

# 무지개 생성 원리 분석을 위한 유리구슬 무지개 실험장치 개발

손문규 · 권문호<sup>1</sup> · 최호명<sup>2\*</sup>

경북과학고등학교 · <sup>1</sup>경북대학교사범대학부설고등학교 · <sup>2</sup>경북대학교

## Development of Glass-Beads Rainbow Experimental Apparatus for Analyzing the Principle of Rainbow Formation

Moonkyu Son · Munho Kwon<sup>1</sup> · Ho-Meoyng Choi<sup>2\*</sup>

Kyeongbuk Science High School · <sup>1</sup>Kyungpook National University High School ·

<sup>3</sup>Kyungpook National University

**Abstract:** In this study, we developed an experimental apparatus to study the principle of rainbow formation. The rainbow is formed through the dispersion, reflection, and refraction of light on water droplets. However, the rainbow cannot be made from a single drop of water. Thus, we devised an apparatus to observe the principle behind the rainbow formation caused by light rays on many water drops. This we deemed would help students understand the formation of the rainbow. We used glass beads as water drops to reproduce the rainbow phenomena. We also materialized the rainbow by changing various variables such as the position of the observer and the height of the light source, etc.

**keywords:** rainbow, glass-beads, experimental apparatus, dispersion, reflection, refraction

### I. 서론

최근 4차 산업혁명의 부각으로 인해 국가 차원에서의 과학기술 인력 양성과 과학적 문제해결 능력이 강조되면서, 21세기를 살아갈 학생들의 과학적 탐구능력의 함양이 더욱 중요하게 여겨지고 있다(Jho, 2018). 이러한 시대의 변화를 반영하며 2015년 고시된 개정 과학과 교육과정에서도 과학적 탐구능력 역량을 포함한 5가지 과학과 핵심역량 함양을 통한 과학적 소양을 기르는 것을 강조하고 있다. 2015 개정 과학과 교육과정에서는 학생들의 과학과 핵심역량의 함양을 위한 방안으로 과학 기본 개념의 통합적인 이해와 다양한 유형의 탐구 활동 중심의 학습이 이루어지도록 제시하고 있다(MOE, 2015a). 특히 고등학교 교육과정에서는 ‘과학탐구실험’ 교과를 신설하고, 모든 학생들이 필수로 이수해야하는 공통과목으로 ‘통합과학’과 함께

‘과학탐구실험’을 지정하는 등 탐구 활동을 이전 교육과정보다 더욱 강조하고 있다.

한편 광학은 역학, 전자기학과 함께 물리학의 매우 중요한 영역으로, 2015 개정 과학과 교육과정에서 빛에 대한 내용은 반사, 굴절, 간섭과 회절 등 폭넓게 다루어지고 있다. 이중 빛의 반사와 굴절 개념은 중학교 1학년, 고등학교 물리학 I, II에서 다양한 거울과 렌즈 개념에 대한 설명과 함께 망원경, 현미경, 광통신 등 일상생활 속에서 활용되는 다양한 예시와 함께 제시되고 있다. 이처럼 광학은 우리의 일상생활 속에 매우 밀접하게 관련되어 있기 때문에 학생들이 호기심을 많이 가지는 영역 중 하나이다(Lee, 2006).

광학 현상들은 인간의 감각으로 직접 인식되기 때문에 잘못된 개념을 가지기 쉽고(Park, 2017), 그 개념들은 견고성이 강하기 때문에 이를 개선하기 위해서는 교사의 역할이 매우 중요하다(Kim, 2011). 그러

\* 교신저자: 최호명 (homyoung@knu.ac.kr)

\*\* 이 논문은 손문규의 2021년도 석사 학위 논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.

\*\*\* 이 논문은 2020년 정부 (교육과학기술부) 재원으로 한국연구재단의 지원 사업(NRF-2020R1F1A1067990)으로 수행된 연구임.

\*\*\*\* 2021년 6월 29일 접수, 2021년 8월 19일 수정원고 접수, 2021년 9월 13일 채택

http://dx.doi.org/10.21796/jse.2021.45.3.326

나 학생들 뿐 아니라 과학 교사들 또한 광학 현상에 대한 체계적인 개념을 갖지 못하여 학생들의 선개념을 과학적 개념으로 바꾸는 것에 어려움을 겪고 있다 (Paik & Jung, 2009; Lee, 2021). 그리고 실제 교육 현장에서 광학 수업 시 빛의 경로에 대한 이해는 교과서의 그림에 의존하는 실정이며 교사들도 광학 단원 지도에 어려움을 느끼고 있어, 효율적인 교수법을 찾기 위해 고민하는 교사들이 많은 것으로 연구되었다(Lee, 2014). 특히, 단순 화살표로 나타낸 빛의 경로는 정확한 광학현상 지도에 장애가 될 뿐만 아니라 학생들에게 오개념을 갖게 하는 원인이 된다(Song, 2010). 따라서 광학 분야에 대해 단순히 렌즈와 거울에 의한 빛의 경로를 확인하는 기존의 실험뿐만 아니라 다양한 현상에서 빛의 경로를 확인할 수 있는 효과적인 교육 프로그램 및 실험 장치의 개발이 필요하다.

특히 무지개는 우리가 주변에서 볼 수 있는 미적으로 매우 아름다운 자연 현상 중 하나이며, 어릴 때부터 다양한 경험을 통해 많이 접하게 되는 흥미로운 광학 관련 소재이나, 무지개가 형성되는 원리에 대해 명확하게 이해하고 있는 학생들은 실제 많지 않다 (Huh, 2009; Kim & Lee, 2011). 무지개 및 무지개 생성에 대한 초등학생들의 개념 지식에 대한 Hast(2020)의 연구에 따르면, 과학적 개념을 가지지 못한 학생들의 경우 무지개와 무지개 형성에 대해 추상적인 개념을 가지고 있으며, 특히 저학년 때 많은 학생들이 무지개를 빛의 반사에 의한 현상이 아닌 비온 뒤 하늘에서 발생하는 빛으로 인식하고 있다. 비록 학년이 올라감에 따라 무지개 형성에 대한 정확한 과학적 개념을 가진 학생이 증가하지만 그 비율은 여전히 상당히 낮은 수준이며, 특히 교사들이 무지개 생성에 대한 학생들의 과학적 이해를 과대평가하고 있다는 문제점을 지적하였다. 그러므로 교사들은 학생들이 무지개 및 무지개 생성 원리에 대한 올바른 과학적 개념을 갖고 있는지에 대한 보다 정교한 평가가 필요하며, 이를 위해서는 무지개 및 무지개 생성과 관련된 과학적 학습 도구나 실험장치 등의 개발이 필요하다.

