

평가 문항을 통한 중학교 과학영재 학생들의 빛 개념 지식상태 분석

이 형 재	하 지 선	박 상 태
공주신일초등학교	천안북중학교	공주대학교

이 연구에서는 K대학교 영재교육원의 중학교 과학영재 학생들 30명을 대상으로 빛에 관한 진단평가 15문항을 개발하여 적용하였다. 그리고 빛에 대한 학생들의 지식상태에 관하여 지식공간론을 활용하여 분석하고 이것으로부터 얻은 위계를 도식화함으로써 중학교 과학영재 학생들의 지식상태를 파악함은 물론 교수 학습 방법을 개선하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 중학교 과학영재 학생들의 빛에 대한 지식상태 평가결과를 분석하였고, 문항 간 위계구조 및 개별 학생들의 지식상태를 분석하였다. 그 결과 학습 집단 내에서 개인별로 서로 다른 지식구조를 갖고 있었고, 이에 따른 학습 진단도 서로 다르게 평가해야 함을 알 수 있었으며, 평가 문항과 문항 간의 관계(위계 구조)와 개별 학습자의 지식상태를 알 수 있게 한다는 시사점을 얻을 수 있었다.

주제어: 지식 상태, 지식 공간, 위계, 진단평가

I. 서 론

빛과 관련된 많은 연구들(Buty & Mortimer, 2008; Galili & Hazan 2000; Glodberg & McDermott, 1986; Guesne, 1985; Stead & Osborn, 1980; Wyrembeck & Elmer, 2006)은 학생들의 개념 이해가 충분하지 않음을 지적하여 왔다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 시도를 하거나 제언을 한 연구들(권경필 외, 2006; 오원근, 김재우, 2002; 이재봉 외, 2004; Buty & Mortimer, 2008; Wyrembeck & Elmer, 2006)도 다수 제시되었다. 학생들 뿐 아니라 많은 교사들도 빛에 대한 체계적인 개념을 가지지 못하여 학생들의 선개념을 올바른 과학적 개념으로 변화시키기에 어려움을 가지고 있는 것으로 나타났으며(백성혜, 정연경, 2009), 빛에 관련된 교수 학습 내용의 곤란도에 대한 인식이 높았고(이재봉 외, 2004; 정효해, 김재영, 2005; Akerson & Morrison, 2006), 이로 인하여 학생들을 교수하는데 어려움을 나타내어 학습 평가

에 대한 피드백이 체계적으로 이루어지지 못하는 결과를 초래하기도 한다. Wenglinsky (2000)는 학생들의 성취 결과에 가장 큰 영향을 미치는 것은 교사 변인이라고 제시한 바도 있다. 과학 교육의 목적을 달성하기 위해서는 학생의 과학에 대한 흥미와 관심을 증진시키고, 효과적인 교수 학습 전략을 수립해야 한다(정순화 외, 2009). 학생들이 지닌 생각은 수업 초기에 학생들의 처음 학습 과정의 일부이기 때문에 새로운 단원을 시작할 때, 교사는 학생들이 수업 전에 지니고 있는 어떤 배경과 생각을 아는 것이 중요하다. 그것은 수업 후에 학생들의 학습결과를 최종적으로 평가하는 것만큼이나 중요하다. 학생의 기존 생각을 조사하는 것은 수업 지도에 밀접하게 연결되어 있고, 그런 학생들의 생각은 수업을 통해 변화시켜야 할 출발점이기 때문이다. 그러나 현장에서 학생의 생각이나 이해를 미리 조사하는 진단활동은 적은 편이다(장병기, 1996). Anderson (1995)은 학생들이 그들 앞에 주어진 문제를 해결하는 과정에서 이미 알고 있던 지식을 적용하여 문제를 해결하기도 하고 쉽게 해결되지 않는 문제들 앞에서는 이제까지 알고 있던 지식들을 관련시켜 문제의 구조를 파악하려고도 하며, 때로는 획기적인 발상으로 새로운 지식을 획득하기도 한다고 하였다. 또한 Durva (1985)는 인간의 지능발달은 일련의 인지 기능의 연속적인 계열성을 갖고 있어서 낮은 단계의 기능은 높은 단계의 기능의 선수학습 요소가 되는 특징을 갖고, 어떤 특별한 지식체계와 연관된 기능의 습득도 위계적인 조직을 갖는다고 하였다. 그러므로 학생들의 유의미한 이해를 이끌어내기 위해서는 지식 상태에 대한 파악이 우선되어야 하겠다(박혜경 외, 2008). 이와 같이 개념의 위계 구조는 학생이 직면한 학습과제에서 좀 더 높은 수준에 있는 기능을 성공적으로 수행하기 위한 필수적인 요소로 볼 수 있다(정진우 외, 1996; Bergan, 1980). 또한 최종적인 학습목표에 도달하기 위해서 어떤 학습 요소나 기능을 먼저 학습해야 하는지를 명확히 알 수 있게 한다. 과학 개념의 위계는 하위기능과 상위기능들 사이의 유기적 관련성과 순서를 알게 함으로써 학습목표 도달이 쉽게 이루어질 수 있도록 한다(Bart, 1976). 그러므로 선행학습의 개념이 위계된 후행학습에서는 선행학습의 개념과 학생들의 지식상태를 진단하고, 결론 개념의 원인을 분석하여 결손을 처치하는 교수 학습과 학생들의 개념적 위계 수준이 고려되어야 한다(윤마병, 김희수, 2010). 이와 같은 위계는 교사의 전문성과 경험으로 분석 가능한 경우가 많다. 그러나 실제 교육에서는 의외의 위계 관계가 발생할 수 있다. 여기서의 의외성은 학생들의 지식 상태가 교사의 판단과 다르기 때문이라 볼 수 있다. 이것은 학생에 대한 이해의 부족으로 야기될 수 있으며, 교수 학습에 있어 학생들의 과학 개념 습득에 큰 어려움을 가져올 수도 있다. 그러므로 비록 지식적인 내용이라 할지라도 이들의 위계를 학생들에게 직접 투영한 결과를 이용하는 것이 바람직하다고 볼 수 있다. 이와 관련하여 학생들이 갖고 있는 개념의 위계를 분석하는 방법으로 지식공간론이 있는데(김석천 외, 2007; 박상태 외, 2005; 박상태, 2010; 변두원 외, 2004) 이 이론은 Jean-Paul Doignon과 Jean-Claude Falmagne (1999)에 의해서 주창된 것으로 지식의 위계성에 바탕을 두고, 개념 위계와 학생의 지식상태를 분석할 수 있는 좋은 방법이다. 지식공간론을 활용한 위계분석은 비교적 위계가 강한 수학이나 과학과 내용에 적합하다. 공주대학교 과학교육연구소(2002)의 연구에서는 이 이론을 이용하여 평가 결과를 해석할 때, 학생들의 점수나 성적 등의 숫자 요소를 사용하지 않고 단지 문항

을 맞추었느냐 그렇지 않느냐의 사실만을 다루므로 점수를 평균하는 정량화 과정에 따른 오류가 없다는 결과를 제시하였다. 지식공간론을 활용한 선행연구로는 변두원 외(2004)는 평가결과에 기초한 개별화 학습과정의 위계도 연구에서 위계도를 통하여 학생과 교사가 공감하면서 이해하기 쉬운 학생지도 자료로 활용함이 가능하고, 위계도가 시각적으로 학생의 지식상태를 표시하므로 개개인에 맞춘 개별화 학습을 계획할 수 있는 환경을 제공해 준다고 하였다. 박상태 외(2005)의 대학생들을 대상으로 지식상태 분석법을 통한 예비 물리교사들의 학년별 물리개념 위계도 분석에서는 학습자가 갖고 있는 문항간의 위계 관계와 상세한 개념의 상태를 분석할 수 있었다. 김석천 외(2007)는 지식상태분석법을 이용한 학습 진단 검사도구의 개발과 물리 지식 영역에 대한 적용 및 분석에 관하여 연구했다. 그동안 대부분의 학교 교육의 평가는 학력의 측정에 목적을 두고 실시하였으며, 실령 진단평가와 형성평가를 실시하였더라도 그 평가결과를 유용하게 활용하는 경우는 드물었다. 이 연구에서는 과학 학습 평가에 대한 이러한 현실을 감안하여 우리나라 중·고등학교생들에게 적용 가능하며, 학생들의 평가결과를 이용하여 학습준비도 및 학습 진전도를 파악할 수 있는 지식상태분석법을 이용한 학습 진단 검사 도구를 개발하고 물리 지식 영역에 적용하여 그 활용성을 분석하였다. 또한 Albert 외 (1995)는 개개인이 갖고 있는 지식상태를 알아낼 수 있는 심리적인 모델로서 지식구조 개념을 도입하였다. 평가 문항으로부터 얻어지는 하나의 집합을 지식구조라고 하는데 Q를 평가문항의 집합, K를 지식상태의 어떤 집합이라고 하면 순서쌍(Q, K)을 지식구조라고 하였다. 또한 추론의 방법을 정하는 규칙 등 지식을 정해진 표현 형식으로 나타내고자 할 때 그 지식 자체의 구조에 대한 지식으로서 Meta-Knowledge 개념을 도입하였고, 컴퓨터 프로그래밍을 통해 지식구조를 밝힐 수 있는 방안을 제안하였다. 그리고 Doignon과 Falmagne (1998)은 'Knowledge Space'에서 학습자 개인의 정답 문항에서 얻어지는 단편적인 정보들로부터 평가에 관련하여 학습자가 갖고 있는 지식 전체에 대한 정보를 추론하는 방법을 제안하였다. 평가 문항에 대한 학습자의 정답 분포는 학습자 개개인의 학습 정도에 관한 정보뿐만 아니라, 평가가 많은 학생들을 대상으로 수행되었다면 각 평가 문항에 대한 교과 내용의 정보도 포함되어 있다고 볼 수 있으므로 다수 학생에 대한 평가 결과를 분석함으로써 학습 내용의 위계를 알아낼 수 있다는 것이다. 이와 같이 지식공간론을 적용하여 학습자 개개인이 갖고 있는 지식상태를 분석할 수 있는 방법에 대해 논의해 볼 필요성이 있다.

