured student learning outcome, which is unattainable from the existing method. The instrument was administered to pre-service physics teachers, and the results of student evaluation was analyzed using the theory of knowledge space. Following this, a revised diagnostic evaluation system for facilitating student individualized learning was constructed.

Key words: physics concept, hierarchy, achievement evaluation, knowledge space, knowledge state

### I. 서 론

과학교과에 대해서 제7차 교육과정이 중점을 두는 것 중 하나는 수준별 교육과정의 운영이다. 과학교과의 많은 내용은 과학적 개념의 도입 순서에 따라 서로간의 위계가 결정된다(구윤모, 김범기, 1992). 한편, 같은 과학적 개념이라도 도입의 방식에 따라 또는 응용의 대상에 따라 학습의 순서가 결정된다(정진우 등, 1996). 이상과 같은 위계는 교사의 전문성과 경험으로 분석 가능한 경우가 많다. 그러나 실제 교육에서는 의외의 위계관계가 발생할 수 있다. 여기서의 의외성은 학생들의 지식상태에 대한 교사의 판단이 잘못 되었기 때문이라 볼 수 있다. 이것은 학생에 대한 이해

의 부족으로 야기될 수 있으며, 특히 요즈음과 같이 과학문명이 급속히 발전하면서 기성세대와 신세대가 임의의 어떤 개념을 이해하기 위해 접근하는 방법과 표현 방법에 차이가 있기 때문일 수도 있다. 예를 들어 학생들이 채팅을 할 때, 교사가 볼 때는 기존의 문법과 어법에는 전혀 맞지 않는 내용으로 주고받지만, 그렇다고 해서 그 학생의 문장 이해력이나 표현력이 떨어진다고 판단하기에는 무리가 있다. 그러므로 비록 지식적인 내용이라 할지라도 이들의 위계를 학생들에게 직접 투영한 결과를 이용하는 것이 가장 바람직하다고 볼 수 있다.

학생들로부터 얻은 평가결과를 해석하는 방법은 지식공간론을 활용하면 어느 정도 가능하다. 이 이론은

\*교신저자: 박상태(stpark@kongju.ac.kr)

\*\*2005.2.24(접수) 2005.5.31(1심통과) 2005.8.28(2심통과) 2005.9.28(최종통과)

\*\*\*이 논문은 2001년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 지원되었음(KRF-2001-005-C00034)

Jean-Paul Doignon과 Jean-Claude Falmagne(1999)에 의해서 주창된 것으로 지식의 위계성에 바탕을 둔 이론이다. 그러므로 비교적 위계가 강한 과학교과와 내용에 적합하다. 또한 이 이론을 이용하여 평가결과를 해석할 때, 학생들의 점수나 성적 등의 숫자 요소를 사용하지 않고 단지 문항을 맞추었느냐 그렇지 않느냐의 사실만을 다룬다(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 그러므로 점수를 평균한다든지 하는 등의 정량화 과정에 따른 오류가 없다.

본 연구에서는 예비 물리교사들의 학년별 물리개념 평가결과를 지식공간론을 활용하여 분석하고, 이것으로부터 얻은 위계를 도식화함으로써 향후 물리교육과정 개발에 필요한 기초자료로 활용하고자함은 물론 각 개인의 개별화 학습을 위한 이정표로 활용하고자 한다.

## II. 연구방법 및 내용

### 1. 지식공간론

대부분의 교과교육 평가에서 학생들의 정답 문항은 몇 가지 유형으로 분류된다. 이것은 각 문제를 해결하기 위한 배경 지식이 어떤 관계를 갖고 있기 때문이다. 예를 들어, 두 문항에 대한 각각의 배경 지식의 상하의 위계관계를 갖고 있다면 많은 학생의 답안에서도 그 관련성이 나타날 것이다. 역으로 우리는 학생들의 평가결과를 이용하여 각 문제에 관련하는 지식의 체계를 분석하는 것이 가능하며, 이러한 이론적 근거가 지식공간론이다. 여기서 위계도의 도식화 알고리즘의 이해에 필요한 지식공간론의 일부를 소개한다(공주대학교 과학교육연구소, 2002).

평가 결과를 분석할 때, 분석 결과의 신뢰성은 학생들이 얼마나 성실한 태도로 평가에 임하였는지에 좌우된다. 평가에 어떤 학생이 성의 없이 임했다면 평가결과로부터 얻은 정보는 그 학생에 관한 참된 정보라 할 수 없다. 그러므로 합리적인 과학적 모형을 구성하기 위해서 평가에 임하는 모든 학생에 대하여 다음과 같은 두 가지 조건을 가정하기로 한다:

- (1) 모르는 문제를 우연히 맞히는 경우는 없다
- (2) 맞힐 수 있는 문제를 실수로 틀리는 경우는 없다.

