

## Science Teachers' Perception of the Refractive Index of Media

Sang-Tae Park, Jun-Hyeok Yeom, Yeo-Won Yoon, and Hyojun Seok<sup>†</sup>

Department of Physics Education, Kongju National University, 56 Gongjudaehak-ro, Gongju 32588, Korea

(Received August 16, 2017; Revised September 9, 2017; Accepted September 15, 2017)

This research aims at investigating science teachers' perception of the refractive index of materials, and thus achieving proper information transmission and teaching of refractive index. Specifically, we have made questionnaires on what physical factors influence the refractive index of a liquid easily available in secondary schools. It was found that 80.0% of science teachers perceived that the density has the greatest influence on the refractive index, among a variety of factors such as molecular structure, the number of molecules per unit volume, mass of each molecule, and the wavelength of light, to mention just a few. This may be due to the fact that current textbooks deal with the refraction of light based on analogy to a mechanical wave. Such a misunderstanding may lead to confusion and misunderstanding for students.

Keywords: Refractive index, Misconceptions, Science teachers' perception  
OCIS codes: (000.2060) Education; (120.5710) Refraction

### 굴절률에 대한 과학교사들의 인식

박상태 · 염준혁 · 윤여원 · 석효준<sup>†</sup>

공주대학교 물리교육과  
Ⓣ 32588 충청남도 공주시 공주대학로 56

(2017년 8월 16일 받음, 2017년 9월 9일 수정본 받음, 2017년 9월 15일 게재 확정)

본 연구는 과학교사를 대상으로 물질의 굴절률에 대한 인식을 조사하여, 굴절률에 대한 올바른 정보 전달과 수업 지도의 시사점을 주는데 그 목적이 있다. 구체적으로 설문지를 제작하여, 현장에서 구하기 용이한 액체들의 굴절률에 영향을 주는 요인들에 대한 교사들의 인식을 조사하였다. 연구 결과 분자의 구조, 단위 부피당 분자 수 및 분자의 질량, 빛의 파장 등 다양한 요인들 중, 과학 교사들의 80.0%는 밀도가 굴절률에 가장 크게 영향을 미칠 것이라고 인식하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 교과서에서 빛과 역학적 파동의 유사성에 기초하여 굴절을 설명하는 것에 의해 발생한 오개념으로, 과학교사들의 이러한 인식은 학생들에게 오개념을 심어줄 가능성이 크다.

Keywords: 굴절률, 오개념, 과학교사인식  
OCIS codes: (000.2060) Education; (120.5710) Refraction

### I. 서 론

구성주의는 개인의 인지적 작용과 사회 구성원 간의 상호작용을 통해 지식을 새롭게 구성한다는 인식론이다<sup>[1,2]</sup>. 구성주의 관점에서 교사는 학생들이 학습 자료를 유의미하게 다룰 수 있도록 도와주는 중요한 역할을 수행한다<sup>[3]</sup>. 학생들은 감각, 경험, 언어 등을 통하여 선개념을 가지고 있다<sup>[2,4]</sup>. 이러한 학생들의 선개념은 현재의 과학개념에 상응 할 수도 있고 서로 상충 할 수도 있다<sup>[4]</sup>. 과학학습은 학생들과 교사 사이에 일어나는 상호작용을 통해 선개념을 현재의 과학개념

으로 변화시키고자 한다<sup>[1,4]</sup>. 하지만 과학학습은 오히려 학생들의 선개념을 강화하거나 새로운 오개념을 유발하기도 한다<sup>[5,6]</sup>. 학생들의 오개념 유발 형성의 외적 요인에는 교재의 오류, 교사의 오개념, 일상생활단어와 과학단어의 모호성 등이 있다<sup>[5-7]</sup>. 그 중에서도 교사의 과학개념은 학생의 개념 형성에 큰 영향을 미치며, 과학교사의 오개념에 바탕한 지도는 학생들의 올바른 과학 개념 형성에 직접적인 장애 요인이 된다<sup>[5,6]</sup>. 이러한 이유로 과학교사들의 오개념에 대한 연구가 다양한 과학분야, 예를 들어 기본물리상수<sup>[8]</sup>, 역학<sup>[9,10]</sup>, 전자기학<sup>[11-13]</sup>, 열<sup>[14,15]</sup>, 방사선<sup>[16]</sup>, 화학전지<sup>[17,18]</sup>, 대기와 해양<sup>[19,20]</sup>