과학과 교육과정 내용의 적정성 분석의 연구에서 빛에 관련된 단원이 다른 과학 영역보다도 학생들이 가장 어려워하는 단원 중 하나라는 연구 결과가 제시된 바 있다(이양락 외, 2006). 또한 아직까지 중학교 과학영재 학생들을 대상으로 빛에 관한 학생들의 지식상태 위계에 관한 연구는 지금까지 이루어지지 않았다.

이에 본 연구에서는 중학교 과학영재 학생들의 빛에 대한 개념에 대해 평가 문항을 적용한 지식공간론을 활용하여 분석하였다. 그리고 이로부터 얻은 지식상태 위계를 도식화함으로써 개별 학생들이 지니고 있는 빛에 대한 지식상태를 파악함은 물론 교수 학습 방법을 개선하기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 첫째, 빛에 대한 진단평가 문항을 개발하여 중학교 과학영재 학생들에게 적용하였고, 둘

제, 학생들의 빛에 대한 지식상태 평가결과를 분석하였으며, 셋째, 문항 간 위계구조 및 개별 학생의 지식 상태를 분석하였다.

II. 지식공간론

학습 개념의 위계 분석은 주로 서열화 이론에 의해 문항들이나 학습과제 속에 내재된 서열 관계, 또는 상호 논리적인 계열성을 결정했다(Bart, 1976). Bart와 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 하였다. 그러나 서열화 이론은 개념들 간의 불확증적인 허용오차를 인정해야 하는 제한점을 갖고 있으며(임청환, 1992), 개별 학습자에 대한 지식상태, 개념의 위계 구조 등의 구체적인 정보를 제공하지 못한다.

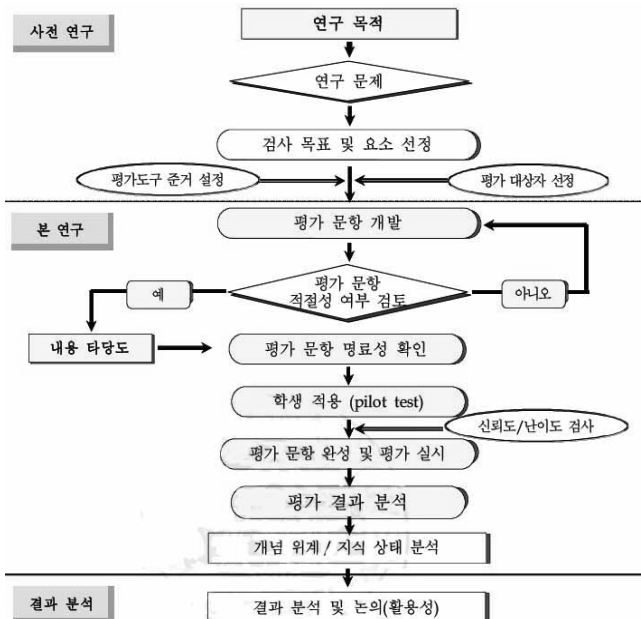
교수 학습의 과정에서 평가의 주된 목적은 학습자의 학습 정도를 알기 위해서이다. 평가문항에 대한 학습자의 정답 분포는 학습자 개인의 학습 정도에 관한 정보뿐만 아니라, 평가가 충분히 많은 학생에 대해서 수행되었다면 각 평가 문항에 대한 교과 내용의 정보도 포함되어 있다고 볼 수 있다(윤마병, 김희수, 2010). 그러므로 개인 학생뿐만 아니라 여러 학생들에 대한 평가 결과도 집단적으로 분석함으로써 학습 내용의 위계를 알아낼 수 있다. 이와 같이 학습자 개인의 정답 문항에서 얻어지는 단편적인 정보들로부터 평가에 관련된 지식 전체에 대한 정보를 추론하는 이론을 지식공간론이라고 한다(공주대학교 과학교육연구소, 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 관련된 지식의 체계를 분석하는 것이 가능하며, 이러한 이론적 근거가 지식공간론이다(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 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. 모든 학생에게 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(공주대학교 과학교육연구소, 2002). 본 연구에서 취급하는 평가문항은 모두 ‘맞음’과 ‘틀림’으로 판명할 수 있는 이분문항이며 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 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(박상태 외, 2005). 또한 평가문항으로부터 얻어지는 하나의 집합을 지식구조라고 한다. 즉, Q를 평가문항의 집합이라 하고, K를 지식상태의 어떤 집합이라고 할 때, 집합 K가 공집합(모든 문제를 틀린 학생의 지식상태)과 전체집합(모든 문제에 맞은 학생의 지식상태)을 포함하면, 순서쌍(Q, K)을 지식구조라 한다.

III. 연구 절차 및 내용

1. 연구 절차

빛에 대한 학생들의 지식상태를 알아보기 위한 연구 절차는 [그림 1]과 같다. 우선 사전 연구 단계로서 연구 문제를 정하고 검사 목표와 요소를 선정하여 평가 도구의 준거와 평가 대상자를 선정하였다. 연구 단계에서는 빛 개념을 진단하기 위한 평가 문항을 개발하였다. 개발된 문항의 내용 타당도와 명료성, 신뢰도와 난이도를 확인하고, 평가 문항을 완성하여 학생들에게 투입하였다. 검사 결과를 분석하여 빛 단원에 대한 개념의 위계와 개별 학생들의 지식상태를 조사하였다.



[그림 1] 연구 절차

2. 평가 대상

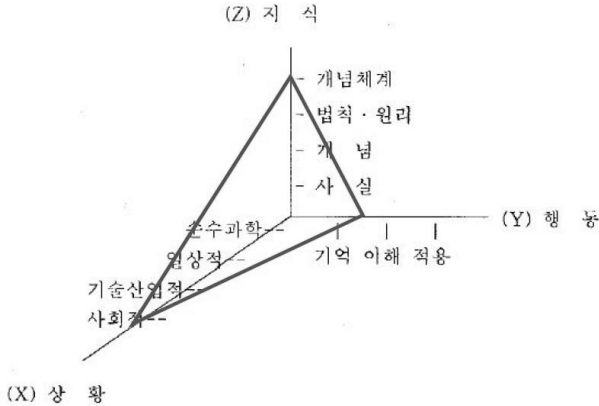
본 연구는 중학교 학생들의 빛에 대한 지식상태를 분석하기 위하여 K 대학교 영재교육원에서 운영하는 사이버 중등과학 영재수업을 수강한 중학생 중 30명을 대상으로 평가를 하였다. K 대학교 영재교육원의 사이버 과학 영재교육과정은 사이버 교육과 캠프로 나뉘어져 있으며, 학생들이 자기 주도적으로 수행할 수 있도록 구성되어 있다. 전형방법은 1차에는 학교장 추천을 통하여 응시할 수 있었고, 2차에는 과학 영재성 측면과 관련하여 해당 학생들에 대한 서류전형으로 이루어졌다. 서류 전형에 합격한 학생은 K 대학교 영재교육원 홈페이지에 접속하여 회원 가입하여 자격 심사를 받은 후에 사이버교육 최종 회원승인을 받았다. 사이버교육에 신청한 학생은 136명이었다. K 대학교 영재교육원 사이버교육 일정은 입학식 및 사전교육을 7시간 받았으며, 1학기 동안에 사이버 영재교육을 12주 받았고, 사이버 교육을 통한 형성평가 및 과제평가를 통하여 수료 예정자를 선발되었다. 그리고 1학기 수료 예정자를 대상으로 방학 기간을 이용하여 합숙캠프를 2박 3일간 운영하였다. 또한 합숙캠프를 마친 수료예정자를 대상으로 2학기 동안 사이버 교육을 12주간 실시한 후에 최종적으로 수료자를 선발하는 과정으로 운영되었다. 그러나 최종 수료인원으로 선정되었더라도 영재교육원 수료기준에 미달되는 경우에는 수료가 되지 않았다. 수료 조건은 1학기 사이버교육 종합평가를 통하여 수료예정자로 선정된 다음, 방학 중에 실시하는 영재캠프에 참가하고, 1학기과 2학기틀 합하여 사이버 교육을 2/3이상 접속하여, 영재교육원에서 제시한 사이버 과제를 70%이상을 제출하여야 수료가 가능하다. K 대학교 영재교육원의 사이버 중등과학 영재교육을 통하여 방학 중 캠프에 참여한 학생은 66명이었다. 그러나 캠프에 참여한 학생 66명 중 프로그램 이수를 하지 못한 학생과 본 평가 문항 검사에 참여하였다도 성실하게 응답하지 않은 학생들 36명을 제외한 나머지 학생 30명에 대하여 평가 문항 검사지를 분석하였다.

