

지식공간론에 기초한 천문학적 공간개념의 위계 분석

윤마병^{1,*} · 김희수²

¹대전둔산여자고등학교, 302-171, 대전 서구 갈마동 823

²공주대학교 지구과학교육과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

Hierarchical Analysis of Astronomical Space Concepts Based on the Knowledge Space Theory

Ma-Byong Yoon^{1,*} and Hee-Soo Kim²

¹Daejeon Dunsan Girl's High School, Daejeon 302-171, Korea

²Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

Abstract: High school students' understanding hierarchy of astronomical concepts and an individual student's knowledge state are analyzed by using the knowledge space theory that allows one to infer an individual's entire knowledge on a subject based on fragmentary information coming from that student's answers. The hierarchy of astronomical space concepts is: spatial position ≪ spatial reasoning ≪ spatial variation. In addition, an analysis of assessment materials using the knowledge space theory shows not only the relationship of assessment questions but also the knowledge state of individual students, which the current evaluation method is not able to reveal. Therefore, the assessment analysis of this study using the knowledge space theory becomes critically instrumental in providing information of an instructional differentiation amenable to individual learners for deciding their level of understanding and selecting suitable curriculum.

Keywords: knowledge space theory, astronomical space concept, hierarchy, knowledge state

요약: 학습자의 개별 정답 문항에서 얻어지는 단편적인 정보들로부터 평가에 관련되는 지식 전체에 대한 정보를 추론할 수 있는 지식공간론을 활용하여 고등학생의 천문학적 공간개념에 대한 위계와 개별 학생의 지식상태를 분석하였다. 천문학적 공간개념을 구성하는 요인의 위계는 '공간위치 ≪ 공간추리 ≪ 공간변화'로 분석되었다. 또한 지식공간론을 활용한 평가 자료의 분석은 기존의 평가 방법으로는 알 수 없었던 평가 문항과 문항 간의 관계와 학생 개인의 지식상태를 알 수 있게 함으로서 학습자의 수준별 개별화 학습과 교육과정 선정에서 많은 시사점을 찾을 수 있다.

주요어: 지식공간론, 천문학적 공간개념, 위계, 지식상태

서론

연구의 필요성 및 목적

지구과학 교과에서 천체의 운동 관련 단원은 학생들의 공간 지각 능력과 상상력을 필요로 하는 3차원 공간에서 이루어지는 현상으로서 학생들이 이해하고 접근하기 어려워하는 영역으로 인식되어 왔다(김상달 외, 2005; NRC, 1996). 그래서 천문학을 공부하는 많은 학생들이 천체의 운동에 대한 학습을 꺼리며

개념 습득 정도를 확인하기 위한 평가에서도 단순 암기에 의한 응답과 피상적 직관으로 대답하는 경향이 많다(AAAS, 1993). 그리고 어려서 접한 비과학적이고 유년적인 개념에서 벗어나지 못한 채 천체의 운동을 이해하지 못하는 부분으로 남겨 놓아서(김희수 외, 2003; 변재성 외, 2004), 이전의 시·공간적 감각의 미비가 새로운 천문학 개념의 이해를 방해하는 요인으로 작용하고 있다(구자홍, 2000, 명전옥, 2001). 한편, Tracy(1990)는 공간능력과 과학 성취도와의 관계에서 남녀 간의 차이는 없고, 공간능력이 높은 학생들이 낮은 학생들 보다 과학성취도가 높다는 것을 밝혔다. Smith and Schroeder(1979)도 공간능력이 높은 학생의 학업성취도가 더 높았음을 연구

*Corresponding author: mabyong@hanmail.net

Tel: 82-10-3450-6594

Fax: 82-42-863-5488

했고, 김범기 외(1996)도 공간능력은 과학 개념의 획득에 중요한 요소로 작용한다고 했다.

개념의 위계 구조는 학습자가 직면한 학습과제에서 좀 더 높은 수준에 있는 기능을 성공적으로 수행하기 위한 필수적인 요소이다(정진우 외, 1996; Bergan, 1980). 또한 최종적인 학습목표에 도달하기 위해서 어떤 학습 요소나 기능을 먼저 학습해야 하는지를 명확히 알 수 있게 한다. 즉 과학 개념의 위계는 하위기능과 상위기능들 사이의 유기적 관련성과 순서를 알게 함으로서 학습목표 도달이 쉽게 이루어질 수 있도록 한다. 그러므로 선행학습의 개념이 위계된 후행학습에서는 선행학습의 개념과 학습자의 지식상태를 진단하고, 결손 개념의 원인을 분석하여 결손을 처치하는 교수 학습이 필요하며(김범기 외, 1996), 교육과정의 계열화와 교수 학습 과정에서 학습자의 개념적 위계 수준이 고려되어야 한다. 이를 위하여 학습 단원에서 습득하게 되는 개념과 학생의 개별적 지식상태(사고유형)를 분석하고, 이에 따라 교실 수업 전략을 수립하여 교수 학습을 해야 한다.

