Journal of the Korean Chemical Society
2017, *Vol. 61, No. 2*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2017.61.2.65

화학 교재 및 화학 교사들의 Brønsted−Lowry 산-염기 개념에 대한 분석

김성기 · 박철용[†] · 최 희[‡] · 백성혜[§,*]
나주고등학교
[†]천안중학교
[‡]율량중학교
[§]한국교원대학교
(접수 2016. 11. 25; 게재확정 2017. 2. 22)

An Analysis of Chemistry Textbooks' and Teachers' Conceptions on Brønsted−Lowry Acid-Base

Sung-Ki Kim, Chul-Yong Park[†], Hee Choi[‡], and Seoung-Hey Paik[§,*]
Na-ju Highschool, Naju 58215, Korea.
[†]*Cheonan Middle School, Cheonan 31233, Korea.*
[‡]*Yullyang Middle School, Cheongju 28308, Korea.*
[§]*Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea,*
[*]*E-mail: shpaik@knue.ac.kr*
(Received November 25, 2016; Accepted February 22, 2017)

요 약. 본 연구는 학생들이 Brønsted−Lowry 산, 염기 학습에 어려움을 갖는 요인을 각 정의가 갖는 관점을 중심으로 알아보았다. 이를 알아보기 위해 학생의 학습에 많은 영향을 주는 교과서의 진술방식과 교사의 인식을 연구대상으로 하였다. 교과서는 Brønsted−Lowry 정의가 다루어지는 화학 I 4종과 EBS 2종이 분석되었으며, 교사는 Brønsted−Lowry 정의를 가르친 경험이 있는 24명의 교사를 대상으로 하였다. 교과서 분석 결과 ① 정의의 관점이 배제된 진술 방식, ② 아레니우스 정의로 수렴화된 진술 방식을 보였다. 교사의 인식 분석 결과 ① 관점이 하나인 교사들, ② 다양한 정의의 공존에 대한 이유를 인식하지 못한 교사이었다. 이는 Arrhenius와 Brønsted−Lowry 정의의 각 관점을 인식하지 못함으로 설명될 수 있다. 학생의 Brønsted−Lowry 학습을 신장시키기 위해서는 학생들이 각 정의에 맞는 관점을 획득해야 한다. 이를 위해 각 정의의 관점을 획득할 수 있는 예비교사 양성과정과 정의의 관점에 맞는 교과서 진술 방식의 수정을 제안하고자 한다.

주제어: 산-염기 정의, 관점, 물질적 관점, 과정적 관점

ABSTRACT. The goal of this study was to discover factors of difficulties on learning Brønsted−Lowry acid and base focusing viewpoint of each definition. To achieve this, we were targeting statement of textbooks and perception of teachers that have a decisive effect on students' learning. Analysis of textbooks was performed for chemistry I of high school and EBS(total 6 textbooks) which dealt with Brønsted−Lowry definition. And a survey was conducted on 24 science teachers who had Brønsted−Lowry definition teaching experience. According to the textbooks analysis, characteristics of statement way were ① statement without viewpoint of each definition, ② convergent statement to Arrhenius. And features of teachers' perceptions were ① teachers who have the only one viewpoint, ② teachers with unawareness on coexisting reason of various definitions. All of these can be explained by absence from understanding viewpoints of Arrhenius and Brønsted−Lowry. To promote students' Brønsted−Lowry learning, students should obtain viewpoints of each definition. So we suggest that pre-service teacher training curriculum and statement way of textbook should reflect viewpoints of each definition.

Key words: Acid-base definition, Viewpoint, Matter viewpoint, Process viewpoint

서 론

현재 중등학교에서 다루는 과학 개념은 지금의 수준에서 자연 현상을 가장 그럴 듯하게 설명한 것이지만, 이것을 진리하고 할 수는 없다. 그렇기 때문에 이러한 개념은 더 나은 개념이 등장함에 따라 기각되곤 한다. 하지만 일부는 폐기되지 않고 새로 등장한 개념과 공존하기도 한다. 그래서 어떠한 자연현상을 설명하기 위해 다양한 개념을 사용하는 현상은 흔히 관찰된다. 그러한 대표적인 사례가 산-염기에 관련된 이론이다. 우리나라에서는 교육과정이 개정됨에

따라 새로운 개념이 교육과정에 추가되거나 기존에 다루었던 개념이 삭제되는 경우가 종종 있지만, 산- 염기 개념의 경우 지금까지 만들어진 모든 교육과정에서 다루었다. 뿐만 아니라 이 개념은 초등학교부터 고등학교 및 대학교의 일반화학까지 모든 학년에서 다룬다. 그리고 Arrhenius의 개념을 배운 후에 Brønsted-Lowry의 개념을 제시하는 방식을 지속적으로 유지하여 왔다.

그러나 학생들이 과학 개념을 학습할 때, 하나의 이론만으로 설명하는 것보다 다양한 이론이 공존할 때 학습에 더 어려움을 갖게 된다. 학생들뿐만 아니라 심지어 이를 가르치는 교사까지도 산-염기 개념을 이해하는데 어려움을 갖고 있다.[1–5] 특히 산-염기에 대한 다양한 정의를 학습하면서 학생들은 정의 사이의 충돌을 경험하거나 정의들 사이의 관계를 이해하는데 어려움을 겪는다. 이는 우리나라 뿐아니라 교육 환경이 다른 나라에서도 흔히 나타난다.[6–15] 17~19살의 중등학교 학생들을 대상으로 한 연구[16]에서는, Arrhenius 정의에서 중성이라고 배웠던 물이 Brønsted-Lowry 정의에서는 갑자기 염기가 되거나 산이 되는 것에 대해 학생들이 혼란을 느끼는 것으로 나타났다. 또한 학생들은 Arrhenius의 관점으로 Brønsted-Lowry의 정의를 받아들였으며 따라서 양성자의 이동에 관심을 두지 않는 것으로 나타났다. Arrhenius의 정의와 Brønsted-Lowry의 정의 사이에 나타나는 충돌로 인하여 학생들이 중성과 중화의 개념을 혼동한다는 점을 지적한 연구도 있다.[17] Hawkes[18]는 이러한 문제를 해결하기 위하여 처음부터 Arrhenius의 정의를 가르치지 말고, Brønsted-Lowry의 정의만 가르치자고 주장하기도 하였다.

Furió-Más 등[19]은 학생들이 Brønsted-Lowry를 이해하지 못하는 이유로 교사들의 문제를 제기하였다. 그는 Arrhenius와 Brønsted-Lowry의 정의를 가르칠 때 전제조건에 대한 내용을 배제한 채 산-염기 정의를 제시하면서 이 정의들을 혼합하여 혼성 개념으로 가르치는 문제를 지적하였다. Broman과 Parchm[20]도 이러한 혼성적 설명이 학생들의 혼란에 원인을 제공한다고 하였다. Vos와 Pilot[21]는 고정적인 시각에서 물질 자체에 초점을 맞추어 산과 염기로 분류하는 Arrhenius의 정의와는 달리 Brønsted-Lowry는 반드시 반응식 안에서만 그 우위를 결정할 수 있고, 어떤 물질과 반응하느냐에 따라 그 우위가 변할 수 있으므로 반응 안에서 입자의 이동에 초점을 맞추어 산과 염기를 분류한다는 점에서 Arrhenius 정의와 Brønsted-Lowry 정의의 차이점이 있다고 설명하였다.

Chi 등[22]에 따르면 과학 개념은 물질적 관점과 과정적 관점으로 범주화 될 수 있다고 하였다. 그래서 만약 어떤 과학 개념이 물질적 관점이고, 이것을 물질적 관점으로 가르친다면 학생들은 이 개념을 학습하는데 어려움이 적지만, 과정적 관점인 어떤 과학개념을 물질적 관점으로 가르칠 때 학생들은 어려움을 갖는다고 한다. 이러한 주장에 근거하여 백성혜[23]는 Arrhenius 정의를 물질적 관점으로 보고, Brønsted-Lowry의 정의를 과정적 관점으로 보았다. 따라서 두 이론을 확장적 개념 관계로 설명하는 것은 문제가 있음을 지적하였다.

