

초등학생의 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정의 개발

이경란 · 박종호[†] · 백남권[†]
(부산대학교) · (진주교육대학교)[†]

A Development on Learning Progressions about Concepts of the Properties of Light in the Elementary Students

Lee, Kyoeng-Ran · Park, Jong-Ho[†] · Back, Nam-Gwon[†]
(Pusan National University) · (Chinju National University of Education)[†]

ABSTRACT

The purpose of this study is to devise the concept of properties of the light on learning progressions for 3-6 grade students in the elementary school. For the purpose, this study creates a construct map of the properties of the light. Ordered multiple-choice items were developed in view of the construct map and presented to 200, 3~6 grade students in the elementary school. A partial credit model of Rasch model was used to analyze the results of those items, and the learning progressions was devised from the analysis results. The study can be summarized as follows: the construct modeling approach was used to devise the properties of light on learning progressions. As a result, the concept was selected for the core standards of construct map. Based on the construct map, the multiple-choice items were developed for students' conceptual understanding. The items were analyzed using the partial credit model, and the analysis findings showed that they were appropriate to assess students about their level of understanding of the properties of light. Finally, learning progressions were devised with the use of item analysis results.

Key words : science education, learning progressions, light, Rasch model

I. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

21세기 지식 정보화 사회에 들어선 우리나라의 교육은 전인적 성장의 기반 위에 개성의 발달과 진로를 개척하는 사람, 기초 능력의 바탕 위에 새로운 발상과 도전으로 창의성을 발휘하는 사람을 추구하고 있다. 이에 따라 우리나라는 인재를 양성하는 교육에 치중하면서 중상위권 학생들을 대상으로 하는 교육에 집중하고 있다. 특히, 우리나라의 교육 현실은 중상위권 학생 수준을 기준으로 한 교수·학습 방법이 적용하고 있으며, 학생들의 개인 차에 맞는 차별화된 교수를 받지 못하여 소외되는

학생들이 늘어나고 있는 실정이다.

우리나라 교육과정을 살펴보면 제7차 교육과정부터 학생 중심 교육과정으로 수준별 교육과정을 제시하였고, 2009 개정 교육과정에 이르기까지 학생 중심의 교육과정 재구성 및 다양화를 강조하고 있다. 특히, 2009 개정 과학과 교육과정에서는 학생 수준에 따른 다양한 탐구 활동 중심의 학습, 학생의 개인차를 고려한 지도, 학생 중심의 활동 등을 강조하고 있어 과학 교과에서 학생의 수준을 파악하고, 그에 적합한 활동을 제시하는 패러다임의 필요성을 제기하고 있다. 이러한 교육과정을 재구성하여 학생에게 맞는 적절한 교육활동을 제공해야 한다는 패러다임을 제시한 것이 학습 발달과정(learning

progression)이다. 학습 발달과정은 학생들이 가지고 있는 다양한 선개념을 정교한 과학적 개념으로 발전되는 흐름을 의미하며, 학생 스스로 시간이 지나면서 자연스럽게 습득하는 것이 아니라, 적절한 교육활동을 통해 좀 더 정교하고 전문적인 수준이 되는 발달 경로를 의미한다. 그러므로 학습 발달과정은 적절한 교수·학습 방법을 활동을 통해 점진적으로 정교화 되는 발달 단계로서 과학 교육 연구에서 도출된 경험적 근거자료를 바탕으로 제시되어야만 한다(Duschl *et al.*, 2007; Duschl, 2011; Seong, 2013).

학습 발달과정은 영국의 국가 교육과정에서 도입되기 시작하여, 미국에서 발표된 초중등 과학교육 체제(A framework for K-12 Science Education)가 도입되면서(Wilson & Betenthal, 2006) 국외에서는 학습 발달과정에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있으나, 국내에서는 물의 순환, 물의 상태 변화에 대한 연구로 시작 단계가 있다(Briggs *et al.*, 2006; Seong *et al.*, 2013; Maeng *et al.*, 2013).

한편, 빛의 성질은 빛의 직진, 반사, 굴절 등의 개념을 체계적인 발달 단계에 따라 다양한 선개념에서 과학적 개념으로 습득하게 된다. 미국의 K-12 과학과 교육과정에서는 학습자의 발달 단계에 따라 학습 발달과정을 기준으로 하여 빛의 성질 개념의 핵심 원리를 제시하고 있으나, 우리나라 교육과정에서는 학생들이 어려워하는 내용을 학년만 상향 조정하여 제시하고 있어 체계적인 발달 단계에 따른 ‘빛의 성질’에 대한 과학적 개념 체제의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 본 연구에서는 빛의 성질 개념에 대한 초등학교 3~6학년 학생들의 학습 수준을 측정하기 위한 평가도구를 고안하여 학습 발달과정을 개발하고자 한다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구대상

본 연구에서 경남 김해 H초등학교 3~6학년 학년별 50명씩 총 200명을 연구 대상으로 하였다. 2009 개정 과학과 교육과정에서 빛의 성질은 4학년과 6학년에서 제시하고 있다. 3학년과 5학년에서는 교육과정의 관련성은 없지만, 빛의 성질 개념을 학년

별로 조사하여 학습 발달과정을 고안하기 위하여 연구 대상으로 포함하였다. 본 연구의 대상인 경남 김해 H초등학교 3~6학년 학생으로 제한하였으므로 연구결과를 일반화하는 데는 한계가 있다.