3. 평가 문항

평가 문항은 객관식 15문항으로 중학교 과학과 교육과정 중 빛과 관련된 단원 내용을 참고하여 문항을 개발하였다. 평가문항 개발은 현직 물리교육 전공 교사가 1차로 40개 문항을 개발하였고, 그 중에서 총 25문항을 선별하여 내용타당도를 과학교육 전문가(물리교육 전공 교수 1명, 물리교육 박사과정에 있는 현직 과학교사 2명)에게 의뢰하였다. 1차로 선별된 25문항을 중학교 2학년 학생들 60명에게 2차에 걸쳐 투입하였고, 그 결과 협의를 통하여 15문항을 선별하였다. 선별된 문항에 대해 1차 점검 때 의뢰한 전문가에 다시 타당도를 검증한 결과 총 45개의 응답(3명의 평정자×15문항) 중 91.1%가 평가 목표와 일치였다. 개발된 문항의 반분 신뢰도 분석 결과는 .856으로 나타났다.

평가 문항은 중학교 과학과 교육과정의 내용에 기초하여 빛에 대한 문항을 만들기 전 평가 준거를 설정하였다. 우선적으로 과학 지식을 국가수준의 과학지식 평가체제 개발(권재술 외, 1998)의 분류 기준을 토대로 [그림 2]와 같이 평가 문항을 개발할 때 반영하였다.

과학지식 평가 틀은 [그림 2]와 같이 지식, 행동, 상황의 3차원으로 이루어졌다. 지식은 사실, 개념, 법칙/원리, 개념체계(이론)로 하위 요소를 세분화하였고, 행동은 지식의 기억, 이해, 적용 수준으로 상세화 하였다. 과학 지식의 상황은 순수과학적 상황, 일상적 상황, 기술 산업적 상황, 사회적 상황 요소로 구성되어 있다.



[그림 2] 과학지식의 평가 틀

본 연구의 평가 문항은 과학지식의 평가 틀 중 지식 영역에서 사실, 개념, 법칙/원리 3가지 요소로 구분하고, 행동 영역에서에서는 기억과 이해 요소의 일부분이 포함되도록 하였으며, 상황영역에서는 모든 요소들이 포함되도록 평가 문항에 반영하여 위계도 분석에 활용하였다. 평가 문항은 5지 선다형으로 제작하였고, 평가 시 학생들에게 성실하게 임하도록 앞에서 언급한 두개의 평가 전제조건을 준수하게 하였으며, 평가 시간은 1시간 내에 검사할 수 있도록 제한하였다. 또한 과학교육 전문가에게 <표 1>과 같이 항목별로 개발한 평가 문항의 내용과 문항의 명료성 점검을 의뢰하였다.

<표 1> 평가 문항 명료성 점검 내용

순	점검 내용
1	검사 목표가 의도하는 구체적 검사 조건과 요구 행동에 알맞게 문항 장면을 선택하여 구성하고 있는가?
2	문항의 내용 수준이 학생들의 과학지식을 진단하는데 적절한가?
3	문항의 내용이 일반 개념보다는 과학의 지식을 기초로 하여 해결할 수 있는 문항인가?
4	문항 장면이 논리적이고 정확하게 기술되어 있는가?
5	각 문항은 문법적으로 정확하며 적절한가?
6	애매한 질문이나 지나치게 길고 복잡한 지시문은 없는가?
7	진술문이 피험자의 언어 수준에 적합한 단어들로 서술되어 있는가?
8	문항 내에 제시된 도표, 그래프, 그림 등은 적절한가?
9	문항에 답을 암시하는 단어나 내용이 포함되어 있지 않은가?

평가 문항의 내용타당성을 검토한 후에 최종적으로 선별한 15문항별 영역 및 내용을 살펴보면 <표 2>와 같다.

<표 2> 빛 개념 관련 평가 문항

문항	요소	과학지식	문항 내용
1	빛의 반사	사실	글자를 거울에 비추었을 때의 모양
2	빛의 반사	법칙/원리	거울에 빛을 입사시킬 때 일어나는 현상
3	빛의 반사	법칙/원리	거울에서의 반사한 빛을 일정한 지점으로 통과하게 시킬 때 거울의 회전
4	빛의 굴절	개념	빛의 굴절에 의해 일어나는 현상
5	빛의 굴절	개념	빛이 공기 중에서 물속으로 진행할 때 나타나는 현상
6	빛의 굴절	개념	한 지점에서 다른 지점으로 진행하는 물결과의 움직임 설명
7	빛의 굴절	법칙/원리	공기에서 유리로 비스듬히 입사한 빛의 경계면에서의 입사각과 굴절각
8	빛의 분산	법칙/원리	무지개의 색깔 중 프리즘을 통과해 진행할 때 가장 많이 꺾이는 색과 적게 꺾이는 색
9	빛의 분산	개념	빛이 프리즘이나 물방울 등에 의해 여러 가지 색깔로 나누어지는 이유
10	빛의 굴절, 반사, 분산	사실	무지개 생성 시 물방울에서의 빛의 굴절과 반사
11	빛의 반사	개념	무대에서 비추는 조명의 색에 따른 변화
12	빛의 간섭	사실	물결파가 장애물에 수직하게 진행할 때 장애물에 도달한 후 반사되는 파면의 모습
13	빛의 간섭	사실	세숫대야에 손가락을 넣었을 때 세숫대야 벽에서 반사되는 물결파의 진행하는 모습
14	빛의 회절	개념	소리의 회절에 의해 나타나는 현상
15	빛의 회절	개념	물결통에서 평면파를 발생시켜 슬릿을 통과하여 전파하는 물결파의 모양

4. 자료 처리 및 분석

본 연구에서는 변두원 등(2004)의 분석 방법을 인용하여 빛 개념에 대한 위계 분석 과정은 평가문항의 구체적인 내용과 직접적인 관련이 없으며, 단지 이들 내용이 학생들을 통해서 나타나는 간접적 반응을 분석한다는 것에 관심을 가져야 한다. 또한 사용한 프로그램은 MS Office 2007 Excel을 사용하였으며, 자료의 처리 순서는 다음과 같다.

가. 평가 결과의 입력: 맞으면 ‘1’로, 틀리면 ‘0’으로 입력한다.

나. 지식상태의 선별: 지식공간론의 적용에서 가장 중요한 것이 지식상태의 선별이다. 만일 불충실하게 평가에 임한 학생의 결과는 타 학생의 결과 분석에 큰 영향을 미친다. 그러므로 앞에서 언급한 두개의 전제조건을 만족하도록 하는 답안지만으로 자료를 처리하여야 한다.

다. 위계 분석: 임의의 두 문항간의 위계관계를 찾는 것으로 위계의 판정 방법은 앞에

서 설명한 위계 분석법에 따른 Excel 프로그램(개발)에 의해 분석된다.

라. 학제 정보: 문항 a, b, c에 대해서 ab, bc, ac가 성립한다고 하면(여기서 a는 문제 a만 맞힌 학생들의 집단을 의미한다), 상호간의 순서를 나타내기 위해서는 ab, bc 관계만으로 충분하며 오히려 관계 ac는 위계관계를 도식화하는 데에 방해가 된다. 그러므로 모든 문항의 순서 관계에서 추이적 관계로 생성되는 관계를 제외하여 자료 처리를 단순화시킨다.

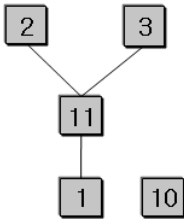
마. 위계도 작성: 학제 정보를 평면에 도식화(Hasse diagram)하여 문항 간 또는 개념 간의 위계도를 작성할 수 있다.

4. 평가 문항 간 위계

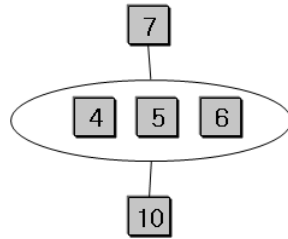
본 연구에서의 평가 문항 간 자체의 개념 위계 작성은 다음과 같다. 평가 문항 간 위계는 본 연구에 참여한 과학교육 전문가(물리교육 전공 교수 1명, 물리교육 박사과정에 있는 현직 과학교사 2명)에게 타당성을 검증받아 과학영재 학생들의 사전지식, 과학지식의 영역, 난이도, 과학 교육과정에서 빛 관련 단원에 관한 개념 수준 및 학습 순서 등을 고려하여 작성하였다. 평가 문항 간 위계 작성에 대한 타당도를 검증한 결과, 총 15개의 응답(3명×5개 영역) 중 86.7%가 평가 목표와 일치하였다.