무지개는 분산과 반사, 굴절로 이뤄지는 자연현상으로, 각 현상만 보면 매우 간단하나 무지개 형성 원리에 대해 순차적으로 명확하게 설명하는 것은 상당히 어렵다. 특히 무지개는 하나의 물방울에 의한 현상이 아니라 수많은 물방울에서의 분산, 반사, 굴절에 의해 일어나며, 각 사람이 보는 무지개는 서로 다른 물방울에 의한 것이다. 이와 관련해서 Casini & Covello(2012)는 무지개의 형성 원리를 시각적으로 구현할 수 있는 장치에 대해 제안하였다. 하지만 실제 물방울과 같은 구형이 아닌 하나의 투명 아크릴 디스크를 이용하여 무지개의 형성 원리를 설명하고자 하

였기에, 이 연구를 통해서는 여러 물방울에 의한 궁극적인 무지개의 형성의 원리는 이해할 수 없다.

본 연구의 목적은 빛의 분산 및 반사와 굴절에 의한 무지개의 형성이 실제 관측에서는 한 개의 물방울에서 나타나는 현상이 아닌 여러 물방울에 의한 것임을 학생들에게 이해시키고 이를 시각적으로 구현할 수 있는 장치를 개발하는데 있다. 이에 본 연구에서는 물방울 대신에 구형의 유리구슬을 이용하여 무지개 형성을 시각적으로 이해할 수 있는 실험 장치를 제작하였다. 이 장치를 통해 구슬에 입사한 빛이 구슬 내에서 분산, 반사, 굴절 과정을 거치는 메카니즘을 이해하고, 여러 구슬들이 어떻게 하나의 무지개를 만들 수 있는지 분석하여 무지개 생성 원리를 보다 쉽게 이해할 수 있도록 하고자 한다. 또한 장치를 이용하여 학생들이 관찰자의 위치, 광원의 고도, 관찰자와 무지개 사이의 거리 등과 같이 무지개 생성과 관련된 변인들을 살펴봄으로써, 학생들이 무지개의 형성 원리를 이론적으로 탐구할 수 있도록 하였다.

## II. 무지개의 생성

### 1. 물방울에서의 최대 편향각

무지개는 고대로부터 아리스토텔레스를 비롯하여 많은 과학자들이 관심을 가져왔으며, 1673년 데카르트의 '기상학'이라는 책을 통해 무지개의 굴절 원리가 밝혀졌다. 이후 1704년 뉴턴은 빛의 성질을 연구하던 중 창문으로 들어오는 빛을 프리즘에 통과시킬 때 빛이 여러 가지 색으로 나뉜다는 것을 발견하면서 분산으로 무지개를 설명하였다. 이를 통해 사람이 어떤 물체의 색을 보는 것은 물체가 가지는 고유한 성질이 아닌 빛에 의해 보여지는 것임을 알게 되었다. Figure 1은 하나의 물방울에 한 줄기의 빛이 입사하였을 때 빛이 공기와 물방울의 경계면에서 굴절, 분산, 반사, 굴절 과정을 거치는 빛의 경로를 나타낸 것이다. Figure 1과 같이 물방울로 입사한 빛이 물방울 안에서 한 번의 반사 후 만들어진 무지개를 1차 무지개, 물방울 안에서 2번의 반사 후 만들어진 무지개를 2차 무지개,  $n$ 번의 반사 후 만들어진 무지개를  $n$ 차 무지개라고 한다(Walker, 1976). 우리가 일상생활 속에서 보게 되는 무지개는 일반적으로 1차 무지개이며, 2차 무지개는 1차 무지개보다 더 큰 호를 그리고 무지개 색깔이 뒤집어져 형성된다. 본 연구에서는 1차 무지개만 다루고자 한다.

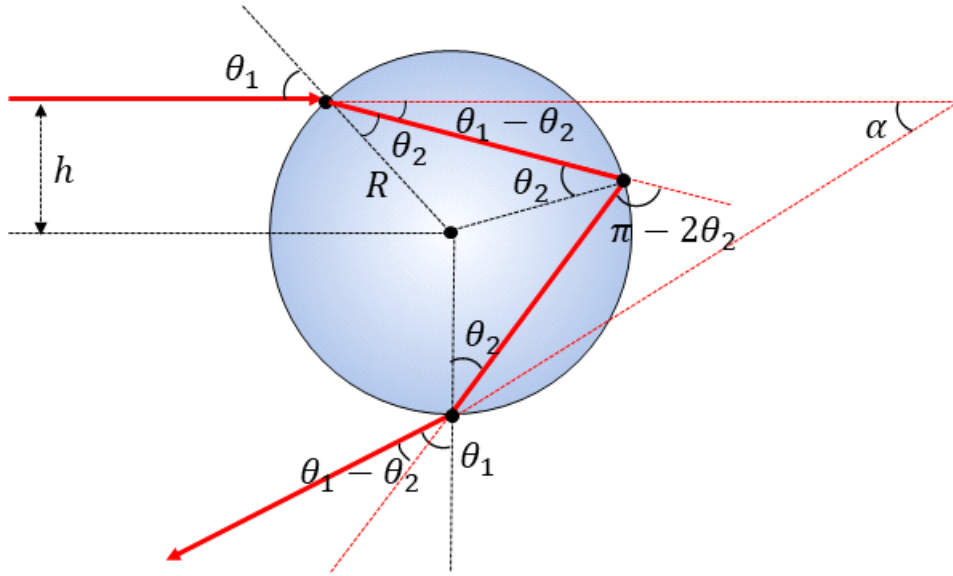


Figure 1. The path of a ray refracted in a water droplet

Figure 1에서 보는 것과 같이 굴절률이  $n$ 이고 반지름이  $R$ 인 구형 물방울을 향해 물방울의 중심으로부터 높이  $h$ 인 곳에 입사각  $\theta_1$ 으로 입사한 빛이 굴절각  $\theta_2$ 로 굴절할 경우, 빛은 첫 번째 굴절에서 처음 입사한 빛에 대해  $(\theta_1 - \theta_2)$ 만큼 꺾이게 된다. 이후 한 번의 반사를 통해 다시  $(\pi - 2\theta_2)$ 만큼 꺾이고, 두 번째 굴절에서 다시  $(\theta_1 - \theta_2)$ 만큼 꺾이게 된다. 그러므로 빛이 물방울에 입사하여 굴절, 반사, 굴절하는 과정에서 처음 입사한 빛에 대해 꺾인 각도는  $2(\theta_1 - \theta_2) + (\pi - 2\theta_2) = \pi - (-2\theta_1 + 4\theta_2)$ 이다. 그러므로 최초 입사한 빛에 대해 꺾인 각을 의미하는 편향각을 Figure 1에서와 같이  $\alpha$ 라고 하면, 편향각  $\alpha = 4\theta_2 - 2\theta_1$ 이 된다. 그리고 공기의 굴절률을 1이라 하고, 첫 번째 굴절에서 스넬 법칙을 이용하여 입사각과 굴절각 사이의 관계를 나타내면  $\sin\theta_1 = n\sin\theta_2$ 가 된다. 그러므로 편향각  $\alpha$ 와 입사각  $\theta_1$ 의 관계는

