Brain, Digital, & Learning https://doi.org/10.31216/BDL.2020.10.4.571
2020, Vol. 10, No. 4, 571-584.

The Visual Attention and Type of Unscientific Explanation in the Explanation of the Refraction of Light - An Eye-Tracking Study

Seong-Un Kim*
Korea National University of Education

빛의 굴절 현상의 설명에서 나타나는 시각주의와 비과학적 설명의 유형 - 시선추적 연구

김성운*
한국교원대학교

<ABSTRACT>

In this study, The visual attention and types of unscientific explanations that appear in the explanation of refraction phenomena were investigated. 22 university students participated in the study, and the third-party perspective tasks and observer perspective tasks related to the refraction of light were presented to collect and analyze the visual attention shown in the explanation and explanation of the phenomenon. As a result of the study, the visual attention of the groups that gave scientific explanations about the refraction phenomenon of light and the group of unscientific explanations were different. In addition, it was more difficult to explain from an observer's perspective than from a third party perspective. The types of unscientific explanations were explained in the third party perspective task that light emanates from the eye and moves forward to the object, and in the observer perspective task that light travels along the object and assumes an arbitrary observer at a specific location in the photograph. From these results, it is suggested that for the transfer of the concept of refraction of light and its application in real context requires to integrate the third-party perspective and the observer perspective into instruction.

Key words : Refraction of light, visual attention, scientific explanation, the observer perspective, the third party perspective, eye-tracking

I. Introduction

빛의 굴절 현상은 학생들이 일상적으로 접하는 현상이지만 그 원리의 학습과 적용을 어려워하며, 심지어 학습 이후에도 상당한 오개념을 갖는다(Kaewkhong et al., 2010; Park, 2017). 이는 우리나라

* 1st Author : Seong-Un Kim, Auul@naver.com
Received November 27, 2020; Reviewed December 14, 2020 Corrected December 15, 2020; Accepted December 15, 2020
ⓒ 2020. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

뿐만 아니라 전 세계적으로 공통적인 현상으로 보인다(Fariyani, Rusilowati & Sugianto 2017; John, Molepo & Chirwa, 2018; Kaewkhong et al., 2008; Şengören, 2010; Wartono & Putirulan, 2018; Wangchuk & Penjor, 2020). 광학 현상에 대한 오개념 발생에는 광학 현상이 갖는 독특한 특성(Galili, 1996), 일상 언어의 문제(Galili & Hazan, 2000; Widiyatmoko & Shimizu, 2018), 교사(Widiyatmoko & Shimizu, 2018) 등의 원인이 있지만, 무엇보다 학생들의 일상 경험에서 얻은 기존 신념을 바탕으로 교과서 학습자료를 받아들이며 형성되는 것이 주요 원인이다(Goldberg & Bendall, 1995; Song et al., 2010).

일반적으로 빛의 굴절 개념의 지도에 사용하는 학습자료는 빛의 경로를 시각화한 삽화이다(Song et al., 2010; Şengören, 2010; Lee, Kim & Kim, 2014). 교과서의 삽화는 물체와 관찰자를 등장시켜, 물체에서 반사된 빛이 관찰자의 눈까지 도달하는 것을 단순화함으로서 광학 현상의 복잡성을 줄여 학생들의 이해를 돕는다.

그러나 교과서에 제시되고 있는 빛의 굴절 개념 삽화는 효과적이지 못한 것으로 보인다. Song et al., (2010)의 연구에 따르면, 학생들은 빛의 굴절을 나타내는 화살표의 의미와 방향을 정확히 파악하지 못하며, Kwon (2014)은 초등 예비 교사들이 빨대의 굴절상을 표현한 삽화를 이해하는데 다양한 어려움을 겪는 것으로 보고하였다. 또한 빛의 굴절 개념 학습 이후에 나타나는 오개념을 조사한 연구들에서 역시 다양한 오개념이 존속하는 것으로 보고하고 있다(Kaewkhong et al., 2010; Park, 2017; Şengören, 2010).

또한 빛의 굴절 개념 삽화에는 관찰자가 삽화에 제시되면서 발생하는 문제가 있다. 물체에서 반사된 빛의 경로를 시각화하기 위해서는 관찰자나 관찰자의 눈이 삽화에 등장해야 한다. 때문에 빛의 굴절 개념 삽화에는 실제 관찰자의 관점에서 보이는 굴절상을 제시하지 않고 단순히 “물체가 실제 위치보다 떠올라 보인다.”와 같이 정성적으로 서술하고 있다. 이때 학습자가 관찰자의 눈에 물체가 어떻게 보일지 추리하려면 심적 회전(mental rotation)을 동원한 조망수용 과정(perspective-taking process)이 필요하다(Flavell, 1992). 조망수용이란 다른 사람의 관점을 나의 관점으로 돌리는 정신적인 처리로(Michelon & Zacks, 2006), 삽화를 이해하는데 추가적인 인지능력을 요구하므로 학습자에게 인지적 부담으로 작용한다. 또한 일반적으로 학생들은 학습한 개념의 맥락에서 머물게 되므로(Henning 1998), 관찰자의 눈에 물체가 어떻게 보이는지에 대한 학습 없이는 실제 맥락에서의 빛의 굴절 현상을 설명하기 어려울 것이다. 학생들이 빛의 굴절 개념을 형성하여 전이 하려면 빛의 굴절 현상을 학습 맥락(제 3자 관점)과 실제 맥락(관찰자 관점) 모두에서 설명할 수 있어야 한다는 것이다.

하지만 실제 맥락에서 빛의 굴절 현상을 적용한 결과를 보고한 연구는 아직까지 없다. 이에 본 연구에서는 실제 맥락에서 빛의 굴절 현상을 어떻게 설명하는지 알아보고자 한다. 이때 단순히 학생들에게 현상에 대한 설명을 요구하여 분석하는 것은 지엽적인 분석에 머물 수 있으므로 설명을 구성하는 과정에서 어떤 인지처리가 일어나는지를 심층적으로 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 시선추적방법을 사용하고자 한다. 시선추적방법은 선행연구에서 인지적 처리를 해석할 수 있는 신뢰롭고 밀도 있는 정보를 제공하는 것으로 확인되었다(Jo & Yang, 2019; Kim & Yang, 2019; Lee & Yang, 2019; Yang & Kim, 2015). 또한 시선추적방법을 통해서 수집할 수 있는 시선 비디오는 사후 인터뷰에서 학습자가 인지처리를 복기할 수 있는 강력한 단서가 된다(Kim & Yang, 2019; Omodei & McLennan, 1994). 본 연구에서는 설명의 구성 중 나타나는 시각주의의 위치를 조사하고, 학생들이 갖는 부정확한 인지처리를 이해하여, 빛의 굴절 현상의 지도방법에 대한 시사점을 얻고자 한다.

II. Materials and Methods

1. Participants

본 연구의 연구 참여자는 학부생 22명(여학생 14, 남학생 8)이다. 이들은 초·중등학교 교육과정에서 이미 기본적인 광학개념을 학습하였고, 일상생활에서 빛과 관련된 다양한 현상을 접하였을 것이다. 또한

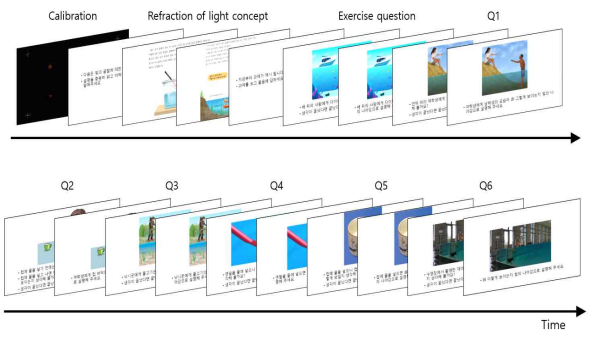
현상을 논리적으로 설명하는 능력을 갖추고 있으며, 오른손잡이, 안경 또는 콘택트렌즈의 착용 여부, 나안 시력, 안과 질환 등의 여부를 점검하여 시선추적을 위한 신체조건을 갖추었음을 확인하였다. 이들의 전공은 초등교육 11명, 수학교육, 화학교육, 불어교육, 지리교육 각 2명, 지구과학교육, 독어교육, 기술교육 각 1명이다.

