

## 인식론 및 존재론적 관점에서 두 유형의 산·염기 모델에 대한 화학 교사들의 인지 수준 분석

류은주 · 백성혜\*,†

신탄진고등학교

\*한국교원대학교 화학교육과

(접수 2020. 4. 20; 게재확정 2020. 5. 24)b

## Analysis of Chemistry Teachers' Cognitive level related to Two Types of Acid-Base Models based on Epistemological and Ontological viewpoint

Eun-Ju Lyu and Seoung-Hey Paik\*,†

Shintanjin High School, Daejeon 34308, Korea.

†Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea.

\*E-mail: shpaik@knue.ac.kr

(Received April 20, 2020; Accepted May 24, 2020)

**요 약.** 본 연구에서는 중등학교에서 가르치는 두 유형의 산·염기 모델에 대한 화학 교사들의 인지 수준을 분석하였다. 이를 위하여 각 모델이 가지는 ‘이그노런스’를 분석한 선행 연구를 토대로, 교사들의 인지를 알아보는 설문을 개발하였다. 설문은 두 모델에 대한 불일치 상황을 제시한 산과 염기 반응에 관련된 문항과 산과 염기 해리와 관련된 문항 등 2문항이었다. 연구 대상자는 15명의 화학 교사들이었으며, 설문 분석 결과, 4가지 수준으로 교사의 인지가 분석되었다. 4가지 수준은, 모델을 모르는 경우, 한 모델만 이해하는 경우, 두 모델을 이해하고, 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 경우, 두 모델을 이해하고 두 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 경우였다. 가장 큰 비율의 교사들은 두 모델을 이해하고, 한 모델의 ‘이그노런스’를 인지하는 경우였다. 그러나 두 모델을 이해하고 두 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 경우의 비율은 매우 적었다. 이를 통해 모델과 ‘이그노런스’에 대한 화학 교사들의 인지 수준을 높이기 위한 노력이 필요함을 주장하였다.

**주제어:** 산·염기 모델, 화학 교사, 이그노런스, 모델의 인지

**ABSTRACT.** This study analyzed the level of chemistry teachers' cognition related to two types of acid-base models taught in secondary schools. For the purpose, a questionnaire was developed to identify teachers' cognitions based on previous studies that analyzed the ‘Ignorance’ of each model. The questionnaire consisted of two items, one related to acid and base reactions and one related to acid and base dissociation, which suggested inconsistencies between the two models. The subjects were 15 chemistry teachers, and as a result, teachers' cognitions were analyzed at four levels. The four levels are: if they don't know the two models, if they only understand one model, if they understand the two models, and perceived the ‘Ignorance’ of one model, and if they understand the two models and perceived the ‘Ignorance’ of the two models. The largest proportion of teachers understood the two models and perceived the ‘Ignorance’ of one model. However, the proportion of understanding the two models and perceiving the ‘Ignorance’ of the two models was very small. Through this, we argued that efforts to increase the level of chemistry teachers' cognition of the model and ‘Ignorance’ were necessary.

**Key words:** acid-base models, chemistry teacher, Ignorance, cognitions related to model

### 서 론

Chang<sup>1</sup>에 따르면 모델은 무질서하고 불규칙한 자연 현상에서 일부 선택하여 단순화 시킨 것으로 과학자들이 만들어낸 가공물이다. 이러한 모델은 각 개별의 여러 속성 중에서 공통된 속성을 추출하는 모델링을 거치게 된다. 이

때 모델링에서 선택하지 않고 무시하는 부분이 발생하게 되며, 모델의 설명 범위가 넓을수록 선명하게 밝힐 수 없는 회색 영역이 넓어지는데, 이를 ‘이그노런스(Ignorance)’라고 명명하였다. 또한 Firestein<sup>2</sup>에 의하면 ‘이그노런스’란 지식이 없는 상태가 아닌 지식의 특정한 상태를 말하는 것으로 관련된 자료가 없거나 혹은 기존의 자료와 맞지 않고

일관된 설명으로 이어지지 않는 경우를 말한다. 과학 교육에서 이러한 ‘이그노런스’를 중요시 해야 하며 다루는 방법을 가르쳐야 한다고 주장하였다. 그리고 Smithson<sup>3</sup>과 Edwards<sup>4</sup>도 역시 ‘이그노런스’의 중요성을 주장하였다. 이처럼 선행 연구에서 ‘이그노런스’의 가치에 주목하고 있으며 모델이 갖는 본성으로 다루어질 필요가 있다.

모델이 갖는 ‘이그노런스’를 지각하는 것은 모델링 과정에서 중요하다.<sup>5</sup> 모델링은 학생들이 가진 정신 모델(Mental Model)을 과학적으로 인정되는 개념 모델(Conceptual Model) 또는 표현된 모델(Expressed Model)로 발전시키는 것이다.<sup>5-9</sup> 또한 어떠한 자연 현상에 물음을 갖고 이 현상에 대해 자신이 알고 있는 지식을 이용하여 자신만의 모델을 생성한 후, 모델의 검증 과정을 거치면서 자신의 모델을 평가하여 개선된 모델을 다시 구성하는 일련의 과정이다.<sup>10-14</sup> 이러한 모델링 과정에서 모델을 통한 예측이 이루어지는데 실제로 모델이 예측하는 상황과 틀리는 경우가 빈번하게 발생한다. 이때 모델이 가진 ‘이그노런스’가 드러난다. 모델이 갖는 ‘이그노런스’는 모델의 검증, 평가, 재구성 및 적용 과정에서 모델의 한계와 함께 지각될 수 있으며, 모델링을 통해 모델을 이해하는 데 큰 영향을 미친다. Lehrer와 Schauble<sup>15</sup>에 의하면 모델링을 통해 학생들은 능동적으로 자신의 모델을 발전시켜 과학 지식을 형성하게 되고 과학 지식의 본성을 이해하게 되어 과학 지식의 생성과 평가를 할 수 있다고 보았다. 또한, 학습자는 모델의 기본적 가정을 수정하는 과정을 반복적으로 거치면서 학습한다고 보았다.<sup>16</sup> 따라서 모델링을 통해 모델의 이해가 높아지고 이때 ‘이그노런스’를 지각하는 것은 모델 인지에 중요한 역할을 한다고 볼 수 있다.