2. 연구 모형

본 연구에서는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정을 고안하기 위해서 문항특성의 불변성과 피험자 능력 불변성을 유지하며, 피험자 능력 추정의 정확성을 지니고 있는 문항반응이론의 관점에서 접근하였다(Briggs *et al.*, 2006). 학습 발달과정의 수준을 판별하기 위해서 문항반응이론의 부분 점수 모형(Partial Credit Model, PCM)을 중심으로 하여 구인 모델링 방식(construct modeling approach)을 적용한 4단계 평가 시스템을 사용하였다. 구인 모델링 방식은 미국 NRC(National Research Council)에서 2006년에 제시한 평가의 삼각형(Wilson & Betenthal, 2006)을 기반으로 하고, 학습 발달과정의 평가 시스템을 개발하는 방법으로서 4단계 평가 시스템으로 구성되어 있다. 구인 모델링 방식의 구성 단위는 구인 특화(Specifying construct)-평가 문항 개발(Item design)-평가 결과 기술(Outcome space)-측정 모델 적용(Measurement model)로 Fig. 1과 같다.

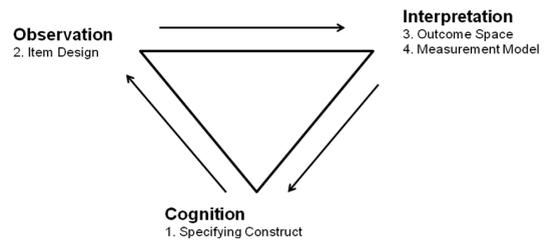


Fig. 1. Assessment triangle with four building blocks

III. 연구 결과

1. 구인특화: 구인 구성도 작성

Table 1은 4단계의 평가 시스템 중 첫 번째인 구인 특화 단계는 수준별로 구인을 구성하여 가장 낮은 수준에서 높은 수준에 이르기까지 질적으로 구분되는 연속적인 도식으로 제시하는 구인 구성도(construct map)를 작성하는 단계이다(Wilson, 2009). 여기에서 구인은 학습에서 평가하고 측정할 요소

로서 교과의 핵심 개념이나 주제에 해당되며, 정형화된 개념 이해가 아니라, 해당 구인에 대한 이해 및 실행의 정도가 가장 낮은 하위 수준에서 가장 높은 상위수준에 이르기까지 질적으로 구분되는 연속적인 도식으로 구인 구성도가 작성된다(Yang, 2016).

본 연구에서는 빛의 성질을 구인으로 선정하고, 빛의 성질에 관한 선행연구(Koo, 2003; Park *et al.*, 2014; Yoo, 2014)와 2009 개정 과학과 교육과정 성취기준을 바탕으로 핵심 원리 7가지를 추출하였다. 핵심 원리에는 광원, 빛의 직진, 빛의 반사, 빛의 굴절, 빛의 이동, 물체를 보는 과정, 빛과 그림

자가 있다.

빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정을 고안하기 위하여 1수준인 하위 정착점에서 4수준인 상위 정착점으로 4가지 수준으로 분류하였다. 4수준으로 분류하는 기준으로 개념의 이해 정도와 과학적 용어 사용을 통해 수준을 판단하는 선행연구의 분류 기준을 사용하였다(Lee & Lim, 1997). 4수준은 완전한 이해(SU: Sound Understanding)로 개념에 대한 이해와 용어의 사용이 과학적이며 논리적으로 설명하여 응답한 경우에 해당하며, 3수준은 부분적 이해(PU: Partial Understanding)로 과학적인 용어를

Table 1. The construct map about the properties of light

Level	Content	Core principles	
4	· Sun, light fixtures themselves give out the light, and we can see objects by the light.	The light	
	· The light is straight. When light hits the opaque object, it makes a shadow the back of the object. Because light does not pass through an object.	The straight of light	
	· When the light shines on mirror, it reflects and is delivered to the person in front of mirror.	The reflection of light	
	· When the light passes other substances, it refract in boundary surface, such as it enters into the water or glass in the air.	The refraction of light	
	· The moving distance of the light is same on day and night, because it moves until it hits the objects.	The movement of light	
	· While the light of coming source of light is straight, it hits objects and refracts. And the reflection is delivered to our eyes, we can see the objects. (source of light→object→eyes)	The process to see the object	
	· The closer the distance between the light source and the object, the size of the shadow gradually becomes larger. The further the distance between the light source and the distance of objects, the size of the shadow gradually becomes smaller.	The light and shadow	
	· When the objects move from side to side, the shadow moves along the direction of the moving object.		
	3	· The surrounding is bright because of the light from coming the sun and light bulbs, light fixtures.	The light
		· The light can't go around the objects because it is straight.	The straight of light
· The light entering a mirror comes on again and goes to the person in front of the mirror.		The reflection of light	
· The light refracts when it enters the water.		The refraction of light	
· The moving distance of the light is same on day and night.		The movement of light	
· We can see objects, because the light shining objects comes our eyes. (source of light→object→eyes)		The process to see the object	
· The shadow is small when the object is close to the screen, the shadow is big when the object is far away on the screen.		The light and shadow	
2		· The moon is a source of light because we can see objects by moonlight.	The light
		· The light goes straight and runs through the object, but it detours surrounding of objects	The straight of light
		· When the light shines a mirror, it reflects in several directions. And the lights are delivered to the person in front of the mirror.	The reflection of light
	· When the light only enters water, it refracts.	The refraction of light	
	· The moving distance of the light is same on day and night, but it go faster at night than during the day.	The movement of light	
	· We can see objects, because there is a relationship between the light, object, our eye.	The process to see the object	
	· When the object moves from side to side, the position of the shadow changes. And the object is closer to the light source, the smaller the size of the shadow.	The light and shadow	

