

강산의 이온화도와 이온화 상수에 대한 화학 교과서 내용 및 교사들의 인식 분석

백성혜* · 고흥석 · 전민철
한국교원대학교 화학교육과
(접수 2012. 9. 27; 게재확정 2013. 3. 9)

Analysis of Chemistry Textbook Content and Teachers' Recognitions about Ionization and Ionization constant of Strong Acid

Seung-Hey Paik*, Hyung-Suk Go, and Min-Cheol Jeon

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education. *E-mail: shpaik@knue.ac.kr
(Received September 27, 2012; Accepted March 9, 2013)

요 약. 이 연구에서는 1945년 교수요목기부터 2009 개정 교육과정까지 개발된 화학 교과서에서 강산의 이온화도와 이온화 상수 값이 어떻게 제시되었는지 분석하였다. 또한 설문지를 통해 화학 교사들에게 수용액에서 강산의 세기를 비교하도록 하였다. 그리고 이온화도와 이온화상수 값이 호환되지 않는 이유에 대한 교사들의 인식을 알아보았다. 연구 대상은 화학 교사 46명이었다. 연구 결과, 교사들은 교과서에 제시된 이온화 상수 값과 이온화도를 근거로 수용액에서 강산의 세기를 구분하였으며, 교과서에 제시된 이온화 상수 값이 이온화도와 서로 호환되지 않는 문제를 생각하지 못하거나, 문제로 인식하는 경우에도 그에 대한 해결을 하지 못하고 실험 오차나 측정 오차로 생각하였다.

주제어: 화학교과서, 화학 교사, 강산의 세기, 이온화 상수, 이온화도

ABSTRACT. In this study, we analyzed the values of ionization and ionization constants in the chemistry textbooks developed during 1945–2009 year. The chemistry teachers compared strength of strong acids in aqueous solution by questionnaire. In the questionnaire, we searched chemistry teachers' cognitions about the discordance reason of ionization constant formulation and the values in the textbooks. The subjects were 46 chemistry teachers. As results, the teachers compared the strength of strong acids in aqueous solution based on the ionization and ionization constant values in the textbooks. They didn't notice the problem of discordance of ionization constant formulation and the values in the textbooks. Even though they recognized the problem, they could not find the solution, and thought the problem arrived by experiment error or measurement error.

Key words: Chemistry textbook, Chemistry teacher, Strength of strong acid, Ionization constant, Ionization

서 론

연구의 목적

산 염기에 관련된 내용은 초, 중등 화학교육과정과 대학 화학에서 중요하게 다루고 있으며, 산 염기 개념에 대한 교과서 내용 분석과 학생들의 인식을 알아보는 연구들이 최근까지 지속적으로 이루어지고 있다.¹⁻¹⁹

과학 개념은 과학자가 연구를 통해 획득한 경험적 자료를 특정 이론에 근거하여 타당화 함으로써 정의되며, 이 과정에서 전제와 가정들이 층층이 쌓인 특정 이론 틀 내에서 경험적 자료의 편중된 선택이 이루어지지만²⁰ 이에 대한 학습자의 이해가 부족할 때 개념 학습의 갈등이 유발된다.⁷ 산 염기 개념의 경우에도 전제와 가정들이 포함되어 있지만, 이러한 내용을 교과서에 제시하거나 교사들이

충분히 이해하고 학생들에게 전달하지 못할 경우 학생들이 이 개념 학습에 어려움을 겪을 수 있다. 이러한 관점에서 학생의 개념 이해에서 발생하는 문제가 교과와 교과서에 있음을 지적한 연구들²¹⁻³⁶도 꾸준히 제시되고 있다. 그러나 아직까지 강산과 강염기의 개념 이해에서 전제와 가정들의 시각에서 발생하는 문제를 다룬 연구는 없다.

선행연구에 따르면, 강산의 이온화도나 이온화상수의 측정값에 관련된 전제와 가정에 대한 인식이 없기 때문에 화학교사들은 혼란을 느끼는 것으로 나타났다.³ 예를 들어 염산의 이온화도가 0.96인 경우, 4%정도의 염산은 분자 상태로 있다는 생각에 근거하여 강산 수용액 속에 분자는 모두 이온으로 분리된다는 응답을 오답으로 처리하거나^{9,37}, 이 응답과 함께 강산 수용액 속에 분자가 존재한다는 응답을 정답으로 처리한 논문들^{1,8,12,38,39}이 여러

편 있었다.

이 연구에서는 교수요목기부터 2009 개정교육과정까지 중등 교과서에서 다루는 강산의 이온화도와 이온화상수의 값을 비교 분석하고, 이를 근거로 한 강산의 세기에 대한 교사들의 생각을 알아보고자 하였다.

이론적 배경

강산과 강염기는 수용액에서 완전히 이온화하는 강전해질이다.⁴⁰ 따라서 물 속에서 거의 100% 이온화된다. 이때 ‘거의’라는 의미는 3~4% 수준이 아니라, 0.0000000...1 수준이기 때문에 소수점 둘째 자리까지 수를 반올림하였을 때에는 ‘100% 이온화한다.’는 표현이 정확하다.³ 대학 수준의 여러 화학 교재⁴¹⁻⁴⁴에서는 수용액에서 해리하지 않은 강산이나 강염기는 사실상 없다고 표현하였다. 또한 전기 전도도를 이용하여 여러 농도 범위에서의 염산, 황산, 아세트산의 이온화도를 조사한 값⁴⁵을 Table 1에 제시하였다. 이를 통해 염산과 질산과 같은 강산은 아주 묽은 농도에서 100% 이온화하여 이온화도가 1임을 알 수 있다. 아세트산은 0.0001 M의 농도에서 41% 이온화를 할 수 있다.

Table 1을 통해 교재에서 ‘강산과 강염기는 수용액에서 완전히 이온화하는 강전해질이다.’라는 정의는 이상 용

Table 1. degree of ionization of hydrochloric, sulfuric, acetic acid at 25 °C

Concentration of acid (Molarity)	HCl (Percentage)	H ₂ SO ₄ (Percentage)	CH ₃ COOH (Percentage)
0.0001	–	100	41
0.001	100	95	12.6
0.01	97	90	4.5
0.05	–	64	1.90
0.1	92	60	1.35
0.2	–	57	0.925
0.5	84	54	–
1.0	80	50	0.43
2.5	64	35.2	0.20
5.0	42	19.6	0.092
7.0	30.3	10.3	0.051
10.0	18.2	3.80	0.19

