Journal of the Korean Chemical Society
2020, *Vol. 64, No. 3*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2020.64.3.175

2009·2015 개정 교육과정 화학 I 및 화학 II 교과서 및 교사용 지도서에 제시된 산·염기 모델 내용에 대한 '이그노런스' 분석

류은주 · 백성혜*,†
신탄진고등학교
†한국교원대학교 화학교육과
(접수 2019. 11. 26; 게재확정 2020. 3. 30)

Analysis of 'Ignorance' in Acid-base Models Contents of Chemistry I and Chemistry II Textbooks & Teacher's Guides in 2009 & 2015 Revised Curriculum

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 November 26, 2019; Accepted March 30, 2020)

요 약. 이 연구에서는 모델의 중요한 특징 중 하나인 '이그노런스'의 관점으로 화학 교과서 및 교사용 지도서의 내용을 분석하였다. 이는 2015 개정 교육과정에서 학생들의 모델링 역량을 기르는 것을 강조하고 있기 때문이다. 화학 교육과정에서 중요하게 다루는 내용인 산과 염기의 중화반응에 관련된 모델로 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델을 선정하고, 이에 관련된 '이그노런스'를 다룬 선행 연구와 대학 일반화학 교재 4종을 분석하여 연구의 분석 기준을 추출하였다. 추출한 분석 기준으로 2015 개정 교육과정의 화학 I 교과서 및 교사용 지도서 9종과 화학 II 교과서 및 교사용 지도서 6종을 분석하였다. 또한 개정 교육과정에 따른 내용의 차이를 비교하기 위해 2009 개정 교육과정의 화학 I 교과서 및 교사용 지도서 4종 그리고 화학 II 교과서 및 교사용 지도서 3종도 분석하였다. '중화 반응' 개념, '중성' 개념, '중화 반응의 양적 관계', '이온화도', '이온화 상수'에 관련된 내용을 중심으로 분석하였다. 연구 결과를 토대로, 모델의 '이그노런스'를 화학 교사들이 이해하고 학생들의 모델링 역량을 길러줄 수 있도록 교사용 지도서에 이와 관련된 내용을 제시하는 방안을 제안하였다.

주제어: 이그노런스, Arrhenius 모델, Brønsted–Lowry 모델, 2009 개정 교육과정, 2015 개정 교육과정, 화학 I 교과서, 화학 II 교과서, 교사용 지도서, 모델링 역량

ABSTRACT. The purpose of this study was to analyze chemistry textbooks and teachers' guidebooks from the perspective of 'Ignorance', one of the important features of model. This is because the emphasis is on developing modeling capabilities for students in the 2015 Revised Curriculum. For this, Arrhenius model and Brønsted–Lowry model were selected as acid and base models in neutralization reaction which are important contents in chemistry curriculum. The analysis criteria of this study were extracted by analyzing previous studies and four general chemistry textbooks dealing with 'Ignorance' related to acid and base neutralization reaction. Based on the analysis criteria, we analyzed nine chemistry I textbooks and teacher's guides and six chemistry II textbooks and teacher's guides of the 2015 revised curriculum. In addition, we analyzed contents of four chemistry I textbooks and teacher's guides and three chemistry II textbooks and teacher's guides in the 2009 revised curriculum for comparison according to revised curriculums. We analyzed the contents related to the concept of 'neutralization reaction', 'neutrality', 'quantitative relation of neutralization reaction', 'degree of ionization', and 'ionization constant'. Based on the results of this study, we proposed a way to present 'Ignorance' of the models in teachers' guidebooks that chemistry teachers can understand 'Ignorance' of model and teach modeling capabilities for students.

Key words: Ignorance, Arrhenius model, Brønsted–Lowry model, 2009 Revised Curriculum, 2015 Revised Curriculum, Chemistry I textbook, Chemistry II textbook, teacher's guide, modeling capability

서 론

미국의 차세대 과학교육 표준(NGSS)에서는 과학교육을 위한 3가지 차원을 제시하였다. 3가지 차원 중에서 가장 특징적인 영역이 바로 기능(practice)이다.[1] 기능은 과거 과학에서 강조한 탐구보다 확장된 개념이며, 그 하위 요소에는 '질문하고 문제 규명하기', '모델 개발하고 사용하기', '탐구계획하고 수행하기', '자료 분석하고 해석하기', '수학 및 전산적 사고 이용하기', '설명 구성하고 문제 해결 고안하기', '증거 입각하여 논의하기', '정보를 얻고 평가하며 소통하기' 등이 있다. 또한 기능을 가르치기 위해서는 모델링 교육이 중요하다.[2] 따라서 NGSS를 반영하여 개정된 개정 교육과정에서는 모델링 교육이 포함되어야 한다.[3] 우리나라 2015 개정 교육과정도 NGSS의 영향을 받았기 때문에 모델을 활용한 교육 및 모델의 본성 등을 강조하고 있다.[4–6]

모델링은 어떠한 자연 현상에 물음을 갖고 이 현상에 대해 자신이 알고 있는 지식을 이용하여 자신만의 모델을 생성한 후, 모델의 검증과정을 거치면서 자신의 모델을 평가하여 개선된 모델을 다시 구성하는 일련의 활동이다.[7–11] 또한 모델링이란 학생들의 각기 다른 내적 표상인 정신 모델(mental model)을 과학적으로 인정되는 지식에 맞게 외적으로 표상한 개념 모델(conceptual model) 또는 표현된 모델(expressed model)로 발전시키는 것으로서[12–15] 학생들이 자신의 정신 모델을 시험하고 반성할 수 있는 기회를 제공한다.[16–20] 이러한 교육적 효과 때문에 여러 연구자들이 모델을 생성하고(Generation), 평가한 뒤(Evaluation) 수정하는(Modification) GEM 모형을 제시하고 있다.[21,22] 이러한 모형은 학생들에게 절대적인 하나의 과학 모델만 존재할 수 없다는 과학 모델의 특성에 대해 인식하게 하는 데 도움을 준다.

Chang[23]에 따르면, 모델은 무질서하고 불규칙한 자연 현상에서 일부를 선택하여 규칙성을 만들어 간결하고 선명한 형태로 단순화시키는 것이다. 즉 모델은 자연 그 자체가 아니며, 과학자들의 상상에 의해 만들어진 가공물이다. 따라서 모델링은 각 개별의 여러 속성 중에서 공통된 속성을 추출하는 과정이다. 그리고 이 과정에서 선택하지 않고 무시하는 부분이 발생한다. Chang은 모델의 설명 범위가 넓을수록 선명하게 밝힐 수 없는 회색 영역이 넓어지는데, 이를 '이그노런스(Ignorance)'라고 명명하였다.

Firestein[24]에 의하면 '이그노런스'란 지식이 없는 상태가 아니라 지식의 특정한 상태를 말하는 것으로 무언가에 대해 사실, 이해, 통찰, 명료함이 없는 지적 상태이며, 관련된 자료가 없거나 혹은 기존의 자료와 맞지 않고 일관된 설명으로 이어지지 않는 경우를 말한다. 그리고 가지고 있는 지식이 어떤 사건에 대해 예측하거나 진술하지 못하는 상황을 인지하는 것이 지각과 통찰이 있는 무지이다. 특히 다른 분야와 달리, 과학에서는 사실이 주로 '이그노런스'를 깨닫는 길을 열어주며, 과학자들은 '이그노런스'를 일깨우는 사실들로부터 새로운 질문의 틀을 짠다. 따라서 과학자들은 자신이 아는 것보다는 모르는 것에 집중한다. 또한 과학자가 많은 것을 안다는 의미는 더 많은 '이그노런스'를 인식한다는 것과 상통한다. 다시 말해서 과학은 '이그노런스'를 다루는 학문이며, '이그노런스'에 힘입어 발전한다.

이러한 의미에서 '이그노런스'는 학습에서 부정적인 측면이 아니라 긍정적인 측면이 있다는 것을 인지해야 한다. '알 수 없다.'는 무지에 대한 인지는, 학문에 대한 보다 깊은 이해로 인도하는 관문의 역할을 할 수 있기 때문이다. 오히려 지식의 불완전성과 불확정성은 과학 본성의 중요한 측면으로 받아들여야 한다. 과학자들은 '이그노런스'를 이용하여 작업을 계획하고, 무엇을 해야 할지, 다음 단계는 어떻게 되는지, 자신의 에너지를 어디에 쏟아야 할지 판단한다. 즉, '이그노런스'는 과학자가 자료의 어디를 파헤쳐야 할지 알려주는 방향축의 역할을 한다. 과학에서 중요한 예측은 과학자가 가지고 있는 모델을 통해 이루어지는데, 실제로 모델이 예측하는 상황과 틀리는 경우가 빈번하게 발생한다. 이것은 모델이 가지는 잠정성과도 연결되며, 지식에 포함된 '이그노런스'를 인식하는 과정을 내포한다.

