

## 세 가지 산-염기 모델에 대한 화학교사들의 인식과 해석

김성기<sup>†</sup> · 최 희<sup>‡</sup> · 박철용<sup>§</sup> · 백성혜<sup>#,\*</sup>

<sup>†</sup>광주과학고등학교

<sup>‡</sup>봉명고등학교

<sup>§</sup>공주대학교부설고등학교

<sup>#</sup>한국교원대학교

(접수 2018. 7. 25; 게재확정 2018. 11. 28)

## The Chemistry Teachers' Perceptions and Interpretations about Three Acid-Base Models

Sungki Kim<sup>†</sup>, Hee Choi<sup>‡</sup>, Chul-Yong Park<sup>§</sup>, and Seoung-Hey Paik<sup>#,\*</sup>

<sup>†</sup>Gwangju Science Academy for the Gifted, Gwangju 61005, Korea.

<sup>‡</sup>Bongmyeong High School, Cheongju 28462, Korea.

<sup>§</sup>Kongju National University High School, Gongju 32550, Korea.

<sup>#</sup>Korea National University of Education, Chungju 28173, Korea. \*E-mail: shpaik@knue.ac.kr

(Received July 25, 2018; Accepted November 28, 2018)

**요 약.** 본 연구는 3가지 산-염기 모델의 관계에 대한 화학교사들의 인식을 알아보았다. 또한 모델의 관계에 대한 인식이 각 모델에서 사용되는 개념에 대한 해석에 어떠한 영향을 주는지를 알아보았다. 교사의 인식과 해석을 알아보기 위해 24명의 화학교사를 대상으로 설문지와 면담이 진행되었다. 분석 결과, 대부분의 화학교사들은 3가지 모델을 확장적 포함 관계로 인식하였다. 이러한 인식은 교과서의 서술과 관련이 있다. 이러한 모델의 관계에 대한 인식은 각 모델의 산, 염기 개념을 해석하는 과정에 영향을 주었다. 본 연구를 통해 화학교사들이 다양한 모델의 역할을 아는 것이 필요하다고 주장하였다.

**주제어:** 산과 염기, 과학 모델, 모델의 다양성, 모델의 관계

**ABSTRACT.** This study investigated the perceptions of the relationship among the three acid-base models of chemistry teachers. In addition, we examined how the perception of the relationship between models affected on the interpretation of concepts in each model. To investigate teachers' perceptions and interpretations, a questionnaire and interviews were conducted for 24 chemistry teachers. As results, most of the chemistry teachers recognized the three models as cumulative extension relationships. The perceptions were related to the contents of textbooks. The perception of the relationship of these models influenced on interpretations of the models' acid-base concept. In this study, we suggested that science teachers need to be aware of diverse models' roles.

**Key words:** Acid and base, Scientific model, Diversity of model, Relationship of models

### 서 론

산과 염기는 화학영역에서 핵심적으로 다루어지는 개념 중에 하나이다.<sup>1</sup> 이러한 이유로 교육과정 개정과 무관하게 모든 학교 급에서 산과 염기에 대한 개념을 꾸준히 다루고 있다.<sup>2</sup> 현재까지 많은 산-염기 모델이 제안되었으나 이 중 Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis 모델이 가장 널리 사용되고 있다.<sup>3</sup> 우리나라 교육과정에서도 여러 산-염기 모델 중에서 이 3가지 모델을 중심으로 하여 산 염기를 다루고 있다.

Drechsler와 Schmidt<sup>4</sup>는 스웨덴의 고등학생을 대상으로 산,

염기 개념에 대한 혼란이 언제 발생하는지를 연구하였다. 연구결과, 학생들은 Arrhenius 모델을 학습한 이후 Brønsted-Lowry 모델을 학습할 때 두 모델 간의 혼란을 경험하였다. 특히, 이 연구에서 학생들은 Brønsted-Lowry 모델에서 proton을 주면 산, 받으면 염기라고 정의하면서 Arrhenius 모델에서 중성이라고 배웠던 물이 갑자기 염기가 되기도 하고, 산이 되기도 한다는 것에 큰 혼란을 느꼈다.<sup>4</sup> 이러한 혼란의 원인은 물질 관점에서 만들어진 Arrhenius 모델의 시각으로 Brønsted-Lowry 모델을 받아들여지게 되면 학생들은 여전히 proton의 움직임에 관심을 두지 않고 물질 자체에 관심을 두게 되어서 혼란을 가지게 된다.<sup>2,5</sup> 이외에도 11,

12학년 프랑스 학생들과 터키 학생들을 대상으로 중화와 중성의 개념을 알아본 Cokelez<sup>6</sup>의 연구에서도 서로 다른 나라의 학생입도 불구하고 동일하게 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델의 충돌을 경험하였다.

화학에서 산-염기 모델은 일반적으로 산-염기 현상 모델부터 학습하기 시작하여 학년이 올라감에 따라 점차 다양한 산-염기 모델을 도입하며 화학적 개념의 밀도를 높여간다. 보통 학생들은 산-염기 학습에 오랜 시간을 소요하지만, 많은 학습 시간에도 불구하고 세계 여러 나라의 학생들이 산-염기를 학습하는데 어려움을 겪는다는 연구들이 전 세계에서 공통적으로 보고되어 왔다.<sup>7-10</sup> 교육과정의 서로 다른 나라에서 다양한 방법으로 산과 염기에 대해 배우는 학생들에게 동일한 문제점이 나타난다는 것은 매우 놀라운 일이다. 이런 세계적인 연구 결과가 우리나라 학생들에게도 적용될 수 있다. 우리나라 교육과정 역시 현상 중심의 산, 염기를 먼저 다룬 후, 중학교 때 Arrhenius 모델이 도입된다. 이후 고등학교 교육과정에서 Brønsted-Lowry 모델과 Lewis 모델이 소개된다. 때문에 고등학교 때 새로운 산-염기 모델이 도입될 때 우리나라의 학생들 역시 기존에 학습되었던 Arrhenius 모델과 새롭게 학습한 모델 간의 충돌을 경험할 수 있으며, 이러한 충돌이 새로운 모델의 이해를 저해시킬 수 있다.