Duschl 등[24]에 따르면, 과학에서 각 이론의 관점은 특정한 사고의 방식을 갖고 있기 때문에 각 이론이 갖는 특별한 측면이 무엇인지 학생들이 인식하도록 가르치는 것이 중요하다. 특히 다양한 정의로 학습하는 산- 염기 개념을 가르칠 때 각 정의가 갖는 관점의 획득은 무엇보다 중요하다. 그러나 지금까지 이루어져 온 산-염기 학습의 어려움에 대한 연구는 주로 학생들의 오개념에 초점을 두었으며, 산-염기의 정의가 갖는 관점에 초점을 두어 교사들의 인식을 연구한 경우는 없었다.

따라서 본 연구는 Arrhenius 정의와 Brønsted-Lowry 정의의 전제 조건에 초점을 두어 화학 교재와 교사들의 생각을 알아보고자 한다. 많은 학생들은 교과서에 진술된 사항을 진리로 인식하는 경향이 있다. 그래서 교과서의 잘못된 진술방식이나 설명은 학생의 개념 획득에 영향을 준다.[25–28] 또한 학생들이 가지는 대안 개념의 근원 중 하나가 교사의 대안 개념이라는 연구가 많다.[29–31] 그렇기 때문에 이 연구는 학생들이 산-염기 개념 학습에서 겪는 어려움의 원인을 파악하는데 도움을 줄 것이다.

연구방법

이론적 틀

각 정의가 갖는 관점을 파악하기 위해 본 연구는 과학적 개념을 물질적 관점과 과정적 관점으로 분류한 Chi 등[22]의 생각을 토대로 이를 산-염기 개념에 적용한 백성혜[23]의 분류틀을 근거로 분석하였다(*Fig.* 1). 이 틀에 따르면, HCl이나 CH_3COOH는 Arrhenius의 개념에서 산으로 판단할 수 있다. 반면에 이 물질을 Brønsted-Lowry의 산으로 판단하기 위해서는 CH_3COOH가 물과 반응한다는 전제 조건이 있을 때에만 가능하다. 만약 HCl과 반응한다면 이 물질은 염기로 판정될 것이다. 이처럼 Brønsted-Lowry의 정의는

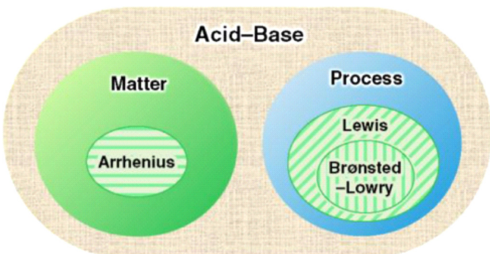


***Figure* 1.** Classification among the Arrhenius, Brønsted−Lowry, and Lewis acid−base concepts.[23]

물질 그 자체를 보고 판단하기 보다는 주어진 화학반응식에서 각 물질이 어떻게 작용하는지에 대한 과정을 보고 판단해야 한다. 즉, Arrhenius의 개념은 물질적 관점(matter viewpoint)이지만, Brønsted-Lowry의 개념은 과정적 관점(process viewpoint)이라고 할 수 있다. 이를 *Fig.* 1에 제시하였다.

연구대상

화학교재. 분석 대상은 2009 개정 교육과정에 근거하여 개발되어 현재 사용되고 있는 교과서 중 Brønsted-Lowry 개념이 처음 제시되는 화학 I 교과서 4종이다. 이와 더불어 2016학년도 발행된 EBS 화학 I 교재 중 수학능력시험 연계 교재로 활용되는 수능 특강, 수능 완성 2종을 분석에 포함하였다. EBS 교재는 우리나라 교육환경에서 학교교육에 미치는 영향력이 교과서만큼 크기 때문이다.

교사. 우리나라 중부에 위치한 사범대학의 대학원에 재학중인 화학교사 24명을 대상으로 하였다. 연구 대상자들은 고등학교에 재직하여 화학 교재에서 다루는 산-염기 개념을 수업한 경험을 가지는 교사만으로 선정하였다. 총 24명의 교사에 대한 특성은 *Table* 1과 같다.

자료수집 및 분석

교재 분석. 교과서나 EBS 교재의 전체 단원 중 화학 I 'IV. 닮은꼴 화학 반응 - 산과 염기' 부분의 소단원을 분석대상으로 하였으며, 교과서는 T1~T4, EBS는 E1, E2로 표시하였다. 1차적으로 Arrhenius와 Bronsted-Lowry의 개념에 대한 서술 방식을 분석하였다. 이 분석틀로는 과학사적 고찰을 통해 두 정의의 전제조건을 정리한 신은정[32]의 연구결과를 활용하였다(*Table* 2). *Table* 2의 내용을 간단히 소개하면, Arrhenius정의는 물에 용해되었을 때 생성되는 H^+와 OH^-를 주목하여 이를 생성하는 물질을 산과 염기로 제안하였다. 그래서 HCl은 물에 녹아 H^+를 내놓기 때문에 HCl은 산이며, NaOH는 물에 녹아 OH^-를 내놓기 때문에 NaOH는 염기이다. 이 정의에서 중화반응은 염과 물이 생성된다. Arrhenius는 비가역반응을 상정하기 때문에 염의 액성에 대한 해석을 다음과 같이 한다. 약산인 CH_3COOH와 강염기인 NaOH가 중화반응을 하여 생성된 염인 CH_3COONa는 염기성을 띤다. 왜냐하면 이 염은 약산과 강염기의 반응을 통해 만들어지기 때문이다.[42,43] 이러한 Arrhenius 정의는 기본 전제가 물이라는 수용액 상황에서 어떤 이온을 해리하느냐의 초점을 두기 때문에 물질적 관점에 속한다. 마치 물이라는 전제에서 전해질을 판단하는 것과 유사하다. 그래서 NaCl(s)는 전해질이만, 고체 설탕이 전해질이 아니라는 것은 물질 그 자체로 판단이 가능하다. 반면, Bronsted-Lowry는 보다 확장된 용매에서 양성자의 역할에 기반한 정의이다. 이 정의에서 산은 H^+를 내놓고 염기가 된다. 반대로 염기는 H^+를 받으면 산이 된다. 그러기 때문에 Bronsted-Lowry 정의에서 산과 염기의 중화반응은 2원 산-염기 체계(double acid-base system)이다.[42,44] 이 정의는 생성물 역시 산, 염기 시스템이기 때문에 가역반응에 대한 사고가 가능하다. Arrhenius정의와 다르게 물이라는 용매를 한정하지 않기 때문에 이 시스템에서 물질 그 자체로 산이나 염기를 판정할 수 없으며, 반응하는 상대 물질(때로는 용매)에 따라 산이나 염기의 위치가 결정된다. 그러한 면에서 이 정의는 과정적 관점에 속한다.

***Table* 2.** Precondition of Arrhenius and Bronsted-Lowry concepts

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

교재별로 다루는 순서나 세부 내용 간에 다소 차이가 있었으나, 모두 공통적으로 '산과 염기의 특성', '다양한 산, 염기 정의', '중화반응'을 다루고 있었다. 이렇게 공통적으로 다루는 부분으로 한정하여 삽화나 비유 등 교재의 내용을 물질적 관점과 과정적 관점으로 분석하였다. 교과서 진술방식 및 결과분석에 대한 타당성을 확보하기 위해 과학교육 박사 1인과 현직교사 3인에 의해 교차검증 절차를 거쳤다.

교사의 인식. 교사에 대한 자료 수집은 자기보고식 설문지와 이를 기반으로 한 면담이다. 자기보고식 설문지는 2개 문항으로 구성되었다. 문항1에서는 Arrehenius, Bronsted-

***Table* 1.** The characteristics of the participants (N=24)

Demographic variable	Category	Number of teachers	Percent (%)
Sex	Male	4	16.7
	Female	20	83.3
Teaching experience	Less than 6 years	9	37.5
	6-10 years	7	29.2
	More than 11 years	8	33.3
Academic degree	Bachelor	11	45.8
	Master	13	54.2

***Table* 3.** In-depth interview questions

Category	Question
Definition	-What are the definitions of Arrhenius, Brønsted-Lowry, and Lewis?
Relationship	-What is the relationship among the definitions of Arrhenius, Brønsted-Lowry, and Lewis? -Classify acids and bases in given chemical reactions.
Viewpoint	-What are viewpoints of Arrhenius, Brønsted-Lowry, and Lewis definitions?
Usefulness	-What is the most useful definition? -Why do we teach three definitions all instead of the most useful one definition?