모델을 수정해가는 과정은 모델링에서 중요한 단계이다. 이 때 모델이 설명하고 예측할 수 있는 상황이 분명해지는데 이와 함께 예측할 수 없는 상황도 분명해지게 된다. 이때 모델이 가진 '이그노런스'가 드러난다. 과학교육에서도 과학자들이 모델을 만들고 모델링하는 과정의 중요성을 강조하고 있지만, 모델링 과정에서 '이그노런스'의 가치와 의미를 강조하는 교육은 명시적으로 드러나지 않는다. 오히려 '이그노런스'를 지식이 없는 '무식'의 부정적 의미로 인식하는 경향이 크다. 이는 과학 본성의 한 부분을 제대로 이해하지 못함으로써 발생하는 교육적 문제이다. 최근 Asnat & Sharona[25]는 화학 교육에서 화학 결합에 대한 모델이 갖는 '이그노런스'를 드러내는 모델링 교육이 중요함을 주장하였다. 이는 과학의 본성 측면에서 보았을 때 과학교육에서 '이그노런스'를 줄이는 방향이 아니라, 모델의 가치와 함께 과학에서 가지는 '이그노런스'의 가치를 인식시키는 방향으로 나아가는 것이 필요함을 보여주는 연구이다. 또한 Gagne(1965)는 가르치는 개념의 표상을 확실히 하기 위하여 충분히 많은 예가 제시되어야 한다고 제안하였으며, 많은 예들은 일관성 있는 속성과 일관성이 없는 속성으로 구분하고, 파지와 학습의 전

이를 높이기 위해 여러 사례들을 다양한 상황과 문맥에 적용할 수 있도록 지도해야 한다고 하였다.[26] 이는 과학 교육에서 모델을 가르칠 때 모델의 일관성 있는 속성의 예와 일관성 없는 속성의 예 즉 '이그노런스'의 예를 구분하고 이 예들을 다양한 상황과 문맥에서 적용하도록 가르칠 때 학생의 모델에 대한 이해가 높아지고 학습 효과가 높아짐을 의미한다. 따라서 과학교육은 지식을 배우면서 앎과 모름의 경계에 대한 인식, 즉 '이그노런스'의 확장을 학생들이 경험하도록 해야 하며 '이그노런스'를 인식하고 다루는 방법을 교육시켜야 한다.

이 연구에서는 화학 교육의 가장 중요한 매개체인 화학 교과서와 교사용 지도서에서 모델의 '이그노런스'에 대한 부분을 어떻게 다루고 있지를 분석함으로써 화학 교사들이 과학의 본성을 학생들에게 가르치는 방법의 개선 방안을 제안하고자 하였다. 그 사례로 고등학교 화학 I, II 교과서에서 제시되고 있는 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델을 선택하였다. 이는 화학에서 가장 보편적으로 다루는 모델이기 때문이다. 산·염기 모델도 동일한 자연현상을 설명하기 위한 과학자의 단순화와 함축화 과정을 거친 것으로, 모델에 따라 서로 다른 전제조건[27,28]과 '이그노런스'를 가진다. 산·염기 모델의 경우에도 각 모델은 동일한 자연을 설명하지 않는다. 예를 들어 Arrhenius 모델은 물을 기준으로 산과 염기를 분류하였다. 그래서 물은 산도 염기도 아닌 중성 물질이다. 반면 Brønsted–Lowry 모델에서는 물도 산이나 염기가 될 수 있으며 물을 포함한 모든 물질의 반응에서 양성자의 이동에 초점을 두어 산과 염기를 구분하였다. 이처럼 '산·염기' 개념을 다루는데 각 모델이 설명하는 부분과 '이그노런스'에 해당하는 부분을 인식하는 것은 중요하다. 또한 모델 간 차이점을 비교하는 것은 학생들이 모델링을 인식하는 매우 중요한 학습 단계이다. 따라서 화학 교사들은 이를 이해할 수 있는 기회를 가져야 하며, 교사용 지도서에 '이그노런스'에 해당하는 내용이 포함될 필요가 있다. 특히 2015 개정 교육과정에서는 '기능'이라는 항목이 추가되어 모델에 대한 교육이 강조되고 있으므로, 모델을 이해하기 위하여 모델의 '이그노런스'를 이해하는 과정이 더욱 중요하게 되었다. 따라서 교과서와 교사용 지도서에 제시된 모델에 대한 설명을 통해 '이그노런스'를 인식할 수 있는지 분석하고자 한다.

연구 방법

분석 대상

이 연구에서는 고등학교 화학 교과서에서 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델을 다루는 내용으로 '물의 자동이온화와 pH', '산·염기 반응', '산·염기 중화적정', '산·염기 평형', '산·염기의 세기' 단원을 선정하였다. 그리고 선정한 단원 안에서 '중화 반응' 개념, 중화 반응의 '중성' 개념, '중화 반응의 양적 관계', '이온화도', '이온화 상수'에 관련된 설명을 분석하였다. 2009 개정 교육과정의 화학 I에서는 '중화 반응' 개념과 '중성' 개념을 다루고 있으며, 화학 II에서는 '중화 반응' 개념, '중성' 개념, '중화 반응의 양적 관계', '이온화도', '이온화 상수'에 관련된 내용을 다루고 있다. 2015 개정 교육과정의 화학 I에서는 '중화 반응' 개념, '중성' 개념과 '중화 반응의 양적 관계' 내용을 다루고 있으며, 화학 II에서는 '이온화도', '이온화 상수'에 관련된 내용을 다루고 있다. 이 연구에서는 '중성' 개념은 중화 반응과 관련된 중성 개념으로 한정하여 분석하였다.

또한 2009 개정 교육과정의 화학 I에서는 화학 평형의 개념이 도입되지 않았고 Brønsted–Lowry 모델을 도입하였기 때문에, Brønsted–Lowry 모델을 화학 평형의 개념으로 제시하기 어려웠다. 그러나 2015 개정 교육과정의 화학 I에서는 화학 평형의 개념이 도입되었기 때문에 Brønsted–Lowry 모델을 화학 평형의 개념으로 제시할 수 있다는 차이점이 있다. 이러한 차이점을 통해 2009 개정 교육과정의 화학 I 교과서보다 2015 개정 교육과정의 화학 I 교과서에서 Brønsted–Lowry 모델에 대한 설명과 '이그노런스'를 잘 드러내 줄 수 있는 환경이 되었다.

Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델을 다루는 내용 및 수준에 따른 교과서 및 교사용 지도서 설명의 차이를 알아보기 위하여, 본 연구에서는 2015 개정 교육과정 화학 I 교과서[36–44] 및 교사용 지도서 9종, 화학 II 교과서[45–50] 및 교사용 지도서 6종을 분석하였다. 또한 모델에 대한 설명의 차이를 비교하기 위하여 2009 개정 교육과정의 화학 I 교과서[29–32] 및 교사용 지도서 4종과 화학 II 교과서[33–35] 및 교사용 지도서 3종을 비교 분석하였다. 그러나 교사용 지도서의 설명 내용은 교과서와 차이가 없었기 때문에 차이가 있는 교사용 지도서만 *Table*에 포함시켰다. 그리고 특별히 논의할 내용이 있는 교사용 지도서만을 *Figure*에 제시하고, 이를 제외한 교사용 지도서는 참고문헌에 포함시키지 않았다.

분석 방법

선행연구[28,59,60–65]와 대학교재[55–58] 분석을 통해 모델의 이그노런스에 대한 예비 분석틀을 개발하고, 개정 교육과정별 화학 I, II 교과서를 연구자들이 각자 1차 분석하였다. 그 후, 교차검증을 거쳐 최종 분석틀을 완성하였다(*Table* 1). 개발한 최종 분석틀로 화학 I, II 교과서와 교사용 지도서를 2차 분석하였다. 이 과정에서 과학사 및 과학철학 전문가 1인, 과학교육 전문가 1인 및 과학교육 박사 1인, 현직 화학 교사인 박사과정 2인이 교차검증을 하였으며, 의

***Table* 1.** Criteria of analysis

Content	Ignorance	Criteria question for classification of types
Neutralization reaction	Brønsted–Lowry model	Is the neutralization reaction of acid and base defined as Arrhenius model where hydrogen ion and hydroxide ion meet and become water?[59]
Neutrality	Brønsted–Lowry model	Is the concept of neutrality used in the neutralization reaction?[60]
Quantitative relationship of neutralization reaction	Brønsted–Lowry model	Is introduced the quantitative relationship (nMV = n'M'V') in the neutralization reaction involving weak acids and weak bases?[61]
Ionization degree	Brønsted–Lowry model	Is the degree of ionization of strong acids and strong bases in dilute aqueous solutions described as 1 or 100% dissociation?[56,59,62–65]
Ionization constant	Arrhenius model	Is the ionization constant explained by the reversible reaction of strong acid and strong base assuming a reaction with water?[56,58,64,65]

견의 일치도를 높이기 위한 토론과 합의과정을 거쳤다. 이러한 과정을 통해 최종적으로 개발한 분석틀을 제시하였다.

2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서는 화학 I 교과서와 화학 II 교과서에서 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델을 함께 제시하고 있다. 따라서 학생들은 두 모델이 가지는 각 모델의 '이그노런스'를 이해함으로써 모델링의 역량을 획득할 수 있을 것이다.

Paik[28]은 Arrhenius 모델은 물에서의 반응이라는 전제조건에서 산과 염기라는 물질을 분류하기 때문에 물질적 관점(matter viewpoint)이고 Brønsted–Lowry 모델이나 Lewis 모델은 반응하는 상대 물질에 따라 산과 염기의 분류가 달라지므로 과정적 관점(process viewpoint)으로 분류하였다(*Fig.* 1). 따라서 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델은 서로 포함관계가 아니며, 각 모델은 설명하는 영역이 다르다. 즉, 두 모델로 동일한 현상을 설명하려고 할 때 Arrhenius 모델로 설명하는 경우에는 Brønsted–Lowry 모델에 대한 설명을 배제하므로, Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'라고 볼 수 있다. 반대로 Brønsted–Lowry 모델로 설명하는 경우에는, 이 설명은 Arrhenius 모델에 대한 설명을 배제하므로 Arrhenius 모델의 '이그노런스'가 된다.