이러한 학생들의 어려움을 극복하기 위해서는 산-염기 모델에 대한 화학 교사들의 인식과 해석에 대한 연구가 필요하다. 왜냐하면 학생들은 교사의 수업을 통해 모델의 특성을 인식하기 때문에 교사의 모델에 대한 이해는 학생의 모델에 대한 이해에 영향을 주기 때문이다. 특히, 요즘 과학교육에서 모델링에 대한 교육이 강조됨에 따라 이를 지도하는 교사의 모델에 대한 이해가 필수적으로 선행되어야 한다. 이미 증명된 객관적 사실로 모델을 이해한다면, 동일한 현상을 다양한 모델로 설명하는 이유를 학생들이 제대로 이해하기 어렵다. NRC<sup>11</sup>에서는 모델의 역할을 가설을 만들고 해결방안을 제안하기 위하여 추론하고 계산하고 예측하는 방안으로 제안하고 있다. 이러한 모델의 역할은 논쟁과 비판, 그리고 분석 등의 평가 과정을 끊임 없이 거치면서 실제 세계의 자료들과 연결된다.

이러한 점에서 볼 때, 모델이란 자연현상을 설명하는 하나의 체계로 자연 현상의 패턴을 발견하는 과학자의 창의적 결과물이다.<sup>12,13</sup> 이러한 과학 모델은 자연의 일부를 간결하고 선명하게 설명하기 위해서 기존의 과학 개념이나 이론을 이용한다. 즉, 과학모델은 자연현상에서 관찰된 것과 추상적인 개념이나 이론을 연결하여 구체화된 설명이다.<sup>14-17</sup> 이러한 과학 모델을 만들 때 과학자는 단순화, 함축화라는 과정을 통해 무질서한 자연을 질서적인 자연으로 재인식한다. 이러한 패턴에 대한 인식 결과는 특정

한 수식이나 시각적으로 표현된다.<sup>18,19</sup> 과학자마다 무질서한 자연에서 패턴을 찾기 위한 단순화나 함축화의 과정이 다르기 때문에 동일한 자연을 바라보아도 서로 다른 과학 모델을 생성하기도 한다.<sup>20,21</sup> 이러한 과학 모델의 생성은 화학에서의 산-염기에 대한 자연을 설명할 때도 적용될 수 있다. 본 연구의 대상인 세 가지 산-염기 모델도 동일한 자연 현상을 설명하기 위한 과학자의 단순화와 함축화 과정을 거치는데, 이 때 모델에 따라 서로 다른 패턴을 구성하며 이러한 패턴을 구성하기 위해서 서로 모델마다 서로 다른 전제조건과 제한점을 갖게 된다.<sup>22</sup> 이러한 특성이 과학 모델의 다양성과 연결된다.<sup>23</sup>

과학교육에서는 오랫동안 모델을 만들고 이해하는 과정에 대한 교육이 강조되고 있지만, 주로 주어진 모델을 이용한 문제 풀이 활동이 대부분을 차지하였다. 그러나 모델에 대한 이해를 높이기 위해서는 최근에 제시되는 많은 연구에서는 모델의 본성에 대한 교육이 강조되고 있다.<sup>18,21,22</sup> 따라서 본 연구에서는 학생들이 많은 혼란을 가지는 것으로 밝혀진 3가지 산-염기 모델을 중심으로 화학교사들의 모델에 대한 인식과 해석을 알아보았다. 본 연구의 연구문제를 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

- 가. 화학교사들은 세 가지 산-염기 모델의 관계를 어떻게 인식하고 있는가?
- 나. 화학교사들의 모델의 관계에 대한 인식이 산과 염기 개념을 해석하는데 어떠한 영향을 주는가?

## 연구 방법

### 이론적 틀

산, 염기를 다룬 여러 선행연구마다 사용하는 산, 염기에 대한 용어가 정의, 이론, 모델로 다양하게 사용되고 있다. 또한 우리나라 2009 개정 교육과정 화학 교과서에서는 정의라는 용어로 사용되고 있다. NGSS<sup>24</sup>에서는 과학의 실천(practice)으로 모델의 사용을 제시하였으며, 이러한 실천이 관통 개념(scrosscutting concept)과 핵심 아이디어(core idea)와 연결됨을 강조하고 있다. 이러한 의미에서 산과 염기라는 개념에 대한 이해는 모델을 통한 이해가 매우 중요하다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 모델이란 현상을 설명하기 위해 단순화, 함축화란 과정을 통해 패턴을 발견<sup>25</sup>하고, 이에 따른 결과가 수량화나 표상화로 표현된다.<sup>26,27</sup> 단순화, 함축화 과정이 각 모델마다 다르기 때문에 모델이 작동하기 위한 조건이 상이하다. 때문에 모든 모델은 그 모델이 작동하기 위한 전제조건을 내포하고 있다. 이 조건을 충족할 때만 모델을 적용할 수 있기 때문에, 모델에서 사용되는 개념을 포함한 모델에 대한 이해는 이러한 전제조건에 대한 이해가 필수적이다.<sup>28</sup> 본 연구에서 다루

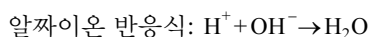
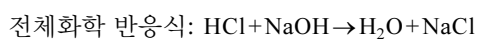
**Table 1.** Precondition of Arrhenius and Brønsted-Lowry Models<sup>2</sup>

Precondition	Arrhenius Model	Brønsted-Lowry Model
State	Aqueous	Different solvent including gas
Product of reaction	Water and salt	Conjugate acid and base
Reversibility	Irreversible	Reversible
Viewpoint	Matter	Process

어지는 3가지 산 염기 모델의 전제조건은 Table 1로 요약된다.

본 연구에서는 자연현상을 설명하기 위해 Arrhenius와 Brønsted-Lowry 모두 공통적으로 산, 염기 개념을 사용하지만 이러한 개념은 Table 1에 제시된 각 모델의 전제조건이 충족될 때만 해당 모델의 산, 염기 개념을 사용할 수 있으며 이로 인해 두 모델은 동일한 개념을 사용하지만 그 개념에 대한 의미가 서로 상이하다. 때문에 각 모델에서 사용하는 개념에 대한 정의를 이해하기 위해서는 보다 거시적으로 그 개념을 사용하고 있는 모델의 전제조건을 이해하는 것이 필요하다. 그러한 의미에서 본 연구에서는 정의라는 용어 대신 모델이라는 용어를 사용하였다.

이처럼 모델들이 사용하는 산, 염기에 대한 개념에 대한 차이는 다음 예와 같은 화학반응식에서 확연히 들어난다.