하지만 모델링 과정에서 ‘이그노런스’의 가치와 의미를 강조하는 교육은 명시적으로 드러나지 않는다. 오히려 ‘이그노런스’를 지식이 없는 ‘무식’의 부정적 의미로 이해하는 경향이 크다. 이는 과학 본성의 한 부분을 제대로 이해하지 못함으로써 발생하는 문제이다. 따라서 ‘이그노런스’를 모델의 특징 중 하나로 받아들이고 이해하는 과정이 모델링을 다루는 수업에 포함되어야 한다. 최근 Anat과 Sharona<sup>17</sup>는 화학 교육에서 화학 결합에 대한 모델이 갖는 ‘이그노런스’를 드러내는 모델링 교육이 중요함을 주장하였다. 즉, 그들은 화학 결합에서 인력만을 강조하며, 인력 모델의 ‘이그노런스’에 해당하는 ‘척력’ 개념을 명시적으로 드러내지 않은 것을 문제점을 제시하였다. 또한, 인력과 척력을 동시에 제시함으로써 화학 결합의 개념을 학생들이 이해하는 수준을 높여야 한다고 주장하였다. 이는 과학의 본성 측면에서 보았을 때 과학교육에서 ‘이그노런스’를 줄이는 방향이 아니라, 모델의 가치를 인식시키기 위하여 ‘이그노런스’를 명시화하는 방향으로 나아가야 할 필요성을 주장한 것이다.

본 연구에서 이그노런스(Ignorance)는 두 가지 관점으로 다루고 있다. 인식론적 관점에서 볼 때, 부정적인 의미인 무식 혹은 무지로 받아들이기보다, 학습의 출발이라고 할 수 있는 메타인지(meta-cognition) 관점에서 ‘자신이 모르고 있다’는 것을 아는 것을 의미한다. 즉 인식론적 관점에서 ‘자신이 모르고 있다’는 것을 아는 것은 매우 중요하며<sup>18</sup> 교사와 학생의 인식에 초점이 맞추어진다. 반면 존재론적 관점에서 ‘이그노런스’는 모델이 가지는 개념적 한계에 초점을 둔 것으로 모델의 본성을 이해하는데 중요한 요소이다.

화학 교과서에서 가장 중요하게 다루는 개념 중 하나인 산-염기 개념은 다른 개념과 달리 같은 현상을 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델로 제시하고 있다. 따라서 다른 개념과 달리, 한 모델의 한계를 통해 다른 모델의 ‘이그노런스’를 지각할 수 있는 좋은 조건을 가지고 있다. 산-염기의 모델은 오랜 역사를 거치면서 발달되어 왔는데, 대상 범위의 확대에 따른 산-염기 개념의 확장으로 보는 시각이 주를 이루고 있다. 예를 들어 선행 연구<sup>19</sup>에 따르면, 산-염기 모델을 거시적 모델, 전기적 해리 모델, 양성자 이동 모델 등으로 구분하여 물질과 중화에 관련된 개념을 점차 개념이 발달하면서 확정되는 관점에서 제시하였다. 그러나 이러한 모델이 가지는 존재론적 한계에 대한 분석은 제시되지 않았다. 선행 연구<sup>20</sup>에 따르면 존재론적 관점에서 모델의 발달은 개념의 확장과는 다른 의미를 가진다. 따라서 이 연구에서는 교사들이 대상의 인지 과정에서 오개념을 가지거나 모르는 경우와 같은 인식론적 관점에서의 이해 뿐 아니라, 산-염기 모델 자체가 가지는 ‘이그노런스’에 대한 존재론적 관점의 지각(perception)을 포함하여 산-염기 모델에 대한 교사들의 인지(cognition) 수준을 알아보고자 한다.

선행 연구<sup>5</sup>에서 화학 I, II 교과서가 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델로 산-염기 개념을 설명하는데, 한 모델로 설명할 수 있는 사례만을 제시하면서 그 모델의 한계를 설명하지 않았다는 것을 문제점으로 지적하였다. 그리고 두 모델로 동일한 개념을 설명할 때, Arrhenius 모델로 설명할 수 있는 사례와 함께 설명할 수 없는 비사례를 함께 제시하여 Arrhenius 모델의 한계와 함께 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’가 드러나도록 제시하는 것이 필요하다고 주장하였다. 즉 교과서는 모델이 갖는 한계와 ‘이그노런스’가 드러날 수 있는 사례와 비사례를 함께 제시하여, 학생들이 명시적으로 모델이 갖는 ‘이그노런스’를 지각할 수 있도록 도울 필요가 있다. 이는 각 모델의 이해를 상충시켜서 혼란을 유발하기보다, 각 모델의 한계를 인식하여 모델의 특성을 보다 선명하게 이해시키는 데 도움을 주기 때문이다.

사례와 비사례를 동시에 제시하는 것이 교육적으로 효

과가 있음을 언급한 선행 연구<sup>21</sup>는 모델의 이해에서도 적용된다. 즉 모델이 설명할 수 없는 비사례를 통해 모델이 갖는 ‘이그노런스’를 지각하도록 하는 것은 모델을 명료히 이해하고 학습의 효과를 높이는 데 중요한 역할을 할 것이다. Gagne(1965)도 개념의 표상을 확실하게 이해하기 위하여 충분히 많은 예가 제시되어야 하며, 이때 제시되는 예들은 일관성 있는 속성과 일관성이 없는 속성으로 구분하고, 학습의 효과를 높이기 위해 여러 유형의 사례들을 다양한 상황에 적용할 수 있어야 한다고 하였다.<sup>22,23</sup> 여기서 일관성 없는 속성의 예가 바로 모델의 ‘이그노런스’를 지각할 수 있게 하는 비사례에 해당한다.