$$\alpha = 4\sin^{-1}\left(\frac{\sin\theta_1}{n}\right) - 2\theta_1 \quad (1)$$

이 된다. 한편 빛은 매질을 통과할 때 진동수가 크면 클수록 또는 파장이 짧으면 짧을수록 매질로부터 상대적으로 더 많은 방해받게 된다. 이 때문에 빛의 속도는 매질이 없을 때와 비교하여 상대적으로 줄어 들게 되며, 매질에 대한 빛의 굴절률 또한 입사하는 빛의 진동수가 크면 클수록 크게 나타난다. 즉, 한 매질에 입사하는 빛은 진동수에 따라 꺾이는 정도가 조금씩 차이가 나는 빛의 분산이 일어난다. 물방울의 경

우에도 가시광선의 진동수에 따라 굴절률이 변하며, 빨간색 빛에 대한 굴절률은 1.331이고, 보라색 빛에 대한 굴절률은 1.344이다(Benson, 2018; Casini & Covello, 2012).

Figure 2는 Eq. (1)을 이용하여 6개 색깔의 빛에 대해 입사각  $\theta_1$ 에 따른 편향각  $\alpha$ 를 나타낸 것이다. Figure 2에서 확인할 수 있는 것처럼 입사각이 증가함에 따라 편향각이 증가하다 극댓값을 지나면서 다시 편향각이 감소한다. Figure 2의 극댓값, 즉  $\theta_1$ 에 대한 최대 편향각  $\alpha_{\max}$ 를 구하기 위해 Eq. (1)을  $\theta_1$ 에 대해 미분하면

$$\frac{d\alpha}{d\theta_1} = \frac{4\cos\theta_1}{n\sqrt{1 - \frac{\sin^2\theta_1}{n^2}}} - 2 \quad (2)$$

이며,  $\frac{d\alpha}{d\theta_1} = 0$ 을 만족하는 입사각  $\theta_1$ 은

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}\right) \quad (3)$$

이다. 물 속에서의 빛의 굴절률  $n = 1.331 \sim 1.344$ 를 Eq. (3)에 대입하여 계산하면 두 번의 굴절과 한 번의 반사, 분산 과정을 통해 형성되는 1차 무지개를 만드는 입사각  $\theta_1$ 을 구할 수 있으며, 이 값을 Eq. (1)에 대입하면 최대 편향각  $\alpha_{\max}$ 를 구할 수 있다. 굴절률이 가장 작은 빨간색 빛( $n = 1.331$ )과 굴절률이 가장 큰 보라색 빛( $n = 1.344$ )의 최대 편향각  $\alpha_{\max}$ 는 각각

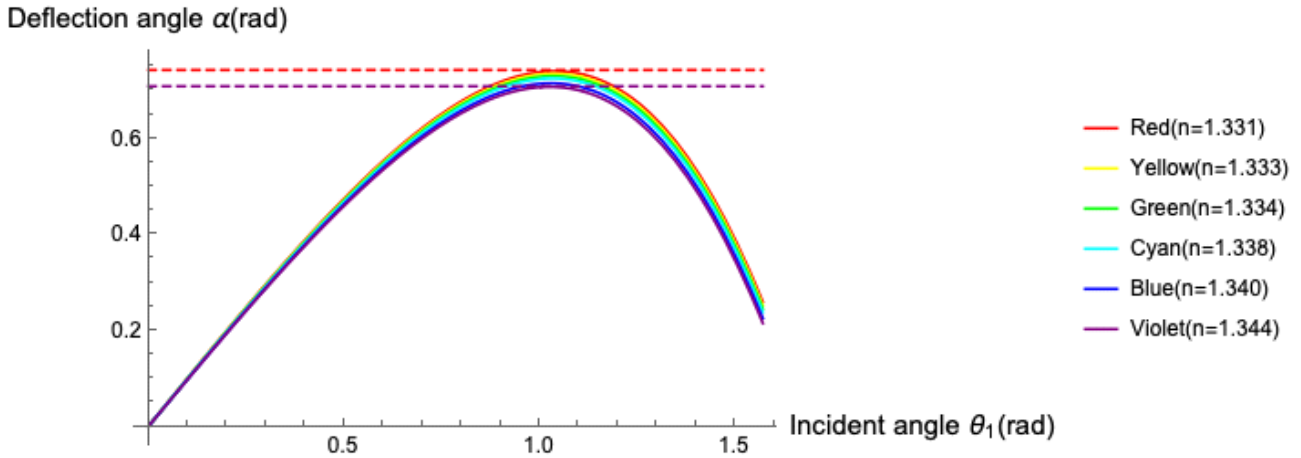


Figure 2. Deflection angle as a function of incident angle

42.37° (0.739 rad)(Fig. 2의 빨간색 점선)와 40.51° (0.708 rad)(Fig. 2의 보라색 점선)이다. 또한 나머지 가시광선의 최대 편향각은 빨간색과 보라색 사이에 위치하게 된다.

Figure 3(a)는 하나의 구형 물방울에 백색광이 입사할 때, 1차 무지개를 만드는 최대 편향각  $\alpha_{max}$ 로 굴절되어 나오는 빨간색과 보라색 빛의 경로를 나타낸 것이다. Figure 3(a)를 물방울 전체에 대해 입체적으로 확장시킬 경우 원뿔 형태의 굴절된 빛을 Figure 3(b)와 같이 나타낼 수 있다. Figure 3(b)에서 원뿔의 모서리 빛은 최대 편향각에 해당하며, 나머지 가시광선은 빨간색과 보라색이 만드는 두 편향각 사이  $\alpha = 40.51^\circ \sim 42.37^\circ$ 에서 각각의 색에 해당하는 최대 편향각으로 굴절된 빛이 원뿔 형태로 나타나게 된다. 즉, Figure 3(b)에서 빨간색과 보라색 원뿔의 단

면이 만드는 원형 테두리 안에서 가시광선이 굴절되어 나올 경우에 관측자가 1차 무지개를 관측할 수 있다(Casini & Covello, 2012).