Table 2. p*K_a* of strong acid in college chemistry textbooks

Textbook	Condition	HI	HClO ₄	HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	H ₃ O ⁺
Organic Chemistry (Solomon)	–	–10		–7	–9	–1.4	–1.74
Chemistry (Oxtoby, 4th Ed.)	25 °C	~–11	–7	–7	–2	–1.3	0
CRC Handbook of chemistry & physics (92th)	20 °C		–1.6				
Lange’s Handbook of chemistry (15th)	25 °C	–8.56	–1.6	–6.2		–1.37	
Physics Chemistry (Atkins)	25 °C	–11	–1.6	–7	–2		0
Organic Chemistry (Loudon)	–	–9.5 ~ –10	–10	–6 ~ –7	–3		–1.7

액의 조건과 유사한 상태의 아주 묽은 용액이라는 전제 조건 아래서 적용될 수 있으며, 이온화도는 농도에 따라 달라지는 값임을 알 수 있다. 그러나 염산과 황산과 같은 대표적인 강산의 경우 교수요목기부터 2009 개정교육과정의 우리나라의 고등학교 화학교과서를 비교해 보았을 때, 강산의 이온화도를 0.1 N, 0.1 M 농도 등에서의 단일한 값만 제시하고 있다. 또한 같은 물질임에도 불구하고 소숫점 아래 둘째 값이 다른 이온화도 값을 제시한 경우가 많았다.

용액에서 산의 성질은 H₃O⁺(aq) 농도에 의해 결정되며, 강산은 물속에서 평준화 효과(leveling effect)를 보인다. 즉, 물속에서 강산의 세기는 H₃O⁺에 의해 평준화되기 때문에 산의 세기를 비교할 수 없다. 이런 경우에 강산의 세기는 H₃O⁺가 이미 존재하는 약산 용액에서 측정한다. 만약 산 용액서도 H₃O⁺와 짝이온으로 이온화가 된다면 이온화가 많이 되는 쪽이 보다 강산이다. 즉, 르사틀리에의 원리를 근거로 한 공통이온효과 때문에 산 용액에서는 이온화가 억제되는데, 강산은 이를 초월하여 해리하는 방향으로 평형이 도달하고 그러한 경향이 클수록 강산이다. 예를 들면, 다이에틸에테르(C₂H₅OC₂H₅) 용매에서 HCl은 HClO₄보다 이온화가 덜 되므로 HCl은 HClO₄보다 약한 산이다.⁴⁶ 그러나 용매의 차이를 고려하지 않고 산의 이온화상수 값이 하나의 표에 정리되어 있어서 표로 제시된 강산의 이온화상수 값만을 비교하면, 수용액에서 강산의 종류에 따라 세기가 달라진다는 오해를 가질 수 있다. 교사와 학생들이 이러한 오해를 가지지 않도록 하기 위해서는 교재에 이를 명시하는 것이 필요하다. 만약 강산의 이온화 상수 값은 수용액이 아닌 용매에서 측정된 것이라는 명시가 제시되지 않았다면 교사와 학생들에게 혼란을 제 공해 주는 상황이 될 것이다.

대학교에서 사용하는 화학 관련 교재의 강산에 대한 p*K_a* 값을 비교하면 Table 2와 같다. Table 2에서 비교한 대학 화학 관련 교재의 강산 p*K_a* 값은 매우 다양하였다. 예를 들어 HClO₄의 경우, –1.6부터 –10까지 책마다 다양한 p*K_a* 값을 제시하고 있다. 이 숫자의 차이는 8.4이지만 이는 로그 값이므로 실제 이온화되는 정도의 차이는 2.51×10⁸이 나 된다. 그러나 이러한 차이는 열역학적이거나 전기화학적

방법 등 다른 측정 방식에 근거하였기 때문이므로, 다른 책에서 제시한 값들을 서로 비교하는 것이 무의미하다. 예를 들어 강산의 pK_a 값을 아세트니트릴(CH_3CN)이나 디메틸설폭시드(CH_3SOCH_3)와 같은 용매에 녹인 후 측정하면 서로 다른 값을 얻게 된다.⁴⁷

강산의 이온화도는 아주 묽은 수용액 농도에서 1을 나타내고, 평준화 효과로 인해 강산의 세기가 동일하다. 그러므로 이온화도나 이온화 상수 값을 근거로 산의 세기를 비교하는 활동은 약산에만 해당된다. 또한 강산의 경우 특정한 농도에서의 이온화도를 기준으로 할 때와 이온화 상수를 기준으로 할 때 산의 세기 순서가 달라질 수도 있다.

1888년에 오스트발트(Wilhelm Ostwald, 1853–1932)⁴⁸⁻⁵¹는 질량작용 법칙을 전해질과 그 이온들 사이에 적용하여 ‘묽힘 법칙(Law of Dilution)’을 유도하였다. 전해질의 몰 농도(C), 이온화도(α), 이온화 상수(K)의 관계식을 유도한 다음에 몰 농도를 n몰의 용질이 V L 중에 함유된 식으로 변형했다. 약전해질(약산)에서 이온화도가 아주 작으므로 ($1-\alpha \approx 1$) 최종 식이 유도된다. 이 최종식에서 K가 일정하므로 용액을 희석시키면(V가 커지면) 이온화도가 커지며 따라서 전기전도가 커진다.

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

$$C(1-\alpha) \quad C\alpha \quad C\alpha$$

$$K = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha} = \frac{n\alpha^2}{V(1-\alpha)} = \frac{n\alpha^2}{V}$$

유기산들의 전도도를 광범위하게 조사하여서 오스트발트는 묽힘 법칙의 정당성을 보여주었지만, 강전해질(강산)에는 이 묽힘 법칙이 잘 들어맞지 않았다. 그 당시 오스트발트는 이것을 하나의 이상성(unusual property)이라고만 지적하였다. 이것은 이후에 연구된 강전해질에 관련된 이론을 통해 해결되었다.

그러므로 교과서에 제시되어 있는 이온화도와 이온화 상수의 관계를 설명할 때 사용되는 공식 $K_a = \frac{[H_3O^+][A^-]}{[HA]}$ = $\frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ 은 약산에만 적용이 가능한 식이다. 하지만 교과서에서는 이러한 전제조건에 대한 명확한 언급 없이 묽힘 법칙을 통해 이온화도와 이온화 상수의 관계를 알아보는 과정 속에서 약산의 예를 사용함으로써 이러한 식이 모든 산에 적용될 수 있다는 오해를 가질 수 있게 한다.

연구 방법

설문지 개발

이 연구에서는 교수요목기부터 2009 개정 교육과정 화학II 교과서까지 76 종의 교과서에 제시된 이온화도와 이온화 상수(K_a)에 대한 설명을 분석하였다. 분석한 결과를 토대로 강산의 세기 비교에 대한 교사들의 인식과 이온

화도 및 이온화 상수 값의 차이에 대한 문제 인식을 알아보기 위한 설문을 개발하였다. 설문은 선다형 또는 단답형과 선택 이유를 묻는 서술형 문항 등 총 4문항으로 구성되었다.