Table 1. Continued

Level	Content	Core principles
	· Electronics that operate using electric are all light sources.	The light
	· When the light hits the objects blocking it, the directions of it alter and break.	The straight of light
	· When the light shines a mirror, it reposes. And we see the light in mirror.	The reflection of light
	· The light entering water spreads in different angles.	The refraction of light
1	· The light goes farther at night because it of the night is stronger han the day.	The movement of light
	· We can see objects, because the light shines surroundings and the objects.	The process to see the object
	· The closer the distance between the light source and the object, the size of the shadow gradually becomes smaller. The further the distance between the light source and the distance of objects, the size of the shadow gradually becomes bigger.	The light and shadow

사용하지 못하지만, 거시적 관점으로 설명하거나, 관련된 과학적 용어를 사용하여 설명하지만 설명이 모호하거나 부족한 경우에 해당한다. 그리고 2수준은 대안 개념을 가진 부분적 이해(PU/AC: Partial Understanding with Alternative Conception)로 부분적으로 이해하고 있으나, 과학적 개념과 다소 차이가 있는 경우이고, 1수준은 대안 개념(AC: Alternative Conception)로 과학적 개념과 차이가 있으며, 개념에 대한 이해가 많이 부족한 경우에 해당한다.

빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정을 고안하기 위하여 개방형 설문지를 통해 3~6학년을 대상으로 빛의 성질 개념을 연구한 선행 연구(Koo, 2003; Park et al., 2014)를 바탕으로 개념의 이해 정도와 과학적 용어 사용을 통해 수준을 판단하여 Table 1과 같이 제시하였다.

2. 평가 문항 개발

본 연구에서 개발된 순위정렬 선다형 문항은 앞서 행해진 구인 특화 단계에서 작성된 구인 구성도를 바탕으로 개발하였다. 4단계의 평가 시스템 두 번째는 평가 문항 개발의 단계로 빛의 성질 7가지 핵심 원리에 따른 1단계에서 작성한 구인 구성도의

1~4수준 수준을 조합하여 순위정렬 선다형 평가 문항(Ordered multiple-choice items)을 개발하였다. 순위정렬 선다형 평가 문항은 문제의 상황을 주고, 상황과 관련된 학습자의 개념 수준을 설정하여 각 수준을 선다형 평가 문항의 선택지로 제시하여 학습 발달과정을 판단할 수 있는 근거를 제공해준다. 즉, 학습자의 수준을 진단하고, 교수 활동 결정에 도움을 줄 수 있다(Briggs et al., 2006).

본 연구에서 빛의 성질 개념 학습 발달과정을 위한 평가 도구를 고안하기 위하여 7가지 핵심 원리에 따른 순위정렬 선다형 평가 문항의 예시는 Fig. 2와 같다.

3. 평가 문항 적용 및 결과 분석

평가 결과 기술은 각 평가 문항에 대한 학습자들의 응답에 적절한 점수를 부여하고, 그 결과를 정리 및 서술하는 단계이다. 본 연구에서 활용된 순위정렬 선다형 문항의 경우, 각 문항별 선택지가 구인에 대한 수준이 결정되어 있기 때문에 점수를 부여하고, 평가 결과를 기술하는 것이 용이하다(Maeng et al, 2013). 2단계에서 개발한 순위정렬 선다형 평가 문항에 대하여 학생들이 선택한 선택지

다음 그림과 같이 빛과 스크린 사이에 물체를 놓았을 때 빛이 나아가는 모습으로 알맞은 것을 고르시오.()



- ① 빛은 곧게 진행하고, 물체를 뚫고 지나갈 수 없지만, 물체의 주변으로 물체를 피해 지나갈 수 있다.
- ② 빛은 직진하기 때문에 물체를 피해가지 못한다.
- ③ 빛은 직진하며, 불투명한 물체에 부딪치면 빛은 물체를 통과하지 못하기 때문에 물체 뒤쪽에 그림자가 생기게 된다.
- ④ 빛을 막는 물체에 빛이 부딪히면 빛의 방향이 꺾이거나 방향을 바꾼다.

Fig. 2. Example of the evaluation items

의 수준에 따라 각 문항별 점수를 배당하였다. 1수준을 선택한 경우 0점, 2수준은 1점, 3수준은 2점, 4수준을 선택한 경우 3점을 배당하였고, 동일한 수준의 선택지가 2개 있는 경우 동일한 점수를 부여하였다.

4. 측정 모델 적용

4단계는 학습 발달과정이 경험적 데이터를 바탕으로 하여 타당성을 판단할 수 있는 단계이다. 본 연구에서는 문항 반응 이론의 Rasch 모형의 확률 원리를 다분 문항 모형으로 확장한 부분 점수 모형을 적용하였고, 문항 반응 이론의 측정 모델 중에서 평가 문항의 난이도를 단일 모수로 하여 피험자의 능력을 추정하는 ConstructMap 프로그램을 사용하였다(Seong *et al.*, 2013).