이 반응에서 Arrhenius 모델의 관점에서 산은 HCl이며, 염기는 NaOH이다. 하지만 Brønsted-Lowry 모델로 해석하면 산은 HCl(물에서 반응하였다면  $\text{H}_3\text{O}^+$ )이며, 염기는  $\text{OH}^-$ 이다. Lewis 모델에서 산은  $\text{H}^+$ 이며, 염기는  $\text{OH}^-$ 이다.<sup>29,30</sup> Arrhenius 모델에서 산과 염기는 ‘물에서  $\text{H}^+$ 나  $\text{OH}^-$ 를 내놓는 물질’이다. 그렇기 때문에 이러한 물질이 물에 해리되기 전의 물질이 산이나 염기로 분류된다. 하지만 Brønsted-Lowry 모델에서는  $\text{H}^+$ 의 이동으로 산과 염기가 결정되는데,  $\text{H}^+$ 를 주기 위해서는  $\text{H}^+$ 와 결합되어 있는 HCl이 산이 되며,  $\text{H}^+$ 를 받기 위해서는 받을 수 있는 물질의 형태여야 한다. 그렇기 때문에 NaOH는 염기가 될 수 없고  $\text{OH}^-$ 가 염기이다. Lewis 모델에서는 전자쌍을 주거나 받기가 가능한 형태가 산과 염기이므로, 이 반응에서는 Brønsted-Lowry 모델과 해석이 같아진다. 하지만 염화수소와 암모니아 기체가 만나서 염화암모늄을 생성하는 반응의 경우에는 Brønsted-Lowry 모델에서는 산과 염기 반응이라고 볼 수 없지만, Lewis 모델에서는 전자쌍 주개와 받개의 과정이 이루어지기 때문에 산-염기 반응이다. 이처럼 동일한 산, 염기 개념은 모델의 특성과 본질에 따라 다르게 사용된다.

이러한 3가지 모델에 대해 대부분의 일반화학 책은 다

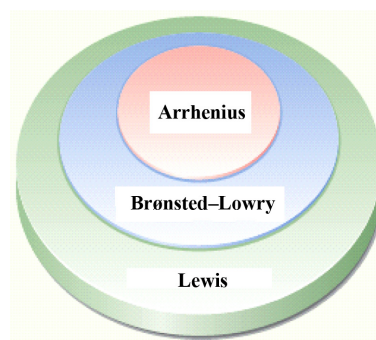
음과 같이 3가지 모델의 관계를 확장적 포함 관계로 기술하고 있다.

We have seen that first successful conceptualization of acid-base behavior was proposed by Arrhenius. This useful but limited model was replaced by the more general Brønsted-Lowry model. An even more general for acid-base behavior was suggested by G. N. Lewis in the early 1920s.<sup>31</sup>

Brønsted-Lowry concept of acids and bases is more general than the Arrhenius concept and emphasizes the transfer of a proton ( $\text{H}^+$ ) from an acid to base. The Lewis is concept of acids and bases emphasizes the shared electron pair rather than the proton. A Lewis acid is an electron-pair acceptor, and a Lewis bases is an electron-pair donor. The Lewis concept is more general than the Brønsted-Lowry concept because it can apply to cases in which the acid is some substance other  $\text{H}^+$ .<sup>32</sup>

이처럼 많은 화학 교재에서 Arrhenius 모델보다는 Brønsted-Lowry 모델이 더 일반적이며, Lewis 모델이 Brønsted-Lowry 모델에 비해 더 일반적이라고 제시하고 있다. 이러한 일반화에 대해 우리나라 화학 교과서에서는 Fig. 1과 같이 포함관계로 표현하고 있다.

하지만 세 가지 모델을 Fig. 1과 같은 포함관계로 이해하면, 두 가지 문제점을 가질 수 있다. 하나는 여러 모델들이 사용하는 산, 염기 개념 역시 포함관계로 이해될 수 있다. 따라서 Arrhenius 모델에 해당하는 산과 염기가 Brønsted-



**Figure 1.** The relationship among Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis models in chemistry textbooks.<sup>33</sup>

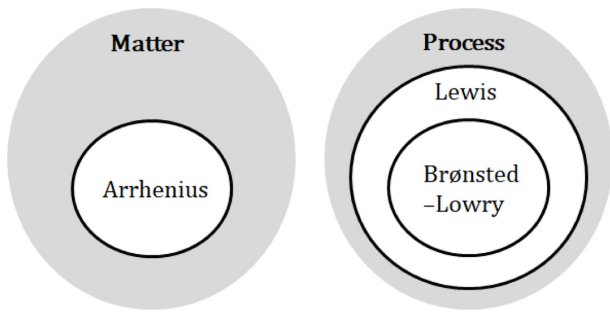


Figure 2. The relationship depending on process viewpoints of models.<sup>36</sup>

Lowry 모델과 Lewis 모델의 산과 염기로 분류된다는 생각을 가지는 문제가 발생할 수 있다. 예를 들어, Arrhenius 모델의 산에 해당하는 HCl이 Brønsted-Lowry 모델에서도 산이라고 분류하는 것과 같이 산, 염기 개념까지의 포함 관계로 이해하게 되는 오류를 범하게 된다.

또 다른 문제점은 가장 일반적인 하나의 모델만을 가르치는 것이 더 효과적이라고 생각하는 것이다. 실제로 Hawkes<sup>34</sup>는 Arrhenius 모델을 가르치지 말고, Brønsted-Lowry나 Lewis 모델을 가르치자고 주장하였으며, Shaffer<sup>35</sup> 역시 Lewis 모델만 다루자고 제안하였다. 하지만 모델간의 관계는 Fig. 1과 같이 고정된 것이 아니다. 즉, 모델의 어떠한 측면을 고려하여 관계를 표현하느냐에 따라 모델간의 관계가 다르게 표현될 수 있다.

Paik<sup>36</sup>은 Arrhenius 모델은 물에 넣었을 때라는 기준을 가지고 산과 염기라는 물질을 분류하기 때문에 물질적 관점(matter viewpoint)으로 분류하였다. 한편, Brønsted-Lowry나 Lewis 모델은 반응하는 상대 물질에 따라 산과 염기의 분

류가 달라지므로, 이 모델들은 과정적 관점(process viewpoint)으로 분류하였다. 이를 그림으로 제시하면 Fig. 2와 같다.

Chang<sup>37</sup>은 다양한 모델에 대한 일원주의적 해석이 각 모델이 갖는 전제조건이나 특징 등을 모호하게 만들 수 있다고 하였다. 따라서 3가지 모델에 대한 관계를 확장적 포함관계라는 하나의 틀로만 인식한 경우, 가장 상위에 해당하는 하나의 모델이 가장 효과적이라고 인식하게 되어 여러 모델의 공존을 이해하는데 어려움을 가질 수 있다.