<sup>†</sup>E-mail: [hseok@kongju.ac.kr](mailto:hseok@kongju.ac.kr), ORCID: 0000-0001-5541-2166

Color versions of one or more of the figures in this paper are available online.

등의 주제로 활발히 이루어지고 있다.

2009개정 교육과정에서 빛의 굴절은 초등교육과 중등교육 과정에서 폭넓게 다루어지고 있다<sup>21)</sup>. 초등학교 6학년 과학에서는 렌즈에 의해 발생한 현상을 관찰하여 빛의 굴절을 정의하고, 일상생활에서 렌즈가 사용되는 기구들과 그 기능을 소개하고 있다. 중학교 2학년 과학에서는 빛의 굴절 현상이 생기는 원인을 정성적으로 설명하고, 입사각과 굴절각을 탐구 활동을 통해 측정한다. 또한, 단일 렌즈에 의한 상의 위치와 모양을 작도법을 사용하여 설명하고 있다. 고등학교 물리 I에서는 굴절률과 스넬의 법칙을 도입하고, 이를 바탕으로 빛의 전반사를 설명하고 있다. 고등학교 물리 II에서는 스넬의 법칙을 정량적으로 유도한다. 또한, 렌즈에 의한 상의 종류와 배율을 정량적으로 설명하고, 다양한 광학기기의 구조와 원리를 다루고 있다.

선행 연구에 따르면 과학교사들은 빛과 파동 영역에서 파동의 속도와 파장을 결정하는 요인, 색에 대한 이해, 도플러 효과에서 오개념을 많이 가지고 있는 것으로 나타났다<sup>22,23)</sup>. 광학 영역에 대한 학생들의 인지와 개념이해, 오개념은 다수 연구 되었지만<sup>24-28)</sup>, 굴절현상의 원인과 굴절률에 대한 교사의 인식조사 연구는 미흡하다. 이에 광학 현상을 설명하는데 있어 기본량이 되는 굴절률에 대한 교사들의 인식을 알아보는 것은 교사의 개념이 학생의 개념형성에 큰 영향을 미치는 점을 고려했을 때 중요한 의미가 있다.

본 연구는 과학교사를 대상으로 물질의 굴절률에 대한 인식을 조사하여, 굴절률에 대한 올바른 정보 전달과 수업 지도의 시사점을 주는데 그 목적이 있다.

## II. 연구 내용 및 방법

본 연구는 교사의 개념이 학생의 과학개념 형성에 직접적인 영향을 미친다는 점을 고려하여, 굴절률에 대한 교사들의 인식 조사를 통해 효과적인 학습 지도가 이루어질 수 있도록 자료를 제공하는 데 그 목적이 있다.

본 연구에 앞서 굴절률에 영향을 미치는 요인에 대한 교사들의 생각을 조사하였다. 사전조사는 대전·충남 지역에 근무하는 과학교사 50명을 대상으로 설문지를 통해 액체의 굴절률에 영향을 주는 요인을 조사하였다. 매질을 액체로 선택한 이유는 학교현장에서 비교적 구하기 쉽고, 교과서에서도 굴절 현상과 관련된 탐구활동에 주로 액체를 이용하기 때문이다. 사전조사 결과 교사들은 물리적 밀도(밀도), 퍼센트 농도, 분자 구조, 몰 질량이 액체의 굴절률에 가장 크게 영향을 주는 요인이라고 응답하였다. 따라서 본 연구에서는 이를 근거로 최종 설문지를 제작하여, 충남 K대학 1급 정교사 자격 연수에 참여한 과학교사들의 액체의 굴절률에 대한 인식을 조사하였다.