Lowry, Lewis의 산, 염기 정의에 대한 관계를 그림이나 글로 서술하고, 그에 대한 이유를 작성하도록 하였다. 문항2에서는 3가지 산, 염기 정의 중 가장 유용하다고 생각하는 정의를 중복을 허용하여 답하고, 그에 대한 이유를 작성하도록 하였다. 이 두 문항을 통합적으로 분석하여 교사들이 가지는 각 정의에 해당하는 관점을 파악하였다. 이렇게 1차적으로 얻어진 분석 자료를 토대로, 교사들의 사고를 심층적으로 알아보기 위해 1:1 면담을 진행하였다. 면담은 *Table* 3과 같은 내용을 중심으로 반구조화된 형태로 진행하였다. 특히 교사가 각 정의에 어떠한 관점을 갖고 있는지 알아 보기 위해 다음과 같은 화학 반응식을 제시하였다. 주어진 화학반응식에서 반응물질들을 각 산,염기 정의에서 산과 염기로 분류하는 활동을 진행하였다. 본 연구는 각 정의에 대해 어떠한 관점을 갖고 있는지에 대한 것이 주안점으로 두었다. 따라서 예를 들어, 'HCl이니깐 Arrhenius 산이다'라는 표현은 물질적 관점으로 간주하였으며, 상대 반응물을 함께 고려하여 HCl을 Arrhenius 산으로 판정한 경우를 과정적 관점이라고 판단하였다. 이처럼 각 정의별 관점을 수합하였으며, 응답자의 일관성을 검토하기 위해 3가지 반응식의 일치도를 비교하였다.

$$HCl+NaOH \rightarrow NaCl+H_2O \quad (1)$$

$$H^+ + NaOH \rightarrow Na^+ + H_2O \quad (2)$$

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O \quad (3)$$

면담 과정에서 교사 개개인의 응답 상황에 따라 면담은 다양한 전개를 하였으며, 수행된 면담은 모두 녹화 및 전사하여 분석하였다.[33]

자료에 대한 분석은 Colaizzi[34]의 현상학적 방법을 사용하였다. 이 분석방법은 참여자로부터 기술된 내용에서 의미 있는 문장이나 구를 추출하고 이를 기반으로 일반적이며 추상적인 진술을 만들어 의미를 구성하여 주제 묶음으로 범주화한 후 인식의 본질적 구조를 기술한다. 본 연구에서는 Arrhenius, Brønsted-Lowry의 정의에 대한 교사들의 인식 구조를 구성한 후, 이를 토대로 Brønsted-Lowry 정의에 대한 대안개념이나 어려움의 요인들을 추출하였다. 분석된 질적 자료에 대한 결과의 신뢰도와 타당성을 확보하기 위해 2가지 절차를 수행하였다.[35,36] 1차적으로 4명의 전문가 집단에 의해 교차검증 하였으며, 2차적으로 분석된 결과를 연구대상인 교사에게 보여주어 자신의 생각과 일치하게 분석되었는지 확인하도록 하였다.

연구 결과 및 논의

교재 분석

정의의 전제조건이 배제된 진술 방식. 산-염기 정의의 전제조건에 대한 교재의 진술은 *Table* 4와 같다. 6종의 교재 모두 Arrhenius의 전제조건 중 수용액 상태와 산과 염기 반응의 생성물로 물과 염이 생성됨을 언급하고 있었다. 하지만 *Table* 2에서 밝힌 바와 같이 Arrhenius 정의가 담고 있는 나머지 2가지 전제조건인 비가역성과 물질 자체를 보고 산과 염기를 판단한다는 특징(물질적 관점)을 가짐을 명시적으로 제시한 교과서는 없었다. Brønsted-Lowry의

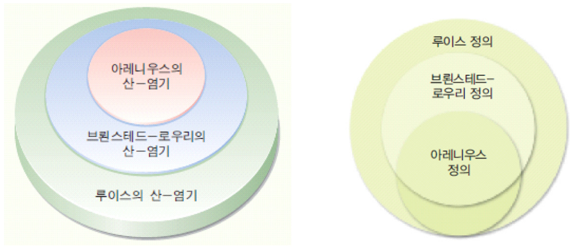
***Table* 4.** Statements of preconditions in chemistry I textbooks

Textbook	Arrhenius				Brønsted-Lowry			
	State	Product of reaction	Irreversibility	Viewpoint	State	Product of reaction	Reversibility	Viewpoint
T1[37]	○	○	×	×	○	×	×	×
T2[38]	○	○	×	×	×	×	×	×
T3[39]	○	○	×	×	×	×	×	×
T4[40]	○	○	×	×	○	×	×	×
E1[41]	○	○	×	×	×	×	×	×
E2[42]	○	○	×	×	×	×	×	×
Total frequency(%)	6 (100%)	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (33.3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

경우에는 Arrhenius보다 훨씬 전제조건에 대한 설명이 제시되지 않았다. 수용액뿐만 아니라 다양한 용매나 기체 상태에서도 정의할 수 있다는 언급은 2종(33.3%)에 불과하였다. 그 외에 산염기 반응에서 짝산과 짝염기가 생성된다는 진술이나 반응의 가역성, 그리고 과정적 관점으로 물질을 판단해야 한다는 점 등의 전제조건은 전혀 기술되지 않았다.

본 연구에서 제시한 Brønsted-Lowry의 정의가 갖는 전제조건을 담기 위해서는 화학평형이 함께 논의가 되어야 한다. 현재 2009 개정 교육과정 화학 I에서는 비가역 반응만 다루고 있으며, 화학 II에서 화학평형을 다룬다. 하지만 Brønsted-Lowry정의는 화학 I에서 다루고 있으며, 화학 II에서는 산, 염기 평형에서 완충용액이나 염의 가수분해를 다루고 있지만, 이러한 산, 염기 평형상황이 Brønsted-Lowry의 정의임을 명시적으로 밝히고 있지 않다. 이는 화학 I 이나 화학 II 모두 Brønsted-Lowry정의를 온전히 다루고 있지 못함을 보여준다. 정의를 도입하는 화학 I에서 Brønsted-Lowry정의가 갖는 전제조건을 함께 다루어야 함에도 교육과정에서 다루는 수준과의 불일치는 학생들이 해당 정의에 대한 개념을 제대로 획득하기 어렵게 만든다. 이처럼 차후 교육과정에서는 각 정의가 담고 있는 전제조건이 정의를 도입하고자 하는 학년에서 다룰 수 있는가에 대한 점검이 필요할 것이다.

교재에 제시된 평가 문항을 통해서도 Brønsted-Lowry 정의의 경우에 전제 조건에 대한 고려가 거의 되어 있지 않음을 확인할 수 있었다. *Fig.* 2에 제시된 평가 문항에서 답지 (3)번은 암모니아나 OH^-가 Brønsted-Lowry 산인지 물어보는 것이다. 그러나 Brønsted-Lowry의 산염기에 대한 판단은 반응 과정을 보고 상대적인 세기로 결정하는 것이기 때문에 물질 자체만으로 판단할 수 없다. 만약 암모니아와 반응하는 상대 물질이 더 센 염기(예를 들어, CH_3^-, $C_6H_5^-$)인 경우, 암모니아는 Brønsted-Lowry 산으로도 작용할 수 있기 때문이다. 따라서 이러한 형태의 질문 자체는 반응을 고려하지 않고 물질 자체만으로 산과 염기를 판단할 수 있다는 전제를 가지고 있기 때문에 Brønsted-Lowry의 산염기로서의 전제 조건을 전혀 고려하지 못한 것이라고 볼 수 있다.



(a) Venn diagram of T4 (ref. 40, p.218) (b)Venn diagram of T2 (ref. 38, p.224)

***Fig.* 3.** The relationships among Arrhenius, Brønsted-Lowry, and Lewis definition in chemistry textbooks.

교재 분석 결과, 6종 중 5종의 교재에서는 Arrhenius 정의를 다룬 후, Brønsted-Lowry 정의를 다룰 때 *Fig.* 3(a)와 같이 개념이 확장되어 간다는 관계로 제시하고 있으며, 1종의 교과서만 *Fig.* 3(b)와 같이 루이스는 두 정의를 포함하지만 Brønsted-Lowry의 정의는 Arrhenius의 정의의 일부를 포함하지 않는다는 것으로 제시하였다.