2. Experimental Task

본 연구의 과제는 빛의 굴절과 관련된 현상이다. 본 연구의 목적을 달성하기 위해서 관찰자가 등장하는 제 3자의 관점과 관찰자 관점의 두 가지 관점을 적용한 과제를 개발하였다.

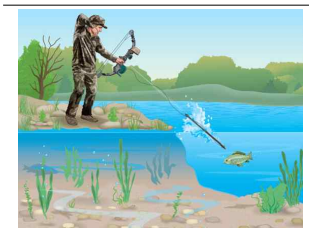
과제는 입사경계면이 평면인 것으로 하며 광선경로가 드러나지 않으면서 물과 공기를 매질로 하는 현상을 선정하였다. 시선추적연구 경험이 있는 과학교육 전문가 1인과의 과제 타당성 논의에서 관찰자가 등장하는 제 3자 관점 과제는 실제 촬영이 어려우므로 삽화를 사용해야하며, 관찰자 관점 과제는 삽화의 경우 왜곡이 있으므로 직접 촬영한 사진으로 해야 한다는 조언이 있었다. 이에 10분 내외의 실험 시간이 될 수 있도록 고려하여 최종적으로 제 3자 관점 삽화 3개, 관찰자 관점 사진 3개로 총 6개를 과제로 선정하였다. 최종 선정된 과제는 <Table 1>과 같다.

실험 패러다임 구성은 [Figure 1]와 같다. 먼저 시점조정(Calibration)을 실시한다. 그 다음 연구 참여자들이 빛의 굴절개념을 상기할 수 있도록 2015개정 초등학교 6학년 과학 교과서에 제시된 빛의 굴절 개념 설명과 삽화, 물고기가 실제 위치보다 떠올라 있는 것처럼 보이는 현상의 설명과 삽화를 제시하였다. 이



[Figure 1] Experimental paradigm

<Table 1> Experimental task

The Third-party Perspective Tasks	The Observer Perspective Tasks
Q1	Q4
Q2	Q5
 Q3	Q6

때는 시간제한을 두지 않아 연구 참여자가 충분히 시간을 두고 이해할 수 있도록 하였다. 이후 연습문항이 제시된다. 연습 문항은 앞서 제시한 개념 설명과 유사한 상황으로 배 위에서 다이버를 보면 어떻게 보이는지를 설명하는 것이다. 연습 문항을 포함한 모든 과제(Q1~Q6)는 자료 수집과 분석의 타당성을 높이기 위해 두 단계로 나뉘어 제시된다. 첫 번째 단계는 설명을 구성해 보는 단계로, 관찰자에게 물체는 어떻게 보이는지, 왜 그렇게 보이는지 생각해 보도록 하였고, 이후 두 번째 단계는 설명을 하는 단계로, 이 현상에 대한 설명을 하도록 요청하였다. 각 문항의 두 번째 단계 자료에서 나타나는 시각주의와 설명을 수집·분석하였다. 연습문항 이후 제 3자 관점 삽화 3개 문항과 관찰자 관점 사진 3개 문항이 차례로 제시되며, 모든 과제는 수행 시간에 제한을 두지 않았다.

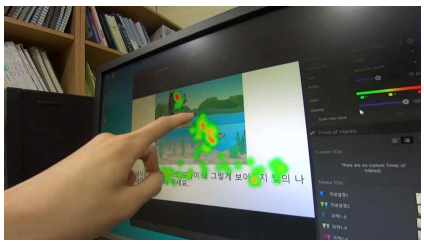
3. Data Collect

실험에 사용한 시선 추적 장치는 Tobii사의 Remote형 시선추적장치인 Tobii Pro Spectrum으로 150Hz의 해상도로 시선추적 가능하며 높은 정확도를 가진 데이터를 수집 할 수 있다[Figure 2].

[Figure 2] Eye-tracking instrument : Tobii Pro Spectrum

실험대기실을 방문한 연구 참여자에게 연구 참여 동의서를 받고, 방음처리가 된 실험실로 안내하여 모니터높이를 조정한 후 착석하게 하였다. 이후 시점조정을 실시하고, 과제를 수행했다. 과제에서는 화면에 제시되는 빛의 굴절 현상에 대한 정성적 설명을 하도록 요구했고, 물체는 어떻게 보이는지, 왜 그렇게 보이는지를 빛의 경로로 설명하도록 요구했다. 연구 참여자의 설명에서 빛의 경로가 드러나지 않을 경우에는 빛의 경로로 설명하게끔 독려하였다. 모든 실험과정에서는 연구 참여자의 목소리와 표정을 마이크와 캠코더로 녹화하였다. 연구 참여자들의 평균 실험 시간은 10분 40초이며, 연구 참여자의 시선 추적율은 모두 70%이상이었으므로(mean=85%, SD=8.054) 모든 데이터를 분석하였다.

실험이 끝난 후, 히트맵(heat map)과 시선 비디오(gaze video)를 단서로 문항 별 설명에서 나타난 시각 주의와 시선 이동에 대한 인터뷰를 진행하였다[Figure 3]. 먼저 히트맵을 단서로 사용하여 각 문항 별로 높은 시각 주의가 나타난 부분에 대한 이유를 질문하였다. 이후 설명에서 나타난 시선 이동과 그 의미를 파악하였다. 인터뷰에서 연구자의 모든 발언은 현상을 추론할 수 있는 힌트가 될 수 있으므로 개념과 관련된 질문을 자제하였으며 “왜 여기를 많이 봤나요?”, “당시 상황을 더 자세히 말해 주세요.”, “빛의 경로를 설명해 주세요.”의 질문으로 한정하였다. 실험 당시의 기억을 못할 때는 시선비디오를 다시 보고 당시의 상황을 상기할 수 있도록 하였다. 모든 인터뷰 과정에서는 제스처나 손을 이용한 포인팅 등으로 자유롭게 표현할 수 있도록 유도하였다. 인터뷰는 연구 참여자 별로 10분 내외로 소요되었으며 설명과 인터뷰 내용은 모두 녹화하여 전사하였다.