설문지는 크게 2가지 대주제로 구성하였다. 첫 번째 주제(설문 1)는 10%에서 50%까지 농도가 다른 동일 매질의 경우에 굴절률이 어떻게 변화하는지 예상하도록 하였다. 두 번째 주제(설문 2)는 서로 다른 매질에 대한 밀도, 분자 구조, 몰

질량의 정보를 제공하고 각각의 매질에 대한 굴절률을 예상하도록 하였다. 또한 본인들이 응답한 결과에 대하여 그 이유를 기술하게 함으로써 설문결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

본 설문에 참여한 교사는 물리전공 33명, 화학전공 28명으로 총 61명 이었으며, 대부분 현장 근무 경력이 5년 이하인 과학교사들이었다. 응답자 수가 적어 본 연구의 결과를 일반적으로 해석하기에는 제한이 따를 수 있지만 전국 단위에서 모인 과학교사들이라는 점에서 본 연구의 분석결과는 굴절률 학습지도에 의미 있는 자료를 제공할 수 있을 것으로 생각한다.

## III. 연구 결과 및 분석

### 3.1. 농도에 따른 굴절률

설문 1에서는 염화나트륨 수용액의 농도가 10~50%까지 10%씩 증가하는 경우에 굴절률이 큰 순서대로 나열한다면 어떻게 될지 예상하도록 하였다. 농도에 따른 굴절률에 대한 응답 결과는 표 1과 같다.

유형 1로 응답한 교사는 95.16% (59명)였으며, 유형 2와 3으로 응답한 교사는 각각 1.61% (1명)였다. 유형 1로 응답한 이유는 표 2에 제시되어 있다. 유형 1에 해당하는 59명 중 57.63% (34명)의 교사가 염화나트륨 수용액의 농도가 증가할수록 굴절률이 커질 것으로 응답하였다. 40.68% (24명)의 교사가 염화나트륨 수용액의 농도가 증가할수록 밀도가 커지므로 굴절률이 커질 것으로 응답하였다. 여기서 흥미로운 것은 설문지 어디에도 밀도에 대한 언급이 없음에도 불구하고 40.68%의 교사는 농도와 밀도를 상관관계에 있는 것으로 추측하였다는 것이다. 본 설문의 염화나트륨 수용액의 경우 농도가 증가할수록 굴절률이 커지므로<sup>29,30)</sup>, 대부분의 교사들이 적절히 응답하였다. 혼합물의 밀도는 두 물질의 혼합비율에 의해 결정되는데, 염화나트륨 수용액의 경우 염화나트륨

Table 1. Responses of the questionnaire 1

	Response type	Number of respondents	Response rate
Type 1	50% → 40% → 30% → 20% → 10%	59	95.16%
Type 2	40% → 30% → 20% → 10% → 50%	1	1.61%
Type 3	10% → 20% → 30% → 40% → 50%	1	1.61%

Table 2. Reasons for the response type 1

Reasons for the response type 1	Number of respondents	Response rate
As the concentration increases, the refractive index increases	34	57.63%
As the concentration increases, the density increases and thus the refractive index increases	24	40.68%
Other comments	1	1.69%

의 밀도가 물의 밀도보다 크므로 농도가 증가할수록 염화나트륨 수용액의 밀도는 커진다. 하지만 물과 물보다 밀도가 낮은 물질로 수용액을 만든다면, 농도가 증가할수록 수용액의 밀도가 낮아지게 된다. 이처럼 농도가 증가할수록 밀도가 항상 커지는 것이 아니므로, 농도와 밀도는 항상 상관관계에 있는 것은 아니다. 또한, 1.69% (1명)의 교사는 농도가 증가하면 밀한 매질이 되므로 굴절률이 더 크다고 응답하였다. 즉, 대다수의 응답자가 농도가 증가하거나 밀도가 증가하면 굴절률이 커진다고 응답하였다.