여러 모델을 하나의 포함관계로만 이해하는 것은 여러 문제가 있으며, 각 모델의 본질을 이해하는데 어려움을 줄 수 있다. 그러므로 각 모델을 선형적 관계로 이해하기 보다는 각 모델의 전제조건과 한계를 중심으로 각 모델이 사용하는 과학 개념을 이해하는 것이 필요하다.

연구대상

이 연구는 24명의 화학을 전공한 교사를 대상으로 진행하였다. 이들은 산-염기 모델에 대한 이해를 알아보는 연구에 자발적으로 참여하였으며, 모든 연구 대상자는 3가지 산-염기 모델을 학교 현장에서 직접 가르친 경험을 가지고 있었다. 연구 대상자의 교육경력은 3년에서 21년으로 매우 다양하게 분포하였으며, 모두 대학원에서 석사나 박사 학위 과정에 있었기 때문에 일반적인 화학교사보다 화학교육과 관련된 학문에 더 많이 노출되어 있었다고 볼 수 있다. 따라서 이 연구 대상자들은 3가지 산-염기 모델에 대한 지식을 충분히 가지고 있다고 판단할 수 있다. 또한 이들의 전문적 지식을 근거로 판단할 때, 이 연구의 결과가 일반적인 화학교사들의 생각을 대표하는 것이라고 말하기는 어렵다. 하지만 연구 대상자들이 모델의 관계에

1. Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis 모델간의 관계를 그림으로 그려보시오.

2-1. 여러분이 알고 있는 Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis 모델을 문장으로 정의해 보시오.

2-2. 수용액에서 HCl과 NaOH의 반응식은 다음과 같이 다양하게 표현될 수 있습니다.  
아래 반응 반응식을 참고하여 이 화학반응에서 각 모델에 해당하는 산과 염기의 화학종에 체크하시오.

- $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$
- $\text{HCl} + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$
- $\text{H}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$

구분		Arrhenius	Brønsted-Lowry	Lewis
산	HCl	(Yes, No)	(Yes, No)	(Yes, No)
	H <sup>+</sup>	(Yes, No)	(Yes, No)	(Yes, No)
염기	NaOH	(Yes, No)	(Yes, No)	(Yes, No)
	OH <sup>-</sup>	(Yes, No)	(Yes, No)	(Yes, No)

2-3. 2-2에서 분류에 대한 이유를 작성하시오.

Figure 3. The content of the questionnaire.

대한 인식과 해석에서 나타나는 문제점은 충분히 일반교사들도 겪을 수 있다고 추론할 수 있다.

### 자료수집 및 분석

연구 대상자들이 가지는 3가지 모델의 관계에 대한 인식과 해석을 알아보기 위해 Fig. 3과 같이 설문지를 개발하였다. 문항1은 화학교사가 인식하는 3가지 모델에 대한 내용이며, 문항 2는 각 모델의 정의와 이를 실제 반응물과 생성물에 적용하였을 때 산과 염기의 분류과정을 통해 정의를 어떻게 해석하는지 알아보기 위한 것이다.

설문지에 응답한 내용을 토대로 1대1 면담을 진행하였다. 모든 화학교사에게 공통적으로 설문지 문항1에서 자신이 그린 모델의 관계에 대한 표현의 이유를 물어보았다. 또한 화학교사가 그린 모델의 관계 이외에 다른 모델의 관계 표현이 가능한 지에 대해서도 물어보았다. 연구문제 1의 자료 분석은 화학교사들이 그린 모델 간의 관계에 대한 그림을 중심으로 분류하였다. 설문지 문항2에서의 응답은 화학교사마다 상이하였기 때문에 화학교사가 응답한 내용을 토대로 왜 그러한 모델의 해석이 발생하였는지에 대한 내용을 중심으로 면담을 진행하였다. 이후 각 인터뷰 내용을 토대로 모델의 관계를 인식하는 원인을 분석하였다. 또한 화학교사들의 모델에 대한 해석과 모델간의 관계에 대한 인식을 교차 분석함으로써 모델간의 관계에 대한 인식이 모델을 해석하는데 어떠한 영향을 미쳤는지 알아보았다. 연구문제 2에서는 먼저 문항 2-1의 모델에 대한 정의와 문항 2-2의 모델의 정의에 대한 해석을 비교하였다. 연구 과정에서 설문 2-2의 지문에 HCl과 NaOH라는

언급을 하였기 때문에 수용액에서  $\text{HCl} + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Cl}^-$ 란 표현은 적절하지 않을 수 있으며,  $\text{HCl} + \text{Na}^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ 와 같이 모든 화학종을 다 표현하는 것이 적절할 수 있다는 지적이 있었으나, 이러한 오류는 교사와의 면담 과정에서 큰 영향을 미치지 않았으므로 설문을 수정하지 않고 연구를 진행하였다.

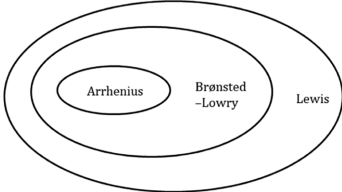
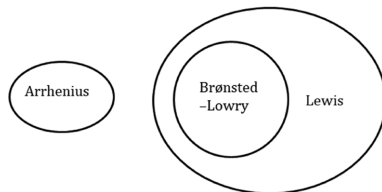

결과분석의 신뢰도와 타당도를 높이기 위해서 2가지 절차를 진행하였다.<sup>38,39</sup> 하나는 화학교육으로 박사학위를 받고 교수로 활동하는 1인과 박사 후 연구원으로 활동하는 1인, 그리고 박사과정의 현직 화학 교사 2인이 포함된 전문가 집단 간의 교차 검토를 진행하였다. 다른 하나는 교차 검토 후 연구자의 최종 해석과 실제 설문에 응답한 화학교사들의 생각이 일치하는지를 설문에 응답한 화학교사를 대상으로 확인하는 절차를 거쳤다.