자연 현상을 설명하기 위한 모델을 이해할 때, 모델이 갖는 한계를 이해하고 모델의 ‘이그노런스’까지 지각하는 것은 높은 수준의 모델 이해 단계로 메타적 이해라고 할 수 있다. 즉 모델이 갖는 전제, 특징, 한계는 각 모델을 개별적으로 이해할 때보다 모델들을 메타적으로 인지할 때 더 분명해진다. 따라서 모델에 대한 메타적 인지를 위해서는 모델의 ‘이그노런스’를 모델링 과정에서 지각될 수 있도록 안내할 필요가 있다. 그러기 위해서는 무엇보다 모델을 가르치는 과학 교사가 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 것이 선행되어야 한다. 하지만 과학 모델에 대한 이해는 대학생뿐만 아니라 심지어 이를 가르치는 과학 교사까지도 매우 부족하다.<sup>24</sup> 선행 연구<sup>5</sup>에 따르면 교과서 및 교사용 지도서 대부분의 설명에서 각 모델이 설명할 수 없는 부분을 한계로 드러내기보다는, 모델로 설명할 수 있는 범위까지만 한정하여 제시하고 있었다. 따라서 교사들이 교과서와 교사용 지도서를 통해 모델의 ‘이그노런스’를 명확하게 지각하고 학생들에게 이를 지도할 기회를 얻기 어려울 것이다. 이러한 문제 인식에서 출발하여 본 연구에서는 화학 교사들이 중등학교에서 다루는 두 유형의 산-염기 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 수준을 분석해 보고자 하였다.

## 연구 방법

### 연구 대상

연구 대상자는 현재 대학원 석사 과정에 다니는 화학 전공 교사 15명이었다. 이 중 중학교에 근무하는 교사는 5명, 고등학교에 근무하는 교사는 10명이었으며, 교육 경력은 1년에서 9년으로 다양하였다. 특히 교육 경력이 5년 이내인 교사가 9명으로 젊은 화학 교사들이 대부분이었다. 이들은 대학교에서 화학 내용학을 이수한 지 오래되지 않았기 때문에, 비록 중학교에 근무한다고 해도 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델에 대한 지식은 충분히 가지고 있다고 판단하였다. 또한, 중학교에 근무한 교사 5명 중 한 명은 고등학교에 근무한 경험이 있었기 때문에, 이 연구에 참여한 연구 대상자 중에 고등학교에서 화학을 가르친 경험이 있는 교사는 총 11명(73.3%)이었다.

### 문항 개발

Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델로 설명되는 현상에서 교사들이 가지는 모델의 인지 수준을 분석하기 위하여 불일치 상황을 제시하였다. 주어진 산과 염기 반응과 해리에 관련된 현상에서 Arrhenius 모델의 불일치 상황이 발생하면, 이는 주어진 현상에 대한 Arrhenius 모델의 한계를 보여주는 것이지만, 그럼에도 불구하고 이 현상은 Arrhenius 모델로만 제시한다는 것을 교사들에게 제시함으로써 다른 모델인 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’를 교사들이 지각할 수 있는지 알아본 것이다. 또한, 주어진 현상을 Brønsted-Lowry 모델로 설명할 때 불일치 상황이 발생하면, 이와 같은 논리로 Arrhenius 모델의 ‘이그노런스’를 드러내는 것으로 보았다. 이러한 관계를 Table 1에 정리하여 제시하였다.

교사들의 모델에 대한 인지 수준을 알아보기 위해 산-염

**Table 1.** The relationship between the inconsistency of each model in the phenomenon and the ‘Ignorance’

Selected phenomenon		Context	Ignorance
The phenomenon could be explained by Arrhenius model & Brønsted-Lowry model		Inconsistency when applying Arrhenius model	Brønsted-Lowry model
		Inconsistency when applying Brønsted-Lowry model	Arrhenius model

**Table 2.** Judgement criteria of Ignorance of the models for inconsistency contexts of acid-base reaction and dissociation phenomena

Item	Phenomenon	Ignorance	Criteria
1	Reaction of acids and bases	Brønsted-Lowry model	- Can the Arrhenius model explain the quantitative relationship ( $nMV=n'M'V'$ ) in the neutralization reaction of weak acids and strong bases? <sup>25</sup>
		Arrhenius model	- Can the Brønsted-Lowry model explain the pH of solution after strong acid and strong base reaction? <sup>26,27</sup>
2	Dissociation of acids and bases	Brønsted-Lowry model	- Can the Arrhenius model explain that ionization degree of strong acids or strong bases is less than 1 in a dilute aqueous solution? <sup>28,30-34</sup>
		Arrhenius model	- Can the ionization constants of strong acids and strong bases be explained by the Brønsted-Lowry model, which assumes a reversible reaction? <sup>28,29,33,34</sup>

기 모델로 설명될 수 있는 화학 현상으로 산과 염기의 반응에서는 중화 반응의 양적 관계 적용과 혼합 용액의 pH, 산과 염기의 해리에서는 이온화도와 이온화 상수와 관련된 불일치 상황을 선정하였다. 그리고 선택한 현상과 관련하여 각 모델이 가지는 한계에 대해 논의한 선행 연구들을 분석하였다. 분석 결과로부터 개발한 문항별 분석 기준을 Table 2에 제시하였다.

1번 문항은 산과 염기의 반응 현상에서 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’에 대한 지각을 알아보는 것이다. 이와 관련하여 Wobbe & Albert<sup>25</sup>는 강산과 강염기가 관여하는 경우에 적용되는  $nMV = n'M'V$  '라는 공식을 약산 또는 약염기가 관여하는 중화 반응에 그대로 적용하는 것의 문제점을 지적하였다. 즉, 중화 반응의 양적 관계에 대한 설명은 Arrhenius 모델의 관점이며, Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’에 해당한다. 따라서 이를 근거로 Arrhenius 모델의 불일치 상황을 통해 Brønsted-Lowry 모델의 이그노런스를 지각하였는지를 판단하는 기준으로 ‘약산과 강염기의 반응에서 중화 반응의 양적 관계( $nMV = n'M'V$ )를 Arrhenius 모델로 설명할 수 있는가?’를 제시하였다. Carr<sup>27</sup>은 약산과 약염기가 관여하는 반응에서 반응 후 용액의 pH를 Arrhenius 모델로 설명하는데 어려움이 있음을 언급하였다. 용액의 pH는 물과의 반응을 전제하므로 Brønsted-Lowry 모델 관점으로 설명되어진다. 강산과 강염기의 반응은 비가역 반응이고 용액의 액성은 중성으로 가역반응을 가정하는 Brønsted-Lowry 모델로 설명하는데 불일치 상황이며 Arrhenius 모델의 ‘이그노런스’를 지각할 기회를 제공한다. 따라서 이를 근거로 Brønsted-Lowry의 불일치 상황을 통해 Arrhenius 모델의 이그노런스를 지각하였는지를 판단하는 기준으로 ‘Brønsted-Lowry 모델을 이용하여 강산과 강염기의 반응에서 생성된 용액의 pH를 설명할 수 있는가?’를 제시하였다.