반면에 빨간색과 보라색 원뿔의 단면이 만드는 원형 테두리 밖에서는 무지개 색을 관측할 수 없다. 예를 들면, 보라색 빛의  $\alpha_{max}$ 보다 작은 각도로 굴절한 백색광의 경우, Figure 2에서 보는 것처럼 분산된 여러 파장의 빛이 거의 같은 세기로 섞이면서 다시 백색광이 되어 무지개 색의 빛을 만들 수가 없다.

## 2. 무지개의 모양

무지개는 물방울 하나에 의해 생긴 빛의 분산이 아니라 수많은 물방울에 의해 생긴 빛의 분산이 합해진 결과이다. 태양광이 지면에 대해 평행하게 물방울에 입사하는 일출 또는 일몰을 예로 들 경우, 각 물방울

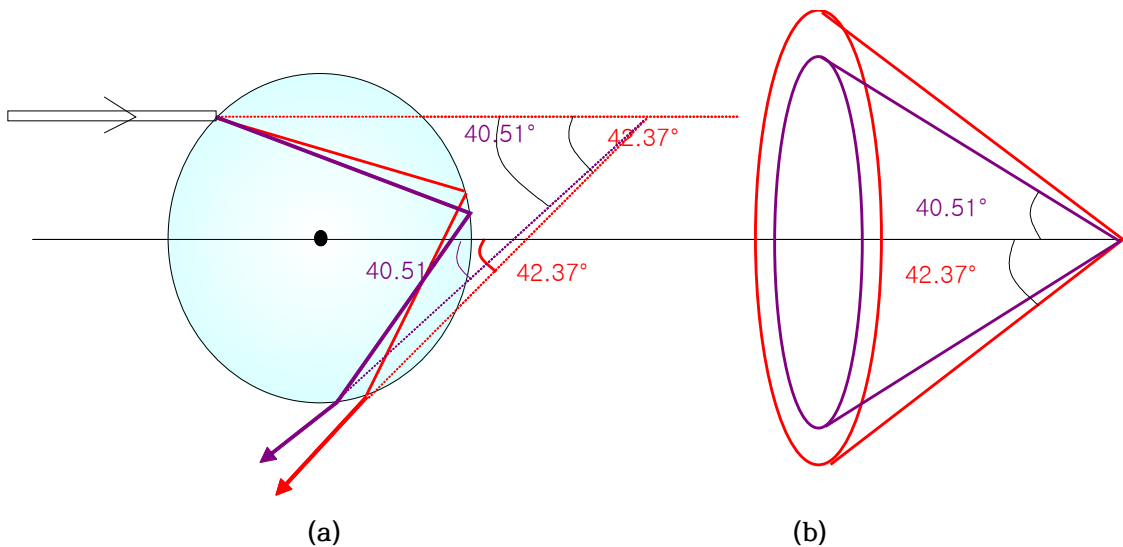


Figure 3. Refraction for a single ray of light (a) and refraction for all light incident on a droplet (b)

은 Figure 4와 같이 빨간색과 보라색 원뿔의 단면이 만드는 원형 테두리 안의 무지개 빛을 발산하게 된다. 또한 각각의 색깔이 만드는 원뿔의 중심각을  $\theta_0 = 2\alpha_{\max}$ 라 할 때, 지면에 도달하는 빛과 지면이 이루는 각은  $\alpha_{\max}$ 가 된다.

따라서 관측자 P(점입자로 가정)가 위치한 곳에 도달하는 빛은 고도가 대략 42° 위치인 물방울 A에서 굴절되어온 빨간 빛과 고도가 대략 40° 위치의 물방울 B에서 굴절되어온 보라색 빛이다. 물방울 A에서 나온 나머지 색들에 해당하는 빛은 관측자 P의 뒤쪽 지면에 떨어지고, 물방울 B에서 나온 나머지 색들에 해당하는 빛은 관측자 P의 앞쪽 지면으로 떨어진다. 이처럼 고도가 각기 다른 위치에 있는 물방울들에서 분산된 빛을 보는 과정을 통해 우리는 빨간색이 맨 위쪽에, 보라색이 맨 아래쪽에 위치하는 순서를 갖는 무지개를 관찰하게 된다. 반면에 한 개의 물방울에서 나오는 무지개 색은 보라색이 맨 위쪽에, 빨간색이 맨

아래쪽에 위치해야 하므로 우리가 일상생활에 관측하는 무지개는 한 개의 물방울에 의한 것이 아님을 알 수 있다.

Figure 4를 입체적으로 확대하면, Figure 5와 같이 고도 42°와 40°에 위치한 물방울들 뿐만 아니라 관측자 P를 꼭짓점으로 하는 원뿔의 단면 상에 있는 모든 물방울들이 관측자 P에게 각각 빨간색 빛과 보라색 빛을 보낼 수 있다. 이처럼 무지개는 각 색깔별로 관측자 P를 꼭짓점으로 하여 일정한 꼭지각을 가지는 원뿔의 단면에 해당하는 동심원을 그리게 된다. 그리고 Figure 4에서 확인할 수 있는 것처럼 지평선과 평행하게 입사한 태양광에 의한 무지개 아래쪽 반원은 지평선 아래에 위치하므로, 지평선 위쪽의 반원만 관찰하게 된다. 하지만 관찰자가 높은 곳에서 물방울을 내려다보는 위치에 있다면 완전한 원형으로 나타날 수도 있다(Son, 2020).