## 연구 결과 및 논의

### 산-염기 모델의 관계에 대한 화학교사들의 인식

설문지 문항1에서 화학교사가 그린 산, 염기모델의 관계에 대한 표현은 Table 2와 같이 총 3가지였다. 설문지 문항1을 공란으로 둔 화학교사의 경우 면담을 통해 확인된 모델의 관계 그림을 분류 대상으로 삼았다. 또한 모델의 관계 그림에서 면담을 통해 자신이 그린 그림 이외에도 다양하게 표현된다고 응답한 화학교사의 경우에는 1차적으로 설문지에 기술한 모델의 관계 그림을 분류대상으로 삼았다. 이렇게 해서 분류된 모델의 관계 표현은 3가지로 요약되었으며, 이외의 관계에 대한 표현은 없었다. 이 3가

Table 2. Teachers' perception on the relationship among acid-base models

Category	Relationship	Number of teachers(%)
Type A		19(79.2%)
Type B		3(12.5%)
Type C		2(8.3%)

지 표현에 대해 연구자는 Type A~C로 명명하였다. Type A는 Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis 모델을 점점 확장되는 포함관계로 생각하는 경우이며, 대부분의 화학교사들(N=19, 79.2%)이 Type A에 해당하였다. Type B는 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry, Lewis 모델을 크게 2개 그룹으로 분리한 경우였다. 이 유형의 화학교사는 여전히 Lewis 모델이 Brønsted-Lowry 모델을 포함한다고 인식한 경우이다. Type C는 세 가지 모델을 각각 독립적으로 생각하는 경우로, 모델 간의 포함관계가 존재하지 않는 경우이다. Type B(N=3, 12.5%)와 Type C(N=2, 8.3%)는 Type A에 비해 상대적으로 적었다.

Type A에 속하는 대다수의 화학교사들은 모델의 관계를 그렇게 인식하는 이유로, 자신이 학생이었을 때 그렇게 배웠고 현재 가르치는 교과서에도 명시적으로 그렇게 표현되어 있다고 생각하였다.

**연구자:** 왜 모델의 관계를 확장 포함관계로 표현하였나요?

**교사 1(Type A):** 대학 다닐 때 그렇게 배웠어요. 제가 현재 학생들을 가르치는 교과서에도 이들의 관계를 이렇게 표현하고 있어요.

앞서 이론적 틀에서 밝힌 바와 같이 대부분의 대학교재에서는 모델의 관계를 Type A와 같이 설명하고 있다. 실제로 이 모델이 다루어지는 고등학교 화학 I 교과서<sup>33</sup>에서는 Fig. 1과 같은 모델의 관계가 명시적으로 표현되어 있다. 그럼에도 불구하고 산-염기 모델들의 관계를 Type A로 인식하지 않고 Type B 혹은 Type C로 인식하는 교사들과 면담한 결과, 흥미롭게도 이들은 초기에 모델의 관계를 Type A로 생각하였다. 하지만 대학원을 다니면서 각 모델에 대한 추가적 이해가 덧붙여지면서 모델들의 관계를 다르게 인식하게 되었다고 응답하였다.

Type B에 속하는 3명의 화학교사들은 모두 Arrhenius 모델은 물질을 보고 산과 염기를 판단하지만, Brønsted-Lowry와 Lewis 모델은 화학반응식을 보고 산과 염기를 판단한다고 생각하였다. 이러한 사고 유형은 Paik<sup>36</sup>의 관점과 일치한다. 반면 Type C의 교사들은 ‘과학모델이란 모두 독립적인 상황맥락을 가지고 있다’라는 생각을 가지고 있었다. 구체적으로 그들이 말한 상황맥락은 Arrhenius 모델은 해리, Brønsted-Lowry 모델은 H<sup>+</sup>의 이동, Lewis의 모델은 새로운 공유결합의 형성이었다. 이것은 Giere 등<sup>40</sup>의 모델에 대한 생각과 유사하다.

**교사 20(Type B):** 아레니우스가 바라본 세상은 물에서 물질을 어떻게 바라보느냐 인 것 같아요. 그래서 이미 물이라는 반응물질이 결정되어 있으니까, 그 물질이 산일지 염기일지가 결정이 되요. 하지만 브린스테드-로우리나 루

이스는 그러한 절대 용매가 없어요. 그래서 항상 반응식에 집중해야 합니다. 그래서 이 세 가지 모델은 크게 2가지로 나누어질 수 있다고 생각해요.

**교사 23(Type C):** 각 모델은 바라보는 세계가 다릅니다. 그래서 이를 억지로 포함관계로 표현하는 것은 매우 인위적이라고 생각합니다.

Type B와 C의 교사들은 각 모델에 대한 관심과 모델에 관련된 교육의 영향을 받은 것으로 나타났다. 더욱 흥미로운 것은 Type B와 Type C의 화학교사들은 Type A에 해당하는 관계도 표현하였다. 그들은 모델의 관계가 무엇에 초점을 두었느냐에 따라 달라질 수 있음을 인식하고 있었다. 이에 반해 Type A의 화학교사는 한 가지 모델 관계만을 인식하였으며, 인터뷰를 통해 다른 표현에 대한 제안을 받았어도 답을 하지 못하였다.

모델의 어떠한 측면에 초점을 두고 모델의 관계를 표현하느냐는 모델의 다양성을 인식하는 출발점이다. 그러나 대부분의 화학교사들은 유일하게 하나의 방식인 Type A로 모델의 관계를 인식하고 있었으므로 이는 문제점이라고 할 수 있다. 교과서에서도 Type A 이외에 다른 관계를 제시하지 않았다. 따라서 교과서의 다양한 모델이 다루어지는 부분에서 모델의 관계를 다양한 측면에서 표현하는 시도가 필요하며, 교사교육에서도 모델 간의 관계에 대한 다양한 인식을 다룰 필요가 있다.

### 모델의 관계에 근거한 산과 염기 해석

설문지 문항2-1을 통해 알아본 각 모델에서의 산, 염기 정의는 표현이 조금씩 달랐지만, 전반적으로 교과서의 진술과 큰 차이가 없었다. 한 가지 사례를 제시하면 다음과 같다.

“Arrhenius 모델에서는 수용액에서 산은 H<sup>+</sup>를 내놓는 물질이며, 염기를 OH<sup>-</sup>를 내놓는 물질이다. Brønsted-Lowry 모델에서 산은 H<sup>+</sup>주개이며, 염기는 H<sup>+</sup>받개이다. Lewis 모델에서 염기는 전자쌍 주개이며, 산은 전자쌍 받개이다.”

문장으로 정의하는 2-1에서는 교사들이 모두 유사한 응답을 하였지만, 문항 2-3에서 구체적인 반응 물질을 가지고 판단하도록 요구하였을 때, Table 3과 같이 매우 다르게 각 모델의 산과 염기의 개념을 해석하는 것으로 나타났다.