2번 문항은 산과 염기의 해리와 관련된 현상에서 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’에 대한 지각을 알아보는 것이다. 이와 관련하여 이온화도와 관련된 선행 연구<sup>30-34</sup>에서 강산의 이온화도는 수용액 상태의 매우 묽은 농도에서 ‘100% 해리한다.’ 혹은 ‘1이다.’라고 설명한다. 또한 일반화학 교재<sup>28</sup>에서도 강산은 물에서 완전히 이온화하여 수용액에서 분자 상태로 존재하지 않는다고 설명하고 있다. 여기서 이온화도는 용매인 물에서의 해리도를 의미하며 해리 과정은 비가역 반응으로 Arrhenius가 제시한 개념이다.<sup>30,34</sup> 따라서 이 설명은 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’에 해당한다. 따라서 이를 근거로 Arrhenius 모델의 불일치 상황을 통해 Brønsted-Lowry 모델의 이그노런스를 지각하였는지를 판단하는 기준으로 ‘강산과 강염기는 묽은 수용액에서 이온화도가 1보다 작다는 것을

Arrhenius 모델로 설명할 수 있는가?’를 제시하였다. 이온화 상수 개념은 가역반응을 전제하는 Brønsted-Lowry 모델로 설명되는 개념이며, Arrhenius 모델로는 설명할 수 없는 개념이다. 그러나 강산과 강염기의 경우 이온화 상수의 분모에 해당하는 반응물의 농도가 거의 0에 가까워서 이온화 상수로 표현할 수 없다.<sup>33,34</sup> 또한 일반 화학 교재<sup>28,29</sup>에서도 동일하게 제시하고 있다. 따라서 강산과 강염기의 이온화 상수를 Brønsted-Lowry 모델로 설명하는 과정에서 불일치 상황을 만나게 된다. 그리고 이러한 Brønsted-Lowry 모델의 불일치 상황은 Arrhenius 모델로 이온화 상수 개념을 설명할 수 없다는 ‘이그노런스’를 지각하는 기회를 제공해 준다고 가정하였다. 따라서 이를 근거로 Brønsted-Lowry 모델의 불일치 상황을 통해 Arrhenius 모델 이그노런스를 지각하였는지를 판단하는 기준으로 ‘강산과 강염기의 이온화 상수를 가역반응을 전제하는 Brønsted-Lowry 모델로 설명할 수 있는가?’를 제시하였다.

개발한 설문지의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 4차에 걸쳐 설문지를 개발하였다. 1차로 화학 교육으로 박사학위를 받고 교수로 활동하는 1인과 박사 과정 1인이 교과서 분석 결과를 바탕으로 설문지 문항을 개발하였고, 2차로 화학 교육 전문가, 박사 과정, 화학 교육 전공자 3인이 검토하여 수정하였다. 3차로 화학 교육 전문가 및 과학교육 분야 전문가를 포함한 전문가 집단의 교차 검토를 진행하고 이를 반영하여 수정하였다. 4차로 현직 화학 및 과학 교사 5인에게 사전 검사를 시행한 후, 연구자의 해석과 실제 설문에 응답한 화학 교사들의 생각이 일치하는지를 확인하는 최종 절차를 거쳐 설문지를 완성하였다. 이처럼 설문을 4차에 걸쳐 수정하고 보완한 것은 교사들이 모델의 한계와 ‘이그노런스’까지 지각하는 모델의 메타적 인지의 경험이 많지 않아 문항의 의도를 명료하게 전달하기 위한 것이었다.

설문에 앞서 Arrhenius 모델은 수용액에서 수소 이온( $H^+$ )을 내놓는 물질은 산이고, 수산화 이온( $OH^-$ )을 내놓는 물질은 염기라는 정의를 소개하였다. 이때 수용액 상태의 산과 염기가 반응할 때, 산의  $H^+$ 와 염기의  $OH^-$ 가 만나 비가역 반응으로 물이 생성되는 반응을 중화 반응이라고 안내하였다. 그리고 Brønsted-Lowry 모델은  $H^+$ 을 주는 물질을 산,  $H^+$ 을 받는 물질을 염기라는 정의를 소개하였다. 이때 산과 염기가 반응할 때,  $H^+$ 을 주거나 받아 짝산-짝염기를 생성하는 가역반응을 산-염기 반응이라고 안내하였다. 이처럼 모델의 정의를 사전 안내한 것은 교사들이 산과 염기의 정의를 다르게 이해함으로써 설문의 응답이 달라지는 문제를 해결하기 위한 것이다. 문항은 현상마다 모델의 불일치 상황을 제시하여 그로 인해 모델의 한계와 다른 모델의 ‘이그노런스’를 지각할 수 있도록 구체적으로 제시하였다.

### 분석 기준

교사들의 응답 중에서 설문에 제시된 각 모델의 정의를 그대로 용어 반복하거나, 무응답 한 경우에는 그 모델에 대한 이해가 없는 것으로 판단하였다. 또한, 비가역 반응으로 설명할 수 있다고 응답한 경우에는 Arrhenius 모델을 이해한 것으로 판단하였다. 그리고 가역반응으로 설명할 수 있다고 응답한 경우에는 Brønsted-Lowry 모델을 이해하는 것으로 분석하였다. 또한, 설문 문항에서 제시한 상황이 해당 모델에 대한 불일치 상황임을 깨닫고 설명할 수 없다고 답하였으면 ‘이그노런스’를 지각한 것으로 분석하였다. 구체적으로 1번 문항과 2번 문항에서 Arrhenius 모델을 이해한 경우와 ‘이그노런스’를 지각한 경우, Brønsted-Lowry 모델을 이해한 경우와 ‘이그노런스’를 지각한 경우를 Table 3과 Table 4에 정리하여 제시하였다.