모든 학생들에게 위의 두 전제가 보장되는 평가라면 가장 이상적인 평가라 할 수 있지만 실제 상황에서는 이러한 경우를 기대할 수 없다. 그러므로 이 문제에 대한 보완책으로 인정률(오차의 허용한계)을 이용하여 위의 전제를 만족하는 답안만을 골라 평가에 활용하는 방법을 택할 수 있다. 인정률에 대한 설명은

아래에 자세히 기술하였다.

본 연구에서 취급하는 평가문항은 모두 이분문항<sup>1)</sup>이다. 평가에 있어서 어떤 학생이 맞힌 문항의 집합을 지식상태(knowledge state)라 한다. 이 집합은 그 학생에 대한 지식정보를 갖고 있으며, 충분히 많은 학생이 같은 평가문항으로 평가를 받았다면 다른 학생의 지식상태와 비교하여 그 학생의 현재의 지식수준을 알 수 있을 것이다. 여기서 충분히 많은 학생에 대한 정보를 기준으로 삼는 이유는 정보를 최대한 객관화하기 위함이다. 이것은 아무리 많은 학생이 평가에 참여하더라도 학생 각자의 답안은 몇 가지의 유형으로 분류 될 것이고, 따라서 평가에 참여하는 학생의 수가 어느 정도 이상이라면 지식상태의 종류와 개수는 일정할 것으로 예상하기 때문이다. 그러므로 어떤 평가에 대해서 지식상태의 모임 전체는 대체로 하나의 형태로 결정된다고 볼 수 있다.

### 2. 위계분석법

문항 a, b에 대해서 특수한 한 학생에게 일어날 수 있는 일은 다음 Table 1의 네 가지 중 어느 하나이다. Table 1에서 ○는 그 문항을 맞힌 경우이고, ×는 그 문항을 틀린 경우이다.

**Table 1**  
Response for question a, b

a	b	No. of student
○	○	$n_1$
○	×	$n_2$
×	○	$n_3$
×	×	$n_4$

만일  $n_3=0$  이라면 b에 관련하는 내용을 학습하기 전에 a에 관한 내용을 먼저 학습하여야 할 것이다. 그러므로 이 경우 학습 위계의 의미로  $a \leq b$ 로 표기하자.  $a \leq b$ 의 의미는 “a를 학습한 후 b를 학습한다.”이다. 특히,  $n_2=0, n_3=0$ 이면  $a=b$ 로 표기한다.

관계 ‘=’는 동치관계이다(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 이것을 확인하여 보자. 만일 a와 b가 동일한 문항이면  $n_2 = n_3 = 0$ 이므로 관계 ‘=’는 반사적(reflexive)이다.  $a=b$ 라 하면 각 학생은 a, b 모두 맞히거나 a, b 모두 틀린 것을 의미한다. 그러므로 관계 ‘=’는 대칭적(symmetric)이다. 한편,  $a=b$  이고  $b=c$ 라고 가정할 때, 어떤 학생 P가 a를 맞혔으면 b를 맞혔음에 틀림없고, 그래서 c를 맞혔다고 할 수 있다. 반

1) “맞음”과 “틀림” 두 가지로 판명할 수 있는 문항

대로 이 학생이 a를 틀렸다면 b를 틀렸고 따라서 c도 틀렸다. 즉, a와 c 중에서 어느 하나만 맞힌 학생은 있을 수 없다. 그러므로 관계 '≡'는 추이적(transitive)이다.

관계 '≤'는 순서관계이다. 명백히  $a \leq a$ 이다. 만일  $a \leq b, b \leq a$ 이라 가정하면 b만 맞힌 학생도 없고 a만 맞힌 학생도 없는 경우이므로  $a=b$ 이다. 즉, 관계 '≤'는 반대칭적(anti-symmetric)이다. 만일  $a \leq b, b \leq c$ 라고 가정할 경우, 이것은 문항 a, b에 대해서 a는 틀리고 b를 맞힌 학생은 없고, 문항 b, c에 대해서는 b는 틀리고 c를 맞힌 학생은 없다는 것을 의미한다. 만일 a는 틀리고 c를 맞힌 학생이 있다면 그 학생은 b를 틀렸거나 b를 맞혔을 것이다. 만일 b를 맞혔다면 이 학생은 a는 틀리고 b를 맞힌 경우이므로 가정에 모순된다. 혹시 b를 틀렸다면 이 학생은 b는 틀리고 c를 맞힌 경우이다. 이것 역시 모순이다. 그러므로  $a \leq c$ 이다.