[문항 1]은 물속에서 강산인 염산(HCl), 황산(H_2SO_4), 질산(HNO_3)의 세기를 비교하는 것이고, [문항 2]는 그렇게 생각한 이유를 알아본 것이다. [문항 2]의 응답 유형은 [문항 1]의 응답과 연계하여 5가지 유형으로 구분하였다. 첫째 유형은 ‘ H_3O^+ 의 세기에 의해 평준화되므로 수용액 속에서 강산의 세기는 모두 같다.’라고 응답이며, 둘째 유형은 ‘이온화도의 차이 때문에 강산의 세기는 $HCl > HNO_3 > H_2SO_4$ 이다.’라는 응답이다. 세 번째는 ‘이온화 상수(K_a)의 차이 때문에 $HCl > H_2SO_4 > HNO_3$ 이다.’라고 응답한 경우이다. 네 번째는 ‘산의 가수화 이온화도의 차이 때문에 $H_2SO_4 > HCl > HNO_3$ 이다.’라고 응답한 경우이다. 나머지 응답은 [문제 1]과 연계하였을 때 일관성을 가지지 못하였으므로 기타로 분류하였다.

[문항 3]은 교과서에 제시된 이온화도(α)와 이온화 상수 값(K_a), $K_a = \frac{C\alpha^2}{1-\alpha}$ 식을 제시하였다. 그리고 초기 몰 농도 C(0.1 M)와 이온화도(α)를 이 식에 대입하면 교과서에 제시된 이온화 상수(K_a)와 일치하지 않음을 보여주었다. 예를 들면, 염산의 K_a 는 $1.47(= \frac{0.1 \times 0.94^2}{1-0.94})$ 로 계산되지만 교과서에서는 $\sim 10^7$ 으로 제시되며, 질산(HNO_3)의 K_a 는 1.06으로 계산되지만 교과서에서는 ~ 20 으로, 황산(H_2SO_4)의 K_a 는 0.10으로 계산되지만 교과서에서는 $\sim 10^2$ 로 제시되는 이유를 물었다. 선다형 답지는 (1)이온화도(α)의 오류, (2)이온화 상수 값(K_a)의 오류, (3)이온화도(α)와 이온화 상수 값(K_a)의 오류, (4)식의 오류, (5) 기타 등으로 구성하였으며, [문항 4]에서는 그렇게 답을 한 이유를 알아보았다.

서술형 문항인 [문제 4]의 응답 유형은 [문제 3]의 응답과 연계하여 5가지 유형으로 구분하였다. 첫째 유형은 ‘강산은 H_3O^+ 의 세기에 의해 평준화되므로 α 와 K_a 이 모두 잘못되었다.’는 응답이다. 두 번째 유형은 ‘ K_a 와 α 의 관계식은 약산에만 적용 가능하므로 적용하는 공식이 잘못되었다.’고 응답한 경우이다. 세 번째 유형은 ‘실험 오차 또는 측정 오차 때문’이라고 응답한 경우로, [문항 3]의 모든 답지에 해당되었다. 네 번째 유형은 ‘이온화도와 이온화 상수(K_a) 값 중 한 가지, 혹은 모든 값이 잘못되었기 때문’이라고 응답한 경우이다. 나머지 응답은 [문제 3]과 연계하였을 때 일관성을 가지지 못하였으므로 기타로 분류하였다. 분류한 결과는 Table 3에 제시하였다.

개발한 문항과 응답 분류틀은 과학 교육 전문가 2인과 현직 교사 3인으로부터 타당도를 검토 받았다. 설문 문항에 제시된 근거 자료들은 2009 개정 교육과정의 화학 교과서⁵²⁻⁵⁵에서 인용하였다.

Table 3. Response types of items

Item	Response	Reason (Item 2)
1. Comparison of the acids	Same	The acids are stronger than H_3O^+ .
	$HCl > H_2SO_4 > HNO_3$	Disparity of ionization values
	$H_2SO_4 > HCl > HNO_3$	Disparity of ionization constants
	$HCl > HNO_3 > H_2SO_4$	Dibasic acid and ionization
	The others	The others
Item	Response	Reason (Item 4)
3. Discordance of α and K_a	(3)	The acids are stronger than H_3O^+ .
	(4), (5)	The formula of K_a and α apply to weak acids.
	(1), (2), (3), (4), (5)	Experiments or measurement errors
	(1), (2), (3)	The value of α or K_a is wrong.
	(4), (5), no response	The others

예비 연구에서는 개발한 설문지를 화학 교사 5인에게 투입하였다. 그 결과, 교사들의 응답 형태에 근거하여 문항을 수정하였으며, 이를 화학교육전문가 2인과 화학교육 전공 박사 과정 대학원생 2인, 화학교육 전공 석사 과정 대학원생 5인의 검토를 통해 최종적으로 수정하여 설문지를 완성하였다. 이 과정에서 응답 유형의 분류 체계를 확립하였으며, 설문 내용도 응답자가 이해하기 쉽도록 수정하였다.

연구대상

최종 설문지를 전국에 분포하는 화학 전공 중등 교사 180명에게 전자 우편을 통해 보냈다. 그리고 그 중 50명의 응답 자료를 얻었다. 이 중에서 46명은 최근 5년 이내에 화학 II 교과를 지도한 경험을 가지고 있었다. 비록 180명 중 50명의 응답으로 회수율은 낮았지만, 응답 대상 교사들 중에 화학 II를 지도한 경험을 가진 교사들은 대부분 응답하였으며, 응답한 교사들 중에서 화학 II를 가르친 경험이 없는 교사는 4명(8%)에 불과하였다. 따라서 이 4명을 제외한 46명의 설문 응답을 분석하였다.

설문 응답자 중에 중학교에 근무하는 교사는 5명이었으며, 고등학교에 근무한 교사는 41명이었다. 그리고 경력이 5년 미만인 교사는 4명, 5-10년은 11명, 10-15년은 17명, 15-20년은 17명, 20년 초과는 1명이었다. 그리고 지역별로는 서울특별시 18명, 경기도 13명, 인천광역시 8명, 대전광역시 3명, 충청남도 2명, 광주광역시 1명, 강원도 1명이었다.

본 연구에서는 응답한 46명 교사의 설문 응답을 분류하여 분류 틀을 구성하였으며, 분류 틀에 근거한 응답 자료의 분석 결과는 설문지 개발에 참여한 화학교육전문가 2인과 화학교육 전공 박사 과정 대학원생 2인, 화학교육 전공 석사 과정 대학원생 5인의 검토를 받았다. 분류틀과 분석 결과가 일치하지 않는 경우에는 논의를 통하여 분

석 기준을 명료화함으로써 일치하도록 수정하였다.