평가 문항은 빛의 반사, 굴절, 분산, 간섭, 회절에 관하여 제시되었으며, 각 영역들은 통합하여 위계를 제시하기 보다는 영역별로 분리하여 평가문항 간 위계를 나타내었다. 네모안의 번호는 문항 번호를 나타내며, 상위에 있는 문항이 상위 개념의 문항이며, 상대적으로 아래에 위치한 문항은 하위 개념의 문항을 나타낸다. [그림 3]은 빛의 반사에 관한 평가 문항 간의 개념 위계를 나타낸 것이며, [문항 1]-[문항 11]-[문항 2, 문항 3]의 위계를 갖고 있다. [문항 1]은 개념 영역으로 글자를 거울에 비추었을 때의 모양을 찾는 문항인데, 평면 거울에서 상까지의 거리는 거울에서 물체까지의 거리와 같고, 상은 물체와 크기가 같고 좌우가 바뀌며, 각각의 입사 광선은 반사 법칙에 따라 거울에서 반사되어 눈으로 들어온다. [문항 11]은 개념 영역으로 무대에서 비추는 조명의 색에 따른 변화에 관한 문항이다. 우리가 보는 물체의 색은 물체에 비친 여러 가지 색의 빛 중 반사되거나 투과되어 나오는 빛의 색이다. 물체가 특정한 색을 나타내는 것은 물체가 방출하거나 반사하는 빛이 특정한 파장 영역에 국한되고, 이를 시신경이 인식하기 때문이다. 그러나 본 연구에서 중학교 일부 과학영재 학생들은 물체의 색을 물체가 가진 특정한 속성으로 생각하고 있었으며, 물체의 색이 변하는 것은 광원이 달라지거나 광원과 상호작용하는 관계가 달라진 것이 아니라, 속성 자체가 변하는 것으로 생각하는 것을 알 수 있었다. [문항 2]는 법칙/원리에 관한 영역으로 거울에 빛을 입사시킬 때 일어나는 현상에 관하여 묻는 문항이다. 빛이 거울 표면에서 반사될 때, 어떤 경로로 반사가 일어나는지에 대해서는 빛의 진행에 대한 페르마(Fermat)의 최소 시간의 원리나 호이겐스의 원리, 또는 맥스웰 방정식으로부터 유도되는 매질의 경계 조건 등을 이용해 여러 가지 방법으로 구할 수 있는데 본 평가 문항의 내용에서는 ‘빛은 가장 시간이 적게 드는 경로로 진행한다.’ 라는 페르마의 최소 시간의 원리를 이용해서 반사광의

진행 경로에 관한 내용이다. 즉 거울에서 반사되는 빛은 입사각과 같은 각도로 반사되며, 반사광은 입사광과 법선으로 이루어진 평면상에 존재한다. [문항 3]은 법칙/원리에 관한 영역으로 거울에서의 반사한 빛을 일정한 지점으로 통과하게 시킬 때 거울의 회전에 관한 내용이다. [그림 4]는 빛의 굴절에 관한 평가 문항 간의 개념 위계를 나타낸 것으로, [문항 10]-[문항 4, 문항 5, 문항 6]-[문항 7]의 위계를 갖고 있다. [문항 10]은 사실 영역으로 무지개 생성 시 물방울에서의 빛의 굴절과 반사, 분산에 관하여 묻는 문항이고 [문항 4, 문항 5, 문항 6]은 개념 영역으로 빛의 굴절에 의해 일어나는 현상, 공기 중에서 물속으로 진행할 때 나타나는 현상과 물결과의 움직임에 관한 내용이다. [문항 7]은 법칙/원리 영역으로 공기에서 유리로 비스듬히 입사한 빛의 경계면에서의 입사각과 굴절각에 관한 내용이다.



[그림 3] 빛의 반사 평가 문항 간 위계

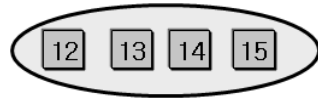


[그림 4] 빛의 굴절 평가 문항 간 위계

[그림 5]는 빛의 분산 평가 문항 간 위계를 나타낸 것이며, [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 위계를 갖고 있다.



[그림 5] 빛의 분산 평가 문항 간 위계



[그림 6] 빛의 간섭, 회절 평가 문항 간 위계

[문항 9]는 개념 영역으로 빛이 프리즘이나 물방울 등에 의해 여러 가지 색깔로 나누어지는 이유에 관한 문항이다. [문항 8]은 원리/법칙 영역으로 무지개 색깔 중 프리즘을 통과해 진행할 때 가장 많이 꺾이는 색과 적게 꺾이는 색에 관한 문항이다. 일반적으로 파장이 짧을수록 매질 내에서 빛의 진행 속도는 느려지게 된다. 매질의 굴절률은 파장에 따라 달라지는데 파장이 짧은 보라색 빛은 파장이 긴 빨간색 빛보다 속도가 느리기 때문에 굴절률은 더 커지게 된다. 그러므로 가장 많이 굴절하는 빛은 보라색이고, 가장 적게 굴절하는 빛은 빨간색이 된다. [문항 8]은 [문항 10]과 [문항 9]의 이해를 바탕으로 원리를 파

악하는 문항으로 볼 수 있다. [그림 6]은 빛의 간섭과 회절에 관한 평가 문항으로 각 문항 간 위계관계는 성립하지 않는 것으로 파악되었다. 이 평가 문항 간 자체 위계는 학생들의 검사 결과 지식상태를 비교하는데 사용되었다.

IV. 연구 결과 및 논의

K 대학교 영재교육원에서 사이버 영재강좌를 수강한 중학교 학생들의 빛에 대한 지식상태의 결과를 다음과 같이 분석하였다. 한 학급에 중학교 사이버 과학영재 학생들 30명 전체 평가 결과의 분석과 표집 학생 개인별 평가 결과의 분석을 하면서 각 문항들이 어떤 위계 관계를 보이는지 살펴보았다. 또한 이 위계 관계를 바탕으로 중학교 사이버 과학영재 학생들의 전체 학습 집단과 개인별 학습 진단을 하였다.

1. 전체 학생의 빛 개념 지식상태 분석

K 대학교에서 강좌를 수강한 중학교 사이버 과학영재 학생들 30명의 한 학급 전체 평가 결과는 <표 3>과 같고, 학생들의 빛 개념에 관한 평균 점수는 11.26점(정답률 75.11%)이며, 표준편차는 2.82이다. 각 문항별 정답률은 <표 4>와 같으며, [문항 1]과 [문항 10]을 제외한 나머지 문항들은 약 70% 정도의 정답률을 보였으며, 학생들이 각 문항들에 대해서 비슷하게 정답률을 보이고 있었다. 또한 각 개별 학생들의 빛 개념에 대한 점수는 <표 5>와 같다.

<표 3> 전체 학생의 빛 개념 평가 결과

학생수	평균점수(만점: 15)	표준편차	비고
30	11.26(75.11%)	2.82	

그러나 이러한 산술적인 평균의 차이와 문항에 대한 정답률 차이 외에는 다른 어떤 정보도 알 수 없다. 그러므로 평균 혹은 정답율의 차이가 실제 학생들이 갖고 있는 현재의 지식상태와는 어떻게 연결되어 있는지 살펴볼 필요가 있다.

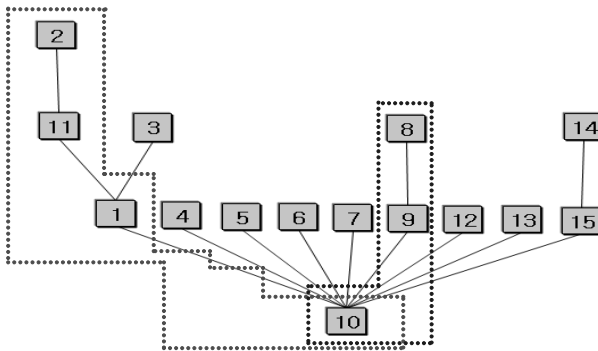
<표 4> 평가 문항별 정답률

문항번호	정답률(n=30)	문항번호	정답률(n=30)
1	90.00%	9	76.66%
2	70.00%	10	100.00%
3	70.00%	11	73.33%
4	73.33%	12	73.33%
5	70.00%	13	76.66%
6	70.00%	14	66.66%
7	73.33%	15	70.00%
8	73.33%		

<표 5> 개별 학생의 빛 개념 평가 점수

번호	점수(만점: 15)	번호	점수(만점: 15)	번호	점수(만점: 15)
1	15	11	15	21	8
2	12	12	12	22	9
3	14	13	10	23	13
4	6	14	12	24	15
5	13	15	13	25	9
6	10	16	13	26	10
7	8	17	14	27	13
8	8	18	12	28	12
9	7	19	11	29	15
10	15	20	7	30	7

지식공간론을 이용하여 지식상태를 분석하였을 때의 결과를 그림으로 나타내었다. 먼저 [그림 7]과 같이 전체 학생의 빛 개념에 대해 지식공간론을 통해 지식상태를 분석하여 나타내었다. [그림 7]에서 점선으로 된 네모 상자는 위계 관계가 밀접한 문항들을 나타낸 것이며, 학생들의 지식상태는 크게 빛의 반사와 분산, 회절에 관하여 위계 관계가 잘 나타나 있었다. 그러나 빛의 회절에 관한 위계는 현재 중학교 과학과 교육과정 내용에서는 체계적으로 가르치지 않기 때문에 본 연구에서는 연계성 측면에서 빛의 회절에 관한 분석은 서술하지 않았다.