### 3. 인정률

앞의 순서관계를 정의할 때 인원수 0은 매우 중요한 역할을 하였다. 그러나 일반적인 평가에서는 기대하기가 힘들다. 일반적인 평가에서는 학생들의 추측에 의해서 답안이 결정되는 경우가 많다. 그래서 위의 0 대신에 상대적으로 0에 가까운 의미를 내포하도록 새로운 관계를 정의하자. 이것은 거의 0으로 본다는 의미로 인정률(오차의 허용한계)이라 부른다.

Table 1의 상황에 대해서 인정률  $m\%$  ( $m < 50$ )에 대한 관계 ' $\ll$ '를 도입하자.  $a \ll b$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$a=b \text{ 또는 } \frac{n_3}{n_2 + n_3} \times 100 \leq m$$

$a \ll b$ 의 의미는 “b를 맞힌 대부분의 학생은 a를 맞혔다”이다. 그러므로 학습의 순서를 정한다면 두 문항 사이에는 a가 b보다 하위에 위치하여야 할 것이다. 이 관계를 다음과 같이 나타낸다.

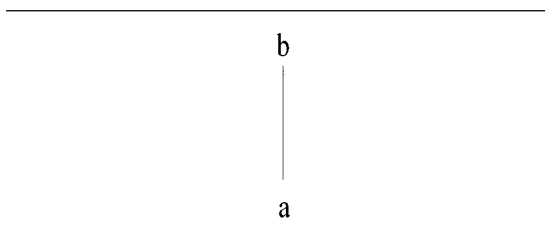


Fig. 1 Represent method of hierarchy relation

본 연구에서는 5%의 인정률을 사용하여 분석하였다. 이것은 오차의 허용한계를 5% 이내로 하여 분석하였다는 의미이다.

### 4. 위계도 그리기

본 논문에서 목표로 하는 위계의 분석과정은 평가 문항의 구체적 내용과 직접적인 관련이 없으며, 단지 이들 내용이 학생들을 통해서 나타나는 간접적 반응을 분석한다는 것에 관심을 가져야 한다. 사용한 소프트웨어는 마이크로소프트사의 오피스2000의 엑셀을 사용하였다(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 자료의 처리 순서는 다음과 같다.

- 가. 평가결과와 입력: 평가결과를 엑셀에 기록한다. 맞으면 '1'로, 틀리면 '0'으로 입력한다.
- 나. 지식상태의 선별: 지식공간론의 적용에서 가장 중요한 것이 지식상태의 선별이다. 만일 불성실하게 평가에 임한 학생의 결과는 타 학생의 결과 분석에 큰 영향을 미친다. 그러므로 앞에서 언급한 두 개의 전제조건을 만족하도록 하는 답안지만으로 자료를 처리 하여야 한다. 본 예제에서는 모든 학생이 성실하게 평가에 임하여 모든 답안이 우리의 요구조건을 만족하는 것으로 가정한다.
- 다. 위계분석: 임의의 두 문항간의 위계관계를 찾는다. 이 때 사용하는 위계의 판정방법은 앞에서 설명한 위계 분석법에 따른 것이다.
- 라. 핫세 정보: 임의의 두 문항 간에 위계관계를 모두 알고 있더라도 위계도를 작성하는 데에는 아직 불편한 요소가 많다. 예를 들어, 문항 a, b, c에 대해서 ab, bc, ac가 성립한다고 하자(여기서 a는 문항 a만 맞힌 학생들의 집단이며, ab는 문항 a와 b를 맞힌 학생들의 집단을 의미한다). 이 때, 이러한 순서를 나타내기 위해서는 관계 ab, bc만으로 충분하며, 오히려 관계 ac는 위계관계를 도식화 하는 데에 방해가 된다. 그러므로 모든 문항의 순서관계에서 추이적 관계로 생성되는 관계를 제외하여 컴퓨터의 자료처리를 단순화 시킨다.
- 마. 위계도 작성: 앞 단계에서 얻은 핫세 정보를 평면에 도식화 한다. 이 도식을 핫세 다이어그램(Hasse diagram)이라고 부른다.

### 5. 평가문항 및 평가대상

평가는 광역시 소재 국립 사범대학 물리교육과 예비 물리교사 65명을 대상으로 하였다. 학년별로는 1학년 17명, 2학년 10명, 3학년 22명, 4학년 16명이었다. 3월 둘째 주에 평가가 이루어졌기 때문에 이전 학년까지의 물리 지식상태를 볼 수 있을 것으로 예상하였다.

평가 문항은 객관식 15문항, 주관식 16문항이었으나 '맞음'과 '틀림'의 구분을 명확히 하기 위해 객관

식 문항에 대해서만 분석을 하였다. 객관식 문항은 유네스코에서 전 세계 고등학생들의 학업성취도를 분석하기 위해서 개발한 문항이다. 평가 문항별 물리개념 영역 및 내용을 살펴보면 Table 2와 같다.