또한 연구 대상자들의 사고를 심층적으로 알아보기 위하여 응답 유형별로 6명의 면담 대상자를 선정하였다. 면담 대상자는 설문지를 분석하여 개념 유형별로 유목화한 후, 유형별 대표적인 응답자를 선정하였다. 면담 내용은 응답한 설문 자료를 토대로 하였으며, 비교적 자유롭게 대화하는 비구조화 면담을 실시하였다. 면담에서 활용된 질문의 형태는 질문의 절차와 반응의 형식을 강요하거나 제한하지 않는 개방적 질문으로 하였다. 면담은 한 교사당 대략 40분 정도의 시간이 소요되었다. 면담 내용을 녹음한 후 2일 이내에 전사하였다.

연구 결과 및 논의

산의 세기에 대한 교과서 분석

Table 4는 교수요목기부터 2009 개정 교육과정의 화학 교과서에 제시된 강산의 이온화 상수(K_a) 값과 실험조건에 따른 이온화도(α) 값을 분석한 자료를 Table 4에 제시하였다.

교수요목기부터 교과서에는 다양한 실험조건에서의 강산의 이온화도(α) 값이 제시되었다. 이러한 다양성은 교육과정의 개정이 거듭될수록 줄어드는 경향을 보였으며, 7차 교육과정과 2009 개정교육과정에서는 모든 교과서가 다른 온도, 같은 농도에서 단일한 한 종류의 값을 제시하였다. 이는 교육과정 속에서 배우는 ‘이온화도는 농도가 묽을수록 온도가 높을수록 대체로 증가하는 경향이 있다’라는 개념을 이해하기에는 부족한 자료의 제시형태라 할 수 있다. 또한 강산의 이온화도를 0.1 N, 0.1 M 농도 등의 특정한 농도에서 단일한 값만 제시하고 있고, 특히 황산의 이온화도는 0.62로 표현되면서 ‘강산과 강염기는 수용액에서 완전히 이온화하는 강전해질이다.’ 이라는 정의를 이해하기에 어려움을 주고 있다. 즉, 이온화도는

Table 4. Values of α and K_a of chemistry textbooks according to curriculum

Curriculum	Kind of Textbook	K_a of Strong Acid	Condition of α Value	α Value			
				HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃	CH ₃ COOH
Syllabus Period	5	-	15 °C, 0.1 N	0.9	0.6	-	0.01
			18 °C, 0.1 normal solution	0.93	0.62	-	0.0012
			0.1 N	0.92	0.61	-	0.0134
First	2	-	0.1 몰 용액	0.92	0.61	-	0.013
			15 °C, 0.1 N	0.9	0.6	-	0.01
Second	11	-	-	0.9	0.6	-	0.01
			15 °C, 0.1 N	0.93	0.62	-	0.0012
			18 °C, 0.1 N	0.9	0.5	-	0.01
			0.1 N	0.92	0.61	-	0.0134
			0.1 mol 수용액	0.9	0.62	-	0.01
			-	0.94	0.62	-	0.0134
			18 °C, 0.1 N	0.92	0.61	-	0.0134
Third	16	large	18 °C, 0.1 M	0.92	-	-	0.0134
			0.1 N	0.92	0.62	-	0.013
			0.1 mol 수용액	0.9	0.91	-	0.0134
			0.1 mol 수용액	0.9	-	-	0.01
Fourth	10	large	15 °C, 0.1 몰 /L	0.92	0.88	-	0.013
			18 °C, 0.1 N	0.94	0.62	-	0.0134
			18 °C, 0.1 M	0.92	0.61	-	0.013
			20 °C, 0.1 N	0.94	0.62	-	0.0134
			20 °C	0.92	0.62	-	0.0042
Fifth	8	large	18 °C, 0.1 M	0.94	0.61	0.92	0.013
			20 °C, 0.1 M	0.94	0.62	-	0.013
Sixth	12	large	18 °C, 0.1 M	0.94	0.61	0.92	0.013
			18 °C	0.94	-	-	-
			20 °C, 0.1 M	0.94	0.62	0.92	0.013
			0.1 M	-	-	0.92	0.013
			25 °C, 0.1 M	0.94	-	0.92	0.013
			18 °C, 0.1 M	0.94	-	0.92	0.013
Seventh	8	HCl: 10 ⁷ H ₂ SO ₄ : 10 ²	20 °C, 0.1 M	0.94	0.62	-	0.013
			25 °C, 0.1 M	0.94	-	0.92	0.013
			25 °C, 0.1 M	0.94	-	0.92	0.016
2009 Revision	4	HCl: 10 ⁷ H ₂ SO ₄ : 10 ²	20 °C, 0.1 M	0.94	0.62	0.92	0.013
			25 °C, 0.1 M	0.94	0.62	0.92	0.013

온도와 농도에 따라 다양한 값을 가지며, 농도가 아주 묽을 때 강산의 이온화도는 1이 되지만 ‘아주 묽은 농도’, ‘실험 조건’과 같은 전제 조건에 대한 언급 없이 교재에 서술되어 있다.

이온화 상수(K_a)값은 2차 교육과정까지는 제시되지 않았으며, 3차 교육과정에서 1종의 교과서에 제시된 이후, 4차 교육과정부터는 모든 교과서에서 제시하기 시작하였다. 그리고 강산의 경우에 숫자를 제시하지 않고 ‘대단히

크다.’라고만 표현하였으며, 이온화 상수 값은 약산의 경우만 제시하였다. 그러나 7차 교육과정에서 한 교과서가 강산의 이온화 상수 값을 제시하기 시작하였으며, 2009 개정 교육과정 화학 교과서 3종 모두 강산의 이온화 상수 값을 제시하는 것으로 변화하였다. 이때 교과서에서 제시한 강산의 이온화상수 값과 이온화도 값이 관계식과 일치하지 않는 문제가 발생하게 된다. 이 문제는 약산의 경우에만 관계식과 일치하는 상황이 가능하다는 점을 인식

Table 5. Teachers' responses of strength comparison among strong acids in the water and the reasons

Strength Order of Strong Acids	Reason	Number / Percentage
Same	The acids are stronger than H_3O^+ .	7 / 15%
$HCl > HNO_3 > H_2SO_4$	Disparity of ionization values	21 / 46%
$HCl > H_2SO_4 > HNO_3$	Disparity of ionization constants	10 / 22%
$H_2SO_4 > HCl > HNO_3$	Dibasic acid and ionization	8 / 17%
Total		46 / 100%

해야 해결할 수 있는데, 교과서에서는 이러한 언급은 강조되지 않고 있다.

수용액에서 강산의 세기 비교에 대한 교사들의 개념

세 종류의 강산에 대한 교사들의 응답 분포를 Table 5에 제시하였다.

수용액에서 강산의 세기가 모두 같다고 생각한 화학 교사는 15%였다. 그러나 나머지 85%의 교사들은 강산의 세기에 대한 올바른 관점을 가지고 있지 않았다. Table 5에 의하면 대다수의 화학 교사들이 이온화도나 이온화 상수를 근거로 하여 산의 세기를 비교하였다.