[그림 7] 전체 학생의 지식상태 분석

전체 학생의 빛에 대한 지식상태에서 과학지식이 어떻게 위계 관계가 형성되었는지를 확인한 결과 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]-[문항 2]와 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 위계가 성립된 결과를 보였다. <표 6>은 위계 관계를 나타낸 평가 문항 내용이다.

<표 6> 위계 관계를 나타낸 평가 문항

문항	요소	과학지식	문항 내용
1	빛의 반사	사실	글자를 거울에 비추었을 때의 모양
2	빛의 반사	법칙/원리	거울에 빛을 입사시킬 때 일어나는 현상
8	빛의 분산	법칙/원리	무지개의 색깔 중 프리즘을 통과해 진행할 때 가장 많이 꺾이는 색과 적게 꺾이는 색
9	빛의 분산	개념	빛이 프리즘이나 물방울 등에 의해 여러 가지 색깔로 나누어지는 이유
10	빛의 굴절, 반사, 분산	사실	무지개 생성 시 물방울에서의 빛의 굴절과 반사
11	빛의 반사	개념	무대에서 비추는 조명의 색에 따른 변화

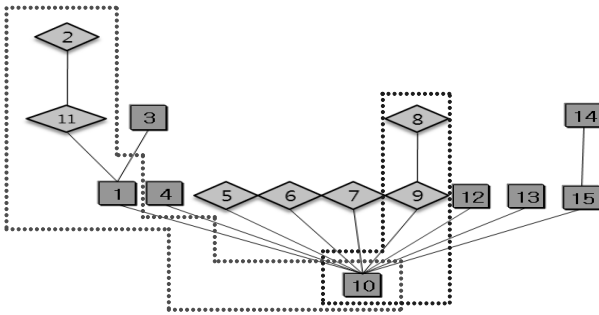
평가 문항 간 자체 위계 관계는 빛의 반사 개념에서 [그림 3]과 같이 [문항 1]-[문항 11]-[문항 2, 문항 3]이 밀접한 관계에 있었고, 굴절 개념에서는 [그림 4]와 같이 [문항 10]-[문항 4, 문항 5, 문항 6]이었으며, 분산 개념에서는 [그림 5]와 같이 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]이 밀접한 관계를 보였다. 그러나 실제 학생들의 빛 개념에 대한 지식상태는 빛의 분산 개념을 제외하고는 평가 문항 간 자체의 위계와는 일치하지 않음을 알 수 있었다. 이렇게 완전히 일치하지 않음은 학생들과 교사의 생각이 다름을 의미한다고 볼 수 있다. [그림 7]에서 [문항 10]이 가장 아래에 있는 것으로 보아 대부분의 학생들이 [문항 10]을 맞힌 것으로 볼 수 있다. <표 4>에서의 [문항 10]의 정답률을 보면 100%로 전체 학생들이 모두 맞았음을 알 수 있다. 점선안의 문항 간 위계는 밀접한 관계를 나타낸 것이므로 [문항 2]를 맞히기 위해서는 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]을 맞았음을 의미한다. 만일 이 학습 집단에서 문항 간 위계 구조가 연결되어 있지 않았다면 그렇지 않을 수도 있을 것이다. 즉 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]은 공통적으로 빛의 반사 개념에 관련된 문항이므로 빛의 반사에 대한 기본적인 개념 이해가 선행되어야 한다고 볼 수 있을 것이다. [그림 7]의 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]은 분산 개념으로서 이 위계에서는 [문항 10]위에 [문항 9]와 [문항 8]이 위치하고 하고 있다. [문항 8]은 [문항 10]과 [문항 9]의 이해를 바탕으로 원리를 파악하는 문항으로 볼 수 있다.

K 대학교 영재교육원에서 사이버 강좌를 수강한 중학교 학생들 30명의 빛에 대한 지식상태를 결과를 분석하여 보았을 때, 본 연구에 참여한 학생들의 지식상태가 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]-[문항 2]의 빛의 반사 개념에 대한 지식상태 위계와 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 빛의 분산 개념에 관한 지식상태 위계 관계가 밀접하게 형성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 이 학습 집단에서의 위계를 보면 과학 지식의 영역에 따라 아래에서부터 사실-개념-원리/법칙의 구조를 보이고 있어, 학생들이 원리에 해당하는 문항을 어려워한다는 것을 알 수 있었다.

2. 표집학생의 빛 개념 지식상태 분석

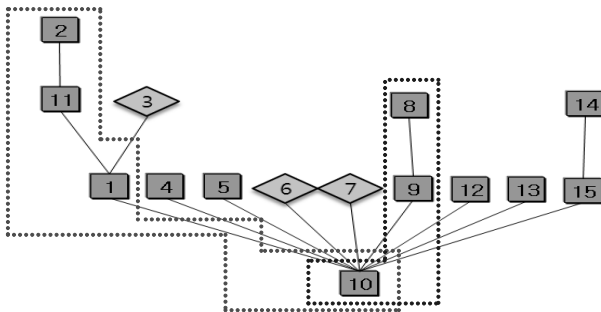
본 연구에서는 앞에서 분석한 중학교 학생들 전체의 지식상태를 바탕으로 평가에 참여한 학생들 30명인 한 학급 전체의 지식상태가 어떻게 분포되어 있는지를 살펴보았다. 다

음은 그 중에서 대표적인 사례를 표집학생들의 자료를 바탕으로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 지식공간론에 기초하여 위계도를 분석할 경우, 평가 집단 전체의 위계를 알 수 있음은 물론 그 집단에 속해 있는 각 개개인의 위계와 지식상태도 알 수 있다. [그림 8]은 표집 학생 A의 지식상태를 분석한 결과이다. [그림 8]에서 네모 모양은 정답을 맞힌 문항이며, 마름모꼴 문항은 틀리게 답을 한 문항이다.



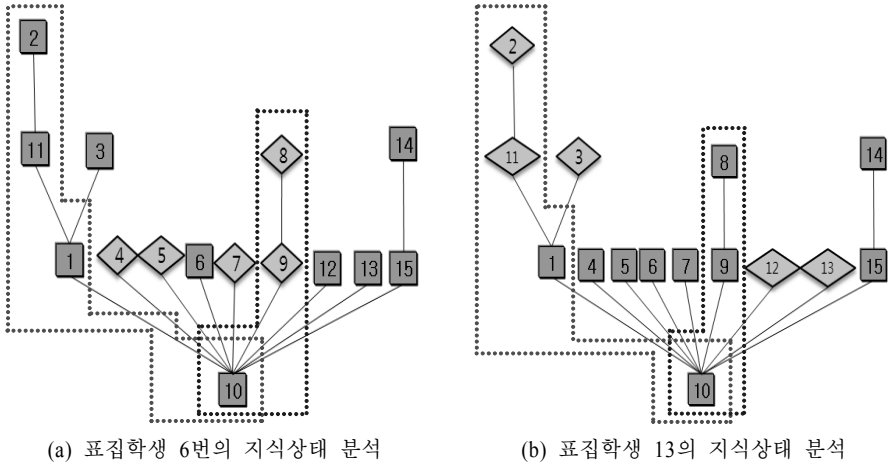
[그림 8] 표집학생 7번의 지식상태

[그림 8]에서 표집 학생 7번의 경우에는 평가 문항 간의 위계 관계가 성립되어 있지 못한 것을 볼 수 있었는데 이 학생의 빛의 반사와 분산에 대한 개념 위계는 구조화되어 있지 않았으며, 또한 문항 간 내용 면에 있어서도 연관성이 낮게 나왔다. 즉 학생 7번의 경우 빛의 반사와 분산에 관한 지식상태는 위계관계가 잘 정립되어 있지 못하였으며, 빛에 대한 개념이 잘 정립되어 있지 않다고 볼 수 있다. [문항 11]과 [문항 9]에 대해서 보충학습이 요구되고, 빛의 굴절 개념에 관한 문항 중 [문항 4]를 맞았다 하더라도 굴절 개념에 관한 나머지 문항을 틀렸음을 볼 때 이는 추측 요인이 작용했던 것으로 볼 수 있다. 그러므로 표집학생 7번에 대해서는 빛에 대한 지식상태 분석을 통하여 정립되지 못한 개념에 대해서는 체계적인 개별 교육이 요구된다고 볼 수 있다.