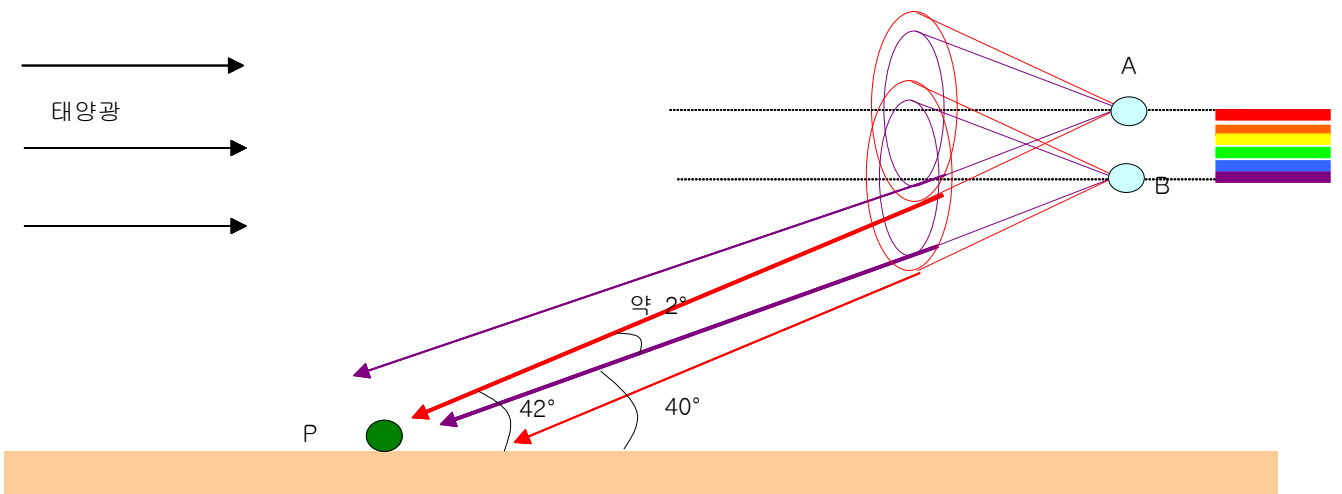


Figure 4. Rainbow incident on observer P

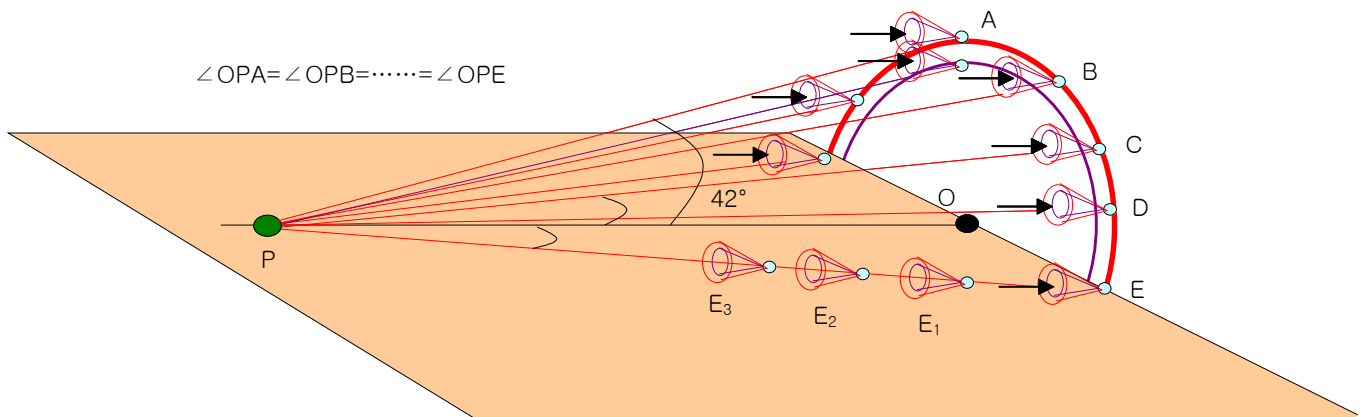


Figure 5. Rainbow caused by sunlight parallel to the ground

### Ⅲ. 실험 장치의 구성 및 결과 분석

#### 1. 실험 장치의 구성

##### 1) 유리구슬을 이용한 무지개 발생장치

무지개는 물방울에 입사한 빛의 굴절, 분산, 반사, 굴절에 의해 형성되며, 무지개의 생성 원리에 대해 이해하기 위해서는 물방울에서의 빛의 경로에 대해 이해해야 한다. 그러나 유체인 물방울을 사용하여 빛의 경로를 알아보는 것은 실험적으로 어렵다. 이에 본 연구에서는 물방울 대신 구형의 유리구슬을 이용하여 빛의 경로를 살펴보았다. 유리의 굴절률  $n = 1.458 \sim 1.475$ 로 물의 굴절률  $n = 1.331 \sim 1.344$ 보다 크다. Figure 6은 물방울과 유리구슬에서의 태양광의 입사각에 따른 최대 편향각을 Eq. (1)을 이용하여 나타낸 것이다. 유리구슬에서는 최대 편향각과

최대 편향각을 이루는 입사각이 물방울보다 크다는 것을 확인할 수 있다.

Table 1은 Eq. (1) ~ (3)과 물방울과 유리구슬의 굴절률을 이용해 구한 물방울과 유리구슬에서의 1차 무지개를 주는 최대 편향각을 나타낸 것이다.

Table 1에서 확인할 수 있는 것처럼 유리구슬로 백색광이 입사할 경우, 빨간색 빛과 보라색 빛의 최대 편향각은 각각  $\alpha_{\max} = 26.86^\circ$ 와  $25.18^\circ$ 로 물방울에서의 최대 편향각과 비교하여 약  $15^\circ$  정도 작다.

우리가 관측하는 무지개는 하나의 물방울이 아니라 여러 개의 물방울에서 방출되는 빛을 보는 것이며, 수많은 물방울들 중 관측자는 Figure 5에서와 같이 관측자에 대해 원뿔 형태의 테두리 부분에 위치한 물방울들에서 발산된 빛을 관측함으로써 반원 형태의 무지개 고리를 관측하게 된다. 이를 확인하기 위해 본 연구에서는 Figure 7(a)과 같은 무지개 발생 장치를 제작하였다.