중화 반응 개념과 관련하여 선행 연구[59]에서 Arrhenius는 모든 산이 물에서 해리되어 수소 이온을 생성하고 용해성 염기(알칼리)는 물에서 해리되어 수산기를 생성하는 물질로 정의함을 밝혔다. 이 때 1당량의 강한 산이 1당량의 강한 염기로 중화될 때 발생하는 열에너지가 일정하다는 관찰로부터 강한 산과 염기는 묽은 용액에서 거의 완전히 용해되고 모든 경우에 수소 이온과 수산화 이온이 반응해 물을 형성한다고 설명했다. 이는 중화 반응이 Arrhenius 모델 관점의 정의임을 말해주는 것이다. 즉 수소 이온과 수산화 이온이 관여하지 않는 반응은 중화 반응이라 할 수 없으며 이러한 점 때문에 이 설명은 Brønsted–Lowry모델의 '이그노런스'에 해당한다.

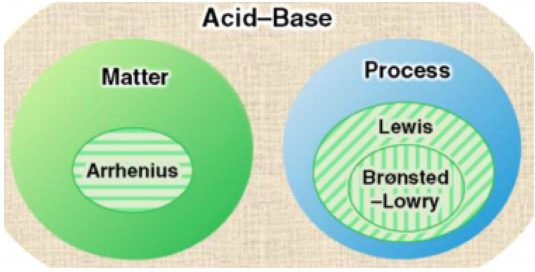


***Figure* 1.** Relationship among Arrhenius, Brønsted–Lowry and Lewis acid–base models.[28]

중성 개념과 관련된 선행 연구로 Schmidt[60]는 Brønsted–Lowry 모델 관점에서 산과 염기가 반응하면 새로운 짝산, 짝염기가 생성되므로 Brønsted 모델에서 중성이라는 용어는 의미가 없다고 설명하였다. 따라서 중성 개념은 Arrhenius 모델 관점이기 때문에 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'에 해당한다.

중화 반응의 양적 관계 적용과 관련된 선행 연구로 Wobbe & Albert[61]는 강산과 강염기가 관여하는 경우에 적용되는 nMV = n'M'V' 라는 공식을 약산 또는 약염기가 관여하는 중화 반응에 그대로 적용하는 것의 문제점을 지적하였다. 즉, 분석적 맥락에서 이 공식은 모든 산과 염기 반응이 완결되었다고 간주하는 것이므로 가역 반응을 고려하지 않는 것이다. 이러한 점 때문에 중화 반응의 양적 관계에 대한 설명은 Arrhenius 모델의 관점이며, 따라서 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'에 해당한다.

산과 염기의 세기를 나타내는 이온화도와 관련된 선행 연구[62–64]에서 강산의 이온화도는 수용액 상태의 매우 묽은 농도에서 '100% 해리한다.' 혹은 '1이다.'라고 설명한다. 또한 일반화학 교재[56]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.[59,65] 따라서 이 설명은 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'에 해당한다. 반면에 강산이나 강염기의 이온화도를 1보다 작게 표현하거나, 이온으로만 100% 존재

하지 않고 일부는 분자 상태로 존재하는 것으로 표현하는 것은 Brønsted–Lowry 모델의 관점이다. 이 경우의 설명은 Arrhenius 모델의 '이그노런스'에 해당한다.

산과 염기의 세기를 나타내는 이온화 상수와 관련하여 선행 연구[65]에서는 강산의 경우 물속에서 100% 해리하기 때문에 분모가 0에 가까워지고 이온화 상수 값은 무한이 된다고 설명하였다. 따라서 강산의 경우 물에서 세기를 이온화 상수로 표현하는 것이 어렵다. 일반화학 교재[56,58]에서도 이와 유사한 설명이 제시되어 있다. 또 다른 선행 연구[64]에서는 물속에서 강산의 세기는 H_3O^+에 의해 평준화되기 때문에 산의 세기를 비교할 수 없고, H_3O^+가 이미 존재하는 약산 용액에서만 이온화 상수가 측정될 수 있다고 설명하였다. 즉, 강산의 이온화 상수에 대한 설명은 산과 염기의 가역 반응을 전제로 하기 때문에 Brønsted–Lowry 모델의 관점이며, 따라서 Arrhenius 모델의 '이그노런스'에 해당한다.

염산과 수산화 나트륨 수용액의 반응에서처럼 산의 수소 이온(H^+)과 염기의 수산화 이온(OH^-)이 만나 물이 생성되는 반응을 **중화 반응**이라고 한다.

이때 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)처럼 반응에 참여하지 않고 수용액 중에 그대로 남아 있는 이온을 구경꾼 이온이라 하고, 수소 이온(H^+)이나 수산화 이온(OH^-)처럼 반응에 직접 참여한 이온을 알짜 이온이라고 한다.

알짜 이온 반응식: $H^+(aq) + OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$

***Figure* 2.** A 'Type 1' explanation of neturalization reaction concept in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[40]

모든 중화 반응은 아레니우스의 산과 염기 정의로 설명할 수 있을까?

염산에 암모니아(NH_3)를 넣어 반응시키면 수용액의 pH가 증가한다. 이것은 NH_3가 염기로 작용하였음을 뜻한다. NH_3는 OH^-을 가지고 있지 않기 때문에 아레니우스 염기로 정의할 수 없지만, 물에 녹아 다음과 같은 반응에 의하여 산의 H^+을 중화시킬 수 있는 OH^-을 만들면서 염기로 작용한다.

$$NH_3(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_4^+(aq) + OH^-(aq)$$

***Figure* 3.** A 'Type 2' explanation of neturalization reaction concept in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[36]

연구 결과 및 논의

중화 반응 개념과 관련된 내용 분석 결과

2009 개정 교육과정에서는 '중화 반응' 개념을 화학 I과 화학 II 교과서에서 다루고 있으며, 2015 개정 교육과정에서는 화학 I에서만 다루고 있다. 교과서 및 교사용 지도서를 분석한 결과, 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 교과서 및 교사용 지도서의 대부분은 Arrhenius 모델 관점인 수소 이온과 수산화 이온이 만나 물이 생성되는 반응을 중화 반응으로 설명하였다. 유일하게 2015 개정 교육과정의 한 교과서에서만 Brønsted–Lowry의 '이그노런스'를 표현하였다(*Table* 2).

Fig. 2는 Arrhenius 모델로 설명하고 있는 교과서 사례이며, *Fig.* 3은 2015 개정 교육과정의 T[36] 교과서 설명 내용이다. 이 교과서에서는 "모든 중화 반응을 Arrhenius 모델로 설명할 수 있을까?"라는 질문을 통해 모든 중화 반응을 Arrhenius 모델로 설명할 수 없다고 제시하고, 암모니아가 염기로 작용하는 Brønsted–Lowry 모델의 설명을 제시함으로써 '산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온이 반응하여 물과 염이 생성된다.'는 중화 반응 개념은 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'임을 인식하도록 제시하였다.

중성 개념과 관련된 내용 분석 결과

2009 개정 교육과정에서는 '중성' 개념을 화학 I과 화학 II 교과서에서 다루고 있으며, 2015 개정 교육과정에서는 화학 I에서만 다루고 있다. 교과서 및 교사용 지도서를 분석한 결과, Arrhenius 모델의 관점으로 중성 개념을 설명하는 유형 1은 2009 개정 교육과정에서 4종, 그리고 2015 개정 교육과정에서 5종이었다. 또한 중성 개념에 대한 설명이 없는 유형 2의 교과서는 2009 개정 교육과정에서 3종, 2015 개정 교육과정에서 4종이었다(*Table* 3). 따라서 개정 교육과정이 변화하였으나, 교과서에서 중성 개념을 Arrhenius 모델의 관점으로 설명하는 비율은 차이를 나타내지 않았다.

유형 1에 해당하는 교과서의 사례를 *Fig.* 4에 제시하였으며, 유형 2에 해당하는 교과서의 사례를 *Fig.* 5에 제시

***Table* 2.** Analysis of content related to neutralization reaction concept in chemistry I & II textbooks of 2009 & 2015 Revised Curriculum

Type	Analytical criteria	2009 Revised Curriculum	2015 Revised Curriculum
1	Arrhenius model	T^{29}, T^{30}, T^{31}, T^{32}, T^{33}, T^{34}, T^{35}	T^{37}, T^{38}, T^{39}, T^{40}, T^{41}, T^{42}, T^{43}, T^{44}
2	Deference between Arrhenius model & Brønsted–Lowry model	-	T^{36}

***Table* 3.** Analysis of neutrality concept in chemistry I & II textbooks of 2009 and 2015 Revised Curriculum

Type	Analytical criteria	2009 Revised Curriculum	2015 Revised Curriculum
1	Arrhenius model	T^{29}, T^{32}, T^{33}, T^{35}	T^{37}, T^{38}, T^{40}, T^{42}, T^{44}
2	No explanation	T^{30}, T^{31}, T^{34}	T^{36}, T^{39}, T^{41}, T^{43}

HCl(*aq*)과 NaOH 수용액을 혼합하면 H^+과 OH^-이 반응하여 H_2O을 생성하고, Na^+과 Cl^-은 반응에 참여하지 않고 수용액에 그대로 남는다. 따라서 중화 반응은 산성을 나타내는 H^+과 염기성을 나타내는 OH^-이 반응하여 중성인 H_2O이 생성되는 반응이라고 할 수 있다.