이때 모델을 이해한다는 것과 모델의 불일치 상황을 깨닫는 것은 다르다. 모델을 이해한다는 것은 주어진 상황에 맞게 모델의 정의를 적용하여 일관성 있게 설명할 수 있다고 인지하는 것으로 판단하였다. 그러나 모델의 불일치 상황을 깨달으면 주어진 상황에서는 모델을 적용할 수 없다는 것을 인지하는 것으로 판단하였다.

최종 완성된 설문지를 현직 화학 교사 15명에게 투입한 후 설문 결과를 분석하였다. 응답자의 인지 수준을 심층적으로 파악하기 위하여, 설문 시행 후 15명의 교사들을 그룹으로 나누어 자신의 설문 응답 내용에 대하여 자유롭게 발표하도록 하고 녹음하여 전사하였다. 설문 결과는 질적 자료의 일반적인 분석법<sup>28</sup>에 따라 유목화를 하였다. 연구자가 설문 답변의 패턴을 탐색하여 1차로 유목화한 후에 과학철학 전문가 1인, 과학교육 전문가 1인 및 화학 교육 박사 1인이 교차검증을 하였으며, 과학교육 전문가 2인, 화학 교육 박사 과정 1인과 함께 유목화와 타당성을 검토하였다.

### 연구 결과 및 논의

#### 모델의 인지 I 수준

두 모델의 이해가 모두 없는 경우를 모델의 인지 I 수준으로 분석하였다. 1번 문항인 산과 염기의 반응과 관련된 현상에서는 약산과 강염기의 반응에 중화 반응의 양적 관계를 적용하는 상황과 강산과 강염기의 반응 후 염의 수용액이 중성이 되는 상황을 각 모델로 설명할 수 있는지 질

Table 3. Response example of Item 1

Analysis criteria		Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	Understanding	It can be explained that weak acid and strong base react the same mole to complete.	-
	Perception of inconsistency	It can not explained because reversible reactions occur.	-
Brønsted-Lowry	Understanding	-	The pH of the solution can be explained by the reversible reaction.
	Perception of inconsistency	-	Strong acid and strong base reactions are irreversible and cannot be explained.

Table 4. Response example of Item 2

Analysis criteria		Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	Understanding	This can be explained because some of the reactants remain.	-
	Perception of inconsistency	It can not explained because reversible reactions occur.	-
Brønsted-Lowry	Understanding	-	The value of ionization constant can be explained by the reversible reaction.
	Perception of inconsistency	-	Strong acid are irreversible and cannot be explained.

Table 5. Response example of level I in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	It is possible to explain because $H^+$ is given from $CH_3COOH$ and $OH^-$ is given from $NaOH$ .	-
Brønsted-Lowry	-	$H^+$ exchange process is well revealed, so it can be explained.

지 I 수준에 해당하는 교사 15의 응답 사례를 Table 5에 제시하였다.

교사 15는 설문에서 제시한 Arrhenius 모델의 산과 염기의 정의를 단순히 반복하여 진술하면서 양적 관계를 설명할 수 있다고 응답하였다. 마찬가지로 Brønsted-Lowry 모델의 정의를 단순 진술하였다. 이는 주어진 약산과 강염기 혹은 강산과 강염기의 상황에 대한 구체적인 설명이 포함되지 않았으므로, 두 모델에 대한 이해가 없다고 판단하였다.

2번 문항인 산과 염기의 해리와 관련된 현상으로 묶은 수용액 상태에서 강산의 이온화도가 1보다 작은 상황과 강산의 이온화 상수를 표현한 상황을 각 모델로 설명할 수 있는지를 알아본 문항에서도 교사 15는 두 모델에 대한 이해가 모두 부족한 것으로 분석되었다. 교사 15의 응답 사례는 Table 6에 제시하였다.

교사 15는 설문 문항이 다름에도 불구하고, 강산과 강염기가 반응한 후 액성을 묻는 문항과 강산의 이온화 상수 값을 표현할 수 있는지 묻는 문항에서 동일하게 ‘H<sup>+</sup>가 주고받는 과정이 잘 드러나므로 설명 가능하다.’고 응답하여 Brønsted-Lowry 모델에 대한 이해도 없는 것으로 판단하였다.

#### 모델의 인지 II 수준

두 모델 중에서 한 모델에 대해서만 이해하는 수준을 모

델의 인지 II 수준으로 분류하였다. 1번 문항에서 교사 12는 Arrhenius 모델은 이해하고 있지만, Brønsted-Lowry 모델은 이해하지 못하는 것으로 분석되었다. 교사 12의 응답 사례를 Table 7에 제시하였다.

교사 12는 약산과 강염기에서 양적 관계에 약산과 강염기가 같은 양 반응하기 때문에 Arrhenius 모델을 적용할 수 있다고 응답하였다. 이는 Arrhenius 모델 관점의 양적 관계를 이해한 것으로 판단할 수 있다. 하지만 수소 이온이 이동하므로 Brønsted-Lowry 모델로 강산과 강염기의 반응 후 pH를 설명할 수 있다고 응답한 것은 단순히 Brønsted-Lowry 모델의 정의를 재진술한 것으로 보고, Brønsted-Lowry 모델을 이해하지 못한 것으로 판단하였다.

또한, Arrhenius 모델은 이해하지 못하고, Brønsted-Lowry 모델만 이해하는 경우도 나타났다. 이에 해당하는 교사 1의 응답 사례를 Table 8에 제시하였다.