[Figure 3] Interview scene

4. Data Analysis

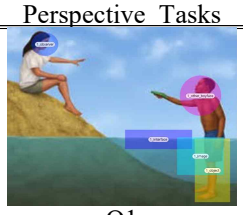
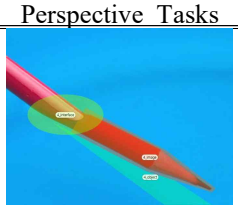
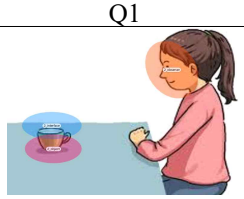
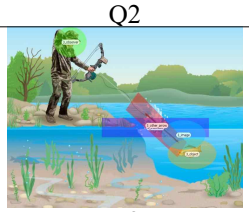
본 연구에서 수집한 자료는 연구 참여자의 시선이동자료, 설명자료, 사후 인터뷰자료이다. 먼저 3가지 자료를 종합적으로 검토하여 연구 참여자들의 설명을 과학적인 설명과 그렇지 않은 설명으로 구분하였다. 과학적 설명의 판단 기준으로는 Kaewkhong et al. (2010), Kwon(2014), Park(2017)의 연구를 바탕으로 ① 물체에서 반사된 빛이 눈으로 전달되기 때문에 관찰자는 물체를 볼 수 있음 ② 빛은 다른 매질로 나아갈 때 그 경계면에서 굴절함 ③ 상의 위치를 결정하기 위해서는 눈에 들어온 빛의 경로를 역 추적하여 교차점을 찾아야 함, 3가지를 설정하였다. 그러나 각 문항에서 위 3가지 기준을 모두 명확하게 만족하는 자료는 드물었으며, 암묵적으로 설명하는 경우가 많았다. 이에 해당 문항 앞·뒤의 다른 문항의 설명과 통합적으로 판단하여 3가지 기준을 만족하는지 확인하였다. 분석의 신뢰도를 확보하기 위하여 과학교육전문가 1인과 함께 교차 분석하였다. 무작위 선별한 연구 참여자 3인의 문항별 설명 자료가 기준을 만족하는지 여부를 각각 분석하여 100% 일치함을 확인하였고, 각 문항별로 과학적 설명과 비과학적 설명의 두 집단으로 구분하였다.

구분된 두 집단의 시각주의 차이를 알아보기 위해서 정성적, 정량적 분석을 하였다. 정성적 분석을 위해 각 문항별로 상대적 지속시간 히트맵(relative duration heat map)을 수집하였고, 정량적 분석을 위

해서 AOI(area of interest) 별 전체 고정 지속시간(total fixation duration)을 수집하여 비교 분석하였다. AOI는 물체의 위치, 상의 위치, 관찰자, 물과 공기의 경계면으로 설정하고 각 과제별 특징에 따라 추가로 AOI를 설정하였다<Table 2>. 또한 연구 참여자들은 각 문항을 수행한 시간이 각각 다르므로 전체 고정 지속시간(total fixation duration)/과제 수행시간(duration of task interval) 매트릭스를 사용하였으며, Mann-Whitney U 비모수 검정을 이용하여 각 문항 AOI의 전체 고정 지속시간/과제 수행시간의 집단별 차이를 검증하였다. 과제의 특성상 AOI가 밀집해 있고, AOI의 크기 조절 및 패딩의 설정이 어려우므로 신뢰도 90%의 신뢰구간을 사용하였다.

비과학적인 설명의 유형을 범주화하기 위해서 귀납적 범주화를 하였다. 시선이동자료와 설명자료 및 인터뷰자료를 추출하여 반복적으로 비교하며 살펴보면서 연구 참여자별, 문항별로 유사하거나 구별되는 특징을 누적적으로 기록하였다. 유사한 특징은 과제의 유형과 설명의 맥락을 고려하여 범주화하였다. 이때, 오개념 유형에 대한 선행지식이 연구자의 판단에 영향을 미칠 수 있으므로, 연구 참여자의 설명 중 명확하게 개념화될 수 있는 설명만 범주화하였으며 모호한 설명은 제외하였다.

<Table 2> AOI (Area of Interest)

The Third-party Perspective Tasks	The Observer Perspective Tasks
 Q1	 Q4
 Q2	Q5
 Q3	Q6

III. Results

1. Comparison of Visual Attention in Explanation of Reflection of Light

빛의 굴절 현상을 설명하는 과정에서 나타나는 시각주의를 과학적 설명 여부에 따라 비교분석하기 위해서, 각 문항별로 연구 참여자의 설명을 과학적인 설명과 비과학적 설명으로 구분하였다<Table 3>.

모든 문항에서 과학적 설명을 구성한 연구 참여자는 22명 중 5명에 그쳤다. 반면 모든 문항에서 비과학적 설명을 구성한 연구 참여자는 22명 중 12명으로 절반이 넘었다. 다수의 연구 참여자들이 단순히 물체가 떠 보인다는 진술을 하였고, 현상이 발생하는 이유를 설명하지 못했다. 이와 같은 결과는 대학생과 교사들도 빛의 굴절 현상에 대해 오개념을 갖고 있으며(Paik & Jung, 2009; Kwon, 2014), 평면 입사 경계면의 굴절에 대해 과학적인 설명을 하는 것이 쉽지 않음을 주장한 여러 연구의 결과와 같다(Kaewkhong et al., 2008, 2010; Kwon, 2014; Lee et al., 2004; Park, 2017; Şengören, 2010).

관찰자가 등장하는 제 3자 관점 과제인 문항 1, 2, 3에서는 과학적 설명을 구성했지만 관찰자 관점과제인 문항 4, 5, 6에서는 일부 또는 모두 실패한 연구 참여자는 5명이었다. 과제의 특성에 따라 설명의 방식이 다른 것이다. 광학 현상에서 관찰자는 광학시스템의 본질적인 부분이다(Galili & Hazan, 2000). 때문에 현상을 설명하기 위해서는 현상을 바라보고 있는 관찰자의 눈을 염두해야 한다. 그러나 이 연구 참여자들은 본인이 관찰자임을 인지하지 못하거나, 장면의 특정 위치에 관찰자를 위치시켜 추리하였기 때문에 관찰자 관점 과제인 문항 4, 5, 6의 설명을 실패한 것으로 볼 수 있다.

과학적 설명의 실패의 다른 원인은 실험 전 개념 설명 삽화의 영향이 있다. 연구 참여자들은 문항 이전 제시된 빛의 굴절 현상의 삽화와 물고기가 실제 위치보다 떠올라 있는 것처럼 보이는 현상의 삽화가 제 3자 관점 과제의 해결에 유용하였다는 응답하였고, 관찰자 관점 과제에서 개념 설명 삽화를 이용해 설명하려는 시도가 있었다. Paik & Jung (2009)의 사례와

마찬가지로 개념을 이해하기 보다는 빛의 경로를 학습한 방식을 기억하여 적용한 것이다. 학생들이 과학 학습 상황에서 배운 지식은 학습당시의 맥락에 머물러 있으므로 일상적 상황과 교실상황을 별개로 생각하는 상황 의존적 과학개념을 갖고 있다고 볼 수 있다(John, Molepo & Chirwa, 2018; Kwon et al., 2006).

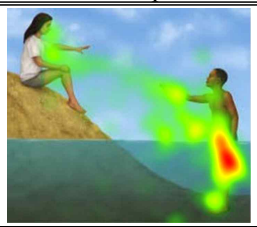
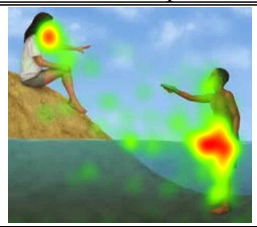
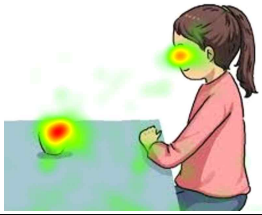
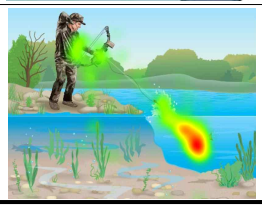
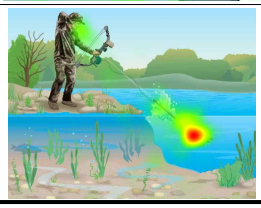
<Table 3> Scientific or unscientific explanations of participants.