***Figure* 4.** A 'Type 1' explanation of neutrality concept in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[37]

중화 반응에서 수소 이온(H^+)과 수산화 이온(OH^-)이 반응하여 물이 되는데 이를 화학 반응식으로 나타내면 다음과 같다.

$$H^+(aq)+OH^-(aq) \longrightarrow H_2O(l)$$

중화 반응에서 산의 H^+과 염기의 OH^-은 1 : 1의 몰비로 반응함을 알 수 있다. 즉 산과 염기가 완전히 중화되려면 산이 내놓은 H^+의 양(mol)과 염기가 내놓은 OH^-의 양(mol)이 같아야 한다.

***Figure* 5.** A 'Type 2' explanation of neutrality concept in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[41]

하였다. *Fig.* 4와 같이 Arrhenius 모델의 관점으로만 설명하고, 다른 모델의 관점에서 사고하는 단계를 포함하지 않으면, 중성 개념에 대한 Brønsted–Lowry 모델이 갖는 '이그노런스'를 인식하기 어려울 것이다.

한편, 유형 2와 같이 Arrhenius 모델인 중화 반응을 설명할 때 중성 개념을 도입하지 않는 것은 Arrhenius 모델의 불완전한 이해를 가져올 수 있다. 모델의 '이그노런스'를 인식하려면, 두 개 이상의 모델이 존재해야 하며, 그 중 한 모델에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 점에서 유형 2의 설명은 유형 1보다 더 중성 개념에 대한 모델의 '이그노런스'를 학생들이 인식할 가능성을 낮춘다.

이처럼 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 모든 화학 I 교과서와 지도서에서는 중성 개념을 설명할 때 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 제시하고 있지 않았다. 따라서 교사용 지도서에서라도 중성 개념은 Arrhenius 모델로만 설명이 가능하며 Brønsted–Lowry 모델에서는 중성 개념이 없다는 것을 제시하는 것이 2015 개정 교육과정에서 추구하는 기능의 구현을 위해 필요하다고 본다.

중화 반응의 양적 관계와 관련된 내용 분석 결과

2009 개정 교육과정과 화학 II 교과서와 교사용 지도서, 2015 개정 교육과정에서 개발된 화학 I 교과서와 교사용 지도서의 '중화 반응의 양적 관계'에 대한 내용을 분석한 결과, 한 종의 교사용 지도서를 제외하고 모든 교과서와

예제 농도를 모르는 아세트산(CH_3COOH) 수용액 50 mL를 중화 적정하는 데 0.3 M 수산화 바륨($Ba(OH)_2$) 수용액 25 mL가 사용되었다. 수산화 바륨 수용액의 몰 농도를 구해 보자.

풀이 아세트산 1몰은 H^+ 1몰을 내놓을 수 있고, 수산화 바륨 1몰은 OH^- 2몰을 내놓을 수 있다.

중화 반응의 양적 관계 $n_1M_1V_1=n_2M_2V_2$를 이용하여

$$1\times M\times\frac{50\text{ mL}}{1000\text{ mL/L}}=2\times 0.3\text{ M}\times\frac{25\text{ mL}}{1000\text{ mL/L}} \quad \therefore M=0.3\text{ M}$$

***Figure* 6.** A 'Type 1' explanation of quantitative relationship of neutralization reaction in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[41]

교사용 지도서에서는 Arrhenius 모델 관점으로 약산과 약염기가 관여하는 중화 반응에 양적 관계(nMV=n'M'V')를 적용하는 것으로 분석되었다(*Table* 4).

유형 1에 해당하는 교과서의 설명 예시를 *Fig.* 6에 제시하였다. 이러한 설명에서는 약산의 경우와 강산의 경우에 존재하는 차이점을 명시적으로 표현하지 않았다. 따라서 Arrhenius 모델로 약산과 약염기가 포함된 중화 반응에 양적 관계를 적용하는 것은 Brønsted–Lowry 모델로는 양적 관계 적용을 설명하지 못하기 때문이라는 것을 인식할 필요가 있다. 즉, Arrhenius 모델로 약산과 약염기가 포함된 중화 반응에서 양적 관계를 적용할 때 가정하는 전제 조건 혹은 제한점을 고려함으로써 유형 1의 Arrhenius 모델 관점이 갖는 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 인식하도록 하는 것이 필요하다. 그러나 유형 1에서는 이러한 내용이 제시되지 않았다.

그러나 2015 개정 교육과정의 화학 I 교사용 지도서 2종[51,52]에서는 약산과 약염기가 관여하는 중화 반응에 양적 관계(nMV=n'M'V')를 적용할 때의 전제 조건 혹은 제한점을 제시하였다. 이를 *Fig.* 7과 *Fig.* 8에 제시하였다.

Fig. 7의 붉은 박스 안 설명에서도 약염기나 약산은 이온화가 일부만 진행되므로 강산이나 강염기의 이온수와는 차이가 있다는 점을 명시하였다. 그리고 반응이 진행되면서 평형 이동이 일어나기 때문에 중화 반응의 양적 관계를 계산할 때 산과 염기의 세기를 고려할 필요가 없다고 설명하였다. 그러나 *Fig.* 8의 붉은 박스 안의 설명을 보면, 양적 관계를 도입할 때, 약산의 경우에는 이온화되지 않은 잠재적인 H^+까지 고려해야 한다는 점을 명시하고, 가급적 강산과 강염기에 적용하도록 제안하였다.

따라서 이 두 교사용 지도서의 설명은 차이가 있다. *Fig.* 7의

***Table* 4.** Analysis of quantitative relationship of neutralization reaction in chemistry I & II textbooks and teacher's guides of 2009 & 2015 Revised Curriculum

	Analytical criteria	2009 Revised Curriculum	2015 Revised Curriculum
1	Arrhenius model	T[33], T[34], T[35]	T[36], T[37], T[38], T[39], T[40], T[41], T[42], T[43], T[44]
2	Limitation explanation when applied to weak acids and weak bases	-	TG[51]

T: Textbook, TG: Teachers' Guidebook

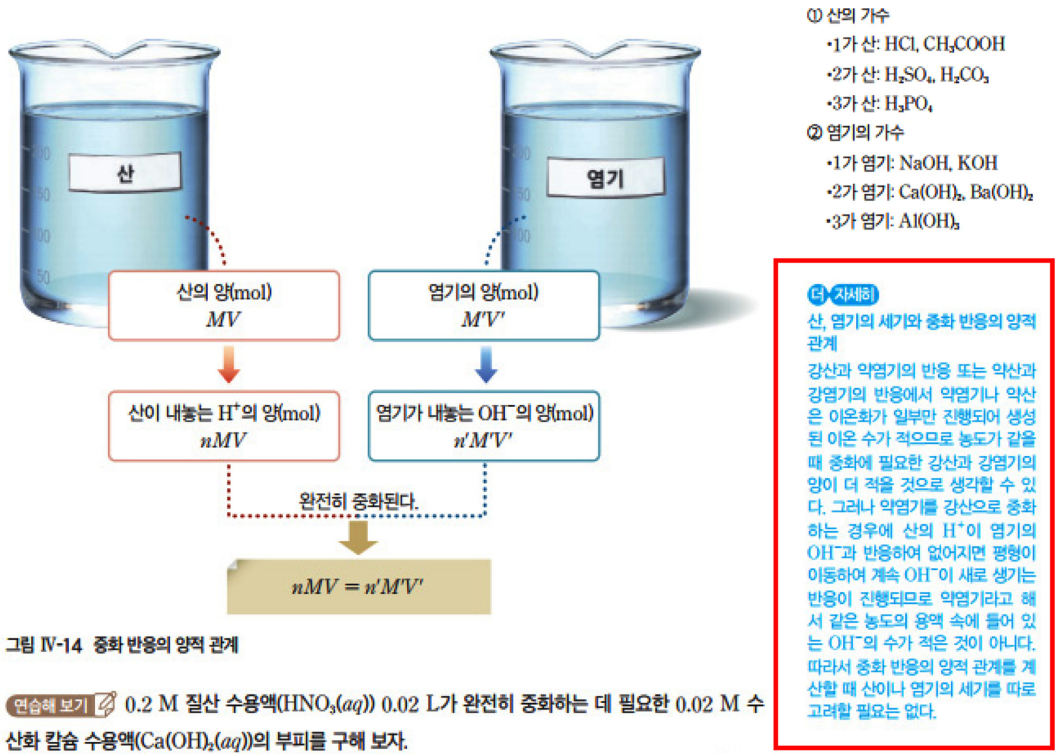


***Figure* 7.** A 'Type 1' explanation of quantitative relationship of neutralization reaction in a chemistry II teacher's guide of 2015 Revised Curriculum.[52]