### 3.2. 서로 다른 매질에서의 굴절률

설문 2에서는 표 3에서 보는 바와 같이 서로 다른 매질에 대한 정보를 제공하고 굴절률이 큰 경우부터 순서대로 나열한다면 어떻게 될지 예상하도록 하였다. 표 3에 나온 물질의 굴절률은 빛의 파장이 589 nm일 때, 이소프로필알콜은 1.3776, 아세트산에틸은 1.3720, 에탄올은 1.3611, 아세톤은 1.3588, 물은 1.3300 이다<sup>[31]</sup>. 설문 2의 물질을 굴절률이 큰 순서대로 나열하면 이소프로필알콜, 아세트산에틸, 에탄올, 아세톤, 물이다. 설문 2에 참여한 응답자 중 응답을 하지 않은 6명을 제외한 55명의 응답 결과는 표 4와 같다.

80% (44명)의 교사가 물, 아세트산에틸, 에탄올, 이소프로필알콜, 아세톤의 순서대로 굴절률이 낮아진다고 응답하였고, 18.18% (10명)의 교사가 아세트산에틸, 이소프로필알콜, 아세톤, 에탄올, 물의 순서대로 굴절률이 낮아진다고 응답하였으며, 1.82% (1명)의 교사가 아세톤, 이소프로필알콜, 에탄올, 아세트산에틸, 물의 순서대로 굴절률이 낮아진다고 응답하였다.

설문 2에 대한 이유는 표 5에 제시되어 있다. 유형 A로 응답한 전체 교사들은 밀도가 커질수록 굴절률이 커진다고 응답하였다. 유형 B로 응답한 교사의 절반은 물 질량이 커질수록 굴절률이 커진다고 응답하였고, 나머지 절반은 분자 구조

**Table 3.** Chemical formula, density, and molar mass of isopropyl alcohol, acetone, ethyl alcohol, ethyl acetate, and water

Number	Name	Chemical formula	Density (g/ml)	Molar mass (g)
①	Isopropyl alcohol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	0.7865	60.10
②	Acetone	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	0.7845	58.08
③	Ethyl alcohol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	0.7893	46.07
④	Ethyl acetate	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	0.9025	88.10
⑤	Water	H <sub>2</sub> O	1.0000	18.01

**Table 4.** Responses of the questionnaire 2

	Response type	Number of respondents	Response rate
Type A	⑤ → ④ → ③ → ① → ②	44	80.00%
Type B	④ → ① → ② → ③ → ⑤	10	18.18%
Type C	② → ① → ③ → ④ → ⑤	1	1.82%

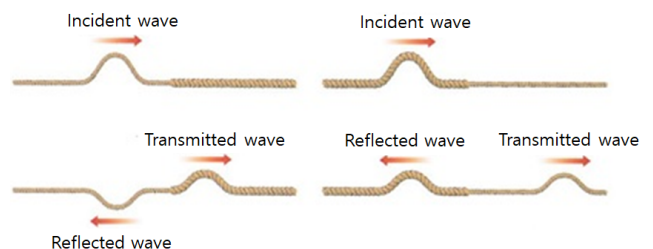
가 복잡할수록 굴절률이 커진다고 응답하였다. 유형 C로 응답한 교사는 밀도가 작아질수록 굴절률이 커진다고 응답하였다. 이와 같이, 대부분의 응답자들은 밀도가 굴절률에 크게 영향을 미치는 것으로 인식하고 있는 것으로 나타났다.