Participants	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
A	X	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	X	X
C	O	O	O	O	O	O
D	X	X	X	X	X	X
E	X	X	X	X	X	X
F	O	O	O	O	O	O
G	O	O	O	O	O	O
H	X	X	X	X	X	X
I	O	O	O	X	O	X
J	O	O	O	O	O	O
K	O	O	O	O	O	O
L	O	O	O	X	O	X
M	X	X	X	X	X	X
N	X	X	X	X	X	X
O	X	X	X	X	X	X
P	X	X	X	X	X	X
Q	X	X	X	X	X	X
R	O	O	O	X	X	X
S	X	X	X	X	X	X
T	O	O	O	X	O	X
U	X	X	X	X	X	X
V	O	O	O	X	O	X

문항 6에서는 과학적 설명을 한 연구 참여자가 22명 중 5명뿐이었고 비과학적 설명을 한 17명 중 3명은 어떠한 설명도 구성하지 못했다. 물과 공기의 수평경계면이 바닥면에 수평인 다른 문항과는 달리 바닥면에 수직인 상황으로 개념 설명 삽화 및 다른 문항과는 달랐기 때문이다. 반면, 문항 5에서는 비과학적 설명을 연구 참여자가 22명 중 13명으로 문항 4와 6에 비해서 과학적 설명의 비율이 높았다. 문항 5는 관찰자 관점의 문항이었지만 문항 2를 관찰자 관점에서 적용한 문항이므로 쉽게 해결할 수 있었다는 응답이 있었다. 문항 5와 문항 4, 6사이의 정답율의 차이와 연구 참여자의 설명에서 앞의 문항을 인용한 것으로 미루어 학생들은 상황 의존적 과학개념을 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

제 3자 관점 과제인 문항 1, 2, 3의 각 문항별로 과학적인 설명과 비과학적 설명 집단의 설명과정에서 나타난 시각주의를 시각화한 히트맵은 다음 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Heat map of scientific and unscientific explanation groups of questions 1, 2 and 3

	Scientific Explanation	Unscientific Explanation
Q1		
Q2		
Q3		

두 집단의 시각주의를 정성적으로 살펴보면, 두 집단 모두 과제 특성상 하향식으로 주의하게 될 수 밖에 없는 위치인 물체의 위치에 시각 주의가 높다는 것을 쉽게 알 수 있다. 그리고 과학적 설명 집단은 물체의 위치와 함께 상의 위치에 걸쳐 시각 주의의 분포가 상대적으로 넓은 것을 확인할 수 있다. 또한 물과 공기사이 경계면에 대한 시각주의도 더 높다. 반면, 비과학적 설명 집단은 목표 물체에만 시각주의가 높다. 그리고 과학적 설명 집단과는 다르게 관찰자의 눈에 높은 시각주의가 나타남을 확인할 수 있으며, 그 이유는 비과학적 설명 집단의 연구 참여자 다수의 인터뷰로부터 알 수 있다. 이들은 빛의 경로 설명에서 눈으로부터 물체를 향해 빛이 나아가기 때문에 관찰자의 눈을 빛의 시작점으로 두었다고 응답했

으므로, 이와 같은 시각주의는 빛이 관찰자 눈에서 물체로 나아간다는 오개념에서 비롯되는 것이다. 이처럼 눈에서 빛이 물체로 나아간다는 오개념은 여러 연구에서 흔히 발견된다(Lee et al., 2004; Paik & Jung, 2009; Kaewkhong et al., 2010; Park, 2017).

제 3자 관점의 문항별로 과학적인 설명과 비과학적 설명 집단의 설명에서 나타난 시각주의를 정량적인 비교하기 위해 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다. 각 문항별로 두 집단의 AOI별 전체 고정 지속시간/과제 수행시간을 분석한 결과는 다음 <Table 5>와 같다.

문항 1과 3에서는 관찰자 얼굴 AOI에 대한 두 집단 간 유의한 차이가 있었다. 관찰자 얼굴 AOI에 대한 두 집단 간 유의한 차이가 있었다. 이와 같은 결과는 앞서 언급한 것과 같이 비과학적 설명 집단은 눈에서 물체를 향해 빛이 나아간다는 개념을 갖고 있기 때문에 관찰자의 눈을 빛의 시작점으로 두기 때문이다. 빛의 굴절 개념 설명에는 빛이 나아가는 방향에 대한 설명이 포함되어 있으며, 이를 실험 전에 제시하여 이해할 수 있게 했음에도 설명에 영향을 미치지 않았다. 이는 개념 삽화에 제시된 화살표의 방향에 대한 특징적인 의미에 대한 이해가 부족한 것과 같은 맥락이며(Song et al., 2010), 기존에 갖고 있던 오개념의 영향으로 볼 수 있다.

문항 2에서 집단별 유의한 차이는 없었으며, 문항 3에서 물과 공기의 경계면과 화살 AOI에 대한 유의한 차이가 있었다. 과학적 설명을 한 모든 연구 참여자는 물체에서 반사된 빛이 물과 공기의 경계면에서 법선 바깥 방향으로 꺾이는 것을 설명한 것으로 미루어 경계면에 대한 주의가 이루어졌음을 알 수 있다. 화살 AOI와 관련된 인터뷰에서는 다수의 연구 참여자가 화살이 저렇게 날아가면 물고기에 맞을까 하는 추리를 했다고 밝혔다. 이 중 과학적 설명을 한 연구 참여자 K와의 인터뷰에서는 “실제 물고기는 약간 아래에 있기 때문에 못 맞출 것이라고 생각하고 있지만, 실제로는 맞췄을 거예요. 낚시꾼의 입장에서는 눈에 보이는 물고기보다 약간 아래를 노렸을 것이기 때문에 그리로 날아가고 있는 거예요.” 와 같이 응답하여 이에 대한 고민이 많았다는 것을 알 수 있으며, 연구 참여자 C 역시 빛의 굴절은 쉽게 설명할 수 있었지만, 화살이 물고기에 닿는지가 더 고민스러운 문제였다고 응답하였으므로, 화살 AOI에 대한 높은 시각적 주의가 과학적 설명과 상관관계가 있는지를 단정하기에는 무리가 있다. 또한, 문항 3의 특성상 화살 AOI와 물과 공기의 경계면 AOI는 겹친다. 이에 AOI간 영향으로 이 유의한 차이가 발생했을 수 있으므로 이 결과에 대한 해석은 보류하며 추가적인 연구가 필요하다. 따라서 제 3자 관점 과제의 집단별 시각주의

<Table 5> Differences in total fixation duration by group of questions 1, 2 and 3

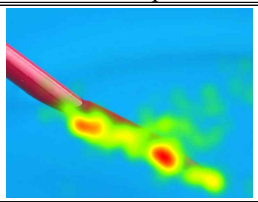
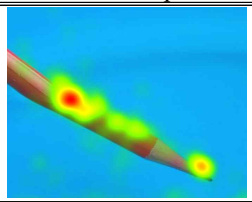
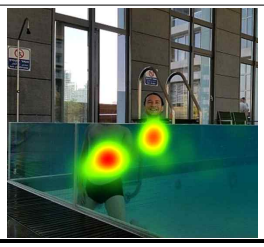
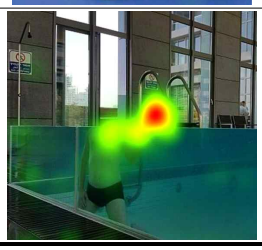
	AOI	Mean rank (Sum of ranks)		Mann-Whitney U	p
Q1		Scientific Explanation(n=10)	Unscientific Explanation(n=12)		
	Image	12.40(124.00)	10.75(129.00)	51.000	.553
	Interface	13.30(133.00)	10.00(120.00)	42.000	.235
	Object	12.90(129.00)	10.33(124.00)	46.000	.356
	Observer	9.05(90.50)	13.54(162.50)	35.500	.098*
	Other(face)	11.25(112.50)	11.71(140.50)	57.500	.869
Q2		Scientific Explanation(n=10)	Unscientific Explanation(n=12)		
	Interface	13.50(135.00)	9.83(118.00)	40.000	.187
	Object	10.90(109.00)	12.00(144.00)	54.000	.692
	Observer	12.00(120.00)	11.08(133.00)	55.000	.742
Q3		Scientific Explanation(n=10)	Unscientific Explanation(n=12)		
	Image	13.40(134.00)	9.92(119.00)	41.000	.210
	Interface	14.70(147.00)	8.83(106.00)	28.000	.035**
	Object	12.20(122.00)	10.92(131.00)	53.000	.644
	Observer	8.25(82.50)	14.21(170.50)	27.500	.028**
	Other(arrow)	15.20(152.00)	8.42(101.00)	23.000	.015**

*p<.1, **p<.05

차이 분석 결과에서 정성적인 차이는 확인할 수 있었지만 과학적 설명 여부에 따라서 유의한 차이는 명확하게 나타나지 않았으며, 이는 과제의 특성이 반영된 결과로 생각된다.