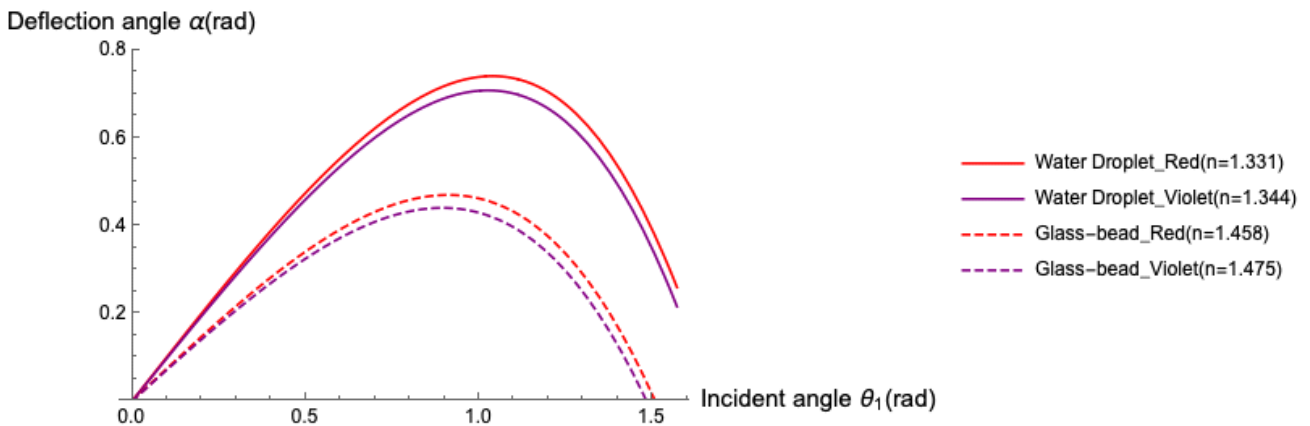
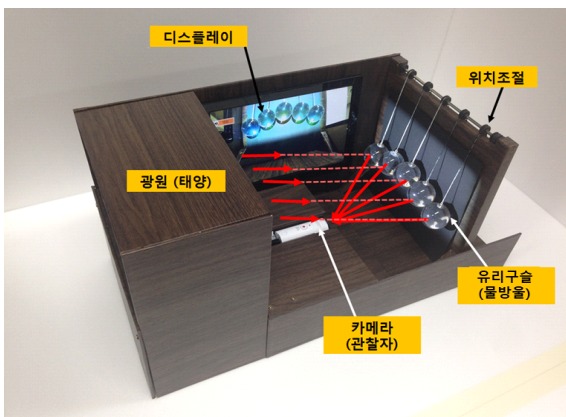
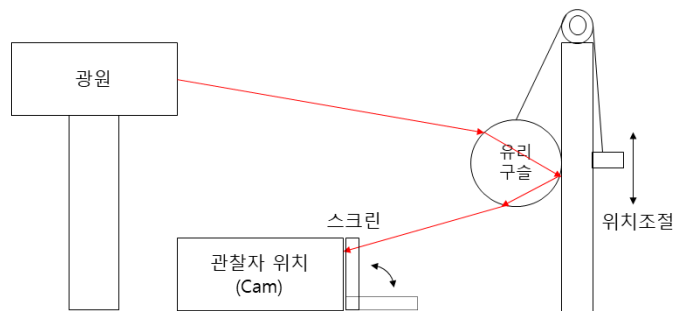


Figure 6. Maximum deflection angle as a function of Incident angle of an water droplet and a glass-bead



(a)



(b)

Figure 7. Rainbow experimental apparatus using a glass-beads (a) and side schematic view of the apparatus (b)

Table 1. Comparison for the maximum deflection angles by an water droplet and a glass-bead

구분	물방울		유리구슬	
굴절률	$n = 1.331$ (적색광)	$n = 1.344$ (자색광)	$n = 1.458$ (적색광)	$n = 1.475$ (자색광)
$\alpha_{max}$	$42.37^\circ$	$40.51^\circ$	$26.86^\circ$	$25.18^\circ$

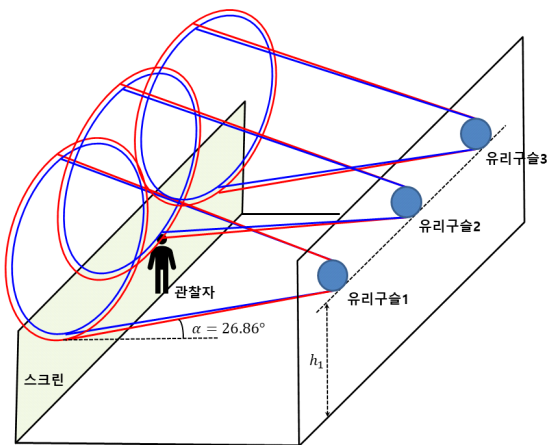
Figure 7(a)에서 확인할 수 있는 것처럼 광원으로 는 빔 프로젝터를 이용하여 백색광을 유리구슬을 향해 입사할 수 있도록 만들었으며, 5개의 유리구슬에 입사광이 굴절, 분산, 반사, 굴절 과정을 통해 나온 빛이 스크린에 비치도록 배치하였다. 그리고 스크린 뒤쪽에 비디오 캠을 설치하여 실제 관찰자의 위치에서 무지개가 관찰되는 모습을 확인할 수 있도록 장치 하였다. 그리고 물방울의 높이에 따른 색 변화를 관찰 하기 위해 Figure 7(b)에서와 같이 유리구슬의 높이를 조절할 수 있도록 유리구슬과 무게추를 연결하였다.

실험 방법은 다음과 같다.

- 1) 빔 프로젝터에서 백색광을 유리구슬을 향해 쏜다.
- 2) 각 유리구슬에 의해 굴절, 분산, 반사, 굴절 과정을 통해 맺힌 상을 스크린을 통해 관찰 한다.
- 3) 각 유리구슬에서 발산된 빛이 관찰자 위치 (비디오 캠)에서 겹쳐지도록 유리구슬의 높이를 조절한다.
- 4) Figure 7(b)와 같이 스크린을 내리고 비디오 캠을 통해 유리구슬에서 밝게 빛나는 부분을 관찰한다.

Figure 8(a)는 유리구슬의 높이를 조정하여 유리구슬이 지면에 대하여 빨간색 빛의 최대 편향각  $\alpha_{max} = 26.86^\circ$  위치에 오도록 유리구슬을 일렬로 배치하고 백색광을 비추는 모습을 모식적으로 나타낸 것이다. Figure 8(b)은 본 실험에 사용한 5개 유리구슬에 의한 실제 상이 스크린에 맺힌 모습을 나타낸 것이다. Figure 8(b)에서 확인할 수 있는 것처럼 하나의 유리구슬에서 나온 빛은 원뿔의 단면이 만드는 원형 테두리 형태의 무지개와 보라색 안쪽의 원형 백색광이 만들어진다. 그러나 스크린의 중앙에 위치한 관찰자의 위치에 대해서는 하나의 유리구슬에 의해만 들어지는 빛만 관측되며, 나머지 유리구슬에 의한 빛은 관측할 수가 없게 된다.

Figure 9(a)는 유리구슬에서 나온 원뿔의 단면이 만드는 원형 테두리의 빛이 관찰자의 위치에 오도록 주변 유리구슬의 높이를 조절한 것을 모식적으로 나타낸 것이고, Figure 9(b)는 실제 실험에 사용한 5개의 유리구슬이 만드는 빛이 관찰자가 위치한 스크린 상의 한 점에 맺힌 것을 나타낸 것이다. 즉, Figure 9(b)는 관측자를 원뿔의 꼭짓점으로 하는 원뿔의 단면에 놓인 모든 물방울들이 관측자에게 같은 무지개 색을 내보내는 Figure 5의 상황을 실험적으로 증명한 것이다.