1) 문항 난이도(모수 추정치)의 해석

Table 2는 모수 추정치(Estimate, MNSQ)를 통해 문항 난이도와 문항의 적합성을 판단할 수 있다. 문항 난이도는 응답자의 능력에 따라 정답을 맞힐 확률로써, 문항이 어느 능력 수준에서 가능한가를 나타내는 지수이다(Kim, 2014). Table 2에서 모수추

정치(Estimate)가 문항 난이도를 의미하며, Fig. 3~9의 문항 특성 곡선(Item Characteristic Curve)의 Y축, 정답을 맞힐 확률이 0.5일 때 대응하는 X축, 응답자의 능력을 의미한다. Seong(2005)은 언어적 표현에 의한 문항 난이도 범위를 Table 2와 같이 제시하였고, 본 연구의 문항 난이도를 살펴보면 핵심 원리 빛의 이동을 제외한 나머지는 모두 ‘중간이다’로 판단할 수 있고, 핵심 원리 빛의 이동은 ‘어렵다’로 확인할 수 있었다. 문항 난이도 수치를 통해 상대적인 문항 난이도를 비교해 보면 빛의 이동>광원>물체를 보는 과정>빛의 반사>빛의 직진>빛과 그림자>빛의 굴절 순으로 나타나, 핵심 원리 빛의 굴절 문항에서 상대적으로 가장 쉬운 문항 난이도가 나타났다.

2) 문항의 적합성 해석

Table 3은 모수 추정치(Mean Square Fit Statics, MNSQ)은 제곱 평균 적합도 지수로, MNSQ의 Infit 지수와 Outfit 지수로 문항의 적합성을 판정할 수 있는데, 응답자 능력 수준에 가까운 정도와 멀리 떨어진 문항에 대한 반응에 예민한 지수이다(Seong, 2013). MNSQ Infit 지수와 Outfit 지수가 절대값 2.0

Table 2. Questions difficulty analysis

Questions difficulty numbers	Verbalism	Evaluation questions	Questions difficulty	Interpretation
Less than -2.0	Very easy	The light	-0.350	
-2.0~-0.5	Easy	The straight of light	-0.136	Middle
		The reflection of light	-0.144	
-0.5~+0.5	Middle	The refraction of light	-0.009	Difficult
		The movement of light	0.536	
+0.5~+2.0	Difficult	The process to see the object	-0.209	Middle
		The light and shadow	-0.104	
More than +2.0	Very difficult			

Table 3. Questions suitability analysis

Light-item	Evaluation questions	MNSQ		Interpretation
		Infit	Outfit	
Q1	The light	1.06	1.00	If the absolute value is less than 2.0, the evaluation question is the appropriate questions
Q2	The straight of light	1.18	1.09	
Q3	The reflection of light	1.10	1.03	
Q4	The refraction of light	1.12	1.05	
Q5	The movement of light	0.99	0.98	
Q6	The process to see the object	0.98	0.90	
Q7	The light and shadow	0.93	0.99	

미만인 경우, 적합한 문항으로 판정할 수 있다(Seong, 2013). 본 연구의 MNSQ Infit 지수와 Outfit 지수는 Table 3과 같다. MNSQ Infit 지수와 Outfit 지수가 모든 문항에서 절대값 2.0 미만을 만족하므로 모두 적합한 문항으로 판정할 수 있다.

3) 문항 특성 곡선 및 학년별 수준 분포

문항 특성 곡선은 피험자 능력에 따른 문항의 답을 맞힐 확률을 나타내는 곡선(Seong, 2005)으로 x 축은 응답자의 능력에 대한 로지트 값, y축은 문항 난이도를 고려하여 응답자들이 선택지를 응답할 확률을 나타낸다. 즉, $p(0)$ 는 1수준, $p(1)$ 은 2수준, $p(2)$ 는 3수준, $p(3)$ 은 4수준을 나타낸다. 그리고 Rasch 모형은 문항의 난이도만이 고려되기 때문에, 문항 특성 곡선에서 나타나는 기울기나 높이는 항상 일정하며, 오직 곡선의 위치만이 왼편 또는 오른편으로 이동한다. 즉, 문항의 난이도에 따라 문항 특성 곡선의 위치가 이동하는 것이다.

(1) 광원

Fig. 3에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 광원에 대한 문항 특성 곡선, (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. $p(0)$ 에서 $p(3)$ 까지 곡선이 순차적으로 나타나 있는 것은 문항 난이도가 높아질수록 응답자의 수준도 높아짐을 의미한다. 그리고 인접한 두 곡선의 교점은 이전 수준에서 그 다음 수준으로 전이하는 지점으로 교점이 오른쪽으로 갈수록 어려운 문항임을 의미한다. Fig. 3에서 $p(0)$ 와 $p(1)$ 의 교점보다 $p(2)$ 와 $p(3)$ 의 교점이 오른쪽에 있다는 것은 수준이 높아질수록 어려운 문항, 그 수준에 해당하는 응답자의 능력이 높음을 의미하기 때문에, 그 문항은 수준별로

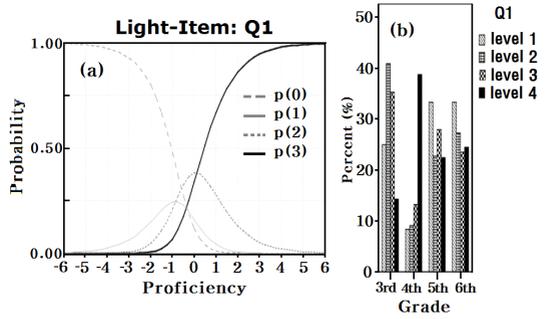


Fig. 3. Light-item Q1 : Characteristic curve & the level distribution about light

구성된 문항이라 볼 수 있다.

Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면 4수준(49%) > 3수준(34%) > 2수준(11%) > 1수준(6%) 순으로 4수준이 가장 높게 나타났다. 특히 4학년에서 4수준이 가장 높게 나타난 것은 2009 개정 과학과 교육과정에서 광원의 개념을 4학년에서 학습한 결과라고 추론할 수 있다. 5학년과 6학년에서는 4수준보다 1수준과 2수준이 높게 나타났는데, 이것은 스스로 빛을 내지 못하는 반사체 및 전자제품을 광원에 포함시켜 학년이 높아질수록 반사체 및 전자제품을 광원의 종류로 다양하게 인식한다는 것을 확인할 수 있다.

(2) 빛의 직진

Fig. 4에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 빛의 직진에 대한 문항 특성 곡선, (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면 4수준(63%) > 1수준(16.5%) > 3수준(14.5%) > 2수준(6%)으로 3수준에 비해 1수준이 높게 나타났고, 2수준이 가장 낮게

Table 4. Analysis of frequency

Unit: n(%)

Light-item	Evaluation questions	Analysis of frequency			
		1	2	3	4
Q1	The light	12(6.0)	22(11.0)	68(34.0)	98(49.0)
Q2	The straight of light	33(16.5)	12(6.0)	29(14.5)	126(63.0)
Q3	The reflection of light	23(11.5)	49(24.5)	24(12.0)	104(52.0)
Q4	The refraction of light	33(16.5)	19(9.5)	52(26.0)	96(48.0)
Q5	The movement of light	64(32.0)	38(19.0)	46(23.0)	52(26.0)
Q6	The process to see the object	57(28.5)	14(7.0)	35(17.5)	94(47.0)
Q7	The light and shadow	25(12.5)	23(11.5)	56(28.0)	96(48.0)

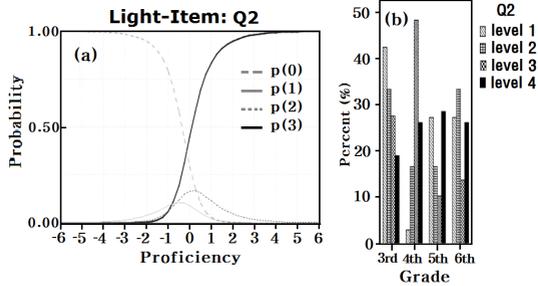


Fig. 4. Light-item Q2 : Characteristic curve & the level distribution about the straight of light

나타났다. $p(1)$ 곡선의 최댓값이 작은 것, 즉 기울기가 낮은 것을 알 수 있는데, 이것은 2수준에서 적은 수의 학생이 응답한 것을 확인할 수 있다.

특히, 빛이 물체와 부딪히면 빛의 방향 전환(1수준)이 가능한 것으로 응답한 비율이 3학년에서 가장 높게 나타났다. 또한, 빛의 직진을 학습한 4학년은 빛은 직진하여 물체를 피해 가지 못한다는 것을 인식하고 있으나, 물체를 통과하지 못해 그림자가 생긴다는 사실에 대한 이해가 부족하여 3수준이 4수준보다 높게 나타났다.

(3) 빛의 반사

Fig. 5에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 빛의 반사에 대한 문항 특성 곡선, (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면 4수준(52%) > 2수준(24.5%) > 3수준(12%) > 1수준(11.5%)로 나타났다. $p(1)$ 에 비해 $p(2)$ 의 곡선이 평평하게 나타나, 2수준보다 3수준의 응답 비율이 낮다는 것을 추론할 수 있다.

학년별 수준 분포를 살펴보면 4수준에 대한 분

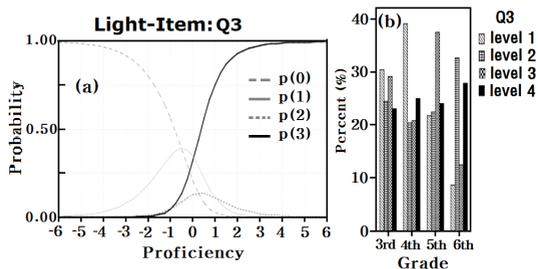


Fig. 5. Light-item Q3 : Characteristic curve & the level distribution about the reflection of light

포가 전체적으로 높게 나타났으나, 3, 4학년에서 거울에서 빛이 머무르게 되어 우리가 볼 수 있다는 1수준이 가장 높게 나타났으며, 5학년은 3수준, 6학년은 2수준이 가장 높게 나타났다. 1수준에 해당하는 곡선과 2수준에 해당하는 곡선 사이의 단계 값보다 각각 2수준과 3수준에 해당하는 곡선 사이의 단계 값이 더 오른쪽에 있는데, 단계 값이 오른쪽으로 이동한다는 것은 한 수준에서 다른 수준으로 넘어가는데 필요한 응답자의 능력이 높아진다는 것을 의미한다(Chi, 2000).