**Table 2**  
*Physics concept area and content as evaluation question*

Question #	Concept area	Content of question
1	Unit	unit of gravitational constant
2	Mechanics	collision of free particle, energy and momentum conservation
3	Mechanics	calculation of position from acceleration
4	Mechanics	movement of center of mass
5	Thermo Dynamics	frictional heat, electro energy, second law of thermodynamic, efficiency of machine
6	Mechanics	pendulum of spring
7	Optics	property of sound
8	Optics	Young's experiment
9	Optics	intensity of polarized light
10	Electro Dynamics	explanation about uniform magnetic field
11	Electro Dynamics	reactance, maximum current, capacity of condenser
12	Modern physics	photo electron effect
13	Modern physics	de Broglie wave
14	Modern physics	explanation about atomic model
15	Modern physics	pair reduction

### III. 연구결과 및 논의

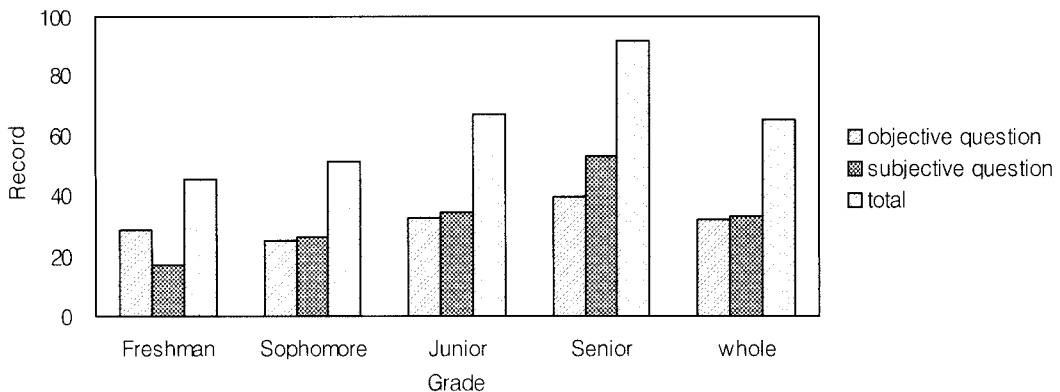
우선 지식공간론을 이용한 지식상태 분석을 하기 전에 주관식 및 객관식 평가 문항에 대한 학년별 산술적인 평균을 구해보면 다음 Fig. 2와 같다. 그림에서 보면 예상한 바와 같이 학년이 올라 갈수록 전체 평균 점수가 올라감을 알 수 있다. 그러나 객관식 평가 문항의 경우 1학년의 평균이 2학년 평균보다 높다는 것은 눈여겨 볼만하다. 이는 일반적인 상식과 상반되기 때문이기도 하지만 이러한 평균의 차이가 학생들이 갖고 있는 현재의 지식상태와는 어떻게 연결되어 있는지 규명할 필요가 있기 때문이다.

다음으로 지식공간론을 이용하여 학년별 지식상태를 분석하였을 때의 결과를 그림으로 나타내었다(변두원 등, 2004). 각 학년별 평가 결과를 전체결과와 비교하면서 각 문항들이 어떤 위계관계를 보이는지 살펴 보았다.

#### 1. 1학년 평가결과

##### 1) 1학년 및 전체결과 비교

1학년과 전체 학년의 평가결과는 Fig. 3과 같이 나타났다. 그림의 점선 네모 상자는 위계관계가 밀접한 문항들을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 1번 문항이 가장 하위 요소에 있는 것으로 보아 1학년 학생들의 대부분이 1번 문항을 맞힌 것으로 생각된다. 또한 10번 문항은 위계 관계에 있어서 상위 개념과 매우 밀접한 관계를 보이고 있다. 특히 '3'(역학), '9'(광학)번 문항의 경우 전체 평가결과에서는 위계 관계가 약하게 나타났지만 1학년 결과에서는 위계 관계에 밀접하게 관계되어 있음을 볼 수 있다. 이는 '3'번 문항의



**Fig. 2** Average record of each grade

내용이 주어진 가속도에서 물체의 위치에 대한 정보를 얻어내는 것으로서 부정적분 개념을 알고 있어야 하는데 대부분의 학생들은 적분 상수를 적절히 처리하지 못한 것으로 나타났다. 이것은 1학년 학생들 중에 고등학교에서 수학Ⅱ를 배우지 않은 학생들이 있기 때문인 것으로 생각된다. 또 한편으로는 부정적분 개념이 부족하다기 보다는 수학에서의 적분을 물리에 적용하는 능력이 떨어지는 것으로도 볼 수 있다. '9'번 문항의 경우도 부루스터(Brewster) 법칙을 알지 못하면 해결할 수 없는 내용으로 1학년 학생들의 수준에는 어려운 개념으로 볼 수 있다. 그 외에 '4', '6'번 문항과 '8', '15'번 문항은 변함없이 각각 같은 학습 단계에 있음을 알 수 있다.