하지만 이렇게 제시된 정의의 관계 표현이 어떠한 의미로 제시가 되었는지에 대한 설명이 배제되어있다. 이러한 교과서의 진술은 학생들의 여러 산, 염기 정의를 이해하는데 어려움을 줄 수 있다. Hall과 Jensen은 Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis로 갈수록 점차 확장적 포함관계로 표현하였다.[45,46] 그들은 이러한 관계 표현이 산, 염기 현상을 설명하는 범위의 확장임을 밝히고 있다. 즉, 물질의 확장은 아니다. 흥미롭게도 Jensen은 산, 염기 물질의 분류에서는 *Fig.* 4와 같이 다른 표현을 하였다.[46] 이는 실제로 HCl와 NaOH의 반응에서 Arrhenius와 Brønsted-Lowry 산은 HCl이지만, Lewis 정의에서는 H^+이다. 또한 염기의 경우 Arrhenius는 NaOH가 염기이지만, Brønsted-Lowry와 Lewis 정의에서 OH^-가 염기이다. 즉, 물질을 분류할 때 정의의 관계가 달라진다. 더불어 정의의 관계는 본 연구의 틀과 같이 산, 염기 판정의 관점으로도 그려질 수 있다. 즉, 정의의 관계에 대한 표현은 절대적인 것이 없으며, 무엇을 초점을 두어 표현하였느냐에 따라 달라짐에도 불구하고 이러한 설명이 배제된 것은 학생들이 정의를 제대로 이해하는데 어려움을 줄 수 있다.

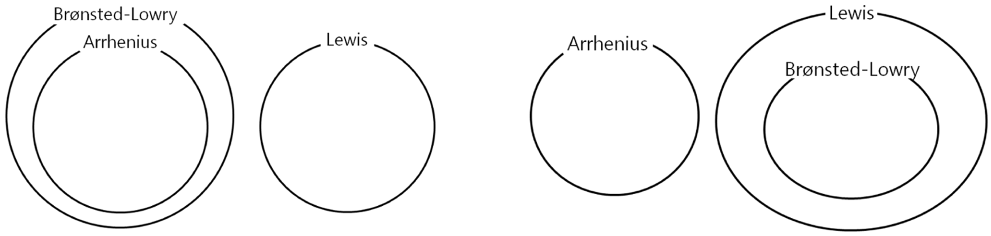
이처럼 교재마다 개념간의 관계를 다르게 표현하는 이

1 다음 내용이 옳은 것은 ○, 옳지 <u>않은</u> 것은 ×를 하시오.

(1) 질소와 인은 같은 족에 속한다.
(2) 질산과 인산은 모두 1가 산이다.
(3) 암모니아와 OH^-은 브뢴스테드-로우리 산이다.
(4) DNA에 포함된 염기는 모두 비공유 전자쌍을 가진 루이스 염기이다.

1 (1) ○
(2) × / 질산은 HNO_3로 1가 산이지만, 인산은 H_3PO_4로 3가 산이다.
(3) × / 암모니아와 OH^-은 H^+을 받으므로 브뢴스테드-로우리 염기이다.
(4) ○

***Figure* 2.** An example of textbook question and solution related to Brønsted-Lowry definiton (ref. 39 p.213, 248).



(a) Acid (b) Base

***Figure* 4.** The relationship of three definitions by acid and base.

유는 산, 염기 정의의 전제 조건에 대한 고려가 다르기 때문이다. 교재가 먼저 각 정의의 전제조건을 명시적으로 진술하였다면 이러한 혼란을 발생하지 않았을 가능성이 크다. 그러나 분석한 모든 교재에서 Arrhenius와 Brønsted-Lowry 등의 정의에 대한 전제 조건이 제대로 진술되지 않았다. 같은 교재에서 다양한 정의를 동시에 제시할 경우에는 정의의 관계를 명료히 하여야 학생들이 각 정의에 대한 이해를 가질 수 있다. 다양한 정의가 갖는 관점의 차이를 인식한 학생만이 주어진 상황 맥락에 따라서 필요한 관점을 선택하며 그에 맞는 정의를 이용할 수 있기 때문이다.

Arrhenius 정의로 수렴화된 진술 방식. 6종의 교과서는 모두 산-염기의 관점이 Arrehenius 정의로 수렴되는 것을 확인할 수 있었다. 먼저 산의 특성을 다루는 내용에서 다루는 실험은 교과서 마다 다소 차이가 있었으나, 대부분 ‘지시약의 색변화’와 ‘금속과의 반응’을 다루었다. 지시약의 변화는 주로 수소 양이온 때문에 일어나며, 금속과의 반응도 수소를 생성하는 반응으로 국한된다. 따라서 수소의 생성 자체에 초점을 두었다는 점에서 Arrhenius와 Brønsted-Lowry의 산을 모두 설명하는 것처럼 보일 수 있다. 그러나 *Fig.* 5에 제시한 바와 같이, 한 물질이 일방적인 정반응으로 수소 양이온을 해리하는 것에 초점을 둠으로써 두 물질의 상대적 반응 세기에 따라 결정되는 Brønsted-Lowry의 산에 대한 관점을 찾아보기 어렵고 짝산과 짝염기의 개념도 전혀 제시되어 있지 않다. 물질이 주어진 상황에 따라 수소이온을 가지고 있어도 반드시 수소 양이온을 해리하지 않을 수 있다. 따라서 이러한 시각은 Arrhenius의 정의로 수렴화된 진술의 사례로 볼 수 있다. 왜냐하면 Arrhenius의 정의에서는 물질 그 자체가 물을 만나서 H^+를 해리하면 산이 되기 때문이다. 즉, 반응에서 굳이 물을 언급하지 않아도 전제 조건에서 물이 고려되므로 물질만으로 물과의 해리를 고려한다면 산과 염기의 정의가 가능하다. 하지만 산의 성질을 설명한 어느 교과서도 이러한 설명이 Arrhenius 정의로 제한됨을 제시하고 있지 않다.

T4[40]교재에서는 산의 공통적 특성을 설명하면서 분자가 수소원자를 포함하고 있어도 모두 산이 될 수 없다는 진술하면서 H_2O를 예를 들었다. 그러나 이러한 설명도 물질 자체에만 초점을 두고 물을 만났을 때 수소 이온을 해리하는가에 초점을 두고 있으므로, 역시 Arrhenius 정의라고 볼 수 있다. 또한 대부분의 교재에서는 pH를 기준으로 7보다 작을 때 산이라고 가르친다. 이 진술은 Arrhenius의 관점에서는 올바른 진술이지만, Brønsted-Lowry의 관점에서는 옳지 않다. 즉 Brønsted-Lowry의 관점에서는 pH가 7인 H_2O도 산이 될 수 있으며 염기가 될 수도 있다.

HCl 염산	$\longrightarrow$	H^+ 수소 이온	+	Cl^- 염화 이온
H_2SO_4 황산	$\longrightarrow$	$2H^+$ 수소 이온	+	SO_4^{2-} 황산 이온
HNO_3 질산	$\longrightarrow$	H^+ 수소 이온	+	NO_3^- 질산 이온
CH_3COOH 아세트산	$\longrightarrow$	H^+ 수소 이온	+	CH_3COO^- 아세트산 이온

***Figure* 5.** Property of acids represented in chemistry textbooks (ref. 37 p.228).

산과 염기의 중화반응을 다루는 교재 6종에서 모두 수용액 상황을 제시하고 있으며, 약간의 표현만 달랐지 다음과 같이 설명하고 있었다.

> 산과 염기를 반응시키면 수소 이온과 수산화 이온이 반응하여 산성과 염기성이 사라지는데, 이를 중화반응이라고 한다(ref. 40, p.227).

학생들이 Brønsted-Lowry 정의에서 가장 혼란이 겪는 것이 중성과 중화의 혼란이다.[11,17,47,48] Arrhenius의 정의에서는 산성과 염기성이 아닌, 중성의 개념이 독립적으로 존재하지만 Brønsted-Lowry 정의에서는 반응의 상대성이 중요하므로 중성의 개념이 불필요하다. 따라서 중성의 개념을 강조하는 것조차도 Arrhenius의 정의에 수렴한 설명이라고 볼 수 있다.