[그림 9] 표집학생 18번의 지식상태

[그림 9]는 표집학생 18번의 위계도로서, 이 학생은 본 연구에서 제시된 문항에 대한 개념 정립이 잘 되어 있음을 알 수 있었다. 평가문항 간 개념의 연관성이 있는 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]-[문항 2]의 빛의 반사 개념과 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 빛의 분산 개념에 관한 문항을 모두 맞았다. 따라서 이 학생은 빛의 반사와 분산에 관한 개념의 위계 관계가 체계적으로 잘 형성되어 있음을 알 수 있었다.



[그림 10] 점수가 같은 표집학생 6번과 13번의 지식상태 분석

[그림 10]은 동일한 점수를 얻은 학생들의 위계도를 나타낸 것이다. [그림 10]에서 표집 학생 6번과 13번은 본 연구에서 제시된 문항에 대한 한 부분에서는 개념 정립이 잘 되어 있음을 진단할 수 있었다. 그러나 동일한 점수를 맞았으나 각 개인별로 서로 다른 지식구조를 갖고 있었고, 이에 따른 학습 진단도 서로 다르게 평가해야 함을 알 수 있었다. [그림 10]에서 표집 학생 6번은 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]-[문항 2]의 빛의 반사 개념에 관한 지식상태 위계가 잘 정립되어 있었으나 [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 빛의 분산 개념에 관한 지식상태 위계가 형성되어 있지 않음을 진단할 수 있었다. 표집학생 6번이 [문항 10]을 심화학습하면 [문항 9]를 맞힐 수 있을 것이고, 또한 [문항 10]과 [문항 6]을 심화학습 하면, [문항 4, 문항 5, 문항 7]을 맞힐 수 있을 것이다. 굴절 개념에 대해서는 밀접한 위계 관계가 형성되어 있지는 않으나 굴절에 관한 [문항 4, 문항 5, 문항 6, 문항 7]에서 [문항 6]을 제외한 나머지 문항을 전부 틀린 것으로 볼 때, [문항 6]을 맞았다더라도 추측 요인이 작용했던 것으로 보인다.

반면에 표집 학생 13번은 [문항 10]-[문항 1]-[문항 11]-[문항 2]의 빛의 반사 개념에 관한 지식상태 위계가 잘 정립되어 있지 않았고, [문항 10]-[문항 9]-[문항 8]의 빛의 분산 개념에 관한 지식상태 위계가 잘 형성되어 있음을 진단할 수 있었다. 표집학생 13번이 [문항 10]과 [문항 1]을 심화학습 하면 [문항 12, 문항 13]과 [문항 11, 문항 3]을 맞힐 수 있을 것이다.

본 연구에서는 위계 관계가 잘 정립된 학생과 그렇지 못한 학생, 동일한 점수를 얻은 학생들에 대해서만 대표적으로 결과와 분석 내용을 제시하였으나, 실제로는 본 평가에 참여한 과학영재 학생들 30명 전체에 대해서 개별적 진단을 하였으며, 이를 통하여 각 개별 학생들에 대한 지식상태를 분석하여 진단하였다. 표집학생의 수가 30명으로 소규모인 경향이 있기 때문에 이를 일반화하기에는 어려움이 있다고 볼 수도 있으나 이 연구의 결과는 박상태(2010)와 김유진 외(2011)의 연구 등을 지지하였다. 이 연구들은 학생들로부터 얻은 평가 결과 해석의 한 방법으로 지식 위계를 도식화함으로써 분석하였다. 박상태(2010)는 지식상태 분석을 통한 과학영재들의 힘에 관한 오개념을 연구하였다. 이 연구는 대학교 과학영재교육원 교육생 중 물리반 학생들의 힘과 운동 영역에 대한 지식상태를 지식공간론을 활용하여 분석하고, 이것으로부터 얻은 위계를 도식화함으로써 힘과 운동 개념, 특히 오개념에 대한 교수 학습 방법을 개선하기 위해 필요한 기초자료로 활용하였다. 그리고 김유진 외(2011)의 지식상태 분석법을 활용한 고등학생들의 전류와 전압 개념 위계도 분석에서는 전류와 전압 단원에서의 과학지식을 구분하여 각 물리 지식에 대한 진단 평가 문항을 개발하고 지식공간론을 활용하여 분석하여 이로부터 얻은 위계를 도식화함으로써 고등학생들의 지식상태를 파악함은 물론 각 개인의 위계를 분석함으로써, 개별화 학습을 위한 이정표로 활용한 바 있다.

대부분 학교 현장의 평가에서는 전체 성적에 대한 자료만 있을 뿐 문항에 포함된 여러 가지 학습 개념에 대한 상세한 평가 자료(문항과 문항과의 관계)는 전혀 알 수 없다. 예를 들어 같은 점수를 얻은 두 학생의 경우, 한 학생은 빛의 반사 개념에 관한 문항은 거의 맞았으나 빛의 분산 개념에 관련된 문항은 대부분 틀렸고, 다른 학생은 반대의 결과가 나왔다고 할 때, 두 학생의 빛 개념에 관한 점수가 같다고 해서 두 학생이 동일한 수준의 학생이라고 말할 수는 없다. 이러한 측면에서 본 연구의 결과는 기존의 평가 방법으로는 알 수 없는 평가 문항 간의 관계, 즉 평가 문항을 통하여 간접적으로 학생들의 지식 위계 구조를 알 수 있게 한다. 그리고 학생의 지식상태 분석은 학생의 출발점 상태를 정확히 알 수 있게 하는 개별적 진단평가 역할을 할 수 있다. 또한 학습 후에 얻어지는 학생의 지식상태는 추후 보충 심화 학습을 위한 교수 학습의 시사점도 얻을 수 있을 것이다. 대부분의 학생지도 자료는 교사의 이해를 위한 자료로 만들어진다. 그러나 학생 지도가 성공하려면 학생과 교사의 신뢰감이 가장 필요하고, 그렇게 하기 위해서는 서로가 공감하면서도 이해하기 쉬운 자료가 필요하다. 그러므로 위계도를 시각적으로 제작하고, 학생의 지식상태를 그 위계도에 표시하는 것은 학생과 교사 모두가 공동의 목적을 향해서 매진할 수 있는 가능성을 시사한다고 볼 수 있다. 개개인에 관한 올바른 평가는 개개인에 알맞은 학습을 계획할 수 있는 환경을 제공해 준다. 특히, 단편적인 과학 수학적 지식이 아니라, 개념과 지식의 연결, 창의적인 문제해결의 효율성(Hiebert and Lefevre, 1986)을 위해서도 위계도를 이용한 학습자 개개인의 평가는 시사하는 바가 크다고 하겠다(Olawareaju, 1987).

위계도를 그리기 위해서 사용한 방법은 과학적이고 체계적이다. 문제는 의미 있는 답안을 어떻게 선별하는지에 있다. 점수가 낮다고 의미 없고 점수가 높다고 해서 의미 있는

답안이라고 할 수는 없다. 다만 본 연구에서 의미 있는 답안이라는 것은 앞에서 가정하듯 ‘모르는 문제를 우연히 맞히는 경우는 없다’와 ‘맞힐 수 있는 문제를 실수로 틀리는 경우는 없다’라고 가정하여 이에 부합하는 30명 학생들의 답안만을 분석 자료로 택하였다. 본 연구의 관점은 학생의 점수를 중심으로 한 평가 결과에 대한 분석보다는 학생들의 주어진 문제에 대한 지식상태와 구조에 대한 분석을 목표로 하였다. 지식상태 분석의 첫 단계에서 어떤 학생의 답안을 지식상태로 인정하느냐의 여부가 애매할 수도 있으나 그 밖의 과정은 일의적(unique)이다. 즉 지식공간론을 활용한 지식상태 분석은 체계적이고 과학적인 분석을 가능하도록 해주어 주관적인 요소를 가미한 객관화의 의미 있는 결합이라 할 수 있다(변두원 외, 2004).