한편 8명의 화학교사들은 2가 산인 황산의 세기가 가장 세다고 답하였는데, 이는 제시한 이온화도나 이온화 상수 값과는 다른 응답이었으므로, 이러한 응답을 한 이유를 알아보기 위하여 면담을 하였다.

면담자: 선생님께서는 0.1 M의 강산 중 황산의 세기가 가장 세다고 답하셨네요.

교사A: 예. 황산은 2가 산이고 이온화도가 0.62이므로 0.1 M 수용액에서 0.124 M의 H_3O^+ 를 생성하기 때문에 염산이나 질산에 비해 산의 세기가 크다고 봅니다.

면담자: 산의 세기를 결정하는 기준은 뭔가요?

교사A: pH가 낮을수록 강산으로 보고 있습니다.

면담자: 산의 세기는 이온화도 또는 이온화 상수를 기준으로 구분해야 하고 H_3O^+ 의 농도를 측정하는 pH는 별개로 봐야 하는 게 아닐까요?

교사A: 저는 pH가 낮을수록 강산이라고 보는데요.

면담자: pH와 산의 세기는 별개의 문제입니다. 예를 들어 10^{-5} M의 염산(HCl)의 pH는 대략 5이지만 1 M 아세트산(CH_3COOH)의 pH는 2.4 정도로 나옵니다. 그렇다고 염산을 약산, 아세트산을 강산이라고 하지는 않죠.

교사A: 그렇군요. 농도에 따라 pH는 얼마든지 변할 수 있는 거네요. 항상 같은 농도에서 산의 세기를 비교해 보았기 때문에 pH와 산의 세기를 연계해서 생각해 왔는데 제가 잘못 생각했네요.

교사 A는 pH와 산의 세기를 연관 지어 이해하고 있었

다. 그는 수소이온 농도지수, pH가 낮을수록 수소이온 농도가 크므로 산의 세기가 크다고 생각하였다. 또한 황산은 2가산이며 이온화도가 0.62라는 점을 근거로 황산의 세기가 가장 크다고 말하였다. 황산은 1차 이온화는 거의 100%하지만 그의 짝염기인 HSO_4^- 는 이온화되는 정도가 아주 작은 약산이다. 즉 A교사는 황산이 2가산이라는 점과 0.62의 이온화도를 단순한 비례관계로 생각하고 수소이온의 농도를 계산하는 오류를 범하고 있다. 0.1 M의 124%(황산의 이온화도 62%의 2배)의 가장 높은 수소이온 농도가 나타나므로 pH가 가장 낮아지는 황산의 세기가 가장 크다는 교사 A의 결론은 다양성자성 산, 이온화도, 화학평형, pH에 개념의 전체적인 이해에 혼란을 가지고 있음을 의미한다.

교수요목기부터 6차교육과정까지는 영역별 성취기준이 제시되지 않았으나, 7차 교육과정부터는 성취기준이 제시되었다. 7차 교육과정에서는 '이온화도, 이온화 상수를 이용하여 산염기의 상대적 세기를 나타낸다.'고 제시되었으며, 2007 개정 교육과정에서는 '이온화 상수로부터 산염기의 상대적 세기를 판단한다.'고 제시되었다. 또한 현재 고등학교에서 사용하는 2009 개정 교육과정에서는 '이온화도와 이온화상수를 이용하여 산과 염기의 상대적 세기를 설명할 수 있다.'고 제시되었다.

하지만 산의 세기 비교에 있어서 교과서에 제시되어 있는 단일한 농도에서의 이온화도 값과 이온화 상수 값을 이용하면 서로 다른 결과를 나타낸다. 교과서에 제시한 이온화도(α)를 기준으로 하면 산의 세기는 염산(HCl) > 질산(HNO_3) > 황산(H_2SO_4) 순이고, 이온화 상수(K_a)를 기준으로 하면 염산(HCl) > 황산(H_2SO_4) > 질산(HNO_3) 순이기 때문이다. 산의 이온화도는 다양한 농도범위에서 다양한 값이 나타날 수 있다는 전제조건을 강조하지 않고, 0.1 M과 같은 특정 묽은 농도에서의 이온화도 값을 통해 비교하게 함으로써 산의 이온화 상수를 통한 세기 비교 결과와 다르게 황산과 질산의 순서가 뒤바뀌게 된다. 교과서에 제시되어 있는 자료를 이용하여 교육과정의 성취기준을 달성하지 못하는 일이 벌어지게 되는 것이다. 그래서인지 교수요목기부터 2009 개정 교육과정 화학II 교과서까지 76종의 교재 중에서 황산과 질산의 이온화도를 함께 제시하고 있는 교재는 5차 교육과정의 교과서 1종과 2009

개정 교육과정의 교과서 2종에 불과하였다.

또한 표를 이용해 이온화 상수 값을 제시할 때 별다른 표시 없이 물이 아닌 다른 용매를 사용하여 측정할 수밖에 없는 강산의 이온화 상수를 약산의 이온화 상수 값과 같이 하나의 표에 표시함으로써 수용액 속에서 나타나는 산의 평준화 효과에 대한 이해를 어렵게 하고 있다. 즉, 이온화도 값과 이온화 상수 값에 대한 전제조건을 인식하지 못하면 수용액 속에서의 강산의 세기를 다르게 인식하게 되는 결과를 가져오게 된다.

수용액에서 강산의 평균화 효과 때문에 세기가 모두 같다고 응답한 7명의 교사 중에서 5명은 과학고 근무 경력을 가지고 있었다. 다음은 과학고에 근무하며 평준화 효과에 대해 올바른 인식을 형성하고 있는 교사 B와의 면담 내용이다.

면담자: 선생님께서는 수용액 상태에서 강산의 세기가 모두 같다고 하셨네요.

교사B: 일반화학에 보면 평준화 효과의 개념이 나옵니다. 물속에서는 H_3O^+ 보다 산성의 세기가 큰 산은 H_3O^+ 에 의해 산의 세기가 같아지죠.

면담자: 고등학교 화학II를 가르치신 경험이 있으신가요?

교사B: 예. 과학고에 근무하기 전 12년 정도 인문계 고등학교에 근무하면서 화학II를 가르쳤습니다.

면담자: 고등학교 화학II 교과서를 보면 강산의 이온화도와 이온화 상수 값을 제시하고 있습니다. 아무리 강산이라도 그 값의 크기가 다르니 평준화 효과가 적용되지 않는 것 아닌가요?

교사B: 솔직히 고등학교 교과서 내용을 잘 믿지 않습니다. 지금은 과학고에서 일반화학 수준의 수업을 하고 있는데 일반화학의 서술 내용과 비교해 보면 고등학교 교과서에는 잘못 서술된 내용이 꽤 있어요.