본 연구의 목적은 과학 개념의 위계 관계와 학습자의 지식상태를 분석할 수 있는 지식공간론의 적용 방안을 논의하고, 이를 활용하여 고등학생들의 천문학적 공간개념에 대한 위계와 학습자 개별의 지식상태를 분석하는 것이다. 또한 분석된 위계 구조와 지식상태도를 이용하여 교육과정과 학습자의 개별화 학습에 관한 적용 방안을 연구하였다.

지식공간론을 활용한 개념의 위계 분석

지금까지 학습 개념의 위계 분석은 주로 서열화 이론(ordering theory)에 의해 문항들이나 학습과제 속에 내재된 서열 관계, 또는 상호 논리적인 계열성을 결정했다(임청환과 김학목, 1994; Bart, 1976). Airasian and Bart(1975)은 교수 학습의 연계성은 위계적이어야 하고, 연계성이 있는 학습계열에서 학습과제의 완전학습은 기존의 연계적인 과제의 완전학습에 달려 있다고 지적하며, 이런 위계의 검증 방법으로 Conditional difficulty index를 제시하여 서열화 이론의 기초를 제시했다. Bart and Krus(1973)는 서열화 이론을 이용한 사회적 죄의식에 대한 위계 분석을 통해 이 이론이 학습 과제들 사이의 논리적 관련성, 문항들 사이의 위계 분석에 좋은 방법이라고 했다. 그러나 서열화 이론은 개념들 간의 불확증적인 허용오차를 인정해야 하는 제한점을 갖고 있으며(임

청환, 1992), 개별 학습자에 대한 구체적인 정보(지식 상태, 개념의 위계 구조)를 제공하지 못한다.

교수-학습의 과정에서 평가의 주된 목적은 학습자의 학습 정도를 알기 위함인데, 평가문항에 대한 학습자의 정답 분포는 학습자 개인의 학습 정도에 관한 정보뿐만 아니라, 평가가 충분히 많은 학생에 대해서 수행되었다면 각 평가 문항에 대한 교과 내용의 정보도 포함되어 있다고 볼 수 있다. 그러므로 다수 학생에 대한 평가 결과를 분석함으로써 학습 내용의 위계를 알아 낼 수 있다. 이와 같이 학습자 개인의 정답 문항에서 얻어지는 단편적인 정보들로부터 평가에 관련되는 지식 전체에 대한 정보를 추론하는 이론을 지식공간론(knowledge space theory)이라고 한다(김승동 외, 2002).

지식공간론의 적용 방법과 절차

최근 지식공간론을 활용하여 학습자가 갖고 있는 개념의 위계를 분석하는 방법이 제안되고 있는데(김석천 외, 2007; 변두원 외, 2004), 이 이론은 Doignon and Falmagne(1999)에 의해서 주창된 것으로 지식의 위계성에 바탕을 두고, 개념 위계와 학습자의 지식상태를 분석할 수 있는 좋은 방법이다. 이 이론을 이용하여 평가결과를 해석할 때, 학생들의 점수나 성적 등의 숫자 요소를 사용하지 않고, 단지 문항을 맞추었느냐 그렇지 않느냐의 사실만을 다룬다. 그러므로 점수를 평균하는 정량화 과정에 따른 오류가 없다(김승동 외, 2002). 또한 지식공간론을 활용한 지식상태 분석은 학습 과제에 대한 개념의 위계뿐만 아니라, 개별 학생에 대한 지식상태를 제공하고 있어서 개별화 학습에도 적용할 수 있다(박상태 외, 2005; 변두원 외, 2002).