관찰자 관점과제인 문항 4, 5, 6의 각 문항별로 과학적인 설명과 비과학적 설명 집단의 설명과정에서 나타난 시각주의를 시각화한 히트맵은 다음 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Heat map of scientific and unscientific explanation groups of questions 4, 5 and 6

	Scientific Explanation	Unscientific Explanation
Q4		
Q5		
Q6		

과학적인 설명과 비과학적 설명 집단의 시각주의를 정성적으로 살펴보면, 문항 4에서는 과학적인 설명 집단의 히트맵이 물에 잠긴 연필의 아래 부분에 시각주의가 높고, 연필에 대한 시각주의가 고른 반면, 비과학적 설명 집단의 히트맵은 연필의 위쪽 부분에 시각주의가 높고, 연필이 물에 닿은 경계면에서 꺾여 보이는 부분과 연필의 끝부분에 시각주의가 높은 것을 확인할 수 있다. 문항 5에서는 과학적인 설명 집단은 동전의 위치와 위와 아래쪽 주변 부분에 시각주의가 높았으며, 컵의 중간 부분과 컵의 윗부분에도 일부 시각주의가 나타난 반면, 비과학적 설명 집단은 동전 위치에만 시각주의가 높았다. 문항 6에서는 과학적인 설명 집단은 머리 아래쪽의 원래 몸통이 있던 위치와 몸통이 보이는 위치의 가운데 부분에 시각주의가 높게 나타난 반면, 비과학적 설명 집단은 머리와 어깨, 머리와 어깨사이의 경계 부분에 대한 시각주의가 높았다.

이에 대한 정량적인 비교를 위해 Mann-Whitney U 검정을 실시하였다. 각 문항별로 두 집단의 AOI별 전체 고정 지속시간/과제 수행시간을 분석한 결과는 다음 <Table 7>과 같다.

문항 4에서 물체의 실제 위치 AOI는 집단별로 .01 수준에서 유의한 차이가 있었다. 과학적 설명 집단은 연필이 실제 있는 위치로부터 빛이 반사되어 공기중으로 나오면서 꺾이고, 그것을 역추적하여 현재 위치에서 연필이 보인다는 것을 설명하였다. 이 설명은 현상에서는 보이지 않는 실제 물체가 있을 것으로 예상되는 지점으로부터 시작해야 한다. 따라서 물체의

<Table 7> Differences in total fixation duration by group of questions 4, 5 and 6

	AOI	Mean rank (Sum of ranks)		Mann-Whitney U	p
		Scientific Explanation(n=5)	Unscientific Explanation(n=7)		
Q4	Image	15.80(79.00)	10.24(174.00)	21.000	.092*
	Interface	7.40(37.00)	12.71(216.00)	22.000	.108
	Object	18.60(93.00)	9.41(160.00)	7.000	.005***
		Scientific Explanation(n=9)	Unscientific Explanation(n=13)		
Q5	Image	12.22(110.00)	11.00(143.00)	52.000	.664
	Interface	12.56(113.00)	10.77(140.00)	49.000	.526
	Object	13.56(122.00)	10.08(131.00)	40.000	.212
		Scientific Explanation(n=5)	Unscientific Explanation(n=17)		
Q6	Image	16.00(80.00)	10.18(173.00)	20.000	.078*
	Object	16.80(84.00)	9,94(169.00)	16.000	.038**
	Other(head)	7.00(35.00)	12.82(128.00)	20.000	.078*

*p<.10, **p<.05, ***p<.01

실제 위치에 대한 시각주의가 높았다. 반면 비과학적 설명 집단은 이를 고려하지 않으므로 물체의 실제 위치에 대한 시각주의가 낮았다.

연필의 상 AOI는 .10 수준에서 유의한 차이가 있었으며와 물과 공기의 경계면 AOI는 유의한 차이는 아니었지만 시각주의의 정도에서 큰 차이가 있었다. 연필의 상은 과학적 설명 집단이 시각주의가 높았으며, 물과 공기의 경계면은 비과학적 설명 집단이 더 시각주의가 높았다. 이는 빛의 굴절을 설명할 때, 과학적 설명 집단은 연필의 상 전체를 보면서 설명하였고, 비과학적 설명 집단은 연필이 물에 닿아 꺾여 보이는 물과 공기의 경계면을 중심으로 설명했기 때문이다.

문항 5에서 집단별 유의한 차이는 없었다. 문항 6에서는 물체의 실제 위치 AOI가 .05 수준에서 유의한 차이가 있었다. 과학적 설명 집단은 몸통이 원래 있던 위치로부터 빛이 반사되어 공기 중으로 나오면서 꺾이고, 그것을 역추적하여 현재 위치에서 몸통이 보인다는 것을 설명하였다. 이들은 실제 물체가 있을 것으로 예상되는 지점으로부터 설명을 시작하였으므로 물체의 실제위치인 머리 아래쪽의 빈 공간에 대한 시각주의가 높았다. 반면 비과학적 설명 집단은 이를 고려하지 않으므로 그에 대한 주의가 낮았다.

또한 사람의 상 AOI와 사람의 머리 AOI는 .10 수준에서 유의한 차이가 있었다. 사람의 상에는 과학적 설명 집단이 시각주의가 높았으며, 사람의 머리에는 비과학적 설명 집단이 더 시각주의가 높았다. 비과학적 설명을 한 연구 참여자 E, H, O는 머리만 따로 떨어져 있는 장면에 신기해서 계속 주의했다고 응답했으며, 연구 참여자 A, M, Q는 현상을 설명하기가 어려워 머리를 중심으로 설명하려고 노력하였다고 응답하여 시각주의가 높았던 이유를 알 수 있다. 이와 같은 결과는 현상의 설명과 관계없는 부분에 주의한 것으로 설명할 수 있다.

2. Type of Unscientific Explanation of Refraction of Light.

1) An Unscientific Explanation of the Third-party Perspective Tasks

비과학적 설명의 유형은 제 3자 관점 과제과 관찰자 관점 과제에서 각각 다르게 나타났다. 먼저, 제 3자 관점 과제의 비과학적 설명에서는 두 가지 유형이 나타났다. 첫 번째는 관찰자의 눈에서 빛이 나와 물과 공기의 경계면에서 법선 쪽으로 꺾여 나아가 물체에 닿기 때문에 물체가 꺾여 보이게 된다는 설명이다.