2번 문항에서도 Arrhenius 모델에 대해 이해하고 있지만, Brønsted-Lowry 모델에 대해 이해가 부족한 경우에 해당하는 교사 3의 응답 사례를 Table 9에 제시하였다. 교사 3은 수소 이온을 내놓으므로 용액의 pH를 설명할 수 있다고 응답하여 Brønsted-Lowry 모델에 대한 이해가 부족한 것으로 판단하였다.

또한, 교사 3과는 달리 Arrhenius 모델에 대한 이해가 부족하고, Brønsted-Lowry 모델에 대해 이해하는 경우도 나

**Table 6.** Response example of level I in Item 2 of dissociation of acids and bases

Model	Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	I don't know.	-
Brønsted-Lowry	-	H <sup>+</sup> exchange process is well revealed, so it can be explained.

**Table 7.** Response example of level II in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	If H <sup>+</sup> and OH <sup>-</sup> give the same amount, a quantitative relationship can be explained.	-
Brønsted-Lowry	-	As H <sup>+</sup> moves, the pH of the solution can be explained.

**Table 8.** Response example of level II in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	No response	-
Brønsted-Lowry	-	The pH of strong acid and strong base reactions can be explained by dynamic equilibrium.

**Table 9.** Response example of level II in Item 2 of dissociation of acids and bases

Model	Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	It can be explained that if only part of the reaction (HA → H <sup>+</sup> <sub>(aq)</sub> + A <sup>-</sup> <sub>(aq)</sub> ) proceeds.	-
Brønsted-Lowry	-	Since H <sup>+</sup> is released, the pH of the solution can be explained.

**Table 10.** Response example of level II in Item 2 of dissociation of acids and bases

Model	Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	No response	-
Brønsted-Lowry	-	It can be explained because it is a reversible reaction expressed by donor- acceptor of $H^+$ .

타났다. 이에 해당하는 교사 9의 응답 사례를 Table 10에 제시하였다.

교사 9는 면담에서 강산의 이온화 상수를 설명할 수 있는 이유로  $H_3O^+$ 와 물의 자동이온화의 개념을 제시하였는데, 이 설명은 Brønsted-Lowry 모델의 관점으로 분석할 수 있다.

강산의 이온화 상수는 식에 있는  $H_3O^+$ 와 물의 자동이온화를 통해 나오는  $OH^-$ 가 있으므로 Brønsted-Lowry 모델로 설명할 수 있다고 생각했다.

(교사9 면담 중에서)

따라서 면담을 통해서 교사 9가 Brønsted-Lowry 모델의 관점을 이해하고 있음을 추가로 확인할 수 있었다.

### 모델의 인지 III 수준

두 모델을 이해하고, 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각한 경우를 모델의 인지 III 수준으로 분류하였다. 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각한다는 것은 두 모델을 모두 이해한 다음에 가능하므로, 모델의 인지 III 수준부터는 두 모델에 대한 이해를 모두 가정하였다.

1번 문항에서 교사 8은 두 모델에 대해 모두 이해하고 있으며, Arrhenius 모델의 불일치 상황을 깨달아 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’만 지각하는 경우로 분석되었다. 교사 8의 응답 사례를 Table 11에 제시하였다.

교사 8은 면담에서 다음과 같이 응답하여, 약산과 강염기의 중화 반응에서 양적 관계는 Arrhenius 모델의 불일치 상황을 깨닫고 있었으며, 따라서 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’를 지각한 것으로 분석하였다.

중화 적정 단원에서 중화 반응의 양적 관계식이 비가역을 전제한다는 것이 교과서나 지도서에 명시적으로 나와 있지 않기 때문에 항상 고민하였고(중략) 그래서 시험 문제에서는 강산과 강염기의 경우만 문제를 냈다.

(교사8 면담 중에서)

한편, 교사 9는 두 모델을 이해하고, Brønsted-Lowry 모델의 불일치 상황을 깨닫고 Arrhenius 모델의 ‘이그노런스’를 지각한 경우로 분석되었다. 교사 9의 응답 사례를 Table 12에 제시하였다.

2번 문항에서 교사 8은 두 모델을 이해하고, Arrhenius

**Table 11.** Response example of level III in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	It cannot be explained because the acid and base reacted in the same amount and the reverse reaction occurred again.	-
Brønsted-Lowry	-	It can be explained if the equilibrium is not biased to one side.

**Table 12.** Response example of level III in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	This can be explained because the number of moles of $H^+$ and $OH^-$ is important.	-
Brønsted-Lowry	-	The pH of the solution cannot be explained by irreversible reactions.

**Table 13.** Response example of level III in Item 2 of dissociation of acids and bases

Model	Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	It cannot explained because strong acid is 100% dissociated.	-
Brønsted-Lowry	-	The forward reaction in the equilibrium state is predominant, so it can be explained that the ionization constant value is large.

모델의 불일치 상황을 깨닫고, Brønsted–Lowry 모델의 ‘이그노런스’를 지각한 경우로 분석되었다. 교사 8의 응답 사례를 Table 13에 제시하였다.

교사 8은 Arrhenius 모델의 불일치 상황을 깨닫고 있었기 때문에, 교과서에서 강산의 이온화도 값이 다양하게 제시되는 것을 혼란스럽게 생각하였다. 이러한 교사의 혼란으로부터 교사용 지도서에 각 모델로는 설명하기 어려운 불일치 상황에 대한 안내가 필요하다는 선행 연구<sup>5</sup>의 주장이 타당함을 확인할 수 있었다.

교과서에 이온화도 값이 다르게 표현되어서, 강산일 때 이온화도가 얼마가 되어야 강산인지를 묻는 학생들이 많았다. 솔직히 대답하기 힘들었다. 교사들이 실제로 문제를 풀다 보면 책마다 달라서 난감한 것이 사실이다. 그럴 때마다 온도가 다르거나, 농도가 다른 경우라고 말하지만 정확하게 설명하지 못해 답답했다.

(교사 8 면담 중에서)

한편, 두 모델을 이해하고, Brønsted–Lowry 모델의 불일치 상황을 깨닫고 있는 경우도 분석되었으며, 이러한 사례에 해당하는 교사 7의 응답을 Table 14에 제시하였다.