대부분의 교과교육 평가에서 학생들의 정답 문항은 몇 가지 유형으로 분류되는데, 이것은 각 문제를 해결하기 위한 배경 지식이 어떤 관계를 갖고 있기 때문이다. 예를 들어, 두 문항에 대한 각각의 배경 지식이 상하의 위계 관계를 갖고 있다면 많은 학생의 답안에서도 그 관련성이 나타날 것이다. 역으로 본 연구에서는 학생들의 평가 결과를 이용하여 각 문제에 관련하는 지식의 체계를 분석하는 것이 가능하며, 이러한 이론적 근거가 지식공간론이다. 여기서는 위계도의 도식화와 분석 알고리즘의 이해에 필요한 지식공간론의 일부를 소개하도록 한다(김승동 외, 2002; 변두원 외, 2004).

평가 결과를 분석할 때 분석 결과의 신뢰성은 학생들이 얼마나 성실한 태도로 평가에 임하였는지에 좌우된다. 평가에 어떤 학생이 성의 없이 임했다면 평가 결과로부터 얻은 정보는 그 학생에 관한 참된 정보라 할 수 없다. 그러므로 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.

일반적으로 모르는 문제도 운 좋게 맞히는 경우가 있고, 이는 문제라 할지라도 상황에 따라 틀릴 수도 있다. 그러므로 이에 대한 보완책으로 위의 전제를 만족하는 답안만을 골라 평가에 활용하는 방법을 택할 수 있다. 또 다른 방법으로 위의 조건을 벗어난 경우는 일반적으로 소수의 학생들이므로 이들의 평가 결과가 전체적인 결과에 영향을 주지 않는 방법으로 분석할 것이다.

본 연구에서 취급하는 평가문항은 모두 ‘맞음’과 ‘틀림’으로 판명할 수 있는 이분문항이며 어떤 학생이 맞힌 문항의 집합을 지식상태(knowledge state)라고 한다. 이 집합은 그 학생에 대한 지식정보를 갖고 있으며, 충분히 많은 학생이 같은 평가문항으로 평가를 받았다면 다른 학생의 지식상태와 비교하여 그 학생의 지식 수준을 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 분류될 것이고, 따라서 평가에 참여하는 학생의 수가 어느 정도 이상이라면 지식상태의 종류와 개수는 일정할 것으로 예상하기 때문이다. 그러므로 어떤 평가에 대해서 지식상태의 모임 전체는 대체로 일의적으로 결정된다고 볼 수 있다.

위계 분석법

학생들의 지식상태로부터 위계를 분석하기 위해서는 몇 가지의 가정과 절차가 필요하다. 문항 a, b에 대해서 특수한 한 학생에게 일어날 수 있는 일은 Table 1의 네 가지 중 어느 하나이다. Table 1에서 ○는 그 문항을 맞힌 경우이고, ×는 그 문항을 틀린 경우이다. 만일 $n_3=0$ 이라면 ‘b를 맞히고, a를 틀린 학생은 없다’이다. 이것을 집합으로 표시하면, a를 맞힌 학생의 집합을 A, b를 맞힌 학생의 집합을 B라고

Table 1. Response for question a, b

a	b	Num. of students
○	○	n_1
○	×	n_2
×	○	n_3
×	×	n_4

할 때, $A^c \cap B = \emptyset$ 으로서 $B \subset A$ 를 의미한다. 즉, b를 맞힌 학생은 a를 맞혔다. 그러므로 학습의 순서를 정한다면 a를 학습한 후 b를 학습하는 것이 합리적이다. 이와 같은 경우를 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.

인정률

이와 같은 위계 분석은 수학적 도구를 사용하기 때문에 분석 과정에서의 오류는 발생하지 않는다. 그러나 분석의 대상이 되는 학생들이 불성실하게 답하거나, 우연히 맞힌 경우에는 그 만큼 위계 분석 결과의 신빙성이 떨어지게 된다. 따라서 이와 같은 요인을 어느 정도 인정하여 위계를 분석할 필요가 있는데, 이를 ‘인정률’이라고 부른다. 앞에서 순서관계를 정의할 때, 인원수 0($n_2=0, n_3=0$)은 매우 중요한 역할을 하였다. 그러나 일반적인 평가에서는 학생들의 추측에 의해서 답안이 결정되는 경우가 많으므로 위의 0대신에 상대적으로 0에 가까운 의미를 내포하도록 새로운 관계를 정의할 필요가 있다. 즉 어느 정도로 불확실성을 인정할 것인가 하는 의미로 ‘인정률’이라고 명명 하였다.

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

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

즉, $a \ll b$ 의 의미는 “b를 맞힌 대부분의 학생은 a를 맞혔다”이다. 그러므로 학습의 순서를 정한다면 두 문항 사이에는 a가 b보다 하위에 위치하여야 할 것이다. 이 관계를 Fig. 1과 같이 나타낸다.