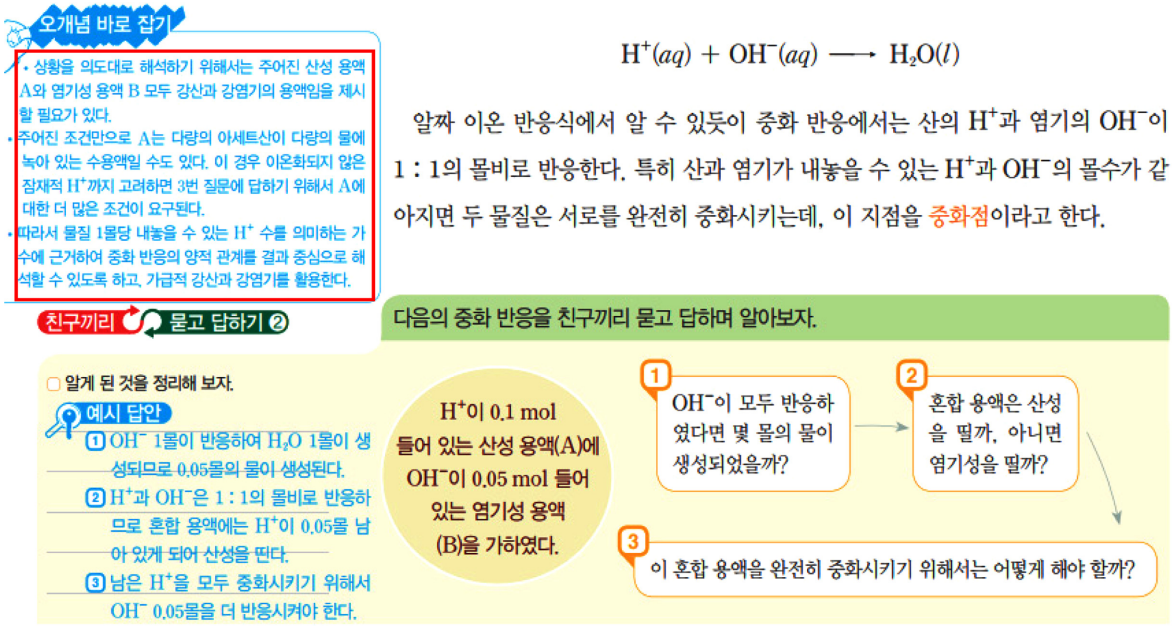


***Figure* 8.** A 'Type 2' explanation of quantitative relationship of neutralization reaction in a chemistry II teacher's guide of 2015 Revised Curriculum.[51]

설명은 화학 평형의 개념을 도입하여 약산과 약염기의 경우에도 양적관계를 도입하는 것이 옳다고 설명하였으므로 Arrhenius 모델 관점의 당위성을 제시하고 있다. 즉, 이 내용은 유형 1에 속하며, Arrhenius 모델의 관점만 제시하여 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 인식할 수 있는 기회를 제공하지 못하였다. 그러나 *Fig.* 8의 설명은 양적

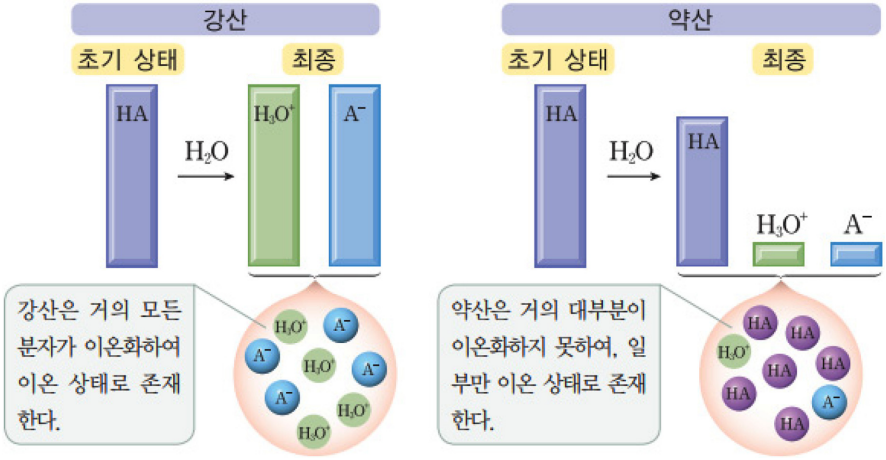


***Figure* 9.** A 'Type 1' explanation of ionization degree in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[45]

관계를 약산과 약염기에 적용할 때 가지는 Arrhenius 모델의 한계를 제시하고, 양적 관계는 가급적 강산과 강염기로 한정한다는 전제 조건도 포함하였으므로 유형 2로 분류하였다. 즉, 이러한 한계에도 불구하고 Arrhenius 모델의 관점에서 양적 관계를 적용하는 것은 중화반응이 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스' 때문임을 인식할 수 있도록 하였다.

이온화도와 관련된 내용 분석 결과

2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 개발된 화학 II 교과서와 교사용 지도서의 '이온화도'에 대한 내용을 분석한 결과, 강산의 이온화도가 1이거나 이온으로 100% 해리한다는 Arrhenius 모델 관점으로 설명한 유형 1은 2009 개정 교육과정에서는 없고, 2015 개정 교육과정에서는 2종의 교과서와 교사용 지도서가 해당하는 것으로 분석되었다. 한편, 강산의 이온화도가 1보다 작거나 이온으로 100% 해리하지 않고 일부는 분자 상태로 남아 있다고 설명한 유형 2는 2009 개정 교육과정에서는 1종이 있었으며, 2015 개정 교육과정에서는 3종이 해당하는 것으로 분석되었다. 그리고 각 모델의 '이그노런스'를 드러내지 않고, 강산의 이온화도를 1과 1보다 작은 숫자로 병행하여 표기하거나, 100% 해리하여 이온으로만 존재하는 표현과 함께 이온화도를 1보다 작은 숫자로 제시하는 유형 3도 분석되었다(*Table* 5). 이 때 유형 3은 두 모델이 혼재한 하이브리드(hybrid) 모델이라고 할 수 있다. 그러나 하이브리드(hybrid) 모델은 각 모델의 '이그노런스'를 드러내지 못하고 모델의 혼재를 통해 각 모델의 이해를 명료하게 하는데 오히려 방해가 될 수 있다.

2009 개정 교육과정에서는 유형 3이 가장 많았으나, 2015 개정 교육과정에서는 유형 2가 가장 많았다. 또한 2009 개정 교육과정의 교과서에서는 없었던 유형 1도 2015 개정 교육과정에서는 나타났다.

유형 1에 해당하는 교과서 내용을 *Fig.* 9에 제시하였다. 이 교과서에서는 거의 모든 분자가 이온화한다고 설명하였으나, 그림에서는 모든 강산의 분자들이 100% 해리된 것으로 표현하고 있다. 대부분의 교과서에서 '거의'라는 표현을 제시하고 있는데 이는 물의 자동이온화를 고려하기 때문이다. 그러나 그림의 표현에서는 '거의 모든' 이라는 표현을 '모든'으로 보았음을 알 수 있다. 즉 유형 1의 설명은 Arrhenius 모델의 관점이지만, 물의 자동이온화를 포함하지 못하는 이 모델의 한계를 표현하지 않았으므로 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 드러내지 못하였다. 따라서 Arrhenius 모델이 가지는 전제 조건이 있음을 기술하고, 그럼에도 불구하고 Brønsted–Lowry 모델을 사용하지 않고 Arrhenius 모델로 이온화도 개념을 설명함을 보여줌으로써 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 인식할 수 있도록 제시하는 것이 필요하다.

반면 유형 2는 강산의 이온화도가 1보다 작은 것으로

***Table* 5.** Analysis of ionization degree in chemistry II textbooks of 2009 & 2015 Revised Curriculum

Type	Analytical criteria	2009 Revised Curriculum	2015 Revised Curriculum
1	Aqueous solution	-	T^{45}, T^{48}
2	Non-aqueous solution	T^{34}	T^{46}, T^{47}, T^{49}
3	Hybrid model	T^{33}, T^{35}	T^{50}

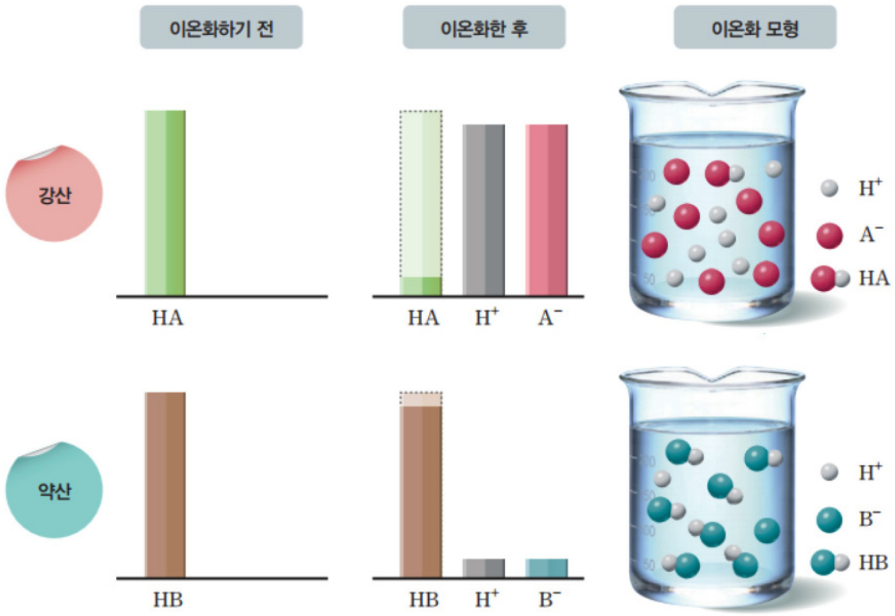


***Figure* 10.** A 'Type 2' explanation of ionization degree in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[49]

표 III-1 몇 가지 산의 이온화도(20℃, 0.1 M)

산의 종류	이온화도	산의 종류	이온화도
염산(HCl)	1.00	플루오린화 수소산(HF)	0.078
황산(H_2SO_4)	0.999	폼산($HCOOH$)	0.0412
질산(HNO_3)	0.995	벤조산(C_6H_5COOH)	0.0251
옥살산($H_2C_2O_4$)	0.53	아세트산(CH_3COOH)	0.0132
인산(H_3PO_4)	0.239	탄산(H_2CO_3)	0.00207

***Figure* 11.** A 'Type 3' explanation of ionization degree in a chemistry II textbook of 2009 Revised Curriculum.[35]

제시한 것이다. 이에 해당하는 *Fig.* 10에서 8개의 분자 중 한 개의 분자는 해리하지 않고 분자 형태로 남아 있다. 이러한 상황이 강산에서 일어나기 위해서는 물과 반응하지 않고, 다른 용매에 강산이 들어갔을 때이다.[63] 따라서 강산의 이온화도가 1이라는 Arrhenius 모델 관점은 수용액의 전제 조건에서만 성립된다는 한계를 명시적으로 제시하여 강산의 이온화도의 개념은 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'임을 명시적으로 제시하는 것이 필요하다.