역학적 파동은 역학적 교란이 매질을 통해 전달되는 현상이며, 역학적 파동의 전파는 매질을 반드시 필요로 한다. 전자기 파동은 전하의 가속 운동으로 발생하며, 전기장과 자기장이 서로 시간에 따라 변화하면서 퍼져가는 현상이며, 전자기 파동의 전파는 매질을 필요로 하지 않는다. 역학적 파동과 전자기 파동은 반사와 굴절, 회절과 간섭 등의 공통적인 특징을 가지고 있지만, 발생 원인과 전파 방식이 다르므로 동일한 물리적 현상이라고 볼 수 없다. 기존의 교과서에서, 줄을 따라 진행하는 역학적 파동의 경우, 줄의 장력이 클수록, 줄의 선밀도가 작을수록 역학적 파동이 빠르다고 설명하고 있다. 또한, 탄성파의 고정단 반사와 자유단 반사를 다룰 때 밀도가 작은 매질을 ‘소한 매질’로, 밀도가 큰 매질을 ‘밀한 매질’이라는 용어를 도입하여 설명하고 있다. 그림 1과 같이 소한 매질은 가는 줄, 밀한 매질은 굵은 줄로 표현하고 있다. 따라서 밀도가 큰 매질에서 역학적 파동의 속도는 줄어든다는 개념을 갖게 된다.

빛의 굴절 현상에 대한 설명과 스넬의 법칙은 현행 교육과정에서 ‘빛과 파동’이라는 영역에 속해 있고, 역학적 파동의 굴절과의 유사점을 기초로 설명하고 있다. 매질의 굴절률은 매질 속에서 빛의 속력과 진공에서 빛의 속력의 비로 정의되는데, 역학적 파동의 굴절을 빛의 굴절에 적용하여 굴절률이 큰 물질과 ‘밀한 매질’을 동일하게 인식하게 되는 것이다. 이러한 생각은 1900년 초기의 전자기파의 매질인 에테르의 존재에 대한 믿음과 같은 맥락에 있고, 빛과 역학적 파동이 같은

**Table 5.** Reasons for the questionnaire 2

Reasons for the questionnaire 2	Number of respondents	Response rate
As the density increases, the refractive index increases	44	80.00%
As the molar mass increases, the refractive index increases	5	9.09%
As the chemical formula has more atoms, the refractive index increases	5	9.09%
As the density decreases, the refractive index increases	1	1.82%



**Fig. 1.** Fixed-end and free-end reflection.

물리적 현상이라는 잘못된 인식에서 시작된다고 볼 수 있다.

광학적 밀도(optical density)는 굴절률의 척도로서 정의되어 사용된다<sup>32)</sup>. 광학적 밀도가 큰 물질은 굴절률이 큰 물질을 의미하는 것이다. 하지만 역학적 파동의 속력에 영향을 미치는 밀도로부터 차용된 개념인 광학적 밀도는 물리적으로 밀도와 관련이 없다. 밀도와 달리 정량적으로 정의되어 있지 않을 뿐 아니라, 광학적 밀도는 화학 분야의 흡광도(absorbance), 물리 분야의 광학적 깊이(optical thickness)와 혼용되고 있다<sup>33)</sup>.

매질의 굴절률에 대한 물리적인 요인들은 매질 속에서 빛의 속력에 영향을 주는 요인들이다. 미시적인 관점에서 보면 입사된 빛은 매질을 구성하는 원자에 전자기력을 가해 원자핵과 전자 구름의 전하 분포의 위치를 옮겨 전기쌍극자를 유도한다. 이 과정에서 빛의 에너지는 전기쌍극자의 진동 에너지로 전환된다. 고전 전자기학에 따라 전기쌍극자의 진동 에너지는 전자기파 형태로 재방출되고, 재방출된 빛은 다음 원자를 만나기 전까지 진공에서 빛의 속력으로 진행하고, 진행 방향의 다음 원자에 의해 흡수와 재방출의 과정을 거친다. 이러한 과정은 매질 속에서 반복적으로 일어나게 되는데, 흡수와 재방출의 과정에서 시간지연이 발생하고, 이는 거시적으로 매질 속에서 빛의 속력을 느리게 한다. 따라서 매질 속에서 빛의 속력은 크게 빛으로 인해 전기쌍극자의 유도되는 정도, 전기쌍극자의 감쇠 진동, 유도된 전기쌍극자의 밀도에 영향을 받게 되고, 물리적 요인에는 유도된 전기쌍극자를 구성하는 입자들의 질량과 전하량, 구성 입자 사이의 간격, 입사되는 빛의 진동수와 전기쌍극자의 고유 진동수, 전기쌍극자의 에너지 감쇠 상수, 단위 부피당 전기쌍극자의 개수 등이 있다. 예를 들어, 로런츠 진동자 모델(Lorentz oscillator model)에 의해 약한 분극성을 띤 절연체의 굴절률은 다음과 같다<sup>34)</sup>.