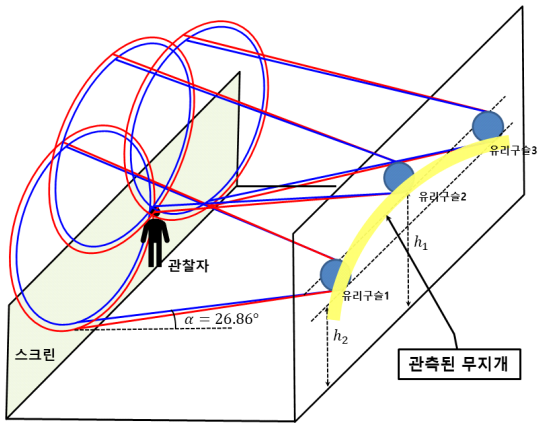


(a)



(b)

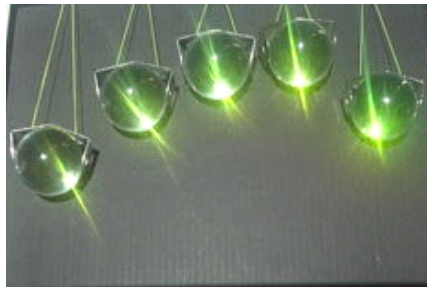
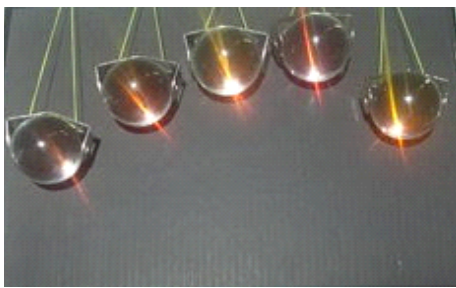
Figure 8. Glass beads arranged in a row (a) and the image formed on the screen (b)



(a)

(b)

Figure 9. Height-adjusted glass-beads (a) and the image on the screen (b)



(a)

(b)

(c)

Figure 10. Glass-beads seen by an observer

(a)  $\alpha = 26.8^\circ$ , (b)  $\alpha = 25.9^\circ$ , (c)  $\alpha = 25.4^\circ$

Figure 10(a)는 초기에 지면(관찰자)과 중앙에 위치한 유리구슬이 이루는 각을 빨간색 빛의 최대 편차각인  $26.86^\circ$ 가 되도록 위치시킨 후, 관찰자가 모든 구슬에서 빨간색 빛을 관찰할 수 있도록 나머지 구슬들의 높이를 조절하여 얻은 결과를 나타낸 것이다. 즉, 관찰자를 꼭지점으로 하고 반꼭지각이  $26.86^\circ$ 인 원뿔의 단면 상에 위치한 5개의 유리구슬은 관찰자의 위치로 빨간색 빛을 내고 있음을 관찰할 수 있었으며, 이 부분이 바로 관찰자가 보게 되는 무지개의 빨간색 띠에 해당한다. 마찬가지로 방법으로 유리구슬의 높이를 조정하여 지면과 유리구슬이 이루는 각을 각각  $25.9^\circ$ 와  $25.4^\circ$ 로 조정하면 Figure 10(b)와 (c)에서와 같이 관찰자가 관측할 수 있는 유리구슬의 색은 각각 초록색과 파란색 빛이 나온다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 빔 프로젝터에서 방출되는 빛은 태양광과는 달리 빛의 3원색인 빨간색, 초록색, 파란색만 방출하기 때문에 이들 이외의 다른 색의 빛을 관측할 수는 없다.

Figure 11은 Figure 10(a)~(c)를 겹친 모습을 나타낸 것이다. 빨간색, 초록색, 파란색의 빛의 내는 유리구슬의 위치가 서로 다르다는 사실을 통해

$\alpha = 25.4^\circ \sim 26.8^\circ$  사이의 유리구슬들이 각기 다른 색의 빛을 발산한다는 것을 관찰할 수 있다. 즉, 가장 높은 곳에서 빨간색 빛이 관측되고 높이가 낮아짐에 따라 낮은 진동수의 빛을 관찰하게 되며, 가장 낮은 곳에서는 보라색의 빛이 관측되어 높이에 따라 서로 다른 색의 빛들이 모여 무지개를 형성한다는 것을 직접 확인할 수 있게 된다.

본 실험에서 제작한 무지개 발생 실험 장치를 이용하면 학생들은 유리구슬의 높이를 조절하며 특정 색깔의 물방울의 위치를 찾는 과정을 통해 최대 편향각에 해당하는 하나하나의 물방울이 특정 색깔의 물방울로 보이며, 원뿔의 단면이 만드는 테두리 위치에 해당하는 수많은 물방울들이 모여 무지개 띠를 만들어 낸다는 것을 이해할 수 있다. 그리고 하나의 물방울에서는 보라색이 가장 위로, 빨간색이 가장 아래로 분산되나, 무지개의 무늬는 반대로 가시광선 중에서 굴절률이 가장 작은 빨간색 빛이 가장 적게 굴절됨에도 불구하고 빨간색 빛이 가장 위에, 그리고 굴절률이 큰 빛일수록 무지개의 아래에 띠를 형성한다는 것을 이해할 수 있다.



## IV. 결론 및 제언

본 연구에서 제작한 무지개 발생 실험 장치는 빛의 반사와 굴절, 분산에 의해 생기는 1차 무지개의 생성 과정을 유리구슬을 이용하여 직접 관찰하는 과정을 통해, 여러 물방울에서 나오는 빛의 경로 및 무지개의 각 띠를 형성하는 물방울의 위치를 이해할 수 있도록 제작하였다. 비록 물방울이 아닌 유리구슬을 사용하였으나, 빛이 입사하여 굴절, 분산, 반사, 굴절 과정을 통해 무지개를 생성되는 과정에 대해 이해할 수 있고, 빛의 진동수에 따라 서로 다른 최대 편향각을 가지며, 이로 인해 각각의 물방울이 특정한 색깔로 보이며 무지개를 형성한다는 것을 이해할 수 있다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 하나의 물방울에서 1차 무지개 현상을 관찰할 경우, 한 물방울에서 굴절되어 나온 빛은 약  $42^\circ$  정도의 최대 편향각을 갖는 빨간색과 약  $40^\circ$  정도의 최대 편향각을 갖는 보라색 빛에 의해 만들어지는 원뿔 모양의 단면이 만드는 테두리에서 무지개 빛을 발산할 수 있다. 반면에 보라색 테두리의 안쪽에서는 다양한 진동수의 빛이 합쳐지며 백색광으로 나타난다. 또한 일상생활에서 관측할 수 있는 무지개색의 순서와는 달리 하나의 물방울에서 나온 무지개색은 맨 위쪽이 보라색이고 맨 아래쪽이 빨간색이므로, 실생활에서 관측하는 무지개는 하나의 물방울로부터 나올 수 없음을 알 수 있다.