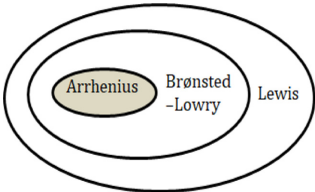
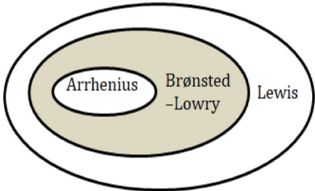
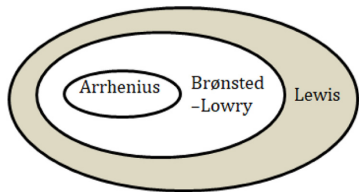
HCl을 산으로 분류한 과학적 개념을 가진 화학교사는 7명(29.2%)이었으며, H<sup>+</sup>를 산으로 분류한 교사는 10명(41.7%)이었다. 한편, NaOH를 염기로 분류한 과학적 개념을 가진 화학교사는 8명(33.3%)이었으며, OH<sup>-</sup>를 염기로 분류한 교사는 10명(41.7%)이었다. 4가지(HCl, H<sup>+</sup>, NaOH,

**Table 3.** The result of classification in HCl+NaOH reaction

Category		Model			Frequency (%)
		Arrhenius	Brønsted–Lowry	Lewis	
Acid	HCl corresponds to an acid of the model.	Yes	Yes	Yes	14(58.3%)
		Yes	Yes	No	7(29.2%)*
		Yes	No	No	3(12.5%)
	H <sup>+</sup> corresponds to an acid of the model.	Yes	Yes	Yes	11(45.8%)
		No	Yes	Yes	3(12.5%)
		No	No	Yes	10(41.7%)*
Base	NaOH corresponds to a base of the model	Yes	Yes	Yes	14(58.3%)
		Yes	No	Yes	2(8.3%)
		Yes	No	No	8(33.3%)*
	OH <sup>-</sup> corresponds to a base of the model	Yes	Yes	Yes	12(50.0%)
		No	Yes	Yes	10(41.7%)*
		No	No	Yes	2(8.3%)

\*: scientific concept

**Table 4.** The Possible logical case of Type A

Case	Model			Example in HCl+NaOH reaction	
	Acid & Base of Arrhenius	Acid & Base of Brønsted–Lowry	Acid & Base of Lewis		
Case 1.		Yes	Yes	Yes	-HCl is acid of all models. -H <sup>+</sup> is acid of all models. -NaOH is base of all models. -OH <sup>-</sup> is base of all models.
Case 2.		No	Yes	Yes	-HCl is only acid in Brønsted–Lowry and Lewis model. -H <sup>+</sup> is only acid in Brønsted–Lowry and Lewis models. -NaOH is only base in Brønsted–Lowry and Lewis models. -OH <sup>-</sup> is only base in Brønsted–Lowry and Lewis models.*
Case 3.		No	No	Yes	-HCl is only acid in Lewis model. -H <sup>+</sup> is only acid in Lewis model.* -NaOH is only base in Lewis model. -OH <sup>-</sup> is only base in Lewis model.

\*: scientific concept

OH<sup>-</sup>) 물질에 대한 분류에서 모두 과학적 개념으로 응답한 화학교사는 5명(20.8%)에 불과했다.

모델간의 관계에 대한 인식 유형별로 살펴보면, 19명의 Type A 교사 중 1명(5.3%)만이 과학적 개념을 가지고 있는 것으로 나타났다. 그리고 Type B에 속하는 3명의 교사들

중 2명(66.7%)이 과학적 개념을 가지고 있었다. Type C에 속하는 2명의 교사들은 모두(100%) 과학적 개념을 가지고 있었다. 따라서 Type A 유형의 교사들이 가장 과학적 개념을 형성하는 비율이 낮음을 알 수 있다. 이처럼 모델의 관계 인식의 유형에 따라 과학적 개념을 형성하는 비

율이 달라짐을 확인할 수 있다.

Type A에 해당하는 교사들이 과학적 개념을 가지기 어려운 이유에 대한 논리적 설명을 찾아보기 위하여 Table 4와 같이 Type A의 논리구조에서 산, 염기 분류의 가능한 경우를 탐색해보았다. Case 1에서는 Arrhenius 모델에 해당하는 산과 염기는 Brønsted-Lowry 모델과 Lewis 모델에 모두 속한다고 생각하는 것이다. Case 2에서는 Brønsted-Lowry 모델에 속하는 산과 염기가 Arrhenius 모델에는 속하지 않지만 Lewis 모델에는 속한다고 생각하는 경우이다. 마지막으로 Case 3에서는 Lewis 모델에 속하는 물질 중 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델에는 속하지 않는다고 생각하는 경우이다.

Table 4에 제시된 논리를 토대로 Table 3의 결과를 분석하였다. HCl은 H<sup>+</sup>를 줄 수 있는 물질이라는 점에서 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델의 산이지만, 전자쌍을 받을 수 있으려면 해리를 해야 하므로 Lewis 모델에서는 산이 아니다. 그러나 Case 1의 논리를 가진 교사들이라면 HCl이 Arrhenius 모델의 산이라고 생각하는 경우에 Lewis 모델에도 속한다고 생각하게 될 것이다. 이러한 논리로 사고하는 교사가 14명(58.3%)으로 절반 이상이였다. 즉, Case 1의 논리는 Type A에 속하는 교사들에게 매우 보편적인 사고임을 알 수 있다. 따라서 Type A와 같이 모델 간의 관계를 인식하는 교사는 반응식에서 산과 염기 물질을 해석하는데 오류를 가질 가능성이 높다고 말할 수 있다.

이와 비슷한 패턴이 NaOH에 대한 분류에서도 나타났다. NaOH는 OH<sup>-</sup>를 내놓을 수 있는 물질이라는 정의에 의해 Arrhenius 모델의 염기라고 할 수 있지만, NaOH는 H<sup>+</sup>를 받을 수 없기 때문에 Brønsted-Lowry 모델의 염기도 아니고 전자쌍을 줄 수도 없기 때문에 Lewis 모델의 염기도 아니다. 그러나 Case 1과 같은 논리에 의한 사고를 하는 교사는 14명(58.3%)로 HCl에 대한 사고 비율과 동일하였다. 이를 통해 Type A의 사고를 가진 교사들은 Case 1의 논리를 가진 경우가 많음을 알 수 있다. 또한 이러한 모델 간의 관계에 대한 논리는 산과 염기 모델의 해석에 오류를 가질 수 있음을 알 수 있다.

