

英才教育研究

Journal of Gifted/Talented Education

2005. Vol 15. No 1, pp. 37-48

과학영재 선발시험에서 지식상태 분석법을 통한 새로운 평가 방법 모색*

박상태 (공주대학교 과학교육연구소)**

변두원 (공주대학교 과학교육연구소)

육근철 (공주대학교)

정점순 (부산 반송여자중학교)

요 약

물리교과와 화학교과에 비해 비교적 위계관계가 강하다. 즉, 이미 배운 것과 지금 배우고 있는 것 그리고 앞으로 배울 것이 서로 밀접하게 연결되어 있다. 이런 학습의 위계에 대하여 평가를 통해 학생들이 구성하는 지식구조를 지식의 위계라는 관점에서 정확히 분석함으로써 21C 교육의 이념인 주도적이고 창의적인 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 과학영재 선발 문항에 대하여 지식공간론을 적용하여 과학영재교육원 지원자들의 평가결과를 분석하고, 그 결과를 토대로 향후 과학영재 선발 시 과학적인 평가방법을 개발함에 있어서 기초자료로 활용하고자 한다.

주요어 : 과학영재, 위계도, 성취도 평가, 지식 공간, 지식 상태

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

** 교신저자 : 박상태(stpark@kongju.ac.kr)

I. 서론

과학교과에 대해서 제7차 교육과정의 중점을 두는 것 중 하나는 수준별 교육과정의 운영이다(교육인적자원부, 1998). 과학교과의 많은 내용은 과학적 개념의 도입 순서에 따라 서로간의 위계가 결정된다. 한편, 같은 과학적 개념이라도 도입의 방식에 따라 또는 응용의 대상에 따라 학습의 순서가 결정된다. 이상과 같은 위계는 교사의 전문성과 경험으로 분석 가능한 경우가 많다. 그러나 실제 교육에서는 의외의 위계 관계가 발생할 수 있다. 여기서의 의외성은 학생들의 지식상태에 대한 교사의 판단이 잘못 되었기 때문이라 볼 수 있다. 이것은 학생에 대한 이해의 부족으로 야기될 수 있으며, 특히 요즈음과 같이 과학문명이 급속히 발전하면서 기성세대의 접근이 어려운 그들만의 영역의 존재에 기인한다(AAAS, 1990). 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 Jean-Paul Doignon과 Jean-Claude Falmagne(1999)에 의해서 주창된 것으로 지식의 위계성에 바탕을 둔 이론이다. 그러므로 비교적 위계가 강한 과학교과의 내용에 적합하다. 또한 이 이론을 이용하여 평가결과를 해석할 때, 통계처럼 양적인 요소를 사용하지 않는다(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 그러므로 정량화 과정에 따른 오류가 없다.

본 연구에서는 대학에서 운영하는 과학영재교육원 입시 지원자 중 물리반 선발 시험 평가결과를 지식공간론을 활용하여 분석하고, 이것으로부터 얻은 위계를 도식화함으로써 향후 과학영재 선발 평가 방법 개발에 필요한 기초자료로 활용하고자 함은 물론, 선발 이후에도 각 개인의 개별화 학습을 위한 이정표로 활용하고자 하는데 그 목적이 있다.

II. 이론적 배경

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 지식이 상하의 위계관계를 갖고 있고 문

항의 난이도가 고려되었다면 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 소개하고자 한다.

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 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 위의 전제를 만족하는 답안만을 골라 평가에 활용하는 방법을 택할 수 있다.

본 연구에서 취급하는 평가문항은 모두 이분문항*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 일의적으로 결정된다고 볼 수 있다.

학생들의 지식상태로부터 위계를 분석하기 위해서는 몇 가지의 가정과 절차가 필요하다. 즉, 문항 a, b에 대해서 특수한 한 학생에게 일어날 수 있는 일은 다음 네 가지 중 어느 하나이다.

* “맞음”과 “틀림” 두 가지로 판명할 수 있는 문항

- (1) a, b 모두 맞힌다.
- (2) a는 맞히고 b는 틀린다.
- (3) a는 틀리고 b는 맞힌다.
- (4) a, b 모두 틀린다.

어느 집단에 문제 a, b로 평가한 결과 위의 각 경우에 대해서 다음과 같은 결과를 얻었다고 하자. 단, O는 그 문항을 맞힌 경우이고, ×는 그 문항을 틀린 경우이다.

<표 1> 질문 a, b에 대한 응답

a	b	학생수
O	O	n_1
O	×	n_2
×	O	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 표기하자.