면담자: 7차 고등학교 화학과 교육과정의 성취 기준을 보면 '이온화도, 이온화 상수를 이용하여 산염기의 상대적 세기를 나타낸다.'라고 요구하고 있는데 이온화도와 이온화 상수를 믿지 않으니 잘 이해가 가지 않네요.

교사B: 그 교육과정의 성취 기준은 약산의 경우에는 적용 가능합니다. 그런데 강산의 이온화도와 이온화 상수를 엉뚱한 값으로 제시하니 오히려 더 헷갈리죠. 차라리 강산의 이온화도와 이온화 상수를 무시하는 게 훨씬 더 매력적인 교수-학습 방법입니다.

면담자: 왜 우리나라 교과서에는 이런 값들을 사용하고 있을까요?

교사B: 아마 가르치기 편해서일 겁니다. 이과생들을 대상으로 한 수업에서는 숫자로 뭔가를 표시하는 게 상당히 매력적인 교수법이지요. 학생들의 입장에서 이해하기 쉽죠. 예를 들어 '염산은 대부분 이온화된다.'라고 가르치는 것보다 '염산은 94% 이온화되고 6%가 분자 상태로 남는다.'라고 가르치면 학생들이 훨씬 그 개념을 받아들이기 쉽겠죠.

면담자: 그래도 그 값이 잘못된 값이라면 오히려 잘못된 지식을 심어 줄 가능성이 높아지지 않나요?

교사B: 그 값에 오류가 있다면 그럴겠죠. 그래서 교과서를 쓸 때는 정말 신중하게 과학적으로 검증된 값을 써야 하는데 저도 그 점이 아쉽네요.

교사 B과의 면담 내용으로부터, 고등학교 화학 교과서의 내용에 대한 교사의 불신이 있음을 알 수 있다. 이 면담으로부터 정확한 값을 제시하여 모든 산의 세기를 비교할 수 있게 하려는 교과서 저자의 시도가 오히려 강산에 대한 잘못된 이해를 유도하는 상황을 초래될 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 면담 교사는 과학고에 근무하면서 일반화학 수준에서 강산의 세기를 이해하고 교과서의 오류를 지적하였으나, 일반화학은 예비교사 교육과정에서 다루는 것이므로 면담에 응한 모든 화학 교사들이 올바른 인식을 형성하여야 한다. 그러나 85%의 화학 교사들이 강산에 대한 올바른 인식을 형성하지 못하고 있었으므로, 이를 교정해 주기 위한 노력이 교사 재교육 등에서 이루어질 필요가 있다. 또한 사범대학 교육과정에서 예비교사들이 이러한 오류를 형성하지 않도록 하기 위한 노력도 필요하다고 본다.

강산의 이온화상수와 이온화도가 호환되지 않는 문제에 대한 교사들의 인식

이 문항에 대한 교사들의 인식을 분석하여 Table 6에 제시하였다.

Table 6을 보면 교과서에 제시된 강산의 이온화도와 이온화 상수 값이 잘못되었다고 인식한 교사는 1명이었다. 그리고 9명의 교사들은 이온화 상수 값을 구하는 식은 약산의 경우에만 적용된다고 응답하였다. 그러나 이러한 응답자는 20% 정도였으며, 가장 높은 비율(21명, 46%)의 응답자는 실험 오차나 측정 오차로 생각하였다. 이들은 두 값이 호환되지 않은 이유로 실제농도, 즉 활동도 차이 때문(5명, 11%), 값을 구한 온도가 다르기 때문에(14명, 31%), 측정방법의 차이나 다른 요인(2명, 4%) 등을 들었다. 그러나 교과서에서 약산(약전해질)에서 성립되는 '뮬럼 법칙'을 통해 이온화도와 이온화 상수의 관계를 설명할

Table 6. Teachers' responses of the discordance of K_a and α value

Multiple choice no.	Reason	Number / Percentage
(3)	The acids are stronger than H_3O^+ .	1 / 2%
(4), (5)	The formula of K_a and α apply to weak acids.	9 / 20%
(1), (2), (3), (4), (5)	Experiments or measurement errors	21 / 46%
(1), (2), (3)	The value of α or K_a is wrong.	11 / 24%
(4), (5), no response	The others	4 / 8%
Total		46 / 100%

때 나타나는 표현의 오류를 지적하지는 못하였다. 이 식을 이해하기에 필요한 '농도'라는 전제조건을 인식한 교사는 없었던 것이다.

다양한 이유 중에 가장 높은 비율을 차지한 것은 온도의 차이였다. 즉, 설문지에서 제시한 교과서 자료의 이온화도의 기준은 20 °C이고 이온화 상수의 기준은 25 °C이었으므로 온도가 달라 이온화도와 이온화 상수가 호환되지 않는다고 응답하였다. 이러한 사고를 가진 교사 C와의 면담 내용이다.

면담자: 선생님께서는 온도가 다르기 때문에 이온화도와 이온화 상수가 호환되지 않는다고 생각하셨네요.

교사C: 솔직히 이렇게 값이 크게 차이가 나는 이유로 조금 궁색해 보이지만 그래도 다른 이유를 못 찾겠어요. 아무래도 이온화도는 20 °C, 이온화 상수는 25 °C를 기준으로 측정했으니 좀 다르지 않을까요?

면담자: 다른 교과서에 보면 이온화도는 같은 값을 제시 하면서 온도는 이온화 상수를 측정할 때와 동일하게 25 °C로 표시하고 있습니다.

교사C: 그런가요? 그럼 5 °C의 온도 차이는 별다른 영향을 끼쳤다고 볼 수 없겠네요. 그럼 뭐가 문제죠? 음, 어차피 이런 자료는 실험에 의해 얻어지니 실험 오차로 볼 수도 있겠네요.

면담자: 실험 오차로 보기에는 너무 편차가 심하지 않나요? K_a 값이 옳다고 보면 염산의 α 는 0.99999999, 황산의 α 는 0.999, 질산의 α 는 0.995가 나와야 하는데 교과서에서 제시한 이온화도와는 상당한 차이가 나는데요.

교사C: 그럼 이온화도가 맞고 이온화 상수가 잘못된 건가요?

면담자: 교과서에서 제시한 이온화도는 강산의 이온화도로 보기에 너무 작은 값이죠. 그렇다고 이온화 상수가 옳다고 보지도 않아요. 화학 분야에서 공신력 있는 자료로 여겨지는 CRC Handbook of Chemistry & Physics라는 책을 포함해 다수의

교재에서는 아예 강산의 K_a 를 제시하지 않아요.

교사C: 그럼 왜 우리 교과서에서는 굳이 그 값을 제시하는 거죠?

면담자: 아마도 수업하기 편하다는 매력 때문이 아닐까요?

교사C: 그건 그래요. 아무래도 숫자를 도입해서 설명을 하니 산의 세기가 쉽게 비교가 되고 학생들도 개념을 훨씬 잘 잡아요.