흥미롭게도 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>에 대한 분류는 HCl과 NaOH와 다른 패턴을 보였다. 이 경우는 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>에 대한 과학적 개념이 Type A의 가능한 논리 사례와 일치한 경우였다 (H<sup>+</sup>의 경우 Case 3, OH<sup>-</sup>의 경우 Case 2). 이때는 과학적 개념에 해당하는 교사들이 각각 10명(41.7%)으로, 상대적으로 과학적 개념을 가진 교사가 많았다. 또한 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup>를 잘못 분류한 경우는 모두 Type A의 가능한 논리 사례가 적용되었다. 이를 통해 실제로 모델의 관계가 산과 염기 개념을 해석하는데 영향을 줄 수 있었다.

**화학교사 2:** 제가 그린 모델의 관계 그림은 아레니우스의 산과 염기이면 무조건 그 물질은 브뢴스테드 로우리, 루이스 산, 염기이잖아요. 그래서 HCl, NaOH는 아레니우스 산과 염기니깐, 나머지 두 모델에서도 산, 염기이죠.

**화학교사 3:** 어. 좀 이상한 것 같아요. HCl이 아레니우스의 산이니까, 루이스의 산도 되어야 하는데, 전 HCl은 전자쌍을 받을 수가 없을 것 같아서 루이스 산이지 않을 것 같은데. 이거 제가 잘못 분류했나요?

Type A인 화학교사 3은 자신이 그린 모델의 확장적 포함 관계와 분류 사례가 일치하지 않은 것에 대해 인지감을 느꼈다. Type A에 속하는 교사들 중에서 상당수는 모델의 관계에 대한 인식을 근거로 산과 염기에 대한 개념을 해석하여 분류하는 경향을 보였으며, 이러한 과정에서 사고의 오류가 발생하였다.

앞의 이론적 틀에서 언급한 바와 같이 3가지 모델의 관계를 확장적 포함관계로 이해함에 따라 각 모델이 사용하는 개념 역시 포함관계로 오인할 수 있음을 언급하였는데, 실제로 많은 화학교사들은 3가지 모델이 사용하는 산, 염기의 개념을 포함관계로 해석하는 경향을 보였다. 모델마다 겉으로 사용하는 개념은 동일할 수 있으나 각 모델의 특성과 본질이 다르기 때문에 사용하는 개념의 의미는 상이하다. 동일한 개념의 미묘한 차이를 이해하는 것은 결국 그 개념을 사용하는 모델을 이해하는 것에서 시작된다. 하지만 본 연구의 화학교사들과 같이 확장적 포함관계로만 여러 모델을 이해하는 순간, 개념의 차이가 아닌 개념의 확장만 존재할 뿐이었다. 이러한 상황은 학생들의 사고에서도 일어날 수 있는 오류이다. 때문에 과학교육에서 어떠한 개념을 사용할 때 이 개념이 어떠한 모델에서 사용됨을 언급할 필요가 있으며, 개념의 의미는 모델이 바뀔 때 다르게 해석될 수 있음을 학생들에게 인지시켜야 한다. 특히 여러 모델을 다룰 때 각 모델간의 관계에 대한 각별한 주의가 필요하다.

## 결론 및 제언

본 연구는 산-염기 모델의 관계에 대한 화학교사의 인식이 각 모델에서 사용하는 개념을 해석하는데 어떠한 영향을 미치는지를 알아보았다. 많은 화학교사들은 Arrhenius 모델을 중심으로 한 확장적 포함 관계로 모델의 관계를 인식하고 있었다. 이러한 경향은 많은 교과서들이 확장적 포함 관계만을 제시하기 때문이었다. 또한, 화학교사들은 3가지 모델의 산, 염기 개념에 대해 동일한 정의를 진술하였으나, 실제적으로 산과 염기 물질을 판단하는 활동에서 다양한 해석이 존재하였다. 그리고 모델의 관계에 대한



인식이 해석에 영향을 미쳤다.

모델은 자연현상 그 자체는 아니며, 자연현상을 설명하기 위한 하나의 체제일 뿐이다.<sup>41</sup> 그러므로 모델이 자연 현상의 어떠한 부분을 잘 설명할 수 있으며, 어떠한 부분을 설명할 수 없는 지에 대해 인식하는 것은 매우 중요하다. 하지만 이 연구에서 살펴본 바와 같이 여러 모델들의 관계를 확장적 포함 관계만으로 인식하게 되면, 여러 모델을 배워야 하는 이유는 희석될 수밖에 없다.

각 모델은 동일한 자연을 보지 않는다.<sup>40</sup> 그것이 모델의 본성이다. Arrhenius 모델은 물을 기준으로 산과 염기를 분류하였다. 그래서 물은 산도 염기도 아닌 중성물질이다. 반면 Brønsted-Lowry 모델에서 양성자를 주고받는 모든 반응은 산-염기 반응이다. 따라서 반응에 참여하는 물은 상대적인 반응물에 따라 산이나 염기로 분류된다. 이처럼 각 모델은 설명하는 공통된 영역도 있지만, 서로 배타적인 영역도 있다.<sup>42</sup> 이 둘의 구별은 모델의 이해와 관련이 깊지만, 이를 지도하는 교사의 각 모델에 대한 이해 부족은 학생의 대안개념과 밀접한 관련이 있다. 학생의 대안개념을 해결하기 위해, 이를 지도하는 교사가 먼저 각 모델에 대한 다각적 모습을 이해하는 것이 선행되어야 할 것이다. 이러한 다각적 모델의 이해를 위해 선행되어야 할 것이 바로 모델간의 확장적 포함 관계에 대한 탈피이다. Wobbe and Albert<sup>43</sup>는 다양한 모델을 도입할 때 역사적으로 먼저 발견된 모델을 다룬 후, 이 모델의 특징 위에 새로운 모델의 특징을 덧붙이는 식으로 새로운 모델을 도입하려는 경향의 문제점을 지적하였다.