$$n = 1 + \frac{Ne^2 f}{2m\epsilon_0} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2} \quad (1)$$

여기서,  $\epsilon_0$ 은 진공의 유전율,  $m$ 과  $e$ 는 전자의 질량과 전하량,  $N$ 은 단위 부피당 전기쌍극자의 개수,  $\omega_0$ ,  $\beta$ ,  $f$ 는 전기쌍극자의 고유 진동수, 에너지 감쇠 상수와 진동자 강도(oscillator strength), 마지막으로  $\omega$ 는 진행하는 빛의 진동수이다. 따라서 광학적 밀도는 매질 속의 유도 전기쌍극자에 의한 빛의 흡수와 재방출 과정에서 발생하는 시간 지연의 척도로서 이해될 수 있다. 바꿔 말하면, 물리적으로 시간 지연이 많이 일어나는 매질은 광학적 밀도가 큰 매질인 것이다. 이러한 시간 지연은 식 (1)의 우변에서 1을 제외한 항으로 설명될 수 있다.

이와 같이, 빛의 굴절률을 설명할 때, 역학적 파동에서 사용하는 밀도 개념을 차용하여 광학적 밀도라는 개념을 도입하는 것은 마치 밀도와 광학적 밀도가 같다는 인식을 유발하며, 이러한 용어의 유사성에 의해 매질의 종류와 관계없이 높은 밀도의 매질은 굴절률이 크다는 오개념을 낳게 된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 교사의 개념이 학생의 과학개념 형성에 직접적인 영향을 미친다는 점을 고려하여, 교사가 가지고 있는 굴절률에 대한 개념을 조사하였다. 응답자 수가 적다는 제한점이 지적될 수 있으나, 전국 단위에서 모인 과학교사들이라는 점에서 본 연구의 결과는 굴절률 개념에 대한 학습지도 방법에 있어서 많은 시사점을 줄 수 있을 것이라 생각된다.

액체의 굴절률 개념에 관한 교사들의 설문 결과, 대부분의 응답자들은 굴절률에 영향을 미치는 요인이 밀도라고 응답하였다. 설문 1(농도에 따른 굴절률)의 경우 96.72% (59명)는 농도가 증가하면 굴절률이 커진다고 하였지만, 그 이유를 살펴보면 96.72% (59명)의 응답자 중 40.68% (24명)는 설문지 어디에도 밀도에 대한 언급이 없음에도 농도가 증가하면 밀도가 커져 굴절률이 커진다고 하였다. 설문 2(서로 다른 매질에서의 굴절률)의 경우 80.00% (44명)는 밀도가 커질수록 굴절률이 커진다고 응답하였다.