본 연구에서는 10%의 인정률을 사용하여 분석하였다. 이것은 오차의 허용한계를 10% 이내로 하여 분석하였다는 의미이다.

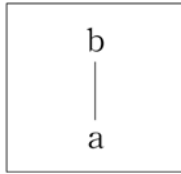


Fig. 1. Representation of hierarchy relation.

연구방법 및 절차

연구 대상

본 연구는 지식공간론을 활용하여 천문학적 공간개념의 위계 구조와 학습자의 지식상태를 밝히기 위한 연구로서 표집 대상을 전집을 대표하는 무선추출의 대규모 표집을 하지 않고, 대전의 3개 고등학교 178 명의 학생을 대상으로 하였다(Table 2).

검사도구

본 연구에서 사용한 천문학적 공간개념 검사지(김희수 외, 2003)는 Table 3과 같이 공간위치, 공간추리, 공간변화의 하위요소 개념을 측정할 수 있는 21 문항의 선다형 검사지이다. 이 검사지는 10학년 274 명을 대상으로 한 정답률이 52%였으며, KR-20 신뢰도 0.84, 변별도 지수 0.27이다. 모든 문항은 7차 교육과정 중 과학3-과학10에 제시된 천문학적 공간개념에 관련된 내용으로서 특정 과학의 전문적 지식과는 무관한 문항들이다. 따라서 본 검사도구는 11학년 고등학생을 대상으로 공간개념을 측정할 수 있는 타당

Table 2. Number of sampled students for the test

School	Number of sample	Remark
A	53 male students of 11th grade	
B	60 female students of 11th grade	
C	65 students of 10th grade	Science high school
	178 students	

Table 3. Main factor and definition related to astronomical spatial concepts

Spatial concepts	Sub factor	Definition	Num. of question
Astronomical spatial concepts	Spatial position	Ability to recognize the form of celestial bodies according to an observer's location and direction	5,8,9,11,15,18,20
		Ability to understand the relationship between oneself and celestial location in space	
	Spatial reasoning	Ability to figure out formation or structure of 3-dimensional space	3,4,7,10,16,19,21
	Spatial variation	Ability to recognize the change of celestial body's location according to time	1,2,6,12,13,14,17

도와 신뢰도가 높은 검사지라고 할 수 있다.

자료처리 및 분석

본 연구에서 목표로 하는 천문학적 공간개념의 위계 분석 과정은 평가문항의 구체적 내용과 직접적인 관련이 없으며, 단지 이들 내용이 학생들을 통해서 나타나는 간접적 반응을 분석한다는 것에 관심을 가져야 한다. 사용한 소프트웨어는 MS Office 2004의 Excel을 사용하였다. 자료의 처리 순서는 다음과 같다(변두원 외, 2004).

- ① 평가 결과의 입력: 맞으면 '1', 틀리면 '0'으로 입력한다.
- ② 지식상태의 선별: 지식공간론의 적용에서 가장 중요한 것 중 하나가 지식상태의 선별인데, 불성실하게 평가에 임한 학생의 결과는 타 학생의 결과 분석에 큰 영향을 미치므로 앞에서 언급한 두 가지 전제조건을 만족하는 자료만으로 처리한다.
- ③ 위계 분석: 임의의 두 문항간의 위계 관계를 찾는 것으로 위계의 판정 방법은 앞에서 설명한 위계 분석법에 따른 Excel 프로그램(개발)에 의해 분석된다.
- ④ 하세 정보: 문항 a, b, c 에 대해서 ab, bc, ac 가 성립한다고 하면(여기서 a 는 문제 a 만 맞힌 학생들의 집단을 의미한다), 상호간의 순서를 나타내기 위해서는 ab, bc 관계만으로 충분하며 오히려 관계 ac 는 위계관계를 도식화하는데 방해가 된다. 그러므로 모든 문항의 순서 관계에서 추이적 관계로 생성되는 관계를 제외하여 자료 처리를 단순화시킨다.
- ⑤ 위계도 작성: 하세 정보를 평면에 도식화(hasse diagram)하여 문항 간 또는 개념 간의 위계도를 작성할 수 있다.