유형 3에 해당하는 2009 개정 교육과정 화학 II 교과서 T[35]의 경우를 *Fig.* 11에 제시하였다. *Fig.* 11에서는 강산인 염산의 이온화도는 1로 표현하였지만, 동일한 강산인 질산과 황산의 이온화도는 1보다 작은 값으로 표현하고 있다. 유형 3에 해당하는 또 다른 교과서의 사례를 *Fig.* 12에 제시하였다. 이 사례에 해당하는 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서 T[50]에서는 강산의 이온화도 값을 모두 1보다 작게 제시하였지만, 그림으로 표현된 내용을 보면 강산이 100% 해리한 것으로 되어 있다. 이러한 표현은 수용액에서 강산의 이온화도와 비수용액에서 강산의 이온화도를 혼재하여 제시한 것이다. 이러한 혼재된 상황에서는 Arrhenius 모델의 전제 조건이나 한계를 명확하게 비교하는 설명이 포함되어야 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 학생들이 인식할 수 있게 될 것이다.

이온화 상수와 관련된 내용 분석 결과

2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정에서 개발된 화학 II 교과서와 교사용 지도서의 '이온화 상수'에 대한 내용을 분석한 결과, 2009 개정 교육과정에서는 강산의 이온화 상수 값을 제시한 화학 II 교과서와 교사용 지도서가 2종이고, 제시하지 않은 화학 II 교과서와 교사용 지도서가 2종이었다. 2015 개정 교육과정에서는 강산의 이온화 상수 값을 제시한 화학 II 교과서와 교사용 지도서가 2종이고, 제시하지 않은 화학 II 교과서와 교사용 지도서가 5종이었다(*Table* 6). 따라서 2009 개정 교육과정에서는 강산의 이온화 상수 값을 제시한 교과서와 교사용 지도서가

표 Ⅱ-3 산과 염기의 이온화도 (25 ℃, 0.1 M)

산의 종류	이온화도	염기의 종류	이온화도
HCl	0.94	NaOH	0.91
HNO_3	0.92	KOH	0.91
CH_3COOH	0.013	$Ca(OH)_2$	0.90
H_2CO_3	0.0017	NH_3	0.013

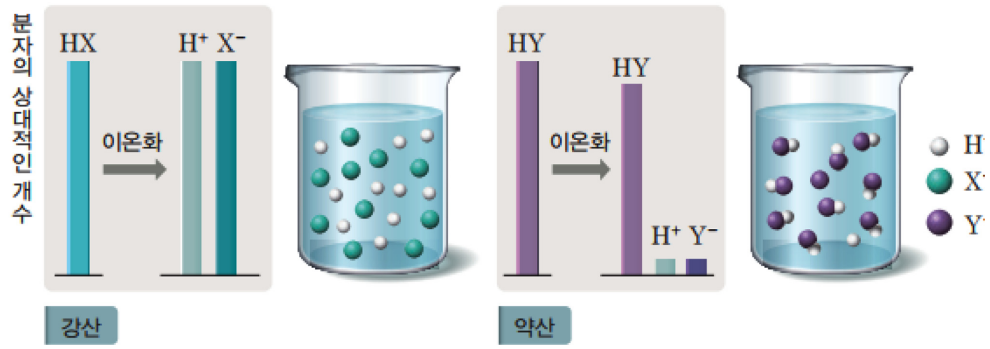


***Figure* 12.** A 'Type 3' explanation of ionization degree in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[50]

***Table* 6.** Analysis of ionization constant in a chemistry II textbooks and teacher's guides of 2009 & 2015 Revised Curriculum

Type	Analytical criteria	2009 Revised Curriculum	2015 Revised Curriculum
1	Presentation of ionization constant value of strong acid	T^{33}, T^{35}	T^{46}, T^{49}
2	No ionization constant values for strong acids	T^{34}, TG^{53}	T^{45}, T^{47}, T^{48}, T^{50}, TG^{54}

T: Textbook, TG: Teacher's Guide

짝산			짝염기		
이름	화학식	K_a	이름	화학식	K_b
질산	HNO_3	25	질산 이온	NO_3^-	4.2×10^{-16}
탄산	H_2CO_3	4.2×10^{-7}	탄산수소 이온	HCO_3^-	2.4×10^{-8}
암모늄 이온	NH_4^+	5.6×10^{-10}	암모니아	NH_3	1.8×10^{-5}

***Figure* 13.** A 'Type 1' explanation of ionization constant in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[49]

더 많았으나, 2015 개정 교육과정에서는 제시하지 않은 교과서와 교사용 지도서가 더 많음을 알 수 있다.

유형 1에 해당하는 교과서의 내용을 *Fig.* 13에 제시하였다. 이온화 상수의 개념은 가역 반응을 고려하여 반응물의 농도가 존재한다는 전제 조건을 가지고 있으므로 Brønsted–Lowry 모델의 설명이다. 따라서 강산의 경우에는 물속에서 100% 해리해 분모가 0에 가까워져 강산의 이온화 상수가 무한의 값이 되기 때문에 강산의 이온화 상수 값은 제시하기 어렵다. 이것이 강산의 이온화 상수 값을 표현하기 어려운 이유임에도 불구하고 특정한 상수 값을 제시하여 Brønsted–Lowry 모델이 가지는 한계를 표현하지 않았다. 따라서 유형 1은 Arrhenius 모델의 '이그노런스'를 학생들이 인식하기 어렵게 만든다.

유형 2에 해당하는 교과서 내용을 *Fig.* 14에 제시하였다. 이 설명에서는 이온화 상수 값을 약산과 약염기의 경우에만 제시한다는 전제 조건을 표현하였다. 따라서 이러한 설명은 Brønsted–Lowry 모델이 가지는 한계를 표현함으로써 Arrhenius 모델의 '이그노런스'를 명료하게 제시한 것이다.

2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 각 1종의 교사용 지도서에서 Brønsted–Lowry 모델이 가지는 한계를 표현하였다. 2009 개정 교육과정의 교사용 지도서(*Fig.* 15)

강산과 강염기는 수용액에서 거의 모두 이온화하지만, 약산과 약염기는 수용액에서 일부만 이온화한다. 따라서 약산, 약염기는 이온화 반응의 평형 상수식을 이용하여 이온화하는 정도를 비교할 수 있다.

산 HA는 수용액에서 다음과 같은 이온화 평형을 이룬다.

$$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons A^-(aq) + H_3O^+(aq)$$

이 반응의 평형 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{[A^-][H_3O^+]}{[HA][H_2O]}$$

***Figure* 14.** A 'Type 2' explanation of ionization constant in a chemistry II textbook of 2015 Revised Curriculum.[48]

강산은 평형이 오른쪽으로 많이 치우쳐 있는 산으로 HA가 평형 상태에서 거의 모두 이온화된다는 것을 의미한다. 약산은 평형이 왼쪽으로 치우쳐 있으므로 평형 상태의 용액에서 대부분의 산은 HA로 존재하며, 극히 적은 양만이 이온화된다.

약산이 이온화하는 반응의 평형 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$HA(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + A^-(aq)$$

$$K = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA][H_2O]}$$

이때 순수한 물의 농도는 항상 일정하므로 $[H_2O]$는 상수로 볼 수 있다. 따라서 위의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = K[H_2O] = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$$

***Figure* 16.** A 'Type 2' explanation of ionization constant in a chemistry II teacher's guide of 2015 Revised Curriculum.[54]

에서는 약산의 경우만 산 해리 평형의 위치를 평형식으로 나타낼 수 있으므로 평형 상수를 표현한다는 설명을 제시하여 Brønsted–Lowry 모델에서는 강산의 이온화 상수 값을 표현하지 못하는 한계를 제시하였다. 이러한 설명을 통해 강산의 이온화 상수 값은 Arrhenius 모델의 '이그노런스'임을 명확하게 인식할 수 있다.

2015 개정 교육과정의 교사용 지도서(*Fig.* 16)에서는 강산의 경우 평형이 오른쪽으로 많이 치우쳐 있어서 거의 모두 이온화한다고 표현하였다. 그리고 약산의 경우만 평형 상수를 표현하였다. 이러한 설명은 Brønsted–Lowry 모델의 한계를 제시한 것으로 Arrhenius 모델의 '이그노런스'를 명확하게 제시한 것으로 볼 수 있다.

2015 개정 교육과정에서는 산의 세기를 이온화 상수 개념으로 설명하도록 제시하였는데, 강산의 이온화 상수 값을 표현하지 않은 교과서가 매우 많다는 것은 모델링을 강조하는 측면에서 보았을 때 바람직한 현상이라고 할 수 있다.