(4) 빛의 굴절

Fig. 6에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 빛의 굴절에 대한 문항 특성 곡선, (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면 4수준(48%) > 3수준(26%) > 1수준(16.5%) > 2수준(9.5%)으로 나타났다. 2수준의 분포가 가장 낮게 나타나, 물에서만 빛의 굴절이 일어난다고 응답한 비율이 가장 낮게 나타났다.

$p(0)$ 와 $p(1)$ 의 교점인 1수준에서 3수준으로 넘어가는 가능성과 $p(2)$ 와 $p(3)$ 의 교점인 3수준에서 4수준으로 넘어가는 가능성이 거의 일치하여 두 곡선의 단계 값이 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 의미한다.

학년별 수준 분포를 살펴보면 3, 5학년에서는 1수준이 가장 높게 나타나, 물 속에 들어간 빛이 여러 각도로 퍼진다고 생각하는 경향이 나타났다. 그리고 4학년은 4수준의 분포가 다른 학년에 비해 가장 높게 나타났으며, 6학년에서는 2, 3수준이 높게 나타나, 빛의 굴절에 대한 개념이 다소 부족한 것으로 나타났다.

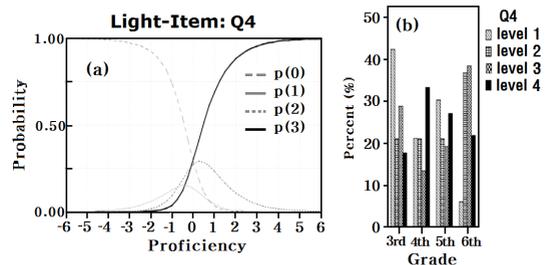


Fig. 6. Light-item Q4: Characteristic curve & the level distribution about the refraction of light

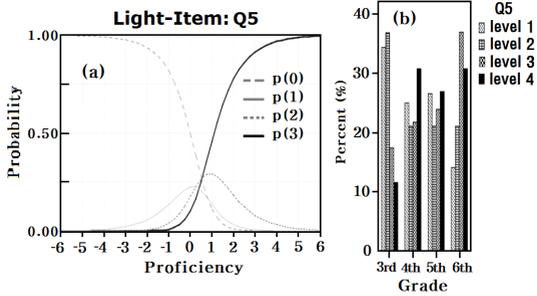


Fig. 7. Light-item Q5: Characteristic curve & the level distribution about the movement of light

(5) 빛의 이동

Fig. 7에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 빛의 이동에 대한 문항 특성 곡선과 (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. 문항 특성 곡선을 살펴보면 $p(2)$ 와 $p(3)$ 의 교점이 $p(0)$ 와 $p(1)$ 의 교점보다 왼쪽에 위치하여 높은 수준의 응답자가 더 낮은 난이도의 문항을 선택한 것을 확인할 수 있다. 그리고 Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면 1수준(32%) > 4수준(26%) > 3수준(23%) > 2수준(19%)로 나타나, 빛의 성질 개념에 대한 핵심원리 중 빛의 이동만 유일하게 4수준의 분포가 두 번째로 높게 나타났다. 밤에는 주변이 어둡기 때문에 낮보다 더 멀리까지 이동(1수준)한다고 응답한 비율이 가장 높았다.

특히, 3학년은 1, 2수준이 매우 높게 나타나, 빛의 이동거리가 주변 밝기에 영향을 받는다고 생각하는 경향이 높았고, 4학년은 4수준을 가장 많이 응답하여 빛의 이동거리에 대한 이해가 높게 나타났다. 5, 6학년도 4수준에 대한 이해가 높은 편이나, 6학년은 3수준이 높게 나타났다.

(6) 물체를 보는 과정

Fig. 8에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 물체를 보는 과정에 대한 문항 특성 곡선과 (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. Table 4의 빈도 분석 결과에서 4수준(47%) > 1수준(28.5%) > 3수준(17.5%) > 2수준(7%)으로 분포가 나타났다. 광원→물체→눈의 과정(4수준)이 가장 높게 나타났으며, 광원→물체(1수준)이 두 번째로 높게 나타났다. 또한 2수준에 해당하는 곡선이 두 곡선에 비해 지나치게 편평한 것을 볼 수 있는

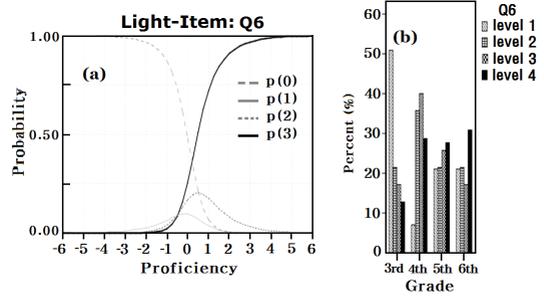


Fig. 8. Light-item Q6: Characteristic curve & the level distribution about the process to see the object

데, 이는 본 문항에서 2수준에 해당하는 선택지를 고른 경우가 적었다는 것을 의미한다.