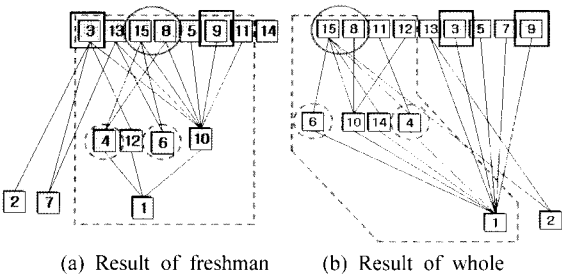


Fig. 3 Result of knowledge state analysis for physics concepts of freshman and whole

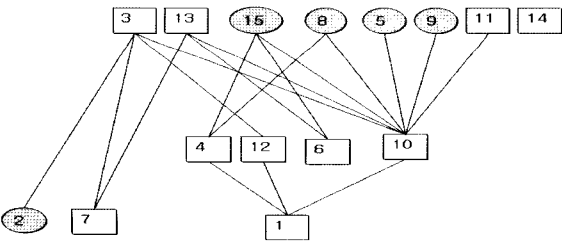


Fig. 4 Result of knowledge state for arbitrary freshman

2) 1학년 표집 학생의 지식상태 분석

지식상태 분석법에 의한 위계도를 분석할 경우, 평가 집단 전체의 위계를 알 수 있음은 물론 그 집단에 속해 있는 각 개인의 위계와 지식상태도 알 수 있다. Fig. 4는 1학년 표집 학생의 지식상태를 분석한 결과이다. 이것은 전체 위계도에서 표집 학생의 정답 또는 오답 여부를 나타낸 것이다. 그림에서 네모 모양의 문항은 정답을 맞힌 문항이며 동그라미 문항은 틀리게 답을 한 문항이다.

대체로 전체 위계에 잘 따르는 것으로 나타나 있으나 '2'번 문항의 경우는 '3'번 문항의 하위 개념임에도 불구하고 '3'번 문항은 맞히고 '2'번 문항은 틀린 것으로 보아 '3'번 문항을 정확히 알고 풀었다고는 볼

수 없다. 물론 다른 하위 개념인 '7'번, '10'번, '12'번 문항을 맞혔기 때문에 '2'번 문항에 대한 학습만 보충하는 것으로 진단을 내릴 수도 있겠으나 '3'번 문항과 관련된 개념을 보충할 필요성은 여전히 제기될 수 있다.

2. 2학년 평가결과

1) 2학년 및 전체결과 비교

2학년의 평가결과와 Fig. 5와 같이 나타났다. 역시 1번 문항이 가장 하위 요소에 있는 것으로 보아 2학년 학생들도 대부분 1번 문항을 맞힌 것으로 생각된다. Fig. 5 (a)에서 점선 네모 상자가 2개 있는데 이는 밀접한 위계관계에 있는 개념의 전개과정을 두 그룹으로 나눌 수 있기 때문이다. 1학년 보다는 2학년에서 좀 더 세분화 된 위계관계(4단계 위계관계)를 보임을 알 수 있다. 1학년에서의 경우와 마찬가지로 2학년의 결과에서도 여전히 '3'(역학), '9'(광학)번 문항이 위계관계에 밀접하게 관련되어 있음을 볼 수 있다. 그러나 1학년의 결과와 달리 최상위 개념이 아닌 중간 단계에 머물러 있는 것으로 보아 1학년에 비해 부정적분에 대한 이해를 잘 하고 있거나 적분 개념을 물리 개념에 잘 적용할 수 있음을 알 수 있다. '9'번 문항도 역시 마찬가지로 1학년 보다는 부루스터(Brewster) 법칙을 잘 이해하고 있는 것으로 해석할 수 있다.

2) 2학년 표집 학생의 지식상태 분석

Fig. 6은 2학년 표집 학생의 지식상태를 분석한 결과이다. Fig. 4와 마찬가지로 네모 모양의 문항은 정답을 맞힌 문항이며 동그라미 문항은 틀리게 답을 한 문항이다.

Fig. 5 (a)의 두 위계 그룹과 비교해 볼 때, 2학년 표집 학생의 지식상태는 오른쪽 위계 그룹에 속하는 문항의 개념은 매우 잘 정립되어 있으나 반대로 왼쪽 위계 그룹에 속하는 문항의 개념은 매우 부진함을 알 수 있다.