결론 및 제언

이 연구는 선행 연구와 일반화학 교재의 내용을 바탕으로 Arrhenius 모델과 Brønsted–Lowry 모델이 갖는 '이그노런스'를 추출하고 화학 I, II 교과서 및 교사용 지도서의 관련 내용이 설명하는 모델의 한계와 전제 조건을 잘 드러내도록 설명하고 있는지 분석하였다. 각 모델이 설명한 수 있는 부분만 제시하기 보다는 각 모델이 가지는 한계와 전제 조건을 제시하는 것은, 이러한 한계와 전제 조건에도 불구하고 모델을 적용하는 이유를 생각해 볼 수 있는 기회를 제공한다. 즉, 설명 모델이 아닌 다른 모델은 이 현상을 설명할 수 없다는 것은 다른 모델의 '이그노런스'를 인식하는 기회를 제공한다. 이 연구에서는 이러한 관점으로 교과서와 교사용 지도서의 내용을 분석하고 모델링 교육을 위한 개선 방안을 제시하였다.

중화 반응 개념은 하나를 제외한 모든 교과서가 Arrhenius 모델 관점으로 설명하고 있었다. 따라서 '산의 수소 이온과 염기의 수산화 이온이 반응하여 물과 염기 생성된다.'는 중화 반응의 개념은 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'이고, Arrhenius 모델이 가지는 한계라는 것을 교사가 인식하고, 중화 반응의 개념을 지도할 수 있도록 교사용 지도서에 제시할 필요가 있다. 즉, Arrhenius 모델 관점인 '수소 이온을 포함하는 산과 수산화 이온을 포함하는 염기 반응을 중화 반응이라고 정의하는 것'의 한계는 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스' 임을 교사가 인식하고 학생들에게 관련된 중화 반응의 개념을 지도할 수 있도록 하는 것은 2015 개정 교육과정에서 강조하는 모델링 교육을 위해 필요하다.

중성 개념에 대한 교과서 및 교사용 지도서의 설명은 Arrhenius 모델 관점으로 설명한 유형과 설명을 하지 않는 유형으로 구분하였다. 2009 개정 교육과정과 2015 개정

산의 평형 농도 모형과 약산 용액의 평형

약산은 강산의 묽은 용액과 동일하게 다룰 수 없다. 강산은 수용액에서 100 % 해리하는 반면, 약산은 부분적으로만 해리한다. 따라서 산 해리 평형의 위치는 평형식으로 나타낼 수 있으며, 이때의 평형 상수를 산 해리 상수(acid-dissociation constant, K_a)라고도 한다.

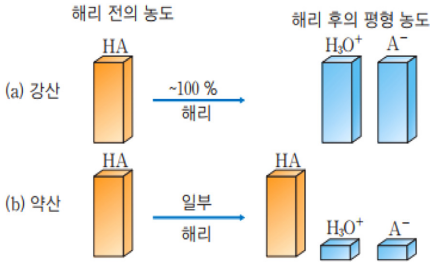


***Figure* 15.** A 'Type 2' explanation of ionization constant in a chemistry II teacher's guide of 2009 Revised Curriculum.[53]

교육과정의 교과서들은 두 유형이 비슷한 비율로 나타났다. 산과 염기의 반응에서 다루는 두 모델 중 Arrhenius 모델로만 중성 개념을 설명하는 이유가 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스' 때문임을 교사가 명확하게 인식하려면, Arrhenius 모델의 한계와 전제 조건이 표현되어야 한다. 따라서 중화 반응을 설명할 때 '중성' 개념을 도입하면서 Arrhenius 모델의 한계나 전제 조건을 표현하지 않으면, 교사는 중성 개념이 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'임을 인식하고 학생들에게 모델링 역량을 길러주는 교육을 잘 수행하기 어려울 수 있다. 설명의 또 다른 유형은 '중성' 이라는 개념을 중화반응에서 제시하지 않은 경우인데, 중화 반응을 설명할 때 '중성' 개념을 도입하지 않게 되면 학생들은 이 내용으로부터 산과 염기에 관련된 모델 자체를 인식하지 못하게 되기 때문에 모델링 교육의 관점에서는 더욱 큰 문제라고 볼 수 있다.

중화 반응의 양적 관계에 대한 설명에서는 모든 교과서가 Arrhenius 모델만으로 설명하였으며, 한 교사용 지도서에서만 양적 관계를 약산과 약염기가 포함된 중화 반응에 적용할 때의 한계를 제시하였다. 따라서 교사들이 각 모델의 '이그노런스'를 인식하고 중화 반응의 양적 관계를 지도하기 위해서는 가능한 한 모든 교사용 지도서에 약산과 약염기의 중화 반응에 양적 관계를 적용할 때 Brønsted–Lowry 모델의 '이그노런스'를 인식하고, 학생들에게 Arrhenius 모델로 중화 반응의 양적 관계를 표현할 때 가지는 한계를 인식할 수 있도록 지도하는 방안을 안내할 필요가 있다.

이온화도 개념은 Arrhenius 모델 관점으로 수용액 상황이라는 전제 조건을 포함하기 때문에 강산의 경우 100% 이온화를 가정한다. 비수용액 상황에서는 강산이라도 100% 이온화하지 않기 때문에 Arrhenius 모델이 가지는 한계를 인식하는 것이 필요하다. 그러나 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정의 모든 교과서에서는 Arrhenius 모델의 한계에 대한 명시적인 표현이 제시되지 않았으며, 또한 동일한 교과서에서 수용액 상황과 비수용액 상황이 혼재된 표현을 한 경우도 있었다. 따라서 이온화도 개념은 Brønsted–Lowry 모델에서는 표현하지 못하는 '이그노런스'임을 교사가 파악하고, Arrhenius 모델 관점에서 이온화도 개념을 표현할 때 가지는 한계나 전제 조건을 학생들에게 명확하게 제시할 수 있도록 교사용 지도서에 명시적으로 제시할 필요가 있다.

이온화 상수 개념은 Brønsted–Lowry 모델의 관점으로, 이 관점이 가지는 한계를 다수의 교과서에서 제시하였다. 즉, 강산의 이온화 상수 값을 제시하지 않은 교과서 및 교사용 지도서가 2009 개정 교육과정에서는 2종이었지만, 2015 개정 교육과정에서는 5종으로 증가하였다. 이러한 변화는 모델의 역할을 학생들이 이해하는 모델링 교육에 매우 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

산과 염기에 관련된 Arrhenius 모델 관점과 Brønsted–Lowry 모델의 관점으로 교과서 및 교사용 지도서에 포함된 다양한 개념들의 설명을 분석한 결과, 대부분의 설명에서는 각 모델이 설명할 수 없는 부분을 한계로 드러내기보다는, 모델로 설명할 수 있는 범위까지만 한정하여 제시하고 있었다. 이러한 경향은 화학 교사들이 모델의 '이그노런스'를 명확하게 인식하고 학생들에게 각 모델의 한계와 제한점을 지도할 기회를 간과하게 만들 수 있다. 또한 한 현상에 대해 설명하는 '개념'이 어떤 모델로는 가능하지만 다른 모델로는 불가능하다는 관점의 도입을 통해 모델링 역량을 길러주는 데에 초점을 두는 설명이 매우 부족한 경향이 있었다.

2015 개정 교육과정에서 강조하는 모델의 이해와 모델의 활용을 위해서는 과학의 본성을 이해하고 모델의 한계와 전제 조건을 인식하는 것이 필요하다. 과학자마다 무질서한 자연에서 패턴을 찾기 위한 단순화나 함축화의 과정이 다르고, 이에 따라 동일한 자연을 설명할 때에도 다른 과학 모델이 생성된다는 것을 학생들에게 가르치는 것은 매우 중요하다. 이러한 모델링 과정에 대한 이해를 통해 학생들도 스스로 자연 현상을 설명하는 창의적인 모델을 만들어 보고, 이를 정교하게 발전시켜 나가는 교육적 체험을 할 수 있기 때문이다. 따라서 교과서에 제시된 과학 개념을 설명하는 모델을 제시할 때 모델이 가지는 한계와 제한 조건 등을 명시할 필요가 있다. 그렇지 않다면 모델을 절대적인 과학적 사실로 받아들이고, 이를 적용하여 문제를 푸는 과정에서 제한 조건의 차이로 인해 발생하는 상황을 모델의 '이그노런스'로 이해하지 못하고 자신의 과학 지식이 부족하여 발생하는 문제로 받아들임으로써 과학 공부를 쉽게 포기하는 상황을 발생시킬 것이다. 이는 화학에 대한 학습의 어려움으로 이어질 수 있으며, 결과적으로 화학을 선택하고 공부하려는 학생들의 의지를 꺾게 만들 수 있다.

따라서 교육적 효과를 높이기 위해서라도 과학의 본성으로써 모델의 '이그노런스'를 교사가 이해할 수 있도록 교사용 지도서를 개선할 필요가 있다. 교사가 모델의 '이그노런스'를 잘 이해하게 되면, 교과서에 제시된 각 모델의 한계와 제한 조건을 명확하게 학생들에게 보여줌으로써 학생들이 모델의 이해와 모델링 역량을 높일 수 있도록 지도할 수 있기 때문이다. 또한 교사 양성 과정에서 과학 모델에 대한 '이그노런스'를 명시적으로 가르칠 수 있는 교수 방법에 대한 연구로 이어질 필요가 있다.

Acknowledgments. 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5C2A04081191).