이렇게(손가락으로 관찰자의 눈에서 물과 공기의 경계면 쪽으로 선을 그음) 빛이 나아가다가 여기서(물과 공기의 경계면) 꺾여 들어가고, 그래서 이 아래에 다리쪽으로 가서 보이는거에요 ... (중략) ... 꺾여 들어가기 때문에 약간 물위에 떠있는 것처럼 보여요.
(연구 참여자 H의 Q1에 대한 인터뷰)

아까 본 것처럼(실험 전 빛의 굴절 개념 설명 삽화) 빛이 이렇게(관찰자의 눈에서 컵의 위쪽으로) 가다가 물에 이렇게(법선쪽으로) 꺾여서 들어가요. 그 다음에 이렇게(손가락으로 물과 공기의 경계면 쪽에서 동전쪽으로 선을 그음) 동전에 가는거죠.
(연구 참여자 B의 Q2에 대한 인터뷰)

비과학적 설명을 하는 연구 참여자 다수는 관찰자의 눈에서 빛이 나온다고 생각했다. 실험 전 빛의 굴절을 설명하기 위한 개념 삽화의 레이저포인터가 공기와 물의 경계에서 꺾여 나아가는 것과 관련지어 설명하였으므로 관찰자의 눈과 광원을 혼동하고 있음을 알 수 있다.

설명의 두 번째 유형은 물체에서 반사된 빛이 물과 공기의 경계면에서 법선 바깥 방향으로 꺾여 눈으로 나아가기 때문이라는 설명이다. 그러나 이때, 눈에 들어온 빛의 경로를 역추적하여 상의 위치를 설명하지 못한다.

아까 앞에서 물고기가 우리 눈에 들어오는 것처럼 물고기의 빛이 물 쪽으로 오다가 공기와 만나는 지점에서 꺾입니다. 그리고 눈으로 들어옵니다.

물체에서 나온 빛이 물에서 나오면서, 여기서(물과 공기의 경계면) 꺾이게 되는데 그 꺾이는 지점 때문에 조금 위에서 보이는 거 같아요.
(연구 참여자 N의 Q3에 대한 설명과 그 설명에 대한 인터뷰)

연구 참여자들은 물체에서 빛이 반사되어 관찰자의 눈으로 들어오는 것과 실제 물체의 위치와 다르게 보이는 현상을 설명했으나, 그 이유에 대해서는 명확히 설명하지 못했다.

이와 같은 결과는 연구 참여자들의 설명과 인터뷰로 미루어 볼 때, 실험 전 개념 확인을 위한 빛의 굴절 개념과 물고기가 실제 위치보다 떠올라 있는 것처럼 보이는 현상에 대한 삽화의 영향이 큰 것으로 보인다. 논리적인 추론과정 없이 삽화에서 확인한 광선의 꺾임에 대한 피상적인 기억을 바탕으로 상을 찾는다는 것이다.

한편, 본 연구에서는 수평경계면에서의 빛의 굴절에 관련된 선행 연구에서 도출했었던 다양한 유형의 오개념은 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 실험 전 빛의 굴절 개념 설명이 있었던 것과 연구 참여자 수와 평균이상의 학력을 가진 연구 참여자의 수준에 따른 한계로 생각된다.

2) An Unscientific Explanation of the Observer Perspective Tasks

관찰자 관점 과제의 비과학적 설명에서도 두 가지 유형이 나타났다. 첫 번째는 물체가 물에 잠긴 부분은 꺾여 보이는 이유는 빛이 물과 공기의 경계면에서 꺾여 나아가는 것처럼 물체도 꺾여 나아가기 때문이라는 설명이다. 물체를 따라 빛이 나아가는 것으로 생각했다.

이 부분을(물과 공기의 경계면, 연필이 물에 잠긴 부분) 기준점으로 만들어요. 그러면 이렇게 빛이 따라서 내려가다가(손가락으로 연필이 공기중에 노출된 부분에서 연필이 물에 잠긴 경계까지 선을 그음) 물을 만나면 이렇게(손가락으로 연필이 물에 잠긴 경계부터 연필의 끝까지 선을 그음) 꺾여서 내려 가는거죠 ...(중략)... 기준점이라는 거는 물의 수평선? 표면과 만나는 점이요. 이렇게(손가락으로 연필이 물에 잠긴 경계에서 십자표시를 함) 십자로 되는 부분, 그 스넬의 법칙 있잖아요. 이렇게 빛이 (손가락으로 연필이 공기중에 노출된 부분에서 연필이 물에 잠긴 경계까지 선을 그음) 내려오면 이렇게 (손가락으로 연필이 물에 잠긴 경계부터 연필의 끝까지 선을 그음) 꺾여서 내려 가는거죠.

(연구 참여자 R의 Q4에 대한 인터뷰)

이 부분(머리와 어깨의 경계 부분)을 집중해서 봤어요. 왜 이렇게 떨어져 있지 했어요. 저기 위쪽에(머리의 우측 상단 부분) 빛이 있다고 가정하고, 이렇게 빛이 와서 머리를 지나서 어깨 쪽으로 간다. 그래서 몸이 이쪽에(물 속 몸통의 상) 이렇게 보이는 거. 그래서 이 어깨와 머리 연결부분에 많이 본 거 같아요.

(연구 참여자 M의 Q6에 대한 인터뷰)

이거는 쉬웠어요. 계속 비슷한 것만 나와서. 먼저 꺾이는 부분을 찾고, 이것도 앞에 레이저 포인터처럼 이렇게 (손가락으로 연필이 공기중에 노출된 부분에서 연필이 물에 잠긴 경계까지 선을 그음) 빛이 내려오다가 그 다음에 물에서 이렇게 꺾여서 (손가락으로 연필이 꺾여 보이는 쪽으로 방향을 바꿈) 계속 가요. 꺾이는 방향만 다르고.

(연구 참여자 T의 Q4에 대한 인터뷰)

비과학적 설명을 구성한 연구 참여자의 절반이상이 물과 공기의 경계에서 빛이 굴절하는 것과 물체가 꺾여 보이는 것을 혼동했다. 물체가 꺾여 보이는 것을 빛이 물체를 따라서 나아간다는 표현을 사용하였다. 그리고 물체가 연결되는 지점을 연장하면 광원이 있다고 생각하기도 하였다. 빛이 공기 중에서 물속으로 나아갈 때는 법선쪽으로 꺾이며, 물체는 반대로 떠올라 보이므로 꺾이는 방향이 서로 반대이다. 그러나 연구 참여자들은 빛이 꺾이는 방향과 물체가 꺾여 보이는 방향에 대해서 의문을 표시한 경우는 없었다. 또한 설명에는 실험 전 학습 한 빛의 굴절 개념 삽화를 많이 이용했다. 레이저포인터 빛의 굴절과 물체가 꺾여 보이는 것을 동일한 현상으로 생각하고 있었다.

Kwon(2014)의 빨대 굴절상 삽화에 대한 초등 예비교사들의 이해를 알아본 연구에서는 전체의 32.4%(11명)가 빛이 빨대를 따라서 이동한다고 응답했다. 본 연구에서는 다수의 연구 참여자가 이러한 생각을 갖고 있는 것과는 비교된다. 이와 같은 결과는 Kwon(2014)의 연구에서는 관찰자가 과제에 있었기 때문으로 생각된다. 이를 통해 관찰자 관점의 과제에서 정확한 설명을 구성하기 위해서는 연구 참여자 본인이 관찰자가 됨을 인지해야 한다는 것을 알 수 있다.

설명의 두 번째 유형은 연구 참여자 본인이 관찰자가 아니라 사진의 특정 위치에 임의의 관찰자가 있으며, 물체에서 나온 빛은 물과 공기의 경계면에서 꺾여 그 임의의 관찰자를 향해 나아간다고 생각한다.

여기서 (연필의 우측 상단) 이렇게 (연필쪽을 향해서) 보면 꺾여서 보이는 거죠, 앞에서 (물고기가 실제 위치보다 떠올라 있는 것처럼 보이는 현상 설명 삽화) 실제보다 더 위쪽으로 보인다고 했으니까 이렇게 물체에서 반사된 빛이 물에서 나오면서 꺾이고 이렇게 (손가락으로 물 표면으로부터 사진의 우측 상단 쪽으로 선을 그음) 눈으로 들어오는 거죠.