2) 여러 물방울에 의한 무지개를 관측할 경우, 관찰자에 대해 같은 고도로 일렬로 배열된 물방울들이 아닌 관찰자를 꼭짓점으로 하여 꼭지각이 일정한 원뿔의 원형 단면상에 물방울들이 배열될 때 관찰자는 같은 파장의 색을 관찰할 수 있으며, 서로 다른 무지개색은 꼭지각의 크기가 다르다. 이러한 물방울의 구조 및 배열로부터 여러 물방울이 만드는 무지개를 이해할 수 있다.

본 연구에서는 백색광의 구현을 위해 빔 프로젝터를 사용하였다. 빔 프로젝터의 경우 최근 크기가 작고 조작성이 간단하여 효과적인 실험을 수행할 수 있으나, 빨강(R), 초록(G), 파랑(B)의 광원으로 구성되어 있어 태양광과 같은 무지개 색을 완벽하게 구현할 수 없었다. 또한 광원으로부터 유리구슬까지의 거리가 짧아 태양광과 달리 평행광이 될 수 없으며, 실제 공기 중에 떠있는 수많은 물방울에서의 굴절, 분산, 반사에 의해 형성되는 무지개와는 달리 지름 6 cm의 유리구슬 5개를 이용하여 실제 무지개와 같이 연속적인 색깔 띠를 구현하지 못한다는 한계를 가지고 있다. 하지

만 본 연구에서는 제작한 실험 장치를 통해 학생들이 작도에만 의존하여 인지하고 있던 빛의 경로를 직접 관찰하게 하여 무지개의 생성 원리를 정확히 학습하는데 도움을 주고자 하였다. 그러므로 본 실험 장치를 수업에 활용하여, 수많은 물방울에 의해 형성되는 실제 무지개와는 달리 무지개의 색깔 띠 중 특정 색깔만을 구현할 수 있으나, 무지개의 형성 원리인 물방울에서의 빛의 굴절, 분산, 반사 과정을 학생들에게 인식시킴으로써 학생들이 무지개의 생성 원리를 이해하는데 얼마만큼의 효과가 있는지와 실험 장치를 통해 학생들이 가질 수 있는 또 다른 오개념에 대한 후속 연구가 동시에 진행되어야 할 것이다.

본 연구에서 제작한 장치는 학생들로 하여금 유리구슬을 이용하여 직접 조작하고, 스크린에 맺히는 상과 비디오 캠으로 들어오는 빛을 관찰하는 과정을 통해, 자연현상 속에서 막연한 신비감을 가지고 바라보는 무지개에 대해 좀 더 쉽고 정확하게 바라볼 수 있도록 무지개의 형성 원리에 대한 이해를 높일 수 있다. 과학 수업 시간만을 위한 실험기기가 아니라 평소 생활 속에서 무지개를 만날 때 언제나 활용 가능한 장치로 발전시켜 간단한 과학 키트나 과학관의 전시물로 제작하여 활용한다면 과학적 개념이 부족하여 무지개에 대한 추상적 개념만 가지고 있는 학생들의 무지개의 형성 원리에 대한 과학적 이해도를 높일 수 있으리라 기대된다.

## 국 문 요 약

본 연구에서는 무지개의 생성 원리를 분석할 수 있는 무지개 발생 장치를 개발하였다. 무지개는 물방울에 대한 빛의 분산 및 반사와 굴절에 의해 형성되지만, 물방울 한 개로만 무지개를 만들 수 없다. 따라서 본 연구에서는 여러 물방울들이 만드는 빛의 경로를 통해 무지개를 관측할 수 있는 장치를 만들어 무지개 생성 원리에 대해 학생들이 보다 쉽게 이해하도록 하였다. 물방울이 만드는 무지개는 유리구슬을 이용하여 재현하였고, 관찰자의 위치와 광원의 고도 등과 같은 무지개 생성과 관련된 다양한 변인을 변화시키며 무지개를 구현하였다.

**주제어:** 무지개, 유리구슬, 실험 장치, 분산, 반사, 굴절

## References

- Benson, H. (2018). *University physics* (pp. 834-835). New York, NY: Wiley.
- Casini, G., & Covello, A. (2012). The “rainbow” in the drop. *American Journal of Physics*, 80, 1027-1034.
- Huh, J. (2009). *Experimental lesson development for improving pre-service teachers’ scientific understanding of rainbow, halo, corona* (Unpublished doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul, Korea.
- Hast, M. (2020). Children’s understanding of the rainbow: A trajectory of conceptual development across middle childhood. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(6), 1859.
- Jho, H. (2018). An analysis of elements of scientific inquiry presented in 2015 revised national science curriculum: Focusing on scientific inquiry experiment. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 22(3), 208-218.
- Kim, H., & Lee, B. (2011). Analysis of characteristics of gifted students in the science gifted activity using rainbow. *Journal of Gifted/Talented Education*, 21(1), 39-56.
- Kim, K. (2011). Development and application of inquiry modules for instruction for the concept of straight propagation of light. *Journal of Science Education*, 35(2), 173-192.
- Lee, I. (2006). *Analysis of the misconceptions on interference and diffraction of light with pre-service physics teachers* (Unpublished doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul, Korea.
- Lee, J. (2014). Development and application of peer instruction material for in-service teachers’ training through ray drawing: Focus on refraction of light. *Journal of Science Education*, 38(1), 182-195.
- Lee, J. (2021). Analysis of elementary pre-service teacher’s difficulties in conceptual understanding and instructional planning of light refraction. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 41(1), 11-18.
- Ministry of Education [MOE]. (2015a). *과학과 교육과정 교육부 고시 제2015-74호(별책 9)* [The science curriculum, proclamation of the Ministry of Education No. 2015-74 (Annex 9)]. Sejong, Korea: Author. Retrieved from <https://ncic.go.kr>
- Ministry of Education [MOE]. (2015b). *배움을 즐기는 행복교육* [Happiness education to enjoy learning]. Sejong, Korea: Author. Retrieved from <https://ncic.go.kr>
- Paik, S., & Jung, Y. (2009). A case study of elementary school teachers’ understanding of “light and image” and change of perception related to learning contents. *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.
- Son, M. (2020). *Development of experimental apparatus for analyzing the principle of the rainbow formation*. Graduate School, Kyungpook National University, Daegu, Korea
- Song, W. (2010). The analysis of middle students’ conception on the arrows representation reflection and refraction in the light unit of science textbooks. *Journal of Science Education*, 34(1), 72-83.
- Walker, J. D. (1976). Multiple rainbows from single drops of water and other liquids. *American Journal of Physics*, 44(5), 421-433.

## 저 자 정 보

- 손 문 규 (경북과학고등학교 교사)
- 권 문 호 (경북대학교사범대학 부설고등학교 교사)
- 최 호 명 (경북대학교 교수)