대부분의 교과서에서 *Fig.* 6와 같이 강산인 염산과 약염기인 암모니아가 반응하는 사례를 들어 수소 양이온을 받는 물질과 수소 양이온을 주는 물질의 관점으로 Brønsted-

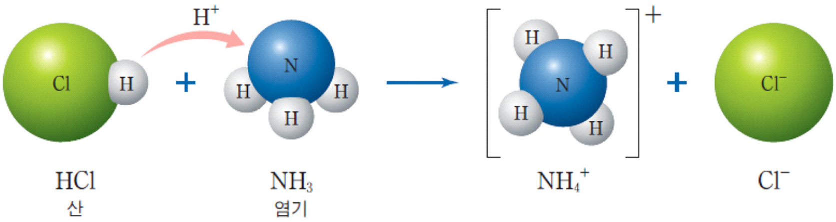


***Figure* 6.** An example of Brønsted-Lowry definition in chemistry textbook (ref. 40, p.217).

Lowry의 정의를 설명하고 있다. 이와 같은 Brønsted-Lowry 정의에 해당하는 예시 반응은 항상 산과 염기가 있기 때문에 중화반응이다. 하지만 이러한 언급을 한 교과서는 6종 모두 없었다. 다만 1종의 교과서만 중화반응에 대한 정의가 다양함을 지적하였으며, 다음과 같이 물과 염이 생성되는 중화반응은 Arrhenius의 산, 염기 시각임을 밝히고 있었다.

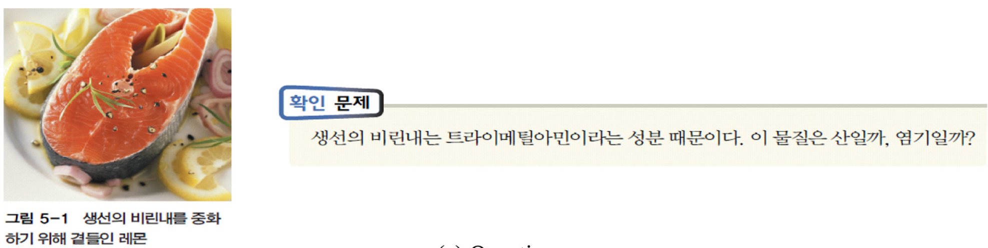
> 산과 염기에 관한 정의가 다양하기 때문에 중화반응에 대한 정의도 다양하다. 그 중에서 Arrhenius 산 염기의 정의에 따르면 중화반응이란 수용액에서 산과 염기가 반응하여 물과 염이 생성되는 반응이다(ref. 41, p.190).

대부분의 교과서가 3가지 정의를 다룬 후, 중화반응을 다루었다. 하지만 물과 염이 생성된다는 중화반응에 대한 진술이 정확히 어떠한 정의에 시각임을 밝히지 않았다. 이러한 진술은 Brønsted-Lowry나 Lewis의 중화 반응 역시 이러할 것으로 오인할 수 있다. 특히나 앞에서 언급한 확장적 포함관계로 세 가지 정의를 배운 학생들은 그럴 가능성이 높다.

또한 암모니아가 염기인 이유를 물에서 수소 양이온을 받아 수산화이온이 만들어지기 때문이라고 설명하기도 한다.[39]

$$NH_3 + H_2O \rightarrow NH_4^+ + OH^-$$

이 반응으로 암모니아가 염기임을 설명한다면, 전제조건은 Arrhenius의 산염기에 해당하므로 Brønsted-Lowry의 정의로 암모니아를 염기라고 이해하는데 어려움을 발생시킬 수 있다. 즉, 물과의 반응이고, OH^-를 생성하기 때문에 염기라고 이해할 수 있는 소지를 가지게 되는 것이다. 하지만 NH_3는 OH^-를 내놓을 수 없기 때문에 Arrhenius의 염기가 아님에도 이러한 진술은 Arrhenius 염기로 오인하게 만든다. 이와 같이 Arrhenius의 정의로 설명할 수 없고 다른 정의로 설명해야 함에도 교과서는 Arrhenius 정의에 맞게 설명하려는 시도가 많았다. 이에 대한 또 다른 대표적 예시가 *Fig.* 7과 같다. 생선비린내와 이것을 해결하는 문제에 대한 예시는 대부분의 교과서에서 다룬다. 하지만 생선비린내의 성분은 트라이메틸아민이며, 이것은 Arrhenius 염기로 정의할 수 없다. 뿐만 아니라 *Fig.* 7(b)의 교과서 풀이를 보면 결국 트라이메틸아민이라는 성분이 염기인 이유를 레몬즙과의 반응을 통해 설명하였다. 이것은 전형적인 Brønsted-Lowry 관점의 해석이다. 하지만 이러한 예시에 대한 설명이 Arrhenius 정의로 해석될 수 없음을 언급한 교과서는 없으며, 제시된 많은 Arrhenius의 예시(금속과의 반응, 리트머스 시험지 등)와 섞여 마치 이것에 대한 설명 역시 Arrhenius로 생각할 수 있게 만든다.



(a) Question

201쪽 확인 문제

트리메틸아민은 산성을 띠는 레몬즙에 의해 중화되므로 염기로 작용한다.

(b) Solution

***Figure* 7.** An example of textbook hybrid explanation (ref. 39 p.201, 248).

본 연구는 산, 염기가 다루어지는 여러 학년 중 세 가지 정의가 처음 도입되는 고등학교 화학 I 교과서를 대상으로 하였다. 초등학교나 중학교는 Arrhenius의 시각만 다루기 때문에 다루는 예시가 특별히 어떠한 정의에서 이를 설명하는지에 대한 명시적 설명이 필요하지 않을 수도 있다. 하지만 여러 가지 산, 염기 정의를 배우는 학생들에게 현재 다루어지는 교과서의 여러 예시들이 어떠한 정의에서 설명하는지에 대한 각별한 주의가 필요하다고 생각된다. 특히 대부분이 Arrhenius 예시 반응들 속에서 Brønsted-Lowry를 다룰 때는 그러한 주의가 없다면 학생들은 모든 것을 Arrhenius로 생각할 수 있기 때문이다. 그렇기 때문에 3가지 정의를 다루는 화학 I에서는 현재 설명하고 있는 산, 염기가 정확히 어떠한 정의에서 논의되고 있는지에 대한 주의가 각별히 요구된다.

교사의 인식

한 가지 관점으로 세 정의를 인식하는 유형. 24명 교사 모두 세 가지 산, 염기 정의의 관계를 *Fig*. 3(a)와 같이 확장 관계로 인식하고 있었다. 이러한 3가지 정의의 포함관계로의 인식은 3가지 정의를 모두 같은 관점으로 바라보고 있다는 것을 의미한다. 즉, 물질 관점이나 과정 관점으로 동일하게 인식해야 정의들 사이의 포함 관계가 가능하다. 교사들이 어떠한 관점으로 3가지 정의를 인식하는지 알아보기 위하여 면담을 실시하였다. 면담은 몇 가지 화학반응식을 제시하고 반응물과 생성물을 산과 염기로 분류하는 활동과 함께 진행하였다. 면담에서 반응 과정이 아니라 물질 그 자체로 산과 염기를 판정하는 교사는 물질적 관점으로 분류하였으며, 과정에서 반응물질을 쌍으로 보고 산과 염기를 판정하는 교사는 과정적 관점으로 분류하였다. 분류 결과, 정의 사이의 관계를 확장 관계로 인식하는 교사들의 대부분이 물질적 관점을 가지고 있었으며(N=21, 87.5%), 과정적 관점으로 인식한 교사는 3명(12.5%)이었다. *Table* 2의 전제조건처럼 Arrhenius의 정의는 물질 관점으로, Brønsted-Lowry 정의는 과정 관점으로 분리하여 인식하는 교사는 없었다(*Table* 5).

물질적 관점을 가지고 세 가지 정의를 확장적 관계로 인식하는 교사들은 다음의 면담과 같이, 주어진 반응의 물질을 분류하는 활동에서 정의와 상관없이 물질 그 자체만으로 산과 염기를 판단하였다.