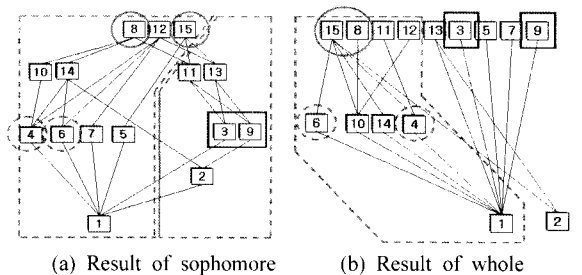


Fig. 5 Result of knowledge state analysis for physics concepts of sophomore and whole

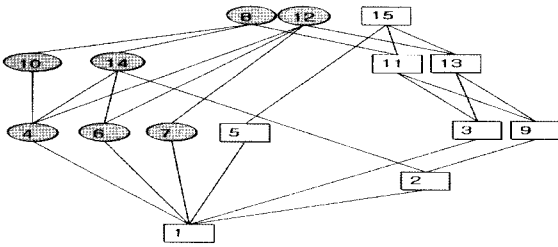


Fig. 6 Result of knowledge state for arbitrary sophomore

3. 3학년 평가결과

1) 3학년 및 전체결과 비교

3학년의 평가결과는 Fig. 7과 같이 나타났다. 2학년 평가결과와 마찬가지로 위계 그룹이 2개로 나타나 있다. 여기서도 1번 문항이 가장 하위 요소에 있는 것으로 보아 대부분의 학생들이 1번 문항을 맞힌 것으로 생각된다. 2학년의 평가결과와 마찬가지로 2개의 붉은색 네모 상자가 있는데, 밀접한 위계관계에 있는 위계 그룹이 2개가 있기 때문이다. 또한 거의 같은 세분화 된 위계관계(4단계 위계관계)를 보이고 있으며, ‘3’(역학), ‘9’(광학)번 문항이 위계관계에 밀접하게 관련되어 있음을 볼 수 있다.

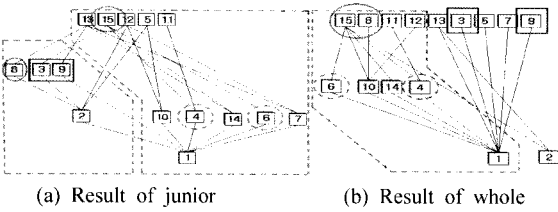


Fig. 7 Result of knowledge state analysis for physics concepts of junior and whole

2) 3학년 표집 학생의 지식상태 분석

Fig. 8은 3학년 표집 학생의 지식상태를 분석한 결과이다. 그림에서 이 학생은 두 번째 단계까지의 개념은 잘 알고 있으나 그 상위 개념에 대해서는 매우 부실하다는 것을 알 수 있다. 즉 기초개념은 어느 정도 정립되어 있으나 그 상위 개념에 대한 학습이 필요하다는 것을 한 눈에 알 수 있다.

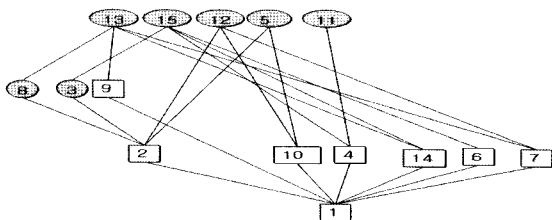


Fig. 8 Result of knowledge state for arbitrary junior

4. 4학년 평가결과

1) 4학년 및 전체결과 비교

4학년의 평가결과는 Fig. 9와 같이 나타났다. 4학년 평가결과는 다른 학년의 경우와 달리 위계 구조가 매우 단순화 되어 있음을 알 수 있으며 위계구조에 전혀 얽혀 있지 않은 문항도 매우 많이 나타나 있다. 이것은 본 평가결과의 위계구조에 관계없이 다른 경로나 다른 개념을 이용하여 문제를 해결할 수 있다는 의미이기도 하며 그만큼 문제 해결을 위한 다양한 방법을 알고 있다는 의미이기도 하다. 또한 1, 2, 3학년에서 나타난 ‘3’번, ‘9’번 문항의 문제점은 4학년에서는 나타나지 않았다. 즉, 4학년 학생들은 적분개념을 물리 개념에 잘 적용하고 있으며 부루스터(Brewster) 법칙도 잘 알고 있는 것으로 판단할 수 있다. 그리고 ‘10’, ‘13’, ‘11’번 문항은 다른 학년에서는 상위에 놓여 있는 개념이지만 4학년의 경우에는 최하위의 개념으로 나타난 것도 눈여겨 볼만하다. 그러나 ‘15’, ‘8’번 문항은 여전히 상위 개념으로 나타난 것으로 보아 이들 문항은 전 학년에 걸쳐 매우 어려운 개념이라는 것을 알 수 있다.