현행 교육과정에서 빛과 파동은 같은 단원에 속해 있고, 역학적 파동의 속도는 매질의 밀도에 영향을 받는 것으로 기술하고 있다. 또한, 고정단 반사와 자유단 반사에서 밀도가 작은 매질을 소한 매질, 밀도가 큰 매질을 밀한 매질이라는 용어를 도입한다. 빛의 굴절 현상에 대한 설명은 역학적 파동의 굴절과의 유사점을 기초로 설명하고 있다. 역학적 파동의 굴절을 빛의 굴절에 적용하여 굴절률이 큰 물질과 ‘밀한 매질’을 동일하게 인식하게 되는 것이다. 이와 같이, 빛의 굴절률을 설명할 때, 역학적 파동에서 사용하는 밀도 개념으로부터 광학적 밀도라는 개념을 도입하는 것은 마치 물리적 밀도와 광학적 밀도가 같다는 인식을 유발하며, 매질의 종류와 관계없이 높은 밀도의 매질은 굴절률이 크다는 오개념을 유발한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 예비교사 교육단계에서는 일반물리 또는 물리교과교육연구 등의 과목에서 ‘물리 오개념’에 관한 내용을 다루어 실제 학교현장에서 겪게 될 어려움을 사전에 제거할 필요가 있다. 재교육 단계에서는 교사 연수 프로그램이나 교사연구회 등을 통해 본 연구에서와 같이 새롭게 제기되는 오개념을 공유하고 이를 해결하기 위한 여러 아이디어를 모색할 필요가 있다. 또한 기본적인 과학개념에 대하여 교사 스스로도 이러한 오개념을 바로 잡으려는 자세가 필요하다.

#### 감사의 글

이 연구는 공주대학교 연구년 사업에 의하여 연구되었음.

#### References

1. H.-H. Cho and K.-H. Choi, “Science education: constructivist perspectives,” *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **22**, 820-836 (2002).