이온화도가 온도가 높아지면 대체로 증가하는 경향이 있기는 하지만 면담을 통해 온도의 차이가 큰 영향을 줄 수 없다는 사실을 깨달은 교사 C는 이 문제를 해결하기 위하여 대부분의 교사들이 선택하였던 실험 오차를 언급하였다. 그러나 면담자가 오차로 보기에는 값의 차이가 너무 크다는 점을 지적하자, 교과서에 제시된 표현에 의해 개념의 혼란이 만들어졌을 가능성에 대해 인식하기 시작하였다. 그리고 이 숫자가 가지는 의미에 대하여 의문을 가지고 나서 이러한 숫자를 교과서에서 제시하는 이유에 대해 반문하였다. 면담에서 언급한 것과 같이 학생들을 지도할 때 편하기 때문이라는 이유를 면담자가 제시하였을 때 교사 C는 그 이유에 대해 쉽게 수긍하였다.

그러나 과학 개념을 명시적인 숫자로 개념을 전달하는 경우, 교사 뿐 아니라 고등학생들도 개념을 명확히 파악하기 어려울 수 있다. 이는 교사들이 관련 개념에 대해 혼란을 보이는 자료로부터 확인할 수 있었다. 교사의 혼란은 학생들에게도 전달될 가능성이 높기 때문에 이러한 교사의 사고는 부적절한 것일 수 있다. 따라서 교사의 개념 이해 뿐 아니라, 이를 통해 학생들의 개념 이해를 높이는 데 더 도움이 되는 자료 제시의 형태에 대한 연구가 이루어질 필요가 있다고 본다.

결론 및 제언

이 연구를 통해 고등학교 및 대학 화학에서 가장 기본적인 개념 중 하나라고 할 수 있는 강산에 대한 화학교사들의 인식이 매우 부족한 것을 확인할 수 있었다. 특히 고

등학교 화학의 경우에는 많은 교사들이 이온화도나 이온화상수 값과 같은 수치를 통해 개념을 이해시키는 방법에 익숙하지만, 이러한 방법을 통해 학생들에게 강산의 개념을 제대로 형성시키기는 어렵다. 화학 교사들은 먼저 강산의 정의, 이온화도, 이온화 상수 값 측정에 대한 전제 조건들을 인식할 필요가 있다.

교육과정이 변천하면서 초기부터 특정한 온도, 농도와 같은 단일 실험조건에서의 이온화도 값을 제시하였으며, 이온화상수의 경우 강산은 ‘대단히 크다’는 설명만 제시되었다. 그러나 7차 교육과정부터 이온화도 값은 서로 다른 온도, 특정한 묽은 농도(0.1 M)에서의 통일된 한 가지 값만 제시되고 강산의 이온화상수 값이 제시되는 변화가 일어났다. 이러한 변화는 오히려 강산의 개념 형성에 방해를 가져올 수 있다. 이온화도와 이온화 상수가 가지는 전제조건을 고려하지 않고 제시된 한 가지 값이 절대적인 값으로 인식되고, 따라서 이를 근거로 강산의 세기를 비교하게 되는 오류가 발생할 수 있기 때문이다. 또한 강산의 이온화 상수 값을 명확하게 제시함으로써 약산에만 적용될 수 있는 ‘묽힘 법칙’을 모든 산에 적용할 수 있다고 보는 오류가 발생하게 되는 것이다. 교육과정이 변천하면서 강산의 개념에 대한 설명은 일관성을 가지게 되었지만 이러한 변화가 학생들의 강산에 대한 개념 이해에 도움을 주는 방향으로 발전했다고는 볼 수 없다. 특히 7차 교육과정부터 성취기준이 제시되면서 이온화도와 이온화 상수 값에 근거하여 산과 염기의 상대적 세기를 비교하도록 하였기 때문에 교과서에 제시된 한 종류의 이온화도 값이나 강산의 이온화 상수 값은 교사들에게도 혼란을 야기하는 것으로 나타났다.

현재 강산의 개념 인식에 혼란을 주는 첫째 원인은 성취기준 달성을 위한 교과서의 자료 제시형태이다. 성취기준을 달성할 수 있는 자료만을 선별하여 교과서에 제시하는 것은 이온화도와 이온화 상수를 이용한 산의 세기 비교에서 혼란을 줄 수 있으므로 성취기준에 대한 수정의 필요성을 느끼게 한다. 그리고 다음으로는 전제조건에 대한 교과서 표현 및 강조의 부족을 찾을 수 있다. 강산의 정의와 부합되지 않는 특정한 묽은 농도(0.1 M)의 이온화도 값을 제시하는 것은 개념의 이해에 혼란을 줄 수 있다. 그러므로 이온화도는 온도와 농도에 따라 달라질 수 있고, ‘아주 묽은 농도’라는 전제 조건 아래서 강산의 이온화도가 1이 될 수 있음을 알 수 있도록 다양한 농도에서의 이온화도 값을 제시해줘야 한다고 본다. 그리고 수용액 속에서의 산의 세기 비교에 혼란을 주는 강산의 이온화 상수 값을 약산의 이온화 상수 값과 함께 표로 제시할 때, 같은 ‘용매’에서 측정한 것이 아니라는 전제 조건을 강조하여야 수용액 속에서 평준화 효과를 통해 강산의

세기가 같아짐을 인식할 수 있다고 본다. 또한 이온화도와 이온화 상수의 관계를 알아보는 ‘묽힘 법칙’을 표현할 때, 약산에 적용해 보는 예시를 통하여 모든 산에 적용될 있는 공식으로 인식되지 않도록 과학사적 의미를 통해 ‘약산’이라는 전제조건 아래서 적용될 수 있음을 강조해야 된다고 본다. 이러한 문제가 해결되기 위해서는 교과서의 자료와 표현이 강산의 대한 개념 이해에 도움이 될 수 있도록 수정될 수 있도록 많은 노력이 필요할 것이며, 이를 문제점으로 인식하고 개념을 올바르게 이해하고 전달할 수 있는 교사의 역량을 충분히 갖추는 것도 필요하다.

Acknowledgments. 이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행한 연구(No. 2010-0005225)임.