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 가정하자. 어떤 학생 P가 a를 맞혔으면 b를 맞혔음에 틀림없고, 그래서 c를 맞혔다고 할 수 있다. 반대로 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 ‘ \leq ’는 순서관계이다. 명백히 $a \leq a$ 이다. 만일 $a \leq b$, $b \leq c$ 이라 가정하면 b만 맞힌 학생도 없고 a만 맞힌 학생도 없는 경우이므로 $a=b$ 이다. 즉, 관계 ‘ \leq ’는

반대칭적(anti-symmetric)이다. 만일 $a \leq b$, $b \leq c$ 라고 가정하자. 이것은 문항a, b에 대해서 a는 틀리고 b를 맞힌 학생은 없고, 문항b, 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.

위와 같은 위계 분석은 수학적 도구를 사용하였기 때문에 분석과정에서의 오류는 발생하지 않는다. 그러나 분석의 대상이 되는 학생들이 불성실하게 답하거나, 일부러 틀리거나 우연히 맞힌 경우에는 그 만큼 위계 분석 결과의 신빙성이 떨어지게 된다. 따라서 이와 같은 요인을 어느 정도 감안하여 위계를 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 ‘인정률’이라고 명명하고 다음과 같이 정의하였다.

앞의 <표 1>에서 순서관계를 정의할 때 $n_2=0$, $n_3=0$ 으로 정의한 것은 매우 중요한 역할을 하였다. 그러나 실제 평가에서는 그러한 경우를 기대하기가 매우 힘들다. 일반적인 평가에서는 학생들의 추측 또는 불성실하게 답하는 경우도 적지 않다. 그래서 위의 0대신에 상대적으로 0에 가까운 의미를 내포하도록 새로운 관계를 정의할 필요가 있다. 즉, 어느 정도로 불확실성을 인정할 것인가 하는 의미로 ‘인정률’이라고 명명 하였다.

<표 1>의 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.

<표 2> 위계관계의 표시 방법



Ⅲ. 연구방법

1. 평가 대상

지식상태 분석법을 통한 평가는 지방 소재 국립대학에서 운영하고 있는 과학영재교육원 2005학년도 입시 지원자 중, 물리반 지원자 28명을 대상으로 하였다. 과학영재교육원 지원 자격은 현재 중학교 1학년에 재학 중인 자이나 초등과학영재 심화반 수업을 이수한 자도 지원 가능하기 때문에 본 연구 대상에는 초등학교 6학년과 중학교 1학년 학생들이 섞여 있다. 따라서 평가 시 일반적으로는 이러한 학년 차이를 고려해야 하지만 본 연구에서는 이들 사이의 차이는 없는 것으로 가정하였다.

2. 평가 문항

평가 문항은 중학교 1학년 교과서 중 ‘힘’ 단원과 관련된 객관식 10문항으로 하였다. ‘맞음’과 ‘틀림’의 구분을 명확히 하기 위해 객관식 문항에 대해서만 분석을 하였다. 평가 문항별 관련 개념을 살펴보면 표 3과 같다.

<표 3> 평가 문항별 관련 개념

문항번호	관련 개념
1	힘의 합성
2	용수철 운동
3	속도 시간 그래프
4	진자의 주기 운동(추의 질량과 실의 길이 관계)
5	힘의 작용
6	힘의 효과
7	힘의 요소
8	힘의 성질
9	마찰력의 성질
10	지구의 중력

3. 위계도 그리기(변두원 외, 2004)

본 논문에서 목표로 하는 위계의 분석과정은 평가문항의 구체적 내용과 직접적

인 관련이 없으며, 단지 이들 내용이 학생들을 통해서 나타나는 간접적 반응을 분석한다는 것에 관심을 가져야 한다. 사용한 소프트웨어는 마이크로소프트사의 오피스2000의 엑셀을 사용하였다. 자료의 처리 순서는 다음과 같다.

가. 평가결과의 입력: 평가결과를 엑셀에 기록한다. 맞으면 '1'로, 틀리면 '0'로 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. 탐색 정보: 임의의 두 문항 간에 위계관계를 모두 알고 있더라도 위계도를 작성하는 데에는 아직 불편한 요소가 많다. 예를 들어, 문항 a, b, c 에 대해서 ab, bc, ac 가 성립한다고 하자. 이 때, 이러한 순서를 나타내기 위해서는 관계 ab, bc 만으로 충분하며, 오히려 관계 ac 는 위계관계를 도식화 하는 데에 방해가 된다. 그러므로 모든 문항의 순서관계에서 추이적 관계로 생성되는 관계를 제외하여 컴퓨터의 자료처리를 단순화 시킨다.