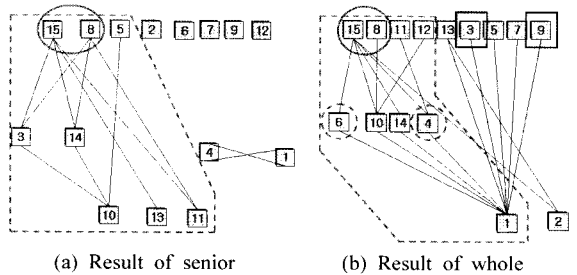


Fig. 9 Result of knowledge state analysis for physics concepts of senior and whole

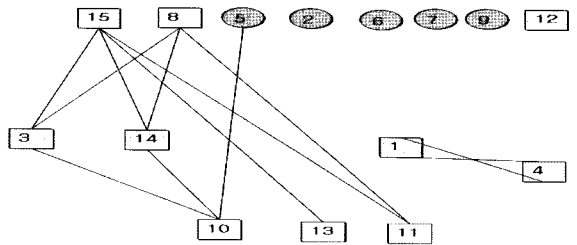


Fig. 10 Result of knowledge state for arbitrary senior

2) 4학년 표집 학생의 지식상태 분석

Fig. 10은 표집 4학년 학생의 지식상태를 분석한 결과이다. 그림에서 이 학생은 위계관계에 놓여 있는 문제는 모두 맞혔으나 위계관계와 동떨어진 문제는 모두 틀린 것으로 나타났다. 이것은 위계관계를 갖고 있는 이외의 다른 개념으

로 문제를 해결할 수 있는 능력이 부족하다는 것을 의미한다. 따라서 같은 개념이라도 다양한 문제해결 방법을 가르칠 필요가 있다.

#### IV. 결론 및 제언

교육평가는 접근하는 시각에 따라서 여러 가지 유형으로 구분할 수 있다. 특히 교수자의 수업 진행과 관련하여 평가가 수행되는 시기에 따른 유형으로써 진단평가, 형성평가 및 총괄평가로 구분할 수 있다. 진단평가는 효과적이고 능률적으로 교수-학습활동을 전개하는 데 필요한 교수 전략을 세우기 위하여 수업을 시작하기 전에 학습자가 갖추고 있는 특성, 이전의 학습 수행 정도 등을 진단하는 평가이다(유선경, 이미정, 2003). 그러나 진단평가의 경우 대체로 전체 성적에 대한 자료만 있을 뿐 문항에 포함된 여러 학습 개념에 대한 세세한 평가(문항과 문항과의 관계)는 전혀 알 수 없다. 예를 들어 같은 점수를 받은 두 학생 영희와 철수가 있다고 하자. 영희는 물리개념 중에서 역학과 관련된 문항은 거의 맞았지만 전자기학과 관련된 문항은 거의 틀렸고 철수는 이와 반대의 결과가 나왔다고 할 때 두 학생의 점수가 같다고 해서 이 두 학생의 지도 방법을 일률적으로 해도 될 것인가?

이러한 측면에서 볼 때 본 연구의 결과는 기존의 평가방법으로는 알 수 없는 평가 문항과 문항간의 관계(특히 위계도)를 제시해 주었다는 점에서 많은 시사점을 찾을 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구에서는 예비 물리교사들의 학년별 물리 개념의 위계도를 살펴보았다. Fig. 2에서와 같이 기존의 단순 산술 평균 성적을 보았을 때 학년이 올라 갈수록 평균 점수가 높았다. 이는 어쩌면 당연한 결과이며 여기서 학생들을 지도하기 위한 어떠한 정보도 얻을 수 없다. 그러나 지식공간론을 이용한 위계분석 결과를 보았을 때는 기존의 산술 평균에서 볼 수 없는 여러 가지 의미 있는 결과를 볼 수 있었다. 전체 학생들을 대상으로 한 결과에서는 위계관계가 약한 문항이 1학년의 경우에는 매우 강한 위계관계 속에 포함되는 것을 보았다. 이러한 현상은 1학년뿐만 아니라 2학년과 3학년의 경우에도 나타났다. 그러나 4학년의 위계도는 매우 간단한 모양을 나타내었는데 이는 다른 학년에 비해 4학년 학생들이 많은 물리 개념을 알고 있기 때문에 문항에 제시된 이외의 개념 지식으로 문제를 해결하였다는 것을 의미하는 것이다. 이것은 다시 말해서, 지식의 수준이 높은 학생은 하나를 가르쳐 주면 열을 알기 때문에 학습의 단계를 세밀하게 하지 않고 몇 단계씩 건너뛰어도 된다는 말과도 같은 의미이다.