V. 결론 및 제언

이 연구는 대학교 영재교육원에서 사이버 과학 강좌를 수강한 중학교 학생들을 대상으로 빛 개념에 대한 지식상태를 분석하기 위해 평가 문항을 개발하고, 학생들에게 투여함으로써 집단에서의 위계와 개인별 지식상태를 비교 분석하였다. 연구 결과 중학교 과학영제 학생들에게 적용한 빛에 대한 개념에서 빛의 반사와 분산, 그리고 본 연구에서는 기재하지 않았으나 회절에 관한 개념의 지식상태 위계가 형성되어 있음을 알 수 있었다. 또한 빛에 관하여 지식상태 위계가 잘 정립되어 있는 학생과 그렇지 못한 학생들의 지식상태 위계를 분석함으로써 개개인의 학생에 대한 개별 진단 및 지식상태 정보를 얻을 수 있었다. 연구 결과 표집학생 7번은 빛의 반사 개념과 분산 개념에 대한 지식상태 위계 관계가 체계적으로 정립되어 있는 반면에 표집학생 18번은 지식상태 위계 관계가 정립되어 있지 못하였다. 또한 빛 관련 단원의 문항에 관하여 동일한 점수를 얻은 학생들일지라도 개별 학생들의 빛에 대한 지식상태 위계가 다를 수 있었다. 표집학생 6번과 13번은 동일한 점수를 얻었다. 그러나 표집학생 6번은 빛의 반사 개념에 관한 지식상태 위계 관계가 정립되어 있었으나 빛의 분산 개념에 대해서는 지식상태 위계 관계가 정립되어 있지 못하였다. 반면에 표집학생 13번은 빛의 반사 개념에 관한 위계 구조가 정립되어 있지는 않았으나 빛의 분산 개념에 대해서는 지식상태 위계가 형성되어 있음을 알 수 있었다. 이와 같이 동일한 점수를 맞았다 할지라도 학생 개인별로 서로 다른 지식구조를 갖고 있고, 이에 대한 학습 진단도 서로 다르게 해야 함을 알 수 있었다. 이러한 점에서 지식공간론을 활용한 지식상태 분석은 평가 문항 간의 관계(위계 구조)와 개별 학습자의 지식상태를 알 수 있게 한다는 점에서 시사점을 찾을 수 있었다. 그리고 본 연구에서 빛에 대한 지식상태 분석법을 통해 얻어진 위계도는 학습 집단과 개인별 학생들의 지식 상태를 진단할 수 있는 평가 도구임을 확인하였다.

이 연구와 관련하여 교수 학습의 계열성과 위계 관계의 정립 및 개별화 학습 등 학습자가 지니고 있는 지식의 위계뿐만 아니라 과학과 교육과정에서 제시된 과학 탐구과정 위계와 교육 현장의 교수 학습에서 학생들이 지니고 있는 과학 탐구과정 요소에 대한 위계 관계 연구가 이루어질 필요가 있다고 본다. 그리고 이러한 지식상태 분석을 활용한 진단

은 빛 개념 이외의 교수 학습을 계획하거나 이와 관련하여 학생들의 학습 진단을 할 때에도 고려되었으면 한다. 무엇보다 학생들이 어려워하거나 현장에서 교사들이 지도할 때 어려움을 겪는 개념 등을 중심으로 고찰해 보고, 적절한 개선점을 찾는 과정에 대한 연구가 이루어질 필요가 있다고 본다.

참 고 문 헌

- 권경필, 방소윤, 이성묵, 이경호 (2006). 광학분야에서 학생 개념의 상황 의존성: 시각 과 거울 상을 중심으로. **한국과학교육학회지**, 26(3), 406-414.
- 권재술, 최병순, 김찬중 (1998). 국가 수준의 과학 지식 평가 체제 개발. **한국과학교육학회지**, 18(4), 601-615.
- 공주대학교 과학교육연구소 (2002). **지식공간론 입문**. 대전: 도서출판 보성.
- 김석천, 박상태, 이희복, 정기주 (2007). 지식상태분석법을 이용한 학습 진단평가도구 로의 활용성 분석. **한국과학교육학회지**, 27(4), 346-353.
- 박상태 (2010). 지식상태 분석을 통한 과학영재들의 힘에 관한 오개념. **영재교육연구**, 20(3), 1027-1037.
- 박상태, 변두원, 이희복, 김준태, 육근철 (2005). 지식상태 분석법을 통한 예비 물리교사들의 학년별 물리개념 위계도 분석. **한국과학교육학회지**, 25(7), 746-753.
- 박혜경, 김영희, 전평국 (2008). 평면도형 넓이 관련 지식 상태의 분석. **중등교육연구**, 56(2), 169-196.
- 백성혜, 정연경 (2009). ‘빛과 상’에 대한 초등 교사들의 이해와 학습 내용에 대한 인식 변화에 대한 사례 연구. **초등과학교육학회지**, 28(3), 245-262.
- 변두원, 정인철, 박달원, 노영순, 김승동 (2004). 수학 교육에서 평가결과에 기초한 개별화 학습과정의 위계도. **한국수학교육학회지**, 43, 75-85.
- 오원근, 김재우 (2002). 시각 및 빛의 성질에 대한 중학생의 개념. **새물리**, 45(3), 163 - 170.
- 윤마병, 김희수 (2010). 지식공간론에 기초한 천문학적 공간개념의 위계 분석. **한국지구과학학회지**, 31(3), 259-266.
- 이양락, 박재근, 이봉우 (2006). 제7차 중등학교과학과 교육과정 내용의 적정성 분석. **한국과학교육학회지**, 26(7), 775-789.
- 이재봉, 남경운, 손정우, 이성묵 (2004). 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형분석. **한국과학교육학회지**, 24(6), 1189-1205.
- 장병기 (1996). 빛의 본성에 대한 학생들의 개념. **과학교육연구**, 19, 69-84.
- 정순화, 김선자, 박종욱 (2009). 초등학교 빛과 그림자 단원에 적용한 인지 가속 수업 전략의 효과. **초등과학교육**, 28(3), 321-330.
- 정진우, 조선형, 임청환 (1996). 과학개념의 위계적 분석 및 그 적용을 통한 교수 효과와 과학교육과정 계열성의 타당화 평가 연구. **한국과학교육학회지**, 16, 1-12.
- 정효해, 김재영 (2005). 초등교사와 학생의 과학과 교수학습에 대한 곤란도 연구. **초등과학교**

육학회지, 24(5), 531-538.

- Akerson, J. A., Morrison, A. M., & McDuffie, A. R. (2006). One course is not enough: Pre-service elementary teacher's retention of improved views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(2), 194-213.
- Albert, D., Falmagne, J. C., & Doignon, P. (1995). *Knowledge structures* (p. 256). Lawrence, NY: Erlbaum.
- Anderson, J. R. (2000). **인지심리학과 그 응용** [이영애 역]. 서울: 이화여자대학교 출판부. (원본 출간년도: 1995).
- Bart, W. M. (1976). Some results of ordering theory for guttman scaling. *Educational and Psychological Measurement*, 36, 41-148.
- Bart, W. M., & 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.
- Buty, C., & Mortimer, E. F. (2008). Dialogic/authoritative discourse and modelling in high school teaching sequence on optics. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1635-1660.
- Durva, C. A. (1985). *A composite of order analysis procedures*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED275764)
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, 22(1), 57-88.
- Goldberg, F. M., & McDermott, L. C. (1986). Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *The Physics Teacher*, 24(8), 472-480.
- Guesne, E. (1985). Light. In R. Driver, E. Guesne, & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp. 10-33). Philadelphia, PA: Open University Press.
- Hiebet, J., & Lefevre, P. (1986). *Conceptual and procedural knowledge in mathematic: An introductory analysis* (p. 27). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jean-Paul, D. J., & Falmagne, J. (1999). *Knowledge space*. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- OlaREWaju, A. O. (1987). Relative effects of hierarchical versus non-hierarchical learning tasks on student's achievement in biology. *Research in Science and Technological Education*, 5(1), 17-24.
- Stead, B. F., & Osborne, R. J. (1980). Exploring science students concepts of light. *Australian Science Teacher Journal*, 26(3), 84-90.
- WenglinSky, H. (2000). *How teaching matter: bringing the classroom back into discussions of teacher quality*. Princeton, NJ: Educational testing Service.
- Wyrembeck, E. P., & Elmer, J. S. (2006). Investigating an aerial image first. *Science Teacher*, 73(2), 51-55.

= Abstract =

Middle School Science Gifted Students' Knowledge state Analysis of Light Concept Through Evaluation Questions

Hyeong-Jae Lee

Gongju Shinwol Elementary School

Ji-Seon Ha

Chonanbuk Middle School

Sang-Tae Park

Kongju National University

In this study, we developed and applied 15 evaluation questions about light to 30 middle school students in K University Science Education Institute for the Gifted . Then we used the theory of knowledge space and analyzed the middle school Science Gifted Students' knowledge state about light. By schematizing the hierarchy from it, we intended to not only measure students' knowledge state about light, but use it as the basic materials to improve teaching methods. To achieve the purpose of this study, we analyzed the evaluation results and individual knowledge state and hierarchy of questions. As a result, there were different knowledge structures in the individual, and we found that we should diagnose them differently. In addition, we have had implications that it has the connection with each questions and the individual knowledge state.

Key Words: Knowledge state, Knowledge Space, Hierarchy, Evaluation

1차 원고접수: 2011년 10월 30일

수정원고접수: 2011년 12월 13일

최종게재결정: 2011년 12월 20일

[부록 1] 빛 개념 평가 문항

소속: 중학교 ()학년 ()반 ()번 이름: ()

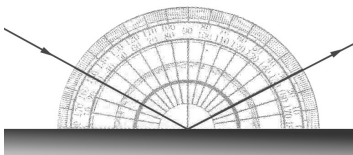
* 설문은 총 문항입니다. 문항에 해당하는 정답을 OMR카드에 정확히 기입하세요.

1. 다음 보기와 같은 글자를 거울에 비춰보면 어떤 모양으로 보일까?