Table 4. Results of the test

School	Num. of students	Average score (Full score: 21.0)	Standard deviation	Remark
A	53	11.0(52.4%)	3.4	Male student
B	60	11.1(52.9%)	3.4	Female student
C	65	17.3(82.4%)	2.0	Science high school

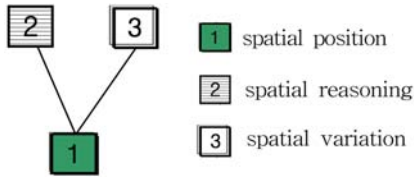


Fig. 2. Hierarchy of astronomical spatial concept.

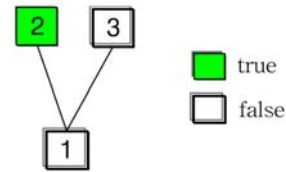


Fig. 3. Case of student number 14.

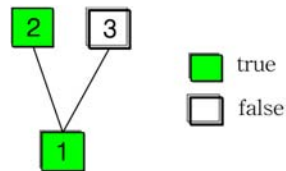


Fig. 4. Case of student number 2.

연구결과 및 논의

천문학적 공간개념의 위계 분석

지식공간론을 이용하여 고등학교 11학년의 천문학적 공간개념의 위계 관계와 개별 학생에 대한 지식상태를 분석하였다. 천문학적 공간개념 검사지의 평가 결과는 Table 4와 같다. 인문계 고등학교 A, B의 천문학적 공간개념의 정답률은 52-53%으로서 김희수의(2003)의 검사결과(정답률 52%)와 비슷하다. C학교의 정답률은 82.4%인데, 이는 과학고등학교 학생들로서 이미 천문학적 공간개념이 체계화된 집단이기 때문이다.

천문학적 공간개념의 위계를 분석하기 위해서 공간개념의 3가지 하위요인(Table 3)에 해당하는 각 7문항을 평균하여 지식상태를 분석하였다(Fig 2). 천문학적 공간개념 요인의 개념 위계는 공간위치가 공간추리와 공간변화의 하위 위계(공간위치 \ll 공간추리, 공간위치 \ll 공간변화)임을 보여준다. 공간추리와 공간변화는 상호간의 위계 관계가 나타나지 않는다.

공간능력은 공간 속에 있는 내적표상을 기호화하거나 만들어내며, 이것을 다른 사물이나 공간위치에 관계시키는 능력이라고 말할 수 있는데, 공간능력의 향상은 중학생의 천체운동 개념 획득에 매우 중요한 요인으로 작용한다(최호순, 1999). 또한 공간능력이 고등학생의 천체운동 개념과 상관관계($r=0.508$)가 있으며 그 기여율은 25.8%였으며(구자홍, 2000), 공간능력은 선천적인 요인이 크지만, 개발할 수 있는 능력으로서 추론능력과 문제해결능력을 향상시키는 데에도 중요한 요소로 작용한다(Walter, 1981). Pallrand

and Fred(1984)는 공간능력 요인을 공간지각과 공간방향, 공간시각으로 정의했는데, 공간지각은 주어진 장에서 배열을 파악하고, 찾아내는 능력을 말하고 있어서 천문학적 공간개념의 ‘공간위치’에 해당한다. 공간방향은 주어진 물체나 화면의 공간적 방향을 파악하고 그 물체를 가상적으로 회전할 수 있는 능력으로서 ‘공간추리’에 해당한다. 공간시각은 배열을 이루고 있는 요소들의 위치를 서로 바꾸었을 때, 패턴이나 배열이 어떻게 변할지 결정하는 능력으로서 ‘공간변화’와 비슷한 개념을 갖고 있다. Piaget and Inhelder (1967)은 공간능력에 관한 연구에서 아동의 위상적 공간개념(3-6세, 공간지각)으로부터 투영적 공간개념(7-9세, 공간방향), Euclid적 공간개념(9-11세, 공간시각)으로 발달해 간다고 했다. 즉 공간개념의 발달 단계는 공간능력의 초보적 단계인 공간위치로부터 공간추리, 공간변화의 위계 관계로 발전한다(김현재와 김순남, 1988).