***Table* 5.** Classification of teachers' viewpoint related to acid-base

Viewpoint	Frequency(%)
Matter	21(87.5%)
Process	3(12.5%)
Matter and Process	0(0%)
Total	24(100%)

연구자: 물질을 산과 염기로 분류할 때, 무엇에 초점을 두세요?
교사 a: 주어진 반응에서 반응물질의 화학식만 보면 되요. 화학식을 보고 그 물질이 Arrhenius, Brønsted-Lowry, Lewis의 정의에 맞는지 판단해요.
연구자: 그럼 정의의 관계는 어떻게 인식하세요?
교사 a: Arrhenius보다는 Brønsted-Lowry가 더 많은 산을 설명할 수 있고, Lewis가 더 많은 산을 설명할 수 있어요. 예를 들어, HCl은 Arrhenius 산을 설명하지만, Brønsted-Lowry는 HCl과 H_3O^+ 이 산임을 설명할 수 있어요. Lewis는 이 두 개에 BF_3까지 설명하구요. 점점 더 많은 물질을 설명할 수 있어요.
연구자: Brønsted-Lowry 정의에서 HCl도 그 자체가 산이라고 판단할 수 있을까요?
교사 a: 네, HCl은 항상 산입니다.

반면, 과정적 관점으로 세가지 정의를 인식하는 교사들은 주어진 반응의 물질을 산과 염기로 분류하는 활동에서 정의와 상관없이 항상 반응물과 생성물을 함께 고려하여 판단하였다. 이들은 Arrhenius 정의에서도 동일한 관점을 유지하였다. 이 관점으로 분류된 교사 3명은 역시 세 정의를 포함관계로 인식하고 있었으나, 주어진 반응식에서 해리가 일어나고, H^+나 OH^-가 이동하여 물이 생길 때에만 Arrhenius의 정의로 분류하였다. Brønsted-Lowry의 정의에 해당하는 반응은 H^+의 이동과 결합이 나타나는 것으로 확장하였다. 또한, Lewis의 정의는 전자쌍을 주거나 받는 과정으로 새로운 결합이 일어나는 모든 반응에서 산과 염기를 판정하였다. 따라서 세 정의 중에서 가장 폭넓게 다양한 반응을 산염기 반응으로 판단하였다. 다음은 과정적 관점을 가진 교사와의 면담이다.

연구자: 다음 몇 가지 반응에서 산과 염기를 분류해 보세요.
교사 b: NaOH의 반응에서는 HCl의 해리와 NaOH의 해리가 보여요. 이건 Arrhenius로 산과 염기를 설명할 수 있어요. … H^+와 OH^-는 새로운 결합만 보여서 Lewis로 설명하면 될 것 같구요.
연구자: 그럼, 선생님은 산과 염기 분류를 어떻게 하세요.
교사 b: 전체 반응을 보고 두 물질 중 무엇이 산이고 염기인지 판단해요. 반응을 통해 해리나 양성자 이동, 결합 중 무엇들이 보이는가에 따라 판단해요. 그래서 HCl과 OH^-반응에서는 HCl은 OH^- 때문에 해리는 보이지 않고, 양성자의 이동과 결합만 보이기 때문에 Brønsted-Lowry 산으로 보여요.
연구자: 선생님, Arrhenius 정의에서 HCl이 산이라는 판단을 왜 NaOH와 함께 생각하여 판단하는가요?
교사 b: 전, 산, 염기 판정을 할 때, 항상 주어진 화학반응식

에 초점을 두고 판단해요. 그래서 HCl이 NaOH와 만나는 반응에서 아레니우스 산으로 보이지만, OH^-와 만나는 반응식에서는 Arrhenius 산으로 보이지 않고, Brønsted-Lowry 산으로 보이구요.

각 산, 염기 정의에 대한 이해는 그것이 갖는 전제조건에 대한 이해를 수반한다. 그것이 과학 모델에 대한 이해이기도 하다. 이 두 교사뿐만 아니라 연구대상자 모두 각 정의(또는 모델)에 맞는 관점을 갖고 있지 못 했다. 물론, 24명의 교사 모두 세 가지 산, 염기 정의에 대한 교과서적 진술은 정확하게 하였다. Arrhenius가 물질 그자체로 결정되는 과점의 정의라면, Brønsted-Lowry는 반응하는 상대에 따라 자신의 산이나 염기가 결정되는 관점의 정의임에도 교사들은 주어진 반응식에서 물질을 나누는 활동을 통해 정의별로 다른 관점을 갖고 물질을 분류하지 않았다.

과학 모델이나 정의를 지도하는 교사는 각 모델이나 정의가 갖는 관점까지 제대로 갖고 있어야 과학개념을 온전히 전달할 수 있다. 이와 같이 교사가 정의가 갖는 관점과 불일치한 관점으로 이해하는 것은 학생들을 지도할 때 문제가 될 수 있다.[22] Duschl et al.에 따르면,[24] 과학에서 모델이나 정의가 갖는 관점은 특정한 사고방식이기 때문에 과학교육은 모델이나 정의가 갖는 관점이 무엇인지에 대한 인식이 필요하기 때문에 이를 지도하는 교사가 이러한 관점에 대한 획득이 선행되어야 한다. 예비교사 양성과정에서는 과학 모델이 설명하고자 하는 알고리즘뿐만 아니라 이 모델이 어떠한 관점에서 자연세계를 설명하고 있는지에 대한 논의과정을 통해 과학교사가 각 모델별로 일치한 관점을 갖도록 하는 것이 필요하다.

다양한 정의의 공존에 대한 인식의 부재. 세 가지 산, 염기 정의 중 가장 유용한 것이 무엇이냐는 질문에 대한 교사들의 응답을 *Table* 6에 제시하였다. 많은 교사들이 Lewis의 정의를 가장 유용하다고 판단하였는데 (N=13, 54.7%), 그 이유는 가장 많은 반응식을 설명할 수 있기 때문이라고 생각하였다. 세 개의 정의가 모두 유용하다고 판단한 교사는 3명(12.5%)이었다.

Lewis 정의가 가장 유용하다고 판단하는 교사와의 면담 결과는 다음과 같다.

***Table* 6.** Result of usefulness judgement among three definition

Definition	Frequency(%)
Arrhenius	1(4.2%)
Brønsted-Lowry	7(29.2%)
Lewis	13(54.7%)
All	3(12.5%)
Total	24(100%)

연구자: 왜 Lewis가 가장 유용하다고 고르셨어요?
교사 c: 세 가지 정의 중에 Lewis가 가장 설명할 수 있는 폭이 넓잖아요. 그래서 Lewis가 가장 유용한 것 같아요.
연구자: 우리는 왜 3가지 정의를 교과서에서 다룰까요?
교사 c: 음... 뭐 ‘산, 염기에 대해 이렇게 다양한 정의가 있다.’를 보여주기 위한 것 아닐까요? 그렇지만 학생들 수준에서는 Lewis가 어려우니깐, 이런 것이 있다는 정도로만 다룬 것 같아요.

Brønsted-Lowry 정의가 유용하다고 판단하는 교사들도 Lewis를 선택한 교사와 유사하게 생각하였으나, 교육과정을 고려하여 Brønsted-Lowry 정의를 유용하다고 판단하였다는 점이 달랐다.

교사 d: 사실 Lewis가 가장 유용하잖아요. 그림에서 보듯이 가장 많은 것을 설명하니까요. 하지만 화학II까지 다루는 수준이 Brønsted-Lowry만으로도 충분해요. 그래서 교육과정을 고려하면 Brønsted-Lowry가 가장 유용하다고 생각합니다.
연구자: 교육과정을 떠나서 판단하면 Lewis가 가장 유용하다고 생각하는 거예요?
교사 d: 네, 교육과정을 떠나면 더 많이 설명하는 Lewis가 좋죠.
연구자: 그럼, 왜 우리는 다양한 산, 염기 정의를 교육과정에서 다루고 있을까요?
교사 d: 글쎄요. 유용성과 상관없이 여러 가지를 배우면 좋은 거 아니에요?

Arrhenius 정의가 가장 유용하다고 생각한 교사는 실생활에서 가장 많이 사용되며, 물에서의 반응이 가장 보편적이기 때문이라고 응답하였다.