REFERENCES

1. NGSS Lead States. Next Generation Science Standards: For States, By States; The National Academies Press: Washington, DC, 2013; Available at http://www.nextgenscience.org/.
2. Gilbert, J.; Justi, R. *Modeling-based Teaching in Science Education*; Springer: Switzerland, 2016.
3. Kim, S. K.; Park, C. Y.; Choi, H.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2018**, *62*, 226.
4. Oh, P. S.; Oh, S. J. *International Journal of Science Education* **2011**, *3*, 109.
5. Cho, H. S.; Nam, J. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 539.
6. Cho, E. J.; Kim C. J.; Choe, S. U. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 859.
7. Kang, N. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 143.
8. Clement, J. J. *International Journal of Science Education* **2000**, *22*, 1041.
9. Clement, J. J.; Rea-Ramı´rez, M. A.; Mimez-Oviedo, M. C. An instructional model derived from model construction and criticism theory. In *J. J. Clement, M. A.; Rea-Ramirez; Mary, A.,* Eds., Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2008, 23.
10. Gobert, J. D.; O'Dwyer, L.; Horwitz, P.; Buckley, B.; Levy, S.; Wilensky, U. *International Journal of Science Education* **2011**, *33*, 653.
11. Justi, R.; Gilbert, J. K. *International Journal of Science Education* **2011**, *25*, 1369.
12. Buckley, B. C.; Boulter C. J. Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In *Developing models in science education, J. K. Gilbert; C. J. Boulter Eds.*; Kluwer Academic: Dordrecht, The Netherlands, 2000, 119.
13. Redish, E. F. *American Journal of Physics* **1994**, *62*, 792.
14. Schwarz, C. V.; Gwekwerere, Y. N. *Science Education* **2007**, *91*, 158.
15. Snow, R. E. *International Journal of Educational Research* **1990**, *14*, 455.
16. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. *International Journal of Science Education* **1998**, *20*, 83.
17. Jonassen, D.; Strobel, J.; Gottdenker, J. *Interactive Learning Environments* **2005**, *13*, 15.
18. Rea-Ramirez, M. A.; Clement, J.; Núñez-Oviedo, M. C. *Model Based Learning and Instruction in Science*; Springer: Netherlands, 2008.
19. Schecker, H. P. *Physics Education* **1993**, *28*, 102.
20. Windschitl, M.; Thompson, J.; Braaten, M. *Science Education* **2008**, *92*, 941.
21. Clement, J. J. *International Journal of Science Education* **2000**, *22*, 1041.
22. Gobert, J. D.; O'Dwyer, L., Horwitz, P.; Buckley, B.; Levy, S.; Wilensky, U. *International Journal of Science Education* **2011**, *33*, 653.
23. Chang, H. S. *Is Water H2O?:Evidence, Realism and Pluralism*; Springer Science & Business Media: London, 2012.
24. Stuart F. *Ignorance: How It Drives Science*; Oxford University Press: USA, 2012.
25. Asnat R. Z.; Sharona T. L. *Journal of Research in Science Teaching* **2019**, *56*, 881.
26. Paik, S. H.; Choi, J. I.; Park, E. J. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2013**, *33*, 1273.
27. Kim, S. K.; Choi, H,; Park, C. Y.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, *63*, 56.
28. Paik, S. H. *Journal of chemical education* **2015**, *92*, 1484.
29. Park, J. S.; Youn, Y.; Jung, J. O.; Cho, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry I*; Kyohaksa: Seoul, 2011.
30. Ryu, H. I.; Kim, C. S.; Lee, G. P.; Lee, J. B.; Bak, S. B.; Kang, S. G.; Kim, Y. Y.; Lee, H. G. *Chemistry I*; Visang Press: Seoul, 2011.
31. 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.
32. Kim, H. J.; Kim, H. S.; Lee, B. K.; Lee, S. M.; Lee, Y. S.; Lee, J. H.; Lee, J. S.; Lee, H. N.; Cho, H. S. *Chemistry I*; Sangsang Academy Press: Seoul, 2011.
33. Park, J. S.; Youn, Y.; Jung, J. O.; Cho, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry II*; Kyohaksa: Seoul, 2012.
34. Ryu, H. I.; Kim, C. S.; Lee, G. P.; Lee, J. B.; Bak, S. B.; Kang, S. G.; Kim, Y. Y.; Lee, H. G. *Chemistry II*; Visang Press: Seoul, 2012.
35. Noh, T. H.; Choi, S. S.; Kang, S. J.; Lee, S. Y.; Bae, B. I.; Go, S. Y.; Ju, Y.; Choi, S. Y. *Chemistry II*; Chunjae Press: Seoul, 2012.
36. Hong, H. K.; Jeon, H. G.; Lee, B. K.; Kim, M. S.; Seok, D. J.; Sin, I. J.; Kim, H. S. *Chemistry I*; Kyohaksa: Seoul, 2018.
37. Park, J. S.; Park, J. H.; Kang, S. H.; Ryu, S. K.; Sin, D. H.; Lee, S. Y.; Cho, S. Y.; Cho, H. S. *Chemistry I*; Visang Press: Seoul, 2018.
38. Noh, T. H.; Kang, S. J.; Ju, Y.; Go, S. Y.; Kim, Y. H.; Choi, S. Y.; Yang, C. H. *Chemistry I*; Seoul: Chunjea: Seoul, 2018.
39. Jang, N. H.; Kang, S. J.; Park, J. B.; Lee, H. I.; Kim, H. C.; Bae, S. W.; Oh, C. J.; Og, J. S.; Lee, J. M.; Lee, H. N. *Chemistry I*; Sangsang Academy Press: Seoul, 2018.
40. Choi, M. H.; Seo, I. H.; Han, M. J.; Jeong, D. Y.; Kim, H. K.; Choi, G. S. *Chemistry I*; Mirea-n: Seoul, 2018.
41. Lee, S. G.; Kim, Y. Y.; Lee, J. B.; Kim, H. J.; Kang, S. G.; Park, B. K.; Kim, S. H.; Park, H. J. *Chemistry I*; Jihaksa: Seoul, 2018.
42. Kang, D. H.; Lee, S. M.; Park, G. S.; Choi, J. M. *Chemistry I*; YBM: Seoul, 2018.
43. Hwang, S. Y.; Jeon, H. Y.; Lee, S. H.; Noh, D. G. *Chemistry I*; Donga Publisher: Seoul, 2018.
44. Ha, Y. K.; Jeon, S. C.; Bae, B. I.; Noh, K. J.; Kang, S. H.; Kim, J. O. *Chemistry I*; Kumsung Publisher: Seoul, 2018.
45. Hong, H. K.; Jeon, H. G.; Lee, B. K.; Kim, M. S.; Seok, D. J. Sin, I. J.; Kim, H. S. *Chemistry II*; Kyohaksa: Seoul,

2019.
46. Park, J. S.; Park, J. H.; Kang, S. H.; Ryu, S. K.; Sin, D. H.; Lee, S. Y.; Cho, S. Y.; Cho, H. S. *Chemistry II*; Visang Press: Seoul, 2019.
47. Roh, T. H.; Kang, S. J.; Ju, Y.; Go, S. Y.; Kim, Y. H.; Choi, S. Y.; Yang, C. H. *Chemistry II*; Chunjea: Seoul, 2019.
48. Jang, N. H.; Kang, S. J.; Park, J. B.; Lee, H. I.; Kim, H. C.; Bae, S. W.; Oh, C. J.; Og, J. S.; Lee, J. M.; Lee, H. N. *Chemistry II*; Sangsang Academy Press: Seoul, 2019.
49. Choi, M. H.; Seo, I. H.; Han, M. J.; Jeong, D. Y.; Kim, H. K.; Choi, G. S. *Chemistry II*; Mirea-n: Seoul, 2019.
50. Lee, S. G.; Kim, Y. Y.; Lee, J. B.; Kim, H. J.; Kang, S. G.; Park, B. K.; Kim, S. H.; Park, H. J. *Chemistry II*; Jihaksa: Seoul, 2019.
51. Hong, H. K.; Jeon, H. G.; Lee, B. K.; Kim, M. S.; Seok, D. J.; Sin, I. J.; Kim, H. S. *Chemistry I Teacher's Guide*; Kyohaksa: Seoul, 2018.
52. Choi, M. H.; Seo, I. H.; Han, M. J.; Jeong, D. Y.; Kim, H. K.; Choi, G. S. *Chemistry I Teacher's Guide*; Mirea-n: Seoul, 2018.
53. Park, J. S.; Youn, Y.; Jung, J. O.; Cho, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry II Teacher's Guide*; Kyohaksa: Seoul, 2012.
54. Roh, T. H.; Kang, S. J.; Ju, Y.; Go, S. Y.; Kim, Y. H.; Choi, S. Y.; Yang, C. H. *Chemistry II Teacher's Guide*; Chunjea: Seoul, 2019.
55. Brown, T. L.; LEMay, H. E. Jr.; Bursten, B. E.; Murphy, C. J.; Woodward, P. M. *Chemistry: The Central Science* 2th ed.; Prentice Hall: USA, 2012.
56. Zumdahl, S. S.; Zumdahl, S. A. *Chemistry* 8th ed.; Cengage Learning: Singapore, 2010.
57. Mcmurry, J. E. *Chemistry* 10th ed.; McGraw-Hill: NY, 2010.
58. Oxtoby, D.; Gillis, H. P.; Campion, A. *Principles of Modern Chemistry,* 7th ed.; Cengage Learning: NY, 2012.
59. John, H.; Go, M. J. *The History of Chemistry*; Book's hill: Seoul, 2005.
60. Schmidt, H.-J. *International Journal of Science Education* **1991**, *13*, 459.
61. Wobbe, D. V.; Albert, P. *Journal of Chemistry Education* **2001**, *78*, 494.
62. Brubaker Jr. C. *Journal of Chemical Education* **1957**, *34*, 325.
63. Go, H. S.; Kim, K. E.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2012**, *56*, 628.
64. Paik, S. H.; Go, H. S.; Jeon, M. C. *Journal of the Korean Chemical Society* **2013**, *57*, 279.
65. Paik, S. H. *The History of Chemistry*: imotionmedia: Seoul, 2018.