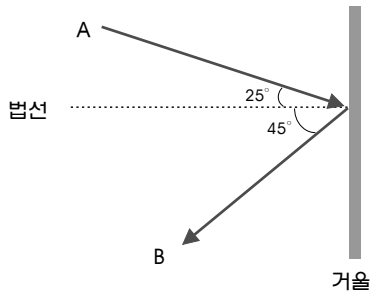
보기	①	②	③	④	⑤
연	ㄹ	ㄷ	여	ㄱ	ㄴ

2. 아래 그림과 같이 거울에 빛을 입사시킬 때 일어나는 현상을 설명한 것 중 옳지 않은 것은?



- ① 입사각과 반사각은 같다.
- ② 이 빛의 입사각은 60°이다.
- ③ 거울을 오른쪽으로 회전시키면 반사광선도 오른쪽으로 회전한다.
- ④ 거울을 10° 회전시키면 반사광도 30° 회전한다.
- ⑤ 입사각이 0°가 되면 반사광은 되돌아 나간다.

3. 그림과 같이 점 A에서 나온 광선이 거울에서 반사한 후 점 B를 통과하게 하려면, 거울을 어느 방향으로 몇 도나 회전시켜야 하는가?



- ① 시계 방향으로 10° 회전시킨다.
- ② 시계 방향으로 20° 회전시킨다.
- ③ 반시계 방향으로 10° 회전시킨다.
- ④ 반시계 방향으로 15° 회전시킨다.
- ⑤ 반시계 방향으로 20° 회전시킨다.

4. 빛의 굴절에 의해 일어나는 현상으로 옳지 않은 것은?

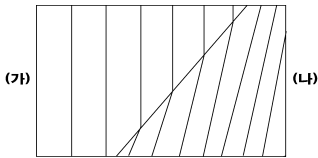
- ① 물속에 비스듬히 꽂은 빨대가 꺾여 보인다.
- ② 사막에서 신기루 현상을 체험할 수 있다.
- ③ 어항속의 물고기가 실제보다 커 보인다.
- ④ 잔잔한 수면에 주위의 경치가 보인다.
- ⑤ 물속의 동전은 실제 위치보다 위쪽에 있는 것처럼 보인다.

5. 다음은 빛이 공기 중에서 물속으로 진행할 때 나타는 현상을 설명한 것이다. 옳은 것은?

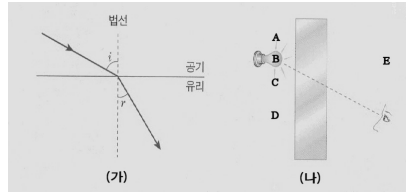
- ① 입사각이 굴절각보다 작다.

- ② 입사각이 달라지면 굴절각도 달라지므로 굴절되는 정도가 달라진다.
- ③ 물속에 있는 물체는 실제의 위치보다 빛이 굴절되므로 더 깊어 보인다.
- ④ 빛이 입사되는 입사각이 커지면 굴절각은 더 작아진다.
- ⑤ 빛이 나아가는 속력은 물속에서보다 공기에서 더 빠르다.

6. 그림은 물결파의 움직임을 나타낸 것이다. (가)에서 (나)로 진행할 경우 다음 설명 중 옳지 않은 것은?



- ① 파동의 굴절현상을 보여준다.
 - ② 파장은 (나)보다 (가)에서 더 길다.
 - ③ 물의 깊이는 (나)보다 (가)에서 더 깊다.
 - ④ 물결파의 진동수는 (나)보다 (가)에서 크다.
 - ⑤ 물결파는 물이 얇은 곳을 지날 때 속도가 느려지기 때문에 나타난다.
7. 공기에서 유리로 비스듬히 입사한 빛은 그 경계 면에서 그림 (가)와 같이 꺾여 나아가며, 이 때 입사각 i 보다 굴절각 r 이 더 작다. 그림 (나)에서 두꺼운 유리판을 통해 볼이 켜진 전구를 보니 전구가 B의 위치에 있는 것으로 보였다. (나)의 유리는 (가)에 비해 두껍다. 그렇다면 전구는 실제로 어느 위치에 있겠는가?



- ① A ② B ③ C ④ D ⑤ E

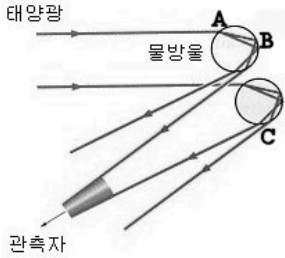
8. 무지개의 색깔 중 프리즘을 통과해 진행할 때, 가장 많이 꺾이는 색은 (A)이고, 가장 적게 꺾이는 색은 (B)이다. 꺾이는 정도가 차이가 있는 것은 (C) 때문이다. A, B, C에 들어갈 알맞은 색을 순서대로 쓴 것은?

- ① A-보라색 B-빨간색 C-물질에 따른 빛의 속도 차이
- ② A-빨간색 B-보라색 C-물질에 따른 빛의 속도 차이
- ③ A-보라색 B-노란색 C-매질의 차이
- ④ A-빨간색 B-노란색 C-매질의 차이
- ⑤ A-검은색 B-흰색 C-매질의 차이

9. 빛이 프리즘이나 물방울 등에 의해 여러 가지 색깔로 나누어지는 이유로 옳은 것은?

- ① 빛의 색깔에 따라 빛의 양이 다르기 때문에
- ② 빛의 색깔에 따라 빛의 속력이 다르기 때문에
- ③ 빛의 색깔에 따라 매질의 굴절률이 다르기 때문에
- ④ 빛의 색깔에 따라 빛의 반사각이 다르기 때문에
- ⑤ 빛의 색깔에 따라 빛의 분산되는 정도가 다르기 때문에

10. 다음 그림은 무지개의 생성 원리를 나타낸 것이다.



태양광이 A, B, C에서 각각 어떻게 진행되는지 알맞게 설명한 것은?

- ① A-빛의 굴절, B-빛의 반사, C-빛의 굴절
- ② A-빛의 굴절, B-빛의 굴절, C-빛의 반사
- ③ A-빛의 반사, B-빛의 굴절, C-빛의 반사
- ④ A-빛의 직진, B-빛의 반사, C-빛의 굴절
- ⑤ A-빛의 직진, B-빛의 반사, C-빛의 분산

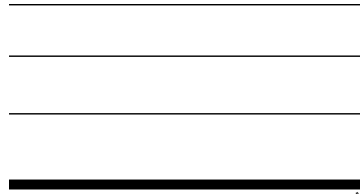
11. 어느 무대 공연에서 준비된 조명이 다음과 같다.

빨간색 2개, 파란색 2개, 초록색 2개

배우에게는 자홍색 조명, 배경으로는 청록색 조명을 비추려고 할 때 각각에 비추는 조명의 색을 바르게 짝지은 것은?

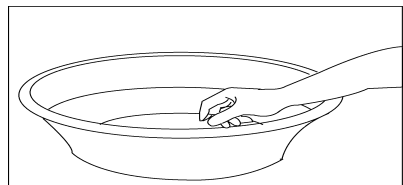
배우	배경
① 빨강+파랑	파랑+초록
② 빨강+파랑	빨강+초록
③ 파랑+초록	빨강+초록
④ 빨강+초록	빨강+파랑
⑤ 빨강+초록	파랑+초록

12. 그림과 같은 물결파가 장애물에 수직하게 진행할 때 장애물에 도달한 후 반사되는 파면의 모습을 바르게 나타낸 것은?



- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

13. 다음 그림은 세숫대야에 물을 약 3 cm³ 깊이로 담고 손가락을 넣을 때 발생하는 물결파의 모습을 관찰하기 위한 실험 장치이다. 세숫대야의 벽에서 반사되는 물결파가 진행되는 모습으로 알맞은 것을 고르시오.

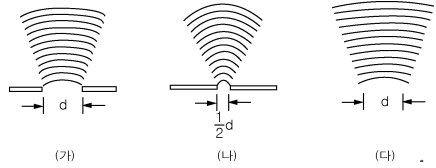


- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤

14. 다음 사항 중 소리의 회절에 의해 나타나는 현상이 아닌 것은?

- ① 소리가 담 너머까지 들린다.
- ② 방파제 뒤쪽에도 파도가 밀려온다.
- ③ 문틈으로 바깥의 소리를 들을 수 있다.
- ④ 가구가 없는 빈방에서 소리를 지르면 소리가 많이 울린다.
- ⑤ 방송국에서 보낸 전파가 산이나 건물 뒤쪽에 있는 라디오나 텔레비전에 도달한다.

15. 다음 그림은 물결통에서 평면파를 발생시켜, 슬릿을 통과하여 전파하는 물결파의 모양을 나타낸 것이다. 실험결과에 따른 설명이 옳은 것만 모두 고른 것은?



<보기>

- (가) 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 정도가 크다.
- (나) 슬릿의 폭이 클수록 물결파의 속력이 크다.
- (다) 파장이 길수록 회절 정도가 크다.

- ① (가)
- ② (나)
- ③ (다)
- ④ (가), (다)
- ⑤ (가), (나), (다)