교사 e: 실생활에서 가장 많이 사용되는 정의가 Arrhenius 같아요. 그래서 Arrhenius가 가장 유용한 것 같아요.
연구자: 여기서 실생활이란 것은 정확히 어떤 상황인가요?
교사 e: 제 생각에는 Lewis는 어려운 유기 반응을 다룬 것 같아요. 주로 실험이 물에서 하잖아요. 물이면 Arrhenius가 가장 간단한 것 같아서요.

하지만 세 정의 중 하나의 정의가 유용하다고 판단한 교사들은 세 가지 정의의 공존에 대한 타당한 이유를 인식하지 못하였다. 반면에 세 가지 정의가 모두 유용하다고 판단한 3명의 교사들은 다음과 같이 각 정의가 갖는 상황맥락이 다름을 인식하고 있었다.

교사 f: 저는 세 가지 정의 모두 유용하다고 생각합니다.
연구자: 왜 모두 유용하다고 생각하세요?
교사 f: 각 정의마다 상황맥락이 다른 것 같아요. Arrhenius는 수용액이라는 맥락에서, Brønsted-Lowry는 보다 확장된 용매 조건이지만 이 정의에서는 중성이라는 개념이 없으니깐, 단순히 맥락이 확장된 건 아닌 것 같아요. Lewis 정의에서 전자쌍은 또 다른 상황이고요.

만약 한 가지 관점으로 세 정의를 인식한다면, 굳이 세 가지 정의를 동시에 배울 필요는 없을 것이다. 물론 과학사적인 맥락이나 과학의 본성 측면에서 과학 개념의 잠정성이나 발달을 인식시키기 위한 교육적 측면을 고려할 수 있으나, 실제로 Arrhenius나 Brønsted-Lowry의 정의를 다룰 때 과학사적 측면에서나 과학의 본성을 강조하는 교육 내용을 제시하지는 않는다. 각 정의는 주어진 화학 반응식에서 각기 설명 능력을 가지고 있는 것처럼 제시하고 있다. 따라서 교사들마다 정의의 유용성을 인식하는 점이 달랐다.

실제 각 정의가 설명하는 상황 맥락이 다름을 인식하는 교사가 매우 소수였다는 점은 교사 교육의 문제를 의미하는 것이다. 이처럼 각 정의가 갖는 관점이 다름을 인식하지 못하면, 왜 여러 정의가 공존하면서 상호 보완적으로 화학반응을 설명하는지 이해하지 못하게 되며, 여러 정의를 배워야하는 합리적 이유를 모르게 된다. 그렇게 되면 가장 설명력이 크다고 생각하거나 가장 쉽다고 생각하는 한 가지 정의만으로 이해하려는 경향을 가지게 될 것이다. 그러나 이러한 경향이 지속되면, 익숙하지 않은 다양한 상황에서 어떠한 정의를 선택해야 하는지에 대한 판단의 어려움을 발생시킨다. 이는 선행연구에서도 수없이 지적되었던 점이다. 주어진 상황이란 각 정의의 관점과 관련이 있으며, 그렇기 때문에 주어진 상황에서 관련된 관점을 도출하고 이로부터 적절한 판단을 할 수 있는 능력을 가지는 것은 매우 중요하다. 교사들이 이러한 능력을 획득한 후에야 학생들에 대한 적절한 지도도 가능해질 것이다.

결론 및 제언

본 연구에서는 화학교재에 나타난 다양한 산과 염기 정의의 진술 내용을 분석하여 전제조건의 특성을 명확히 진술하지 않음으로써 발생할 수 있는 문제를 지적하였다. 특히 관점의 차이를 구분하지 않고 한 가지 관점으로 진술함으로써 나타나는 오류를 제기하였다. 교과서 진술 방식 분석 결과, 다양한 산, 염기 정의를 소개한 이후에 다루는 모든 내용들은 Arrhenius의 정의로 수렴화하여 설명하고 있었지만, 어느 교과서도 이 설명에 대한 제한점을 제시하지 않았다.

또한 이 연구에서는 화학 교사들을 대상으로 다양한 산과 염기의 정의에 대한 인식을 알아봄으로써 교사들도 화학 교재에 나타난 문제를 그대로 가지고 있다는 것을 확인하였다. 연구 대상인 모든 교사들은 세 가지 정의 사이의 관계를 확장 관계로 인식하였다. 하지만 교사들의 관점은 물질적 관점이거나 과정적 관점 중 하나의 관점으로 세 정의의 관계를 바라보았으며, 정의에 따라 다른 관점을 가지고 있다고 인식하는 교사는 아무도 없었다. 또한 교사들은 다양한 산, 염기 정의를 배우는 이유에 대해 타당한 이유를 들지 못하였으며, 일부 교사만 세 가지 정의가 상황맥락이 다름을 인식하고 있었다.

이러한 본 연구의 결과를 토대로 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다. 선행연구에서 지적한 바와 같이 학생들이 Brønsted−Lowry의 정의를 학습한 후에도 여전히 Arrhenius의 정의에 머물거나 Arrhenius의 정의와 Brønsted−Lowry의 정의를 구분하는 데에 혼란을 겪는 이유는 교재의 진술 방식과 교사의 인식에서 비롯되었을 수 있다는 점이다. 화학교재와 화학교사들이 Arrhenius와 Brønsted−Lowry 정의가 가지는 다른 관점을 간과한 채, 동일한 관점에서 개념의 확장 방식으로 교육을 전개하기 때문이다.

이 연구의 결론을 토대로 교육적 해결을 위한 방안을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 예비교사의 양성과정에서 과학 개념들의 다양성이 존재하는 이유를 이해할 수 있는 교육이 포함될 필요가 있다. 비록 중등학교에서는 학생들의 수준을 고려하여 단순한 기술에 국한하여 제시한다고 하더라도, 교사 양성과정에서는 과학적 사고의 다양성을 인식할 수 있는 교육이 포함되어야 한다. 중등학교 교재와 동일한 수준에서 단순히 하나의 관점으로 교사들이 다양한 개념을 인식하고 있다는 것은, 과학 개념의 다양성에 대한 논의를 예비교사 양성과정에서 경험하지 못했기 때문이다. 단순히 중등학교에서 다루는 개념의 수준으로 교사를 양성하는 것은 사범대학에서 교사 양성의 근본적인 문제로 볼 수 있다. 물론 보다 깊이 있는 대학 수준의 화학 지식을 다루지만, 정작 중등학교에서 다루는 개념의 의미를 제대로 이해하고 전달하는 능력을 갖추는 데에 소홀하다면, 이는 교사의 수업전문성 역량을 높이는데 기여하지 못할 것이다. Duschl 등[24]에 따르면 과학 개념이나 이론이 갖는 관점을 학생들이 이해하는 것은 매우 중요하며, 이를 지도할 수 있는 사람은 바로 교사들이다. 따라서 학생들이 과학 개념의 단순한 정의 속에 숨겨진 전제조건들과 관점들에 대한 이해를 함으로써 과학을 제대로 이해할 수 있도록 교사들의 인식 변화를 위한 교육이 이루어질 필요가 있다.

둘째, 교과서에서 어떠한 개념이나 정의를 진술할 때

각 개념이나 정의가 갖는 관점 중심으로 바뀌어야 한다. 또한 진술된 관점의 차이에 대한 비교가 있어야 한다. 그렇지 않으면 학생들은 동일한 관점으로 다음 개념을 받아들일 가능성이 높으며, 이로부터 학습의 어려움이 야기되게 된다. Chi 등[22]에 따르면 가르치는 관점이 배우고자 하는 개념의 관점과 불일치할 때 학생들은 그 개념을 학습하기 어려워한다고 한다. 이러한 점 때문에 중등학교와 대학교까지도 산염기에 관련된 다양한 학습이 이루어짐에도 불구하여 여전히 학생들과 심지어 교사들조차도 이에 대한 이해에 어려움을 겪는 것이다. 따라서 학생들이 어려워하는 개념이나 정의를 화학 교재에 진술할 때에는 정의 자체만으로 국한하지 말고, 정의에 내포된 전제조건과 관점 등에 대한 다양한 고려가 포함될 필요가 있다. 특히 자연 현상을 설명하는 다양한 이론의 공존을 제시할 때에는 이러한 진술의 필요성이 더욱 커지게 된다.