Fig. 3과 4는 천문학적 공간개념에 대한 개별 학생의 지식상태를 분석한 결과이다. 14번 학생의 경우, 1번 문항은 틀렸는데, 상위 위계에 있는 2번 문항은 맞춘 경우로서 개념의 구조가 제대로 형성되지 않은 상태에서 추측 등으로 맞춘 경우라고 볼 수 있다(Fig. 3). 2번 학생은 1번 문항과 2번 문항을 맞춘 경

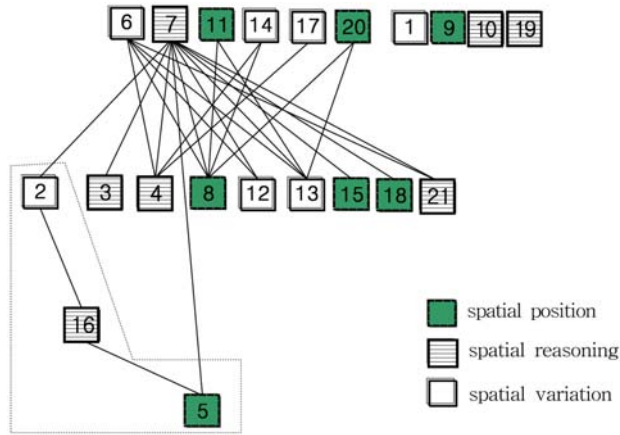


Fig. 5. Diagram representing each item's knowledge state of astronomical spatial concept.

우로서 천문학적 공간개념의 위계가 잘 형성되었다고 볼 수 있다. 틀렸던 3번 문항(공간변화)에 대한 학습을 위해서는 하위 위계에 있는 1번과 관련된 공간위치에 대한 보충학습이 필요함을 시사하고 있다.

천문학적 공간개념의 지식상태 분석

Fig. 5는 문항별 공간개념의 위계도를 분석한 결과이다. 위계도에서 상위에 위치한 문항이 하위에 있는 문항보다 상위위계에 있다고 해석할 때, 가장 하위의 위계를 이루는 문항은 5번(공간위치)이고 3, 4, 8, 12, 13, 15, 18, 21번도 하위 위계를 이룬다. 6, 7, 11, 14, 17, 20번 문항은 상위 위계를 이루고 있으며, 1, 9, 10, 19번 문항은 위계관계를 형성하지 않는다. 점선 안의 문항은 위계 관계가 밀접한 문항들을 나타낸 것으로 5번<<16번<<2번 문항의 위계가 잘 나타난다. 즉 공간개념의 위계는 공간위치와 공간추리, 공간변화의 순으로 분석된다. 그러나 2번(공간변화)의 상위 개념으로서 7번(공간추리)이 분석되어 16번과 2번 문항의 위계관계와 서로 상반되는 결과이다. 공간위치와 공간추리의 위계는 5<<7, 8<<7, 15<<7, 18<<7에서 잘 나타나며, 공간위치와 공간변화의 위계 관계도 5<<2, 8<<6에서 분석된다. 그러나 공간추리와 공간변화의 위계관계는 16<<2, 21<<6, 4<<6, 2<<7, 12<<7, 21<<7의 관계와 같이 서로 상반되어 나타나므로 분명한 위계 관계가 분석되지 않는다.

표집 학생의 공간개념 지식상태 분석

천문학적 공간개념 검사에서 총점이 같은 두 학생의 천문학적 공간능력은 동일한 수준으로 파악할 수

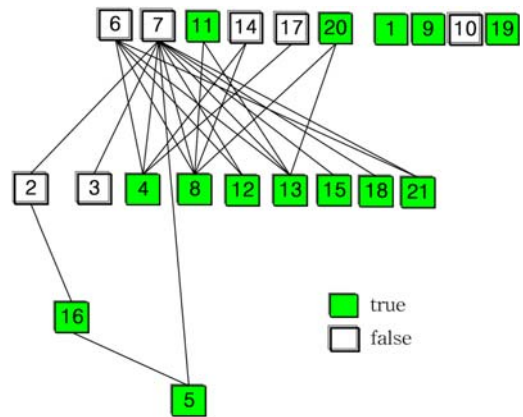


Fig. 6. Hierarchical concept of student number 28.

있으나, 각 학생의 지식상태를 보면 기존의 산술평균에서 볼 수 없었던 여러 가지 의미 있는 결과를 볼 수 있다.

Fig. 6과 7은 천문학적 공간개념 검사의 총점이 같은 학생(14점)의 지식상태를 분석한 것이다. 28번 학생(Fig. 6)은 하위 위계 문항을 잘 맞추어 지식의 구조화가 비교적 잘 되어 있는 경우로서 2와 3번 문항을 보충학습하고, 4와 8번 문항을 심화학습하면 상위 개념인 6, 7, 14, 17번 문항을 맞출 수 있다. 반면 35번 학생은 28번 학생과 같은 점수로서 천문학적 공간능력이 같다고 볼 수 있지만, 지식상태도(Fig. 7)에서 지식의 구조화가 잘 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 가장 하위 개념인 5번 문항에 대한 보충학습이 요구되며 6, 17, 18번 문항은 정답을 맞추었다 라도 추측 요인이 작용했던 것으로 보인다.