REFERENCES

1. Kang, S. H.; Lee, S. J. *Journal of Research in Curriculum Instruction* **2005**, 9(2), 151–167.
2. Kang, S. H.; Cho, S. A. *J. Korean Chem. Soc.* **1999**, 43(6), 707–719.
3. Go, H. S.; Kim, K. E.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2012**, 56(5), 628–637.
4. Kim, J. G. The Content Analysis on Acid and Base in High School Chemical Textbooks. M.D. Thesis, Ulsan University, 2009.
5. Kim, H. L. Analysis on the Concepts in the Chapters of the Seventh National Education Program High-School Chemistry Textbooks. M.D. Thesis, Kookmin University, 2007.
6. Song, Y. J. A Study of Students' Misconceptions of Acid-Base Reactions by the Different Types Question. M.D. Thesis. Chosun University, 2003.
7. Sin, E. J. Effects of the Understanding of Nature of Science on Pre-service Chemistry Teachers' Acid Base Conceptual Learning: Focused on the Prerequisites. M.D. Thesis, Korea National University of Education, 2012.
8. Lee, Y. J. Study of Third-year Middle School Students' Understanding of Concepts of the Acid Ionization and the Strength Using Generative Learning Model. M.D. Thesis, Chosun University, 2002.
9. Lee, J. H. Students' Misconceptions of Acid-base and Neutralization Reaction. M.D. Thesis, Kyungki University, 2007.
10. Won, J. A.; Gwak, J. R.; Park, Y. N.; Paik, S. H. *Korean Journal of Teacher Education* **2010**, 26(2), 65–87.
11. Jung, D. W. Analysis of the Students' Conception on Reaction of Acid and Base. M.D. Thesis, Korea National University of Education, 1998.
12. Hong, S. M. Study of First-year University Students' Understandings of Acid-base Equilibrium and Equivalence Point. M.D. Thesis, Ewha University, 1998.
13. Carlos, F. M.; Calatayud, M. L.; Guisasola, J.; Furio-Gomez,

- C. *International Journal of Science Education* **2005**, 27(11), 1337–1358.
14. Boz, Y. *School Science and Mathematics* **2009**, 109(4), 212–222.
 15. de Vos, W.; Pilot, A. *Journal of Chemical Education* **2001**, 78(4), 494.
 16. Erduran, S. *The Annual Meeting of the American Educational Research Association* **1996**, April 8–12, 84.
 17. Kolb, D. *Journal of Chemistry Education* **1978**, 55(7), 459.
 18. Ross, B.; Munby, H. *International Journal of Science Education* **1991**, 13(1), 11–24.
 19. Schmidt, H. *International Journal of Science Education* **1991**, 13(4), 459–472.
 20. Lee, J. M. *The Annual Meeting of Korean Psychological Association* **1989**, 83–88.
 21. Kang, D. H. Conceptual Difficulties Experienced by Chemistry Teachers in Electrochemistry and an Analysis of Sources. M.D. Thesis, Korea National University of Education, 2004.
 22. Kang, D. H.; Park, K. T.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2001**, 45, 83.
 23. Kang, D. H. Conceptual Difficulties Experienced by Chemistry Teachers in Electrochemistry and an Analysis of Sources. M.D. Thesis, Korea National University of Education, 2004.
 25. Park, J. H.; Kim, D. U.; Paik, S. H. *Korean Association of Research in Science Teaching* **2004**, 24(3), 544–555.
 26. Park, J. H.; Kim, D. U.; Paik, S. H. *Korean Association of Research in Science Teaching* **2006**, 26(2), 279–290.
 27. Park, J. H.; Paik, S. H.; Kim, D. U. *Korean Association of Research in Science Teaching* **2003**, 23(6), 660–670.
 28. Paik, S. H. *Chemical Education* **2000**, 27(1), pp. 78–80.
 29. Paik, S. H.; Jung, A. K.; Ko, Y. H. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2004**, 24, 429.
 30. Paik, S. H.; Cho, M. J. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2005**, 25, 773.
 31. Sin, H. J. A Study of Science Teacher's Understanding About Electrolysis. M. D. Thesi, Seoul National University, 1998.
 32. Lee, E. S. Survey of Teachers and Pre-teachers' Understanding of Colligative Properties in High School Chemistry II Chanter. M.D. Thesis, Korea National University of Education, 2007.
 33. Cho, B. K.; Go, Y. M.; Kim, H. N.; Paik, S. H.; Park, J. W.; Park, J. O.; Lim, M. H. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **2002**, 22(2), 286–298.
 34. De Jong, O.; Acampo, J.; Verdonk, A. *Journal of Research in Science Teaching* **1995**, 32(11), 1097–1110.
 35. Sanger, M. J.; Greenbowe, T. J. *Journal of Chemical Education* **1999**, 76(6), 853–860.
 36. Stylianidou, F.; Ormerod, F.; Ogborn, J. *International Journal of Science Education* **2002**, 24(3), 257–283.
 37. Park, J. H. A Survey Study of High School Students' Conceptions Related to Acid and Base Reaction. M. D. Thesis, Korea University, 2005.
 38. Kim, C. J. Analysis of Misconceptions in High School Chemistry Textbook of 7th Curriculum. M.D. Thesis, Yonsei University, 2004.
 39. Lee, J. Y. Analysis of Chemistry Part Misconceptions of College Freshmen. M.D. Thesis, Sukmyung Women University, 2002.
 40. Chang, R. *Chemistry, 10th ed.*; McGraw-Hill: New York, 2010.
 41. Brubaker Jr. C. *Journal of Chemical Education* **1957**, 34(7), 325.
 42. Harris, D. C. *Quantitative Chemical Analysis*, 7th ed.; W. H. Freeman & Company; New York, 2007.
 43. Solomons, T. W. G.; Fryhle, C. B. *Organic Chemistry*, 8th ed.; John Wiley & Sons.: Kentucky, U.S.A., 2005.
 44. Zumdahl, S. S.; Zumdahl, S. A. *Chemistry* (8th); Cengage Learning: Singapore, 2010.
 45. Lloyd, E. West; Arnold Gahler *Journal of Chemical Education* **1942**, 19(8), 366–368.
 46. Oxtoby, D. W.; Freeman, W. A.; Block, T. F. *Chemistry: Science of Change*, 4th ed.; Cengage Learning: Singapore, 2008.
 47. http://www.chembuddy.com/?left=BATE&right=dissociation_constants. September 24/2012.
 48. John, H.; Go, M. J. *The History of Chemistry*; Book's hil: Seoul, 2005.
 49. Lee, K. S. *History of chemisty thought*; Yonsei University Press: Seoul, 1981.
 50. Dakeuchi, Y.; Bak, T. G. *Basic Six Law of Chemisty*; Jeonpagwahak: Seoul, 1987.
 51. Kang, G. I. *Story of Chemistry and Chemist for Student*; Cham gwahak: Seoul, 2002.
 52. 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 Education Press: Seoul, 2011.
 53. Park, J. S.; Youn, Y.; Jung, J. O.; Cho, E. M.; Ryu, S. K. *Chemistry II*; Kyohaksa Press: Seoul, 2011.
 54. 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 II*; Sangsang Academy Press: Seoul, 2011.
 55. Ryu, H. I.; Kim, C. S.; Lee, K. P.; Lee, J. B.; Bak, S. B.; Kang, S. G.; Kim, Y. Y.; Lee, H. K. *Chemistry II*; Visang Press: Seoul, 2011.