셋째, 교육과정에서 제시하는 개념의 수준과 실제 교육에서 다룰 때 필요로 하는 개념의 수준이 불일치하는 지에 대한 점검이 이루어져야 한다. 2009 개정 교육과정의 화학 I 에서는 Brønsted−Lowry 정의를 다루도록 되어 있으나, 정작 이 정의를 이해하기 위해 필요한 전제 조건이 되는 화학평형에 대한 개념은 화학 I 의 수준을 벗어나기 때문에 Brønsted−Lowry 정의를 제대로 학생들에게 지도할 수 있는 방안이 없는 문제가 발생하였다. 따라서 Brønsted−Lowry 정의를 Arrhenius의 정의와 같은 관점으로 다루게 되는 오류가 발생한 것이다. 그러므로 차후 교육과정 개정에서는 Brønsted−Lowry 정의와 같이 각 정의나 개념이 갖는 전제조건이 해당 교육과정에서 다룰 수 있도록 되어 있는 지에 대한 진단이 필요하다.

넷째, 물질적 관점에서 과정적 관점으로 전환할 수 있는 학습프로그램의 개발이 필요하다. 많은 교사들과 학생들이 Arrhenius의 정의에서 멈추는 것은 물질적 관점에 머물러 있기 때문이다. 따라서 물질적 관점으로 Brønsted−Lowry의 정의를 받아들이면서 학습에 어려움이 발생하게 되었다. 그러나 현재의 화학교재에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 방안이 제시되어 있지 못하며, 오히려 동일한 문제를 야기할 수 있는 방식의 서술이 대부분이었다. 과학적 사고의 역량은 주어진 상황에서 필요한 관점을 파악하고 전환할 수 있는 능력을 갖추는 것이다. 그러기 위해서는 다양한 관점의 전환을 경험할 수 있도록 교육프로그램이 구성될 필요가 있다.

마지막으로, 현재 이루어지는 다양한 과학 개념의 학습 발달과정을 연구할 때 단순히 과학적 개념 획득의 경로만을 연구하는 데에 그치지 말고, 그러한 개념이 내포하는 관점의 획득도 함께 고려한 연구가 이루어지는 것이 필요하다. 과학 개념이 갖는 관점의 분석 없이 학습자의 개념 획득에 대해 논의하는 것은 피상적인 논의에 그칠 가능성이 높다. 이 연구에서도 교사들이Brønsted−Lowry의 정의를 이해하지 못할 것이라고 기대하지 않았으나, 정작 전제조건들을 제시하는 과정에서 이들의 관점이 대부분 물질적 관점인 Arrhenius의 정의에 머물러 있다는 것을 파악할 수 있었다. 따라서 학생들이 어떠한 개념을 획득하기 위해서 필요한 전제조건 등도 포함된 연구를 진행함으로써 학생들이 피상적인 개념 획득이 아닌 궁극적인 의미의 과학 개념 획득이 이루어지는 지에 대한 연구가 이루어진다면 교육에 주는 함의가 더 커질 것이라고 본다.

Acknowledgment. This work was financially supported by NFR, S. Korea (NFR-2016S1A5B6913974).

REFERENCES

1. Won, J. A.; Gwak, J. R.; Park, Y. N.; Paik, S. H. *Kor. J. Teach. Educ.* **2010**, *26*, 65.
2. Park, S. H.; Kang, N. H.; & Sin E. J. Korea secondary preservice teachers' understanding of learning difficulties in acid and base models: reflections through nature of science lessons. 2014, Paper presented in 2014 IHPST Asian Regional Conference, Taipei Taiwan.
3. Kang, S. H.; Lee, S. J. *J. Res. Inst. Curr. Instr.* **2005**, *9*, 151.
4. No, B. O.; Song, Y, J. *J. Smeieccu.* **2004**, *25*, 1.
5. Kang, S. H.; Jo, S. A. *J. Kor. Chem. Soc.* **1999**, *43*, 707.
6. Cros, D.; Maurin, M.; Amouroux, R.; Chastrette, M.; Leber, J.; Fayol, M. *Europ. J. Sci. Educ.* **1986**. *8*, 305.
7. Cros, D.; Chastrette, M.; Fayol, M. *Int. J. Sci. Educ.* **1988**, *10*, 331.
8. Nakhleh, M. B. *J. Chem. Educ*. **1994**, *71*, 495.
9. Botton C. *Sch. Sci. Rev.* **1995**, *77*, 124.
10. Sisovic, D.; Bojovic, S. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2000**, *1*, 263.
11. Drechsler, M.; Schmidt, H. J. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2005**, *6*, 19.
12. Demircioglu, G.; Ayas, A.; Demircioglu, H. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2005**, *6*, 36.
13. Hand, B.; Treagust, D. F. *Sch. Sci. Math.* **1991**, *91*, 172.
14. McClary, L.; Talanquer, V. *J. Res. Sci. Teach.* **2011**, *48*, 396.
15. Seon, S. H. The effects of teaching based on the nature of science on the students' acid base conception formation. Thesis, Korea National University of Education, 2014.
16. Drechsler, M.; Schmidt, H. *J. Sci. Educ. Int.* **2005**, *16*, 39.
17. Cokelez, A. *J. Chem. Educ.* **2009**, *87*, 102.
18. Hawkes, S. J. *J. Chem. Educ.* **1992**, *69*, 542.
19. Furió-Más, C.; Luisa Calatayud, M.; Guisasola, J.; Furió-Gómez, C. *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27*, 1337.
20. Broman, K.; Parchmann, I. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2014**, *15*, 516.

21. Vos, W.; Pilot, A. *J. Chem. Educ.* **2001**, *78*, 494.
22. Chi, M. T.; Slotta, J. D.; De Leeuw, N. *Lear. Instr.* **1994**, *4*, 27.
23. Paik, S. H. *J. Chem. Educ.* **2015**, *92*, 1484.
24. 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.
25. Kuk, D. S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2003**, *23*, 592.
26. Kim, M. S.; Jeong Y. R. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **1997**, *17*, 191.
27. Choi, S. C.; An, K. S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2008**, *32*, 121.
28. Kim, K. S.; Sin. E. J.; Han. J. Y.; No, T. H.; *J. Kor. Chem. Soc*. **2006**, *50*, 486.
29. Westbrook, S. L.; Marek, E. A. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, *29*, 51.
30. Chung, W. H.; Cha, H. Y.; Choi, J. B. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **1992**, *12*, 23.
31. Talanquer, V. *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 811.
32. Shin, E. J. Effects of the understanding of Nature Of Science on Pre-service chemistry teachers' acid base conceptual learning : Focused on the prerequisites. Thesis, Korea National University of Education, 2012.
33. Miles, M. B.; Huberman, A. M. *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.); Thousand Oaks, CA: Sage, 1994.
34. Colaizzi, P. F. *Psychological research as the phenomenologist views it*; Oxford University Press, 1978.
35. Creswell, J. W.; Miller, D. L. *Theory into Pract.* **2000**, *39*, 124.
36. Golafshani, N. *The qualitative report*. **2003**, *8*, 597.
37. Park, J. S.; Youn, Y.; Jung, J. O.; Cho, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry I*; Kyohak Sa: Seoul, 2011
38. 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.
39. 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.
40. 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.
41. Im, J. H.; Sim, K. S.; Lee, S. Y.; Seong, S. K.; Kim, J. O. *Suneung special lecture Chemistry I*; EBS: Seoul, 2016.
42. Seoung, S. K.; Seoung, K. S.; Lee, E. H.; Sun, S. H.; Jo, H. S.; *Suneung completion Chemistry I*; EBS: Seoul, 2016.
43. Malcolm, C. *Res. Sci. Educ.* **1984**, *14*, 97.
44. Doris, K. *J. Chem. Educ.* **1978**, *55*, 459.
45. Margarita, K.; Margarita, D.; Georgios T. *Sci. & Educ.* **2005**, *14*, 173.
46. Hall, N. F. *J. Chem. Educ.* **1940**, *17*, 124.
47. Jensen, W. B. *The Lewis acid-base concepts: an overview*; John Wiley & Sons: 1980.
48. Schmidt, H. J. *Int. J. Sci. Educ.* **1991**, *13*, 459.
49. Lin, J. W.; Chiu, M. H. *Int. J. Sci. Educ.* **2007**, *29*, 771.