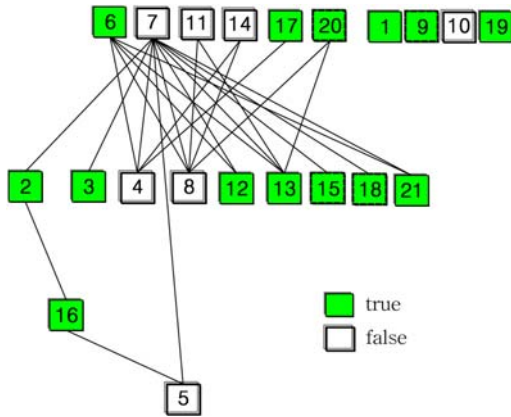


Fig. 7. Hierarchical concept of student number 35.

결론 및 제언

지식공간론에 기초하여 인정률 10%에서 천문학적 공간개념의 위계와 개별 학생의 지식상태를 분석하였다. 그 결과 천문학적 공간개념을 구성하는 3가지 요인의 위계는 ‘공간위치<<공간추리<<공간변화’의 순이다. 즉, 공간능력의 초보적 단계인 공간위치 개념으로부터 공간추리, 공간변화로의 위계 관계가 발전한다. 또한 천문학적 공간개념에 대한 전체 학생의 위계도는 각 개인의 지식 위계를 잘 반영하고 있으며 학습자 개인별 지식상태를 진단할 수 있어서 수준별 개별화 학습의 기초자료를 제공하고 있다. 대부분의 평가에서는 전체 성적에 대한 자료만 있을 뿐, 문항에 포함된 여러 가지 학습 개념에 대한 상세한 평가 내용(문항과 문항과의 관계)은 알 수 없다. 그러나 지식공간론에 의한 개별 학습자의 위계도 분석은 문항별 위계 상태를 포함한 지식상태를 알 수 있게 한다. 같은 점수를 받는 두 학생의 경우, 한 학생은 공간위치(하위 위계)에 관한 문항은 대부분 맞추었지만, 공간추리(상위 위계)에 관련된 문항은 많이 틀렸고, 다른 학생은 그 반대의 결과가 나왔다고 할 때, 두 학생의 천문학적 공간개념 점수가 같다고 해서 모두 동일한 수준의 학생이라고 말할 수 없다. 즉, 하위 위계 문항을 잘 맞추어서 지식의 구조화가 잘 되어 있는 학생과 추측 요인이 많이 작용하여 하위 위계 문항 보다 상위 위계 문항을 더 많이 맞춘 학생에 대한 학습 처방은 달라야 한다. 이러한 측면에서 본 연구의 결과는 기존의 평가 방법으로는 알 수 없었던 평가 문항과 문항 간의 관계(위계 구조)와 개별 학습

자의 지식상태를 알 수 있게 한다는 점에서 많은 시사점을 찾을 수 있다. 즉, 학습 전에 실시되는 개별 학생의 지식상태 분석은 학생의 출발점 상태를 알 수 있게 하는 개별적 진단평가 역할을 할 수 있고, 학습 후에 얻어지는 학생의 지식상태 분석은 향후 보충·심화 학습과 학습자의 수준별 개별화 학습을 위한 자료를 제공할 수 있다.

교수-학습의 계열성과 개념의 위계 관계가 모호하거나, 개별화 학습을 위한 학습자의 지식상태 분석을 위해 지식공간론에 기초한 위계 연구가 더 많이 이루어져야 함을 제언한다. 예를들어, 지구과학I의 ‘천체 관측과 천구의 운동’ 단원에서 ‘천체관측’을 먼저 수업할 것인지, ‘천구의 운동’을 먼저 수업할 것인지 명쾌하지 않은데, 이에 대한 개념의 위계 분석이 필요하다. 또한 평가 결과를 이용하여 지식공간론으로 개념의 위계를 분석하는 과정은 인정률 내에서 일의적으로 결정되므로 문항의 난이도가 위계 관계에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 위계에 관한 연구자는 문항의 난이도 조절을 포함한 검사도구의 표준화가 중요함을 고려해야 한다.