교사 7의 경우에는 Arrhenius 모델로 강산의 이온화도가 1보다 작은 것은 부분적으로 이온화가 일어난 것으로 설명할 수 있다고 응답하였기 때문에 Arrhenius 모델을 이해한 것으로 판단하였다. 또한, 강산의 이온화 상수를 Brønsted–Lowry 모델로 설명할 수 없다고 응답하였기 때문에 Brønsted–

Lowry 모델의 불일치 상황을 깨닫고, Arrhenius 모델의 ‘이그노런스’를 지각한 것으로 보았다.

#### 모델의 인지 IV 수준

두 모델에 대해 이해하고 있으며, 두 모델의 ‘이그노런스’를 모두 지각한 경우를 모델의 인지 IV 수준으로 분류하였다. 1번 문항에서는 모델의 인지 IV 수준이 분류되었으나, 2번 문항에서는 분류되지 않았다.

1번 문항에서 두 모델에 대해 모두 이해하고 두 모델의 ‘이그노런스’를 모두 지각한 것으로 분류된 교사 2의 응답 사례를 Table 15에 제시하였다.

#### 교사의 모델 인지 수준 분석

교사의 모델 인지 수준을 분석한 결과, 총 4단계의 수준으로 구분할 수 있었다. 1번 문항과 2번 문항에서 교사의 응답 결과를 모델의 인지 수준별로 분석하여 정리한 결과를 Table 16에 제시하였다.

교사들의 모델 인지 수준을 분석한 결과, 약 20~27% 정도의 교사들이 I 수준에 있는 것으로 파악되었으며, 약 27% 정도의 교사들이 II 수준에 있는 것으로 파악되었다. 가장 많은 교사가 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 III 수준에 있는 것으로 나타났다. 그러나 두 모델의 ‘이그노런스’를 모두 지각하는 IV 수준은 0~13% 정도로 매우 낮았다. 화학 교육을 전공한 화학 교사들이 산과 염기 반응에 관한 두 모델의 ‘이그노런스’를 모두 지각하지 못하는 것은 모델을 완전히 이해하지 못하고 있다는 것을 의미한다. 따라

**Table 14.** Response example of level III in Item 2 of dissociation of acids and bases

Model	Ionization degree of strong acid is less than 1.	Ionization constant of strong acid
Arrhenius	Even if it is an irreversible reaction, it can be explained if it is partially ionized.	-
Brønsted–Lowry	-	The ionization constant value cannot be explained because the reversible reaction is biased in one direction.

**Table 15.** Response example of level IV in Item 1 of acid and base reaction

Model	Quantitative relationship	pH of solution
Arrhenius	It cannot explained because weak acid occurs reverse reaction and exists reactants.	
Brønsted–Lowry		Strong acid and strong base reactions are irreversible and cannot explain the pH of the solution.

**Table 16.** The model's cognitive levels of teachers

	Level	Reaction of acids and bases	Dissociation of acids or bases
I	No understanding of both models	4(26.7%)	3(20.0%)
II	Understanding only one model	4(26.7%)	4(26.7%)
III	Understanding of both models and Perception of one model's ignorance	5(33.3%)	8(53.3%)
IV	Understanding both models and Perception of both model's ignorances	2(13.3%)	-

서 교사들의 모델에 대한 인지 수준을 높이는 교사 교육이 필요함을 보여준다.

## 결론 및 제언

본 연구는 Arrhenius 모델과 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’를 알아보는 설문 문항을 개발하고, 교사들의 모델 인지 수준을 분석하였다. 산과 염기 반응에서 모델의 ‘이그노런스’는 두 모델을 모두 이해하고, 각 모델의 불일치 상황을 통해 모델의 한계를 지각하는 것에서 시작된다 고 보았다. 이때 모델의 한계에도 불구하고 불일치 상황을 그 모델로 설명하는 것은, 다른 모델의 ‘이그노런스’ 때문임을 지각하는 것이 필요하다. 설문과 면담을 분석한 결과, 교사들의 모델 인지 수준은 산과 염기의 반응과 산과 염기의 해리와 관련된 문항에서 두 모델을 모두 이해하지 못하는 수준, 한 모델만 이해하는 수준, 두 모델을 모두 이해하고, 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 수준, 두 모델을 모두 이해하고, 두 모델의 ‘이그노런스’를 모두 지각하는 수준 등 4 수준으로 분류되었다. 또한, 가장 큰 비율의 교사들이 두 모델을 모두 이해하고, 한 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 수준에 머물러 있음을 확인할 수 있었다.

특히 산과 염기의 해리와 관련된 문항의 경우 IV 수준에 해당하는 교사가 전혀 없는 것으로 나타났다. 그 이유는 교육과정의 변화와도 관련이 있다고 할 수 있다. 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서의 ‘산과 염기의 세기’ 단원에서 이온화 상수 개념만 설명하도록 제시하였다. 따라서 이온화도 개념에서 요구하는 Brønsted-Lowry 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 기회를 제공하지 못하게 되었다. 이 연구 결과를 통해, 산과 염기 해리에서 두 모델의 불일치 상황을 제시하고 이를 통해 모델의 ‘이그노런스’를 지각할 기회를 제시하는 것이 필요함을 알 수 있다.

산과 염기 반응 및 산과 염기 해리 현상을 가르치는 화학 교사들은 이를 설명하는 두 모델에 대한 이해뿐 아니라, 각 모델의 불일치 상황과 이에 따른 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 것이 필요하다. 이는 모델이 갖는 전제 조건 및 한계를 지각하여 모델이 설명할 수 있는 영역과 설명할 수 없는 영역까지도 파악하는 메타적 인지를 가지는 과정이기 때문이다.

모델의 메타적 인지 과정은 교육적 가치가 매우 크다. 모델의 ‘이그노런스’를 지각하는 과정에서 새로운 모델에 대한 아이디어를 발견할 수 있고, 새로운 모델링 역량으로 이어질 수 있기 때문이다. 하지만 지금까지는 이러한 모델의 ‘이그노런스’에 대한 교육적 가치를 담론화하지 않았기 때문에 지금까지 화학 교육에서 모델의 ‘이그노런스’에 대한 지각이 거의 없었다.