학년별 수준 분포를 살펴보면 3학년은 빛이 물체를 비추기 때문에 물체가 보이는 것이라는 1수준이 가장 높게 나타났으며, 4학년은 2, 3수준이 높게 나타나 광원→물체→눈의 관계를 과학적 개념으로 이해하는 데 부족한 것으로 나타났다. 그리고 5, 6학년도 4수준에 대한 이해가 가장 높게 나타나, 물체를 보는 과정에 대한 과학적 개념이 올바르게 정립되어 있다는 것을 확인할 수 있었다.

(7) 빛과 그림자

Fig. 9에서 (a)는 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정 핵심원리 빛과 그림자에 대한 문항 특성 곡선, (b)는 학년별 수준 분포를 나타낸 것이다. Table 4의 빈도 분석 결과를 살펴보면, 4수준(48%) > 3수준(28%) > 1수준(12.5%) > 2수준(11.5%)으로 나타났다. 문항 특성 곡선에서 $p(1)$ 이 가장 평평하게 나타나, 가장 적은 비율이 응답했음을 확인할 수 있다. 각각 두 곡선의 단계 값이 큰 차이를 보이지 않는다는 것은, 1수준에서 3수준으로 넘어가는 가능성과 3수준에서 4수준으로 넘어가는 가능성이 거의 같다는 것을 의미하는 데, 이것은 단계 값이 지나치게 가까이 이는 경우에는 단계를 굳이 나눌 필요가 없음을 나타낸다(Chi, 2000).

학년별 수준 분포를 살펴보면, 3학년은 1, 2수준이 매우 높게 나타나, 빛과 그림자에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났고, 4학년은 3수준이 가장 높게 나타나, 물체와 스크린의 관계로 그림자의 크기 변화를 인식하는 것으로 추론할 수 있다. 그리고 6학년은 4수준이 가장 높게 나타나, 빛과 그림자에

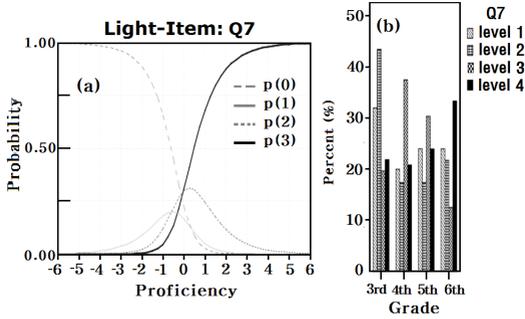


Fig. 9. Light-item Q7: Characteristic curve & the level distribution about the light and shadow

대한 이해가 높게 나타났다.

IV. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구는 빛의 성질 개념에 대한 초등학교 3~6학년 학생들의 학습 수준을 측정하기 위한 평가 도구를 고안하여, 학생들의 학습 발달과정(Learning Progressions)을 규명하고자 하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫째, 빛의 성질 개념에 대한 학습 발달과정을 규명하기 위해 7가지 핵심 원리에 따른 수준을 1~4 수준으로 나누어 순위정렬 선다형 평가 문항을 개발하였다. 평가 문항의 적합성을 판단하기 위하여 Rasch 모형의 부분 점수 모형을 적용하였다.

둘째, 모수 추정치(Estimate, MNSQ)를 통해 문항 난이도와 문항의 적합성을 판단해 보면, 문항의 난이도는 7가지 핵심 원리 중 빛의 이동을 제외하고 모두 중간의 난이도를 나타냈다. ‘빛의 이동’과 관련된 교육과정의 내용이 구체적으로 제시되어 있지 않아, 학생들이 다소 어렵게 느낀 것으로 나타났다. 그리고 문항의 적합성에서는 MNSQ Infit 지수와 Outfit 지수 모두 절대값이 2.0 미만으로 피험자 능력 수준에 가까운 문항에 대한 반응과 피험자 능력 수준으로 멀리 떨어진 문항의 반응의 예민한 정도가 적합한 문항인 것으로 판정되었다.

셋째, 문항 특성 곡선을 통해 학습 발달과정을 살펴보면 $p(0)$ 에서 $p(3)$ 까지 곡선이 순차적으로 나타나있는 것은 문항 난이도가 높아질수록 응답자의 수준도 높아짐을 의미한다. 빛의 성질 개념의 학습 발달과정 핵심 원리 7가지 모두 곡선이 순차

적으로 나타나 있는 것을 확인할 수 있다. 그리고 인접한 두 곡선의 교점은 이전 수준에서 그 다음 수준으로 전이하는 지점으로, 교점이 오른쪽으로 갈수록 어려운 문항임을 의미하는데, 핵심 원리 중 ‘빛의 이동’만이 $p(2)$ 와 $p(3)$ 의 교점이 $p(0)$ 와 $p(1)$ 의 교점보다 왼쪽에 위치하여 높은 수준의 응답자가 더 낮은 난이도의 문항을 선택한 것으로 나타났다. 이것은 빛의 이동 거리가 주변의 밝기에 따라 달라진다고 응답한 1수준(32%)이 가장 높게 나타난 결과를 반영한 것이다. Koo(2003)의 연구 결과에서도 밤에 빛이 멀리까지 이동한다고 응답한 비율이 80%으로 나타나, 학생들이 빛의 이동에 대한 대안 개념을 갖고 있는 비율이 높다는 것을 확인할 수 있다.