전체적으로는 모든 학생들이 '15', '8'번 문항을 매우 어려워하는 것으로 나타났으며 2, 3학년의 위계도가 다른 학년에 비해 좀 더 복잡한 위계관계를 나타내고 있다. 또한 '4'번, '6'번 그리고 '15'번, '8'번의 위계 단계는 전 학년을 통하여 전혀 변함이 없었다.

본 연구는 평가문항 수가 적고 평가시험에 응시했던 학생 수가 적었다는 한계점을 갖고 있지만 앞에서 언급했던 것처럼 기존의 통계적 자료에서는 볼 수 없는 학생들에 대한 여러 가지 의미 있는 정보를 얻을 수 있었다. 평가대상 집단의 크기는 어떤 평가 도구를 사용하더라도 평가결과에 신뢰성을 높이기 위해서 항상 고민해야 할 부분이다. 특히 본 연구와 같이 지식공간론을 이용한 평가도구와 같이 잘 알려지지 않은 평가도구에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 문항 수에 따른 집단의 최소 크기가 얼마인지에 대한 연구가 반드시 이루어져야 할 것이다. 이러한 연구가 충분히 뒷받침되었을 때, 본 연구의 결과는 학생들을 평가하여 앞으로의 진로지도나 학습지도를 하는데 매우 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라 평가 집단에 적합한 교육과정을 수립하는데도 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 국문 요약

평가는 학생들이 배워야 하는 가장 중요한 것들을 반영해야 한다. 지금까지 학교교육에서의 대부분의 평가는 학력의 측정에 목적을 두고 실시하였으며 실력 진단평가와 형성평가를 실시하였더라도 그 평가결과를 유용하게 활용하는 경우는 드물었다. 이러한 원인은 평가결과로부터 개인별 정보를 얻을 수 있는 도구가 없었기 때문이다. 본 연구에서는 그동안의 평가결과로부터 얻을 수 없었던 집단별, 개인별 정보를 끄집어 낼 수 있는 평가도구를 소개하고 있다. 본 연구에서는 학생들의 평가결과를 지식공간론을 활용하여 분석하고, 이것으로부터 개인의 향후 학습지도를 위한 이정표를 제시하였다. 지식공간론은 수학이나 과학과 같이 비교적 위계관계가 강한 학문에 매우 유용하게 이용될 수 있으며, 평가를 통해 학생들이 구성하는 지식구조를 지식의 위계라는 관점에서 정확히 분석함으로써 효과적인 물리교육을 도모할 수 있다. 특히, 처리 과정을 컴퓨터시스템을 이용하여 정확하고 빠르게 처리할 수 있음은 물론 객관적 타당도를 높이고 많은 양의 자료를 효율적으로 처리할 수 있다. 더 나아가서 개개인에 대해 실질적으로 도움을 줄 수 있는 피드백을 제시하여 학생들의 이해를 증진시킬 수 있다. 본 연구에서는 물리 성취도 평가 문항에 대하여 지식공

간론을 적용하여 예비 물리교사들의 학년별 평가결과를 분석하고, 그 결과를 토대로 향후 물리교육을 위한 효율적인 교육과정 개발에 기초자료로 활용하고자 한다.

## 참고문헌

공주대학교 과학교육연구소 (2002). 지식공간론 입문. 대전: 도서출판 보성.

교육인적자원부 (1998). 제7차 초·중등학교 교육과정의 개요. 교육인적자원부 홈페이지(<http://www.moe.go.kr>)에서 제공.

구윤모, 김범기 (1992). 논리사고 수준과 문제 맥락에 따른 물리 개념의 위계구조. 물리교육, 10(2), 106-113.

변두원, 정인철, 박달원, 노영순, 김승동(2004). 수학교육에서 평가결과에 기초한 개별화 학습과정의 위계도. 한국수학교육학회지, 43(1), 75-85.

유선경, 이미정 (2003). 교수방법의 효율화를 위한 웹기반 진단평가 시스템 설계 및 구현. 한국컴퓨터교육학회지, 6(3), 197-205.

정진우, 조선형, 임청환 (1996). 과학개념의 위계적 분석 및 그 적용을 통한 교수 효과와 과학교육과정 계열성의 타당화 평가 연구. 한국과학교육학회지, 16(1), 1-12.

AAAS(American association for the advancement of science). (1990). Science for all Americans, Project 2061. New York: Oxford University Press.

Doignon, J. & Falmagne, J. (1999). Knowledge Spaces. Berlin, Germany: Springer-Verlag.

Hiebert, J. & Lefevre, P. (1986). Conceptual and procedural knowledge in mathematics: An introductory analysis, In J. Hiebert (Ed.), Conceptual and procedural knowledge: The case of mathematics (pp. 1-27). Hillsdale, NJ: Erlbaum.