참고문헌

구자홍, 2000, 고등학생들의 공간능력과 천체운동 개념과의 상관관계. 한국교원대학교 석사학위논문, 87 p.
 김범기, 이항로, 김기정, 1996, 천문 개념 성취도와 공간 능력과의 상관관계에 관한 연구. 한국초등과학교육학회지, 15, 315-325.
 김상달, 이용섭, 이상균, 2005, 초등학교 학생들의 공간능력과 천체운동개념 및 과학탐구능력과의 관계. 한국지구과학회지, 26, 461-468.
 김석천, 박상태, 이희복, 정기주, 2007, 지식상태분석법을 이용한 학습 진단평가도구로의 활용성 분석. 한국과학교육학회지, 27, 346-353.
 김승동, 김응환, 김태균, 노영순, 박달원, 변두원, 이덕호(공주대학교 과학교육연구소), 2002, 지식공간론 입문. 도서출판 보성, 대전, 148 p.
 김현재, 김순남, 1988, 아동의 Euclid적 공간개념 형성에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8, 23-32.
 김희수, 서창현, 이항로, 2003, 천문학적 공간개념 수준에 관한 검사도구 개발. 한국지구과학회지, 24, 508-523.
 명전옥, 2001, 예비교사들의 지구과학 문제 해결 실패 요인. 한국지구과학회지, 22, 339-349.
 박상태, 변두원, 이희복, 김준태, 육근철, 2005, 지식상태 분석법을 통한 예비교사들의 학년별 물리개념 위계도 분석. 한국과학교육학회지, 25, 746-753.
 변두원, 박달원, 이덕호, 2002, 지식공간론에 기초한 학습경로 탐색 알고리즘 연구. 공주대학교 과학교육연구, 33,

- 175-188.
- 변두원, 정인철, 박달원, 노영순, 김승동, 2004, 수학 교육에서 평가결과에 기초한 개별화 학습과정의 위계도. 한국수학교육학회지, 43, 75-85.
- 변재성, 정재구, 문병찬, 정진우, 2004, 지구와 달의 운동에 대한 고등학생들의 생각. 한국지구과학회지, 25, 519-531.
- 임청환, 1992, 서열화 이론을 이용한 논리적 사고력의 위계 분석. 한국지구과학회지, 13, 290-303.
- 임청환, 김학목, 1994, 대기압과 달의 운동에 관한 중학생들의 개념 분석. 한국지구과학회지, 15, 157-169.
- 정진우, 조선형, 임청환, 1996, 과학개념의 위계적 분석 및 그 적용을 통한 교수 효과와 과학교육과정 계열성의 타당화 평가 연구. 한국과학교육학회지, 16, 1-12.
- 최호순, 1999, 중학생들의 공간능력과 천체운동 개념 및 과학탐구능력과의 관계. 한국교원대학교, 석사학위논문, 55 p.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science), 1993, Benchmarks for science literacy. Oxford University Press, NY, USA, 448 p.
- Airasian, P.W. and Bart, W.M., 1975, Validating a priori instructional hierarchies. Journal of Educational Measurement, 12, 163-173.
- Bart, W.M., 1976, Some results of ordering theory for Guttman scaling. Educational and Psychological Measurement, 36, 41-148.
- Bart, W.M. and Krus, D., 1973, An ordering-theoretic method to determine hierarchies among items. Educational and Psychological Measurement, 33, 281-300.
- Bergan, J.R., 1980, The Structural analysis of behavior: An alternative to the learning-hierarchies model. Review of Educational Research, 50, 625-646.
- Doignon, J.P. and Falmagne, J.C., 1999, Knowledge Spaces. Springer-verlag, NY, USA, 300 p.
- National Research Council, 1996, National science education standards. National Academic Press, Wasington DC, USA, 262 p.
- Pallrand G.J. and Fred, S., 1984, Spatial ability and achievement in introductory physics. Journal of Research in Science Teaching, 21, 507-516.
- Piaget, J. and Inhelder, B., 1967, The child's conception of space. Norton, NY, USA, 490 p.
- Smith, W.S. and Schroeder, C.K., 1979, Instruction of fourth grade girls and boys on spatial visualization. Science Education, 63, 61-66.
- Tracy, D.M., 1990, Toy-Playing Behavior, Sex-Role Orientation, Spatial Ability, and Science Achievement. Journal of Research in Science Teaching, 27, 637-649.
- Walter, M., 1981, Geometry for Young Students in the 80'. Teacher, 98, 434-442.

2010년 4월 15일 접수
 2010년 5월 1일 수정원고 접수
 2010년 5월 24일 채택