학년별 수준 분포에서 4수준의 분포를 살펴보면, 핵심 원리 7가지 중 광원, 빛의 굴절, 빛의 이동에서는 4학년이 가장 높게 나타났으며, 빛의 직진은 5학년, 물체를 보는 과정과 빛과 그림자에서는 6학년이 가장 높게 나타났다. 4학년은 전체적인 4수준의 분포가 높게 나타나, 과학적 개념을 가지고 비율이 5, 6학년보다 높게 나타났다. 4학년에서 과학적 개념의 응답 비율이 가장 높게 나타난 것은 2009 개정 과학과 교육과정에서 4학년에 ‘거울과 그림자’ 단원을 통해 광원, 빛의 직진, 반사, 빛과 그림자, 물체를 보는 과정을 학습한 영향이라고 볼 수 있다. 반면, 학습의 영향을 받지 않은 3학년은 경험과 관찰 가능한 수준에서 빛의 성질을 이해하고 있어서 1수준이 가장 높게 나타났다.

이상의 결과를 통해 본 연구는 빛의 성질 개념의 학습 발달과정의 문항 난이도 및 문항의 적합성, 문항 특성 곡선을 확인하고, 학년별 수준 분포를 분석할 수 있었다. 학생들의 응답을 경험적 근거 자료를 바탕으로 하여 빛의 성질 개념에 대한 학생들의 학습 수준을 측정하기 위한 평가 도구를 고안하여, 학습 발달과정을 개발하였고, 학습 수준을 반영한 개별화된 교육과정 적용이 필요할 것이라고 생각된다.

2. 제언

이와 같은 결론을 바탕으로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, ‘빛의 성질’ 개념뿐만 아니라, 체계적인 과학적 개념에 대한 학습 발달과정을 측정하기 위한 평가 도구를 고안할 필요가 있다. 선행 연구에서는

물의 순환, 물의 상태 변화에 대한 학습 발달과정 (Seong, 2013; Seong *et al.*, 2013; Maeng *et al.*, 2013) 이 개발되어 있어서 국내에서는 학습 발달과정에 대한 연구가 시작하는 단계에 있다. 체계적인 과학적 개념에 대한 학습 발달과정을 개발하여 학습자의 수준을 파악할 수 있는 경험적 데이터의 근거를 제공할 필요가 있다.

둘째, 학습 발달과정에 따른 학생의 수준을 고려한 개별화된 교수·학습 방법을 개발하여 적용해야 한다. 학습 발달과정을 측정하기 위한 평가도구를 개발하기 위한 목적은 학습자의 수준을 파악하여 과학적 개념으로 나아갈 수 있도록 학습자에 적합한 교수·학습 방법을 적용해야 한다. 그러므로 학습 발달과정의 수준에 따른 교수·학습 방법을 개발해야 할 필요성이 제기된다.

셋째, 학습자의 발달 단계를 고려한 학습 발달과정을 기준으로 하여 과학과 교육과정을 구성해야 한다. 미국 K-12 과학과 교육과정에서는 과학의 영역별로 핵심 원리를 학생의 발달 단계에 따라 체계적으로 제시하여 학습자 중심의 교육과정을 구성하였다. 그러므로 학생들의 학습 발달과정에 대한 경험적 데이터를 바탕으로 하여 과학과 교육과정을 구성할 필요가 있다.

참고문헌

- Briggs, D., Alonzo, A., Schwab, C. & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), 33-63.
- Chi, E. & Chae, S. (2000). Theory and practice of Rasch model. Seoul: Seoul Science History.
- Duschl, R., Maeng, S. & Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Science Education*, 47(2), 123-182.
- Duschl, R., Schweingruber, H. & Shouse, A. (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8. Committee on science learning, kindergarten through eighth grade. Washington: The National Academies Press.
- Kim, D. (2014). Development of individual matching instruction-learning materials based on learning progressions. M.S. thesis, Korea National University of Education.
- Koo, S. (2003). The elementary students' understanding levels of "Light and Shadow", and the alternative concepts. Ms. D. thesis, Graduate School of Ewha Womans University.
- Lee, S. & Lim, C. (1997). Preservice elementary teachers understanding on the basic science concepts. *The Korean Society of Elementary Science Education*, 16(2), 325-339.
- Maeng, S., Seong, Y. & Jang, S. (2013). Present states methodological features and an exemplar study of the research on learning progressions. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(1), 161-180.
- Park, S., Park, J. & Back, N. (2014). An investigation on the conception of the light and shadow for the elementary students. *The Korean Society of Elementary Science Education*, 25(3), 111-126.
- Seong, Y. (2013). A learning progression for water cycle from fourth to sixth graders with construct modeling approach. M.S. thesis, Seoul National University of Education.
- Seong, Y., Maeng, S. & Jang, S. (2013). A learning progression for water cycle from fourth to sixth graders with ordered multiple-choice items. *The Korean Society of Elementary Science Education*, 32(2), 139-158.
- Seong, T. (2005). Understanding and applying item response theory. Seoul: Kyoyookbook.
- Wilson, M. (2005). Constructing measures: An item response modeling approach. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 716-730.
- Wilson, M. & Bertenthal, M. (2006). Systems for state science assessment. Washington: The National Academies Press.
- Yang, S. (2016). A learning progression for geography with construct modeling approach. M.S. thesis, Korea National University of Education.
- Yoo, E. (2014). Development and application of educational materials for teaching co-operational generated analogies with teacher's guidance to understand "The Nature of Light" and its application for six graders in elementary school. M.S. thesis, Korea National University of Education.