2. H.-J. Park, "Reconceptualization of teaching and learning in constructivist perspective," *J. Curric. Stud.* **16**, 277-295 (1998).
3. J.-Y. Son, "A new teacher education paradigm based on the constructivist approach," *Korean Soc. Holistic Convergence Educ.* **9**, 17-32 (2005).
4. H.-H. Cho, "A study of philosophical basis of preconceptions and relationship between misconceptions and science education," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **4**, 34-43 (1984).
5. J.-W. Song, "Constructivist science education and the map of students' physics misconceptions," *J. Korea Soc. Math. Educ. Ser. A: Math. Educ.* **42**, 87-109 (2003).
6. J.-H. Shim, "Learning strategy for modification up the misconception; high school mechanics conception," *J. Res. Educ.* **6**, 283-311 (1994).
7. M.-J. Park and Y.-M. Kim, "Effects of the explanations of physical phenomena given in non-physics textbooks on the formation of students' physical conceptions," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **23**, 155-164 (2003).
8. S.-W. Kim, S.-J. Lee, and S.-Y. Choi, "Level of high school physics teacher's understanding of fundamental physical constants and their educational application," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **31**, 848-863 (2011).
9. I.-K. Kim, "Secondary school science teacher's notions in mechanics," *Bull. Sci. Educ.* **6**, 27-46 (1989).
10. S.-M. Park and B.-W. Lee, "Analysis of teachers' understanding and application of the physics' content of the 7th national curriculum with a focus on mechanics," *New Phys.: Sae Mulli* **59**, 442-449 (2009).
11. T.-I. Kim, K.-M. Shin, S.-M. Lee, and J.-B. Lee, "A survey of middle school science teacher's concepts of electricity and magnetism," *New Phys.: Sae Mulli* **57**, 318-331 (2008).
12. E.-J. Choi, S.-I. Hong, and K.-Y. Lee, "Surveying elementary school teachers' understanding and misconceptions about a battery," *New Phys.: Sae Mulli* **53**, 263-281 (2006).
13. D.-G. Hyun and A.-K. Shin, "Secondary-school teachers' understandings about the characteristics of currents according to the methods of connecting batteries in simple electric circuits," *New Phys.: Sae Mulli* **66**, 176-190 (2016).
14. A.-K. Shin, H.-S. Moon, and M.-S. Kang, "Elementary school teachers' concept of combustion -focus on change of gases-," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **31**, 942-957 (2011).
15. S.-J. Ha, B.-G. Kim, and S.-H. Paik, "The analysis of textbook contents and science teachers' conceptions on freezing point depression phenomenon," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **25**, 88-97 (2005).
16. S.-T. Park, H.-J. Choi, J.-T. Kim, K.-J. Jung, H.-B. Lee, and K.-C. Yuk, "The actual status of physics teachers' perception on the concept of radiation," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **25**, 603-609 (2005).
17. H.-J. Park and J.-B. Kim, "Recognition investigation of physics and chemistry teachers on electrodes in galvanic cell," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **30**, 389-401 (2010).
18. J.-H. Park, D.-U. Kim, and S.-H. Paik, "An analysis of high school chemistry teachers' and students' conceptions on electrode potential," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **26**, 279-290 (2006).
19. D.-S. Kook, "Conceptions of secondary school science teachers on some concepts of atmosphere and ocean," *J. Korean Earth Sci. Soc.* **25**, 402-408 (2004).
20. J.-H. Lee, J.-W. Jeong, and J.-O. Woo, "Analysis of secondary school science teacher's concept on atmospheric pressure," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **22**, 560-570 (2002).
21. Ministry of Education, Science and Technology, *Science Curriculum. Ministry of Education, Science and Technology Notice No. 2011-36 [Separate 9]* (Ministry of Education, Science and Technology, Seoul, Korea, 2011).
22. J.-B. Lee, K.-W. Nam, J.-W. Son, and S.-M. Lee, "An analysis of the types of teacher and student's concept on ray-tracing and spectrum in the middle school," *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.* **24**, 1189-1205 (2004).
23. W.-K. Oh and J.-W. Kim, "Concepts about light and waves of non-physics major secondary school-science teachers," *New Phys.: Sae Mulli* **52**, 512-520 (2006).
24. S.-I. Oh, "The effectiveness of instructional program for correcting the misconception on light of elementary school children," *J. Korean Elem. Sci. Educ.* **13**, 51-79 (1994).
25. K.-J. Kang and J.-M. kang, "The effectiveness of correcting the misconception on light of middle school students by the instruction program of demonstrating the cognitive conflict situation," *Pukyong National University* **5**, 219-229 (2000).
26. S.-Y. Park, J.-H. Park, and N.-K. Back, "An investigation on the conception of the light and shadow for the elementary students," *J. Korea Elem. Educ.* **25**, 111-126 (2014).
27. G.-P. Kwon, "Comparison between elementary- and middle-school students' conceptions of the propagation path of light and the consistency of those conceptions," *New Phys.: Sae Mulli* **61**, 643-650 (2011).
28. Y.-W. Song, B.-K. Kim, S.-H. Paik, Y.-J. Kim, J.-Y. Han, and J.-I. Chung, "The analysis of middle students' conceptions on the arrows representing reflection and refraction in the light unit of science textbooks," *J. Sci. Educ.* **34**, 72-83 (2010).
29. Y.-H. Do, G.-S. Lee, S.-H. Song, D.-W. Son, and S.-S. Lee, "Analysis of ethanol concentration and refractive - index by use of surface plasmon resonance effect," *Korean J. Opt. Photonics* **13**, 9-14 (2002).
30. B.-W. Lee, W.-N. Shin, and H.-K. Kim, "Using rainbows in physics inquiry education: analysis of the rainbow angles for various refractive indices of salt water," *New Phys.: Sae Mulli* **62**, 439-444 (2012).
31. W. M. Haynes, *Handbook of Chemistry and Physics, 95<sup>th</sup> Ed.* (CRC Press, Boca Raton, 2014).
32. F. A. Jenkins and H. E. White, *Fundamentals of Optics* (McGraw-Hill, Singapore, 1981).
33. V. Gold and IUPAC, *Compendium of Chemical Terminology* (Oxford, Boston, 1987).
34. P. W. Milonni and J. H. Eberly, *Lasers* (Wiley, Hoboken, 1988).