과학의 본성을 가르친다는 견해에서 볼 때 교과서에서 다루는 다양한 화학 현상을 단일한 모델로 설명하기보다는 복수의 모델로 제시하는 것이 바람직하다. 이는 특히 각 모델의 불일치 상황을 통해 다른 모델의 ‘이그노런스’까지 지각할 수 있다는 메타적 인지에 대한 교육적 의미가 있다. 모델의 메타적 인지는 모델이 불일치 상황에서 보여주는 한계와 그로 인한 다른 모델의 ‘이그노런스’에 대한 지각까지 포함하는 수준으로 매우 높은 수준의 모델 인지 단계이다. 이는 2015 개정 교육과정에서 강조하는 모델링에서도 중요한 교육 영역이다.

선행 연구<sup>37)</sup>에서도 과학교육에서 일반적으로 모델을 이해하는 수준이 낮음을 지적하였다. 이는 모델 자체가 이해하기 어렵다기보다, 모델이 갖는 한계와 ‘이그노런스’를 지각하는 것의 중요성이 간과되었기 때문이다. 이제 과학 교육에서 ‘이그노런스’는 모델을 설명할 때 불편한 상황으로 지각되어 무시되기보다는 모델의 메타적 인지를 위해 반드시 가르쳐야 할 부분으로 드러낼 필요가 있다.

본 연구는 교육대학원에 재학하고 있는 화학 교사의 모델 인지에 대한 연구로 연구 결과가 일반적인 화학 교사들의 인지를 대표하는 것으로 확대하는 것에 한계를 가질 수 있다. 따라서 일반 화학 교사 및 화학 II를 배운 학생을 포함한 폭넓은 연구 대상자들에 대한 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

## References

1. Chang, H. S. *Is Water H<sub>2</sub>O?: Evidence, Realism and Pluralism*; Springer Science & Business Media: London, 2012.
2. Firestein, S. *Ignorance: How It Drives Science*; Oxford University Press: USA, 2012.
3. Smithson, M. Research Article **1993**, 15, 133.
4. Edwards, J. Research in Science Education **1990**, 20, 66.
5. Lyu, E. J.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2020**, 64, 175.
6. Buckley, B. C.; Boulter, C. J. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In *Developing models in science education*, Gilbert, J. K.; Boulter, C. J., Eds., Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2000, 119.
7. Schwarz, C. V.; Gwekwerere, Y. N. *Science Education* **2007**, 91, 158.
8. Snow, R. E. *International Journal of Educational Research*, **1990**, 14, 45.
9. Redish, E. F. *American Journal of Physics*, **1994**, 62, 792.
10. Kang, N. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, 37, 143.
11. Clement, J. J. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 1041.
12. Clement, J. J.; Rea-Ramírez, M. A.; Mímez-Oviedo, M.

- C. An instructional model derived from model construction and criticism theory. In *Model Based Learning and Instruction in Science*, Clement, J. J.; Rea-Ramirez, M. A., Eds., Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2008, 23.
13. Gobert, J. D.; O'Dwyer, L.; Horwitz, P.; Buckley, B.; Levy, S.; Wilensky, U. *International Journal of Science Education* **2011**, 33, 653.
14. Justi, R.; Gilbert, J. K. *International Journal of Science Education* **2002**, 25, 1369.
15. Lehrer, R.; Schuab, L. Cultivating model-based reasoning in science education. In *Cambridge handbook of the learning sciences*, Sawyer, R. K. Ed., Cambridge University Press: West Nyack, NY, USA, 2006, 371.
16. Suckling, C. J.; Suckling, K. E.; Suckling, C. W. *Chemistry through models. Concepts and applications of modeling in chemical science, technology and industry*; Cambridge University Press: Cambridge, 1978.
17. Asnat, R. Z.; Sharona, T. L. *Journal of Research in Science Teaching* **2019**, 56, 881.
18. Shermer, M. *Nature* **2012**, 484, 446.
19. Furió-Más, C.; Calatayud, M. L.; Guisasaolac, J.; Furió-Gómez, C. *International Journal of Science Education* **2005**, 27, 1337.
20. Paik, S. H. *Journal of chemical education* **2015**, 92, 1484.
21. Paik, S. H.; Choi, J. I.; Park, E. J. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2013**, 33, 1273.
22. Jo, G. H. Using examples and students' conceptual understanding in school science : focusing on the concepts of mechanics in middle school, Ph. D., Seoul National University, 2005.
23. Collette, A. T.; Chiappetta, E. L. *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools*, Merrill Publishing Company: Columbus, 1986, 255-258.
24. Paik, S. H.; Kim, S. K. *The Korean Society of Computer and Information* **2017**, 25, 381.
25. Wobbe, D. V.; Albert, P. *Journal of Chemistry Education* **2001**, 78, 494.
26. Drechsler, M.; Schmidt, H. *Journal of Chemistry Education Research and Practice* **2005**, 6, 19.
27. Carr, M. *Research in Science Education* **1984**, 14, 97.
28. Zumdahl, S. S.; Zumdahl, S. A. *Chemistry* 8th ed.; Cengage Learning: Singapore, 2010.
29. Oxtoby, D.; Gillis, H. P.; Campion, A. *Principles of Modern Chemistry*, 7th ed.; Cengage Learning: NY, 2012.
30. John, H.; Go, M. J. *The History of Chemistry*; Book's hill: Seoul, 2005.
31. Brubaker, C. H., Jr. *Journal of Chemical Education* **1957**, 34, 325.
32. Go, H. S.; Kim, K. E.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2012**, 56, 628.
33. Paik, S. H.; Go, H. S.; Jeon, M. C. *Journal of the Korean Chemical Society* **2013**, 57, 279.
34. Paik, S. H. *The history of chemistry*; imotionmedia: Seoul, 2018.
35. Creswell, J. W.; Miller, D. L. *Theory Into Practice*, **2000**, 39, 124.
36. Kim, S. G.; Choi, H.; Park, C. Y.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, 63, 56.
37. Kim, S. G.; Kim, J. E.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, 63, 102.