(연구 참여자 Q의 Q4에 대한 인터뷰)

물이 없으면 그냥 바로 보일텐데 물이 있으니까 이렇게 (머리와 몸통이 나눠져 보이는 것) 꺾여요. 이렇게 머리와 몸통이 이쪽에서 보면 나란히 있고, 그래서 여기 몸통(몸통의 상이 있는 위치)에서 물에서 나오면서 한번 꺾이고 머리를 지나면서 이런 경로로 (빛이) 가요. ...(중략)... 여기에서 (수영장 우측 상단) 보여요

(연구 참여자 O의 Q6에 대한 인터뷰)

연구 참여자들은 관찰자 관점 과제에는 관찰자가 보이지 않으므로 사진의 특정 위치에 관찰자가 있다고 가정한다. 연구 참여자가 관찰자의 위치로 지정하는 위치는 주로 좌측 또는 우측 상단이다. 이와 같은 결과의 이유를 연구 참여자들의 설명과 인터뷰로 유추해보면, 실험 전 확인한 개념 삽화와 앞서 해결한 제 3자 관점의 과제 영향이 큰 것으로 보인다. 관찰자 관점 과제는 관찰자가 본임임을 이해해야 하지만 앞서 경험한 문항과 같은 유형으로 이해한 것이다.

관찰자 관점 과제는 연구 참여자 본인 관점에서 빛의 굴절을 관찰할 수 있는 현상이며, 빛의 굴절을 학습한 학생이라면 실생활에서 이와 같은 현상을 의미있게 설명할 수 있어야 한다. 그러나 본 연구의 결과는 많은 학생들이 학습한 내용을 의미 있게 적용하지 못한다는 것을 알 수 있다. 광학 현상에서 관찰자는 본질적인 요소 중의 하나이다(Galili & Hazan, 2000). 빛의 굴절 현상을 학생 수준에서 쉽게 이해시키기 위해서 광선 작도가 도입된 삽화는 학생 본인이 관찰자가 될 수 있다는 사실을 이해하지 못하고, 굴절 현상에 대한 설명을 실생활 맥락에서 적용하기 어렵다는 것을 시사한다.

IV. Discussions

지금까지 수평경계면에서의 빛의 굴절에 대해 학생들이 갖는 개념을 조사하기 위한 방법은 주로 관찰자와 물체가 등장하는 상황에서 빛의 경로를 그리거나 상의 위치를 선택하는 개념 검사에 의존해왔다(Kaewkhong et al., 2010. Şengören, 2010; Park, 2017). 이 개념 검사는 주로 오개념의 유형을 판별하고 그 빈도를 분석하는데 목적이 있으므로, 학생들이 어떤 설명을 구성하는지는 분석 할 수 있지만, 어떤 과정으로 설명을 구성하는지, 그 설명의 바탕에는 어떤 인지처리가 숨어있는지 알 수 없다. 이에 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위해 시선추적방법을 적용하였다. 이를 통해 과학적 설명 집단과 비과학적 설명 집단 사이의 시각주의를 분석하여 두 집단의 설명구성에서 나타나는 중요한 지점을 찾을 수 있었고, 시선비디오를 단서로 사용하여 설명의 과정을 심층적으로 분석할 수 있었다. 본 연구의 연구 방법은 빛의 굴절 개념 뿐 만아니라 다양한 학생들의 과학적 개념 형성 여부를 판단하고, 개념 형성 여부에 따른 시각주의 비교를 통해 오개념을 정개념으로 변화시키기 위한 지도 방법에 대한 정보를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구에서는 학생들이 빛의 굴절 현상을 설명하는데 제 3자 관점 보다 관찰자 관점에서 더 어려움을 겪었다. 빛의 반사와 굴절과 관련된 광학적 현상에서 나타나는 고등학생의 개념을 조사한 John et al. (2018)의 연구에서도 실제 상황에 광학 개념을 적용할 때 심각한 어려움을 겪었다고 보고했다. 과학교육 연구자들은 과학 개념을 설명하기 위한 맥락을 학생들에게 일상적인 것에서부터 점차 추상적인 것으로 나아가야 한다는 것에 어느 정도 동의하고 있으며(Gilbert, 2006; Schwartz 2006), 실제로 이러한 방식으로 교육과정을 개발하고 있다(John et al., 2018). 그러나 빛의 굴절과 관련된 개념은 광선경로를 시각화하여 관찰자에게 지각되는 과정이 반드시 필요하므로(Lee et al., 2014), 전 세계 여러 나라에서 공통적으로 이 개념 삽화를 사용하고 있는 것으로 보인다. 그러나 이는 학생들에게 상황 의존적인 개념을 갖게 하므로(Kwon et al., 2006; John et al., 2018), 이를 해소하여 실제 맥락에 빛의 굴절 개념을 전이시키기 위해서는 두 관점을 통합적으로 지도해야 한다.

본 연구의 결과로부터 학생들이 실제 맥락인 관찰자 관점에서 수평경계면에서의 빛의 굴절 현상을 과학적으로 설명하기 위한 지도방법을 구성할 수 있었

다. 이와 관련해서 Kwon (2014)은 물에 잠긴 빨대의 굴절상을 이해하기 위한 사고과정을 9단계의 순서로 제시하였으나 본 연구에서는 과정을 열거하는 것보다 각 개념의 통합으로 설명하는 것이 더 유용할 것이라 생각되므로, 중요도를 중심으로 3가지 개념으로 함축하였다.

먼저, 선행하여 형성해야 하는 개념은 물체에서 반사된 빛이 관찰자의 눈으로 들어오기 때문에 관찰자는 물체를 지각할 수 있다는 것이다. John et al. (2018) 역시 실제 상황의 설명은 시지각에 관련된 과정을 정확히 이해하지 못하는 것과 가장 큰 관계가 있다고 밝혔으며, Park (2017) 역시 주요 오개념 중 첫 번째로 꼽았다. 그 밖에 다양한 연구에서도 광학 현상에 대한 중요한 오개념으로 꼽고 있다(Lee et al., 2004; Galili, 1996; Kaewkhong et al., 2010; Kwon, 2014). 특히 관찰자 관점에서는 장면을 바라보는 자신이 관찰자라는 것을 알고 현재 장면이 보이는 이유는 그곳에서 반사된 빛이 눈으로 들어오기 때문이라는 것을 인지해야 한다. 두 번째, 실제 물체가 있는 곳은 장면에서는 지각할 수 없지만 물체의 위치는 현재 상의 위치와는 다르다는 것이다. 과학적 설명을 한 연구 참여자와 그렇지 않은 연구 참여자 간의 가장 큰 차이는 실제 물체가 원래 있던 곳을 떠올렸다는 것이다. 장면에서는 빈곳이지만 그곳에 있는 물체로부터 빛이 출발하고 물과 공기의 표면에서 꺾여 눈으로 들어온다는 것을 이해해야 한다. 즉, 물체가 원래 있던 위치를 표상하는 것이 중요하다. 세 번째, 빛은 직진하므로 사람의 눈은 꺾여 들어온 빛을 직진해서 들어온 것으로 지각하며, 그것이 현재 보이는 상이라는 것이다. 이러한 점에서 관찰자 관점의 빛의 굴절 현상에 대한 설명 구성과 제 3자 관점의 설명 구성과 비교했을 때, 과학적 설명 구성의 중요한 열쇠는 실제 물체가 있던 위치를 떠올리는 것이다.