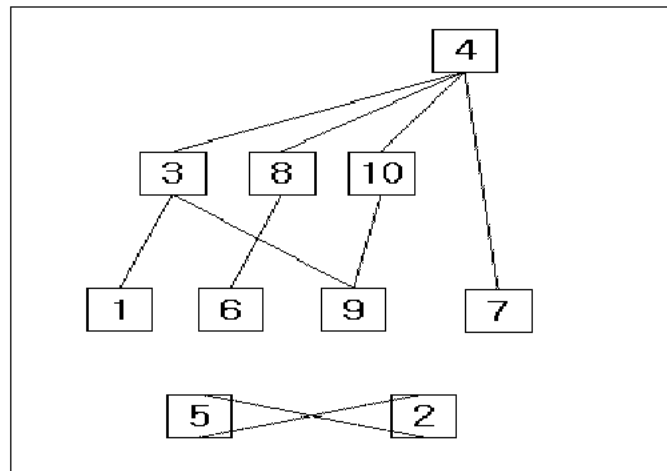
마. 위계도 작성: 앞 단계에서 얻은 탐색 정보를 평면에 도식화 한다. 이 도식을 탐색 다이어그램(Hasse diagram)이라고 부른다.

IV. 연구결과 및 논의

다음으로 지식공간론을 이용하여 학년별 지식상태를 분석하였을 때의 결과를 그림으로 나타내었다. 각 학년별 평가 결과를 전체결과와 비교하면서 각 문항들이 어떤 위계관계를 보이는지 살펴보았다.

1. 전체 평가결과

전체 평가결과는 [그림 1]과 같이 나타났다. 그림에서 보면 4번 문항이 가장 상위 요소에 있는 것으로 보아 대부분의 학생들의 4번 문항을 어려워하는 것으로 생각된다. 4번 문항은 진자의 주기운동에 관련된 문항으로서 대부분의 학생들이 주기와 추의 질량 관계 또는 주기와 실의 길이 관계에 대해 명확히 이해하지 못하고 있는 것으로 판단된다. 또한 4번 문항을 이해하기 위해서는 3번, 8번, 10번 또는 7번 문항을 사전에 알고 있어야 함을 한 눈에 알 수 있다. 그림에서 2번 문항은 5번 문항의 상위에 있으면서 하위에 놓여 있기도 한데, 이것은 2번 문항을 맞힌 학생은 5번 문항을 반드시 맞힌 경우이다. 즉, 모든 학생들이 2번 문항과 5번 문항을 맞혔음을 알 수 있다.



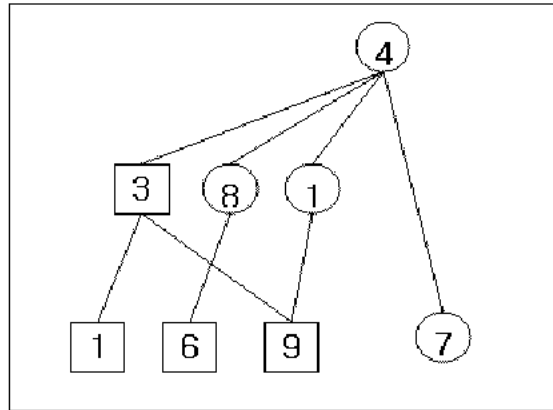
[그림 1] 과학영재교육원 지원자들의 개념 위계도

2. 임의의 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. 그림 2는 임의의 학생 A의 지식상태를 분석한 결과이다. 그림에서 네모 모양의 문항은 정답을 맞힌 문항이며 동그라미 문항은 틀리게 답을 한 문항이다.

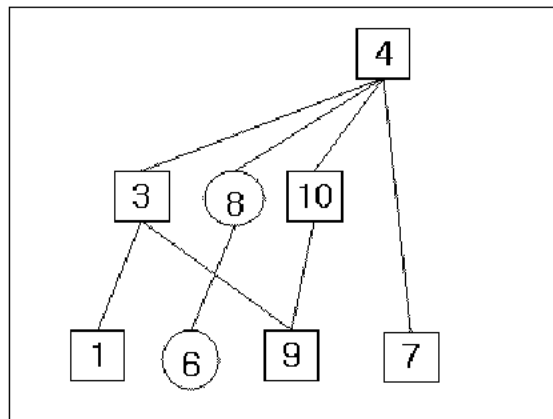
대체로 전체 위계에 잘 따르는 것으로 나타나 있으나 8번, 1번 그리고 7번 문항에 대한 사전 학습을 철저히 할 필요가 있음을 알 수 있다. 이러한 개인의 위계

도는 그 학생의 지식 상태뿐만 아니라 향후 학습지도 자료로도 활용 할 수 있다.