과학 모델마다 자연을 바라본 특별한 측면이 있다.<sup>42</sup> 따라서 여러 모델을 단순히 확장적 포함관계로 가르치는 것은 이러한 각 모델의 특별한 관점을 흐리게 만들 수 있다. 이 연구에서는 이러한 점을 확인하였다. 또한 화학교사들은 세 모델의 산, 염기 정의를 모두 동일하게 진술하지만, 실제적으로 물질을 분류할 때에는 해석이 다양하였다. 이는 과학교육에 시사 하는바가 크다. 교사는 교실에서 어떠한 개념을 정의하고 나서, 학생들이 그 개념에 대한 정의를 교사의 언어를 차용하여 되풀이 할 경우 교사는 학생들이 해당 개념을 학습하였다고 생각한다. 하지만 동일한 문장을 진술하여도 저마다 다른 해석이 존재할 수 있다. 그러므로 교사는 학생들에게 개념의 정의를 제시하는 것과 함께 이와 관련된 다양한 해석의 가능성을 인식하는 것이 중요하다. 때문에 각 모델들이 갖는 장점과 한계가 있음을 인식하는 것이 중요하다. 더불어 각 모델이 사용하는 개념이나 용어의 차이점을 모델의 특성과 본질에 기반을 두어 이해하는 것이 중요하다. 본 연구에서 모델의 관계를 다양하게 생각한 Type B와 C 교사는 교육을 통해 이러한 모델의 다양한 관계를 인식하였다. 따라서 교사 교육을 통

해 모델의 다양성에 대한 인식은 충분히 교사들에게 받아들여질 수 있을 것이다. 그러므로 모델의 본성에 대한 교육은 앞으로 예비 화학교사를 양성하는 교육과정에 반영되어야 할 것이다.

본 연구는 산-염기 모델을 고등학교에서 가르치는 화학교사를 대상으로 모델을 어떻게 이해하고 있는 지에 대한 연구를 하였다. 그렇기 때문에 다루는 모델의 범위는 Arrhenius, Brønsted-Lowry와 Lewis 모델로 한정하였다. 이후 연구에서는 더 넓은 범위까지 모델에 대한 이해를 확장시켜서 다양한 모델의 존재에 대한 인식을 보다 풍부하게 알아 볼 수 있을 것이다.

**Acknowledgments.** Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

## REFERENCES

1. Won, J. A.; Gwak, J. R.; Park, Y. N.; Paik, S. H. *Kor. J. Teach. Educ.* **2010**, *26*, 65.
2. Kim, S. K.; Park, C. Y.; Choi, H.; Park, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2017**, *61*, 65.
3. Kolb, D. *J. Chem. Educ.* **1978**, *55*, 459.
4. Drechsler, M.; Schmidt, H. *J. Sci. Educ. Int.* **2005**, *16*, 39.
5. Kim, S. K.; Park, C. Y.; Choi, H.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2018**, *62*, 279.
6. Cokelez, A. *J. Chem. Educ.* **2010**, *87*, 102.
7. McClary, L.; Talanquer, V. *J. Res. Sci. Teach.* **2011**, *48*, 396.
8. Nakhleh, M. B. *J. Chem. Educ.* **1994**, *71*, 495.
9. Drechsler, M.; Schmidt, H. *J. Chem. Educ. Res. Pract.* **2005**, *6*, 19.
10. Sisovic, D.; Bojovic, S. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2000**, *1*, 263.
11. National Research Council. *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press: Washington, DC, 2012.
12. Kim, M. Y.; Kim, H. K. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2007**, *27*, 379.
13. Oh, P. S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2007**, *27*, 645.
14. Oh, P. S.; Oh, S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2011**, *31*, 128.
15. Cha, J. H.; Kim, Y. H.; Noh, T. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2004**, *48*, 638.
16. Ha, J. H.; Lee, H. J.; Kang, S. J. *J. Gifted/Talented Educ.* **2009**, *19*, 187.
17. Zangori, L.; Peel, A.; Kinslow, A.; Friedrichsen, P.; Sadler, T. D. *J. Res. Sci. Teach.* **2017**, *54*, 1249.
18. Gilbert, J. K. Visualization: An emergent field of practice and enquiry in science education. In *Visualization: Theory and practice in science education*, Springer: 2008; pp. 3-24.

19. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, *20*, 83.
20. Magnani, L.; Casadio, C.; Magnani. *Model-based reasoning in science and technology*, Springer: 2016; pp. 639-661.
21. Ruppert, J.; Duncan, R. G.; Chinn, C. A. (2017). Disentangling the role of domain-specific knowledge in student modeling. *Research in Science Education*, 1-28.
22. Kim, S. H.; Park, C. Y.; Choi, H.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2018**, *62*, 226.
23. Treagust, D. F.; Chittleborough, G. D.; Mamiala, T. L. *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 357.
24. NGSS. Next Generation Science Standards: For state, By states. NGSS Lead States: U.S.A., 2013.
25. Portides, D. P. *Sci. Educ.* **2007**, *16*, 699.
26. Windschitl, M.; Thompson, J.; Braaten, M. *Sci. Educ.* **2008**, *92*, 941.
27. Lehrer, R.; Schauble, L. *J. Appl. Dev. Psycho.* **2000**, *21*, 39.
28. Mislevy, R. J.; Haertel, G.; Riconscente, M.; Rutstein, D. W.; Ziker, C. Design patterns for model-based reasoning. In *Assessing model-based reasoning using evidence-centered design*, Springer: 2017; pp. 25-29.
29. Carr, M. *Res. Sci. Educ.* **1984**, *14*, 97.
30. Oxtoby, D. W.; Gillis, H. P.; Butler, L. J. *Principles of modern chemistry*, 7th ed.; Cengage Learning: 2015; pp. 670-676.
31. Zumdahl, S. S.; DeCoste, D. J. *Chemical principles*, 8th ed.; Nelson Education: 2012; p.679.
32. Brown, T. L. *Chemistry: the Central Science*, 4th ed.; Pearson Education: 2009; pp. 692-693.
33. Noh, T. H.; Choi, S. S.; Kang, S. J.; Lee, S. Y.; Bae, B. I.; Go, S. Y.; Ju, Y.; Choi, S. Y. *Chemistry I*, Chunjae Press: Seoul, 2011; p.218.
34. Hawkes, S. J. *J. Chem. Educ.* **1992**, *69*, 542.
35. Shaffer, A. A. *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1746.
36. Paik, S. H. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 1484.
37. Chang, H. S. *Is water H<sub>2</sub>O*. Springer: London, 2012; pp. 253-276.
38. Creswell, J. W.; *Qualitative Inquiry and Research Design: Choosing Among Five Approaches*, Sage Publications, Inc: 2013; pp. 243-268.
39. Creswell, J. W.; Miller, D. L. *Theory into Pract.* **2000**, *39*, 124.
40. Giere, R. N.; Bickle, J.; Mauldin, R. *Understanding Scientific Reasoning*, Cengage learning: 2006; pp. 11-57.
41. Seroglou, F.; Koumaras, P. *Sci. Educ.* **2001**, *10*, 153.
42. Duschl, R. A.; Schweingruber, H. A.; Shouse, A. W. *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*, National Academies Press: Washington, DC, 2007; pp. 168-185.
43. de Vos, W.; Pilot, A. *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 494.