V. Conclusions

본 연구는 제 3자 관점과 관찰자 관점에서 빛의 굴절 현상을 설명하는 과정에서 나타나는 시각주의와 비과학적 설명의 유형을 분석하였다. 이를 바탕으로 빛의 굴절 현상의 지도방안에 대해 논의하였다. 본 연구의 결과로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

첫째, 과학적 설명 집단과 비과학적 설명 집단의 설명 중 나타나는 시각주의는 서로 달랐다. 설명 중 인지처리가 시각주의에 반영이 되었으므로 비과학적 설명 집단은 의미 없는 위치에 대한 주의가 높은 반면, 과학적 설명 집단은 설명에 유의한 위치에 대한 주의가 높았다. 이러한 결과로부터 빛의 굴절 현상을 과학적으로 설명하기 위해서는 물체가 원래 있던 위치를 인식하는 것이 중요하다는 것을 도출할 수 있다.

둘째, 관찰자 관점에서 빛의 굴절 현상을 설명하는 것은 제 3자 관점에서 설명하는 것 보다 더 어려움을 겪는다. 이는 빛의 굴절 개념 학습에 일반적으로 사용하는 광선의 경로가 시각화된 개념 설명 삽화가 제 3자 관점을 갖기 때문이며, 학생들은 이에 따른 상황 의존적 개념을 갖고 있음으로부터 비롯된다.

셋째, 관찰자 관점의 빛의 굴절 현상 설명에서 나타나는 비과학적 설명의 원인은 물체의 꺾여 보임과 빛의 꺾여 나아감을 혼동해하는 것과 장면을 관찰하는 본인이 아닌 장면내의 다른 특정 위치에 관찰자 위치를 지정하는 것이다. 이 또한 개념 설명 삽화에 의해 상황 의존적 개념의 형성 때문이다.

빛의 굴절 개념 지도의 목표는 단순히 학습 맥락에서 설명하게 하는 좁은 범위의 이해가 아니라 실제 맥락에서 적용할 수 있는 고차원적인 이해여야 한다. 빛의 굴절에 대한 제 3자 관점 교과서 삽화는 물체로부터 출발한 빛이 눈으로 들어가기까지의 경로를 보여주기 때문에 유용하게 사용되어 왔다. 그러나 제 3자 관점 삽화의 제시는 제 3자 관점에 의존하게 하여 실제 맥락의 빛의 굴절 현상에 적용하기 어렵게 한다. 따라서 빛의 굴절 개념의 전이와 실제 맥락에서의 적용을 위해서는 제 3자 관점과 관찰자 관점을 통합하여 지도하는 것이 도움이 될 수 있다.

References

Fariyani, Q., Rusilowati, A., & Sugianto, S. (2017). Four-tier diagnostic test to identify misconceptions in geometrical optics. *Unnes Science Education Journal*, *6*(3), 1724-1729.

Flavell, J. H. (1992). Perspectives on perspective

taking. In H. Beilin & P. B. Pufall (Eds.), *Piaget's Theory: Prospects and Possibilities* (pp. 107-139). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education, 18*(7), 847-868.

Galili, I., & Hazan, A. (2000). Learners' knowledge in optics: Interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education, 22*(1), 57-88.

Gilbert, J. K. (2006). On the nature of 'Context' in chemical education. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 957–976.

Goldberg, F., & Bendall, S. (1995). Making the invisible visible: A teaching/learning environment that builds on a new view of the physics learner. *American Journal of Physics*, *63*(11), 978-991.

Henning, W. (2004). Everyday cognition and situated learning. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of research on educational communications and technology* (2nd ed.) (pp. 143-168). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Jo, J. H., & Yang, I. H. (2019). The problem solving thinking processes on the geological spatial ability test according to the item types. *Brain, Digital, & Learning*, *9*(4), 375-385.

John, M., Molepo, J. M., & Chirwa, M. (2018). Secondary school learners' contextualized knowledge about reflection and refraction: A case study from South Africa. *Research in Science & Technological Education*, *36*(2), 131-146.

Kaewkhong, K., Emarat, N., Arayathanitkul, K., Soankwan, C. & Chitaree, R. (2008). Students' misunderstanding in using ray diagram in light refraction. *Thai Journal of Physics*, *1*, 175-176.

Kaewkhong, K., Mazzolini, A., Emarat, N., & Arayathanitkul, K. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface. *Physics Education*, *45*(1), 97-107.

Kim, S. U., & Yang, I. H. (2019). An analysis of dialogue in instructional reflection using gaze videos in teaching practice. *Brain, Digital, & Learning*, *9*(3), 175-188.

Kwon, G. P. (2014). An analysis of elementary pre-service teachers' understanding of the illustration of the straw reflection image. *Teacher Education Research*, *53*(4), 815-824.

Kwon, G. P., Bang, S. Y., Lee, S. M., & Lee, G. H. (2006). Context-dependency of students` conceptions in optics: focused on vision & mirror image. *Journal of the Korean Association for Science Education*, *26*(3), 406-414.

Lee, J. B., Nam, K. U., Son, J. W., & Lee, S. M. (2004). An analysis of the types of teacher and student's concept on ray-tracing and spectrum in the middle school. *Journal of the Korean Association for Science Education*, *24(*6), 1189-1205.

Lee, J. W., Kim, D. Y., & Kim, J. B. (2014). Development and application of peer instruction materials for in-service teachers` training through ray drawing: focus on refraction of light. *Science Education Research*, *38*(1), 182-195.

Lee, K. I., & Yang, I. H. (2019). Eye movements when reading multiple documents about a socio-scientific issue. *Brain, Digital, & Learning*, *9*(1), 21-30.

Michelon, P., & Zacks, J. M. (2006). Two kinds of visual perspective taking. *Perception & Psychophysics*, *68*(2), 327-337.

Omodei, M. M., & McLennan, J. (1994). Studying complex decision making in natural settings: Using a head-mounted video camera to study competitive orienteering. *Perceptual and Motor Skills*, *79*, 1411-1425.

Paik, S. H., & Jung, Y. K. (2009). A case study of elementary school teachers` understanding of "light and image" and change of perception related to learning contents. *Journal of Korean Elementary Science Education*, *28*(3), 245-262.

Park, J. H. (2017). The Conceptions of light refraction at the plane intersection of elementary school

students. *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, *29*(5), 1575-1583.

Schwartz, A. T. (2006). Contextualized chemistry education: The american experience. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 977–998.

Şengören, S. K. (2010). How do Turkish high school graduates use the wave theory of light to explain optics phenomena?. *Physics Education*, *45*(3), 253.

Song, Y. W., Kim, B. K., Paik, S. H., Kim, Y. J., Han, J. Y., & Chung, J. I. (2010). The analysis of middle students` conceptions on the arrows representing reflection and refraction in the light unit of science textbooks. *Science Education Research*, *34*(1), 72-83.

Wangchuk, S., & Penjor, T. (2020). Effect of group work in addressing the misconceptions of light. *Asian Journal of Research and Reviews in Physics*, *3*(4), 11-34.

Wartono, B., & Putirulan, A. (2018). Cognitive conflict strategy and simulation practicum to overcome student misconception on light topics. *Journal of Education and Learning*, *12*(4), 747-757.

Widiyatmoko, A., & Shimizu, K. (2018). Literature review of factors contributing to students' misconceptions in light and optical instruments. *International Journal of Environmental and Science Education*, *13*(10), 853-863.

Yang, I. H., & Kim, S. U. (2019). Eye movement analysis of the editorial design in elementary science textbook. *Brain, Digital, & Learning*, *5*(3), 19-34.

[저자의 소속과 직위]

김성운 : 한국교원대학교 과학교육연구소 학술연구교수, 단독저자