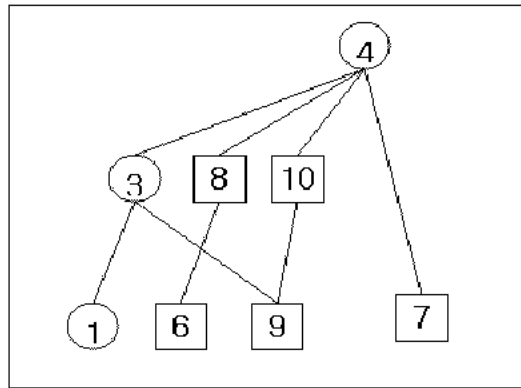


[그림 2] 임의의 학생 A의 개념 위계도

또한 개개인의 위계도는 올바른 과학영재를 선발하는 평가도구로도 활용할 수 있다. 예를 들어 임의의 학생 B[그림 3]와 학생 C[그림 4]의 위계도 분석결과를 보자. B의 학생의 C의 학생보다 전체 성적은 높다. 그러나 그림에서와 같이 최상위 개념인 4번 문항은 맞추었는데도 그 하위 개념인 8번 문항과 6번 문항은 맞추지 못하였다. 물론 그럴 수도 있다고는 하지만 적어도 이 학생의 경우는 우연히 4번을 맞힌 것으로 볼 수 있으며, 차후 심화 선발 평가나 면접 평가에서 구체적으로 확인할 필요가 있음을 알 수 있다. 반대로 C 학생의 경우는 B 학생 보다는 성적이 낮지만 개념의 위계는 전체 위계도를 잘 따르고 있어 보충 학습의 필요성은 있으나 평가 결과에 대한 또 다른 확인 절차는 필요로 하지 않는다.



[그림 3] 임의의 학생 B의 개념 위계도



[그림 4] 임의의 학생 C의 개념 위계도

V. 결론 및 제언

학교현장에서 학생을 지도하기 위한 자료로는 여러 가지가 있지만 그 중에서도 진단평가 자료가 학생의 진로지도나 학습의 정도를 평가하는데 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 진단평가의 경우 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 총점으로만 평가하는 방법에서는 알 수 없는, 문항과 문항간의 관계(특히 위계도)를 제시해 주었다는 점에서 많은 시사점을 찾을 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구는 평가문항 수가 적고 평가시험에 응시했던 학생 수가 적었다는 한계점을 갖고 있지만 기존의 통계적 자료에서는 볼 수 없는 학생들에 대한 여러 가지 의미 있는 정보 즉, 평가 대상 집단 전체의 지식 상태 중에서 본인의 위계는 어떻게 구성되어 있으며, 어떤 개념이 취약한지 등에 대한 정보를 얻을 수 있었다. 이러한 정보는 학생들을 평가하여 앞으로의 진로지도나 학습지도를 하는데 유용하게 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 선발 목적에 맞는 선발자를 평가하는데도 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 공주대학교 과학교육연구소(2002). 지식공간론 입문, 대전: 도서출판 보성.
- 교육인적자원부(1998). 제7차 초·중등학교 교육과정의 개요, 교육인적자원부 홈페이지(<http://www.moe.go.kr>)에서 제공.
- 변두원 외 (2004). 수학교육에서 평가결과에 기초한 개별화 학습과정의 위계도, 한국수학교육학회지 시리즈A <수학교육>, 43(1), 75-85
- AAAS(American association for the advancement of science). (1990). Science for all Americans, Project 2061, Oxford University Press, New York.
- 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.
- Jean-Paul Doignon, J., & Falmagne, J. (1999). *Knowledge Spaces*. Berlin: Heidelberg. Gernay: Springer-Verlag.

Abstract

Groping of a New Evaluation Method using the Knowledge State Analysis in the Selective Examination of Scientifical Gifted

Sang-Tae Park

Du-Won Byun

(Kongju National University Institute of Science Education)

Keun-Cheol Yuk

(Kongju National University)

Jum-Soon Jung

(Pusan Pansong Girl's Middle School)

Comparing to the other subject, the relationship among physics contents is strong from the perspective of knowledge order as grades go up. That is, The things already that students learned, are learning and will learn are closed related from grade to grade. We expect students to be proactive and creative in studying physics, which is the goal of 21th century, analyzing their knowledge structure based on the knowledge order through assessment. Especially, using computer system, we provide students with substantial feedback for the assessment as well as objective validity is increased along with speedy and exact process in a bid to help students' mathematical understanding grow. This paper seeks to analyze the data from assessment applying knowledge spaces of the scientifical gifted in selective examination and to applicate on development of evaluation method.

Key words : scientifical gifted, Hierarchy, achievement evaluation, knowledge space, knowledge state