

2015 개정 교육과정 화학II 교과서의 상평형 그림에 대한 문제점 분석

황영하 · 백성혜*

한국교원대학교 화학교육과
(접수 2022. 12. 27; 게재확정 2023. 1. 21)

Analysis of Problems in the Phase Diagram of the 2015 Revised Curriculum Chemistry II Textbook

Youngha Hwang and Seoung-Hey Paik*

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

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

(Received December 27, 2022; Accepted January 21, 2023)

요 약. 이 연구에서는 2015 개정 교육과정 화학II 교과서 6종을 대상으로 상평형 그림의 조건, 정의, 임계점의 표시 유무와 실생활 예시 등을 분석하였다. 본 연구에서는 여러 선행 연구에서 지적한 문제점들이 2015 개정 교육과정 화학II 교과서에 반영되고 있지 않음을 확인했으며, 상평형 그림이 그려지는 조건이 명시되지 않은 것과, 상평형 그림을 정의하는 상황이 증기압력을 정의하는 상황과 동일한 것, phase diagram을 상평형 그림으로 번역한 것, 상(phase)과 상태(state)의 구분이 불분명한 것, 임계점을 상평형 그림에서 나타내지 않은 것, 실생활 예시를 매우 한정적으로 제시하고 있는 것 등을 문제로 제안하였다. 따라서 앞으로 이루어질 개정 교육과정 화학II 교과서에서는 여러 선행 연구들의 결과를 반영하는 것이 필요하며, 상평형 그림이 그려지는 조건을 명시하고, 상평형 그림을 정의하는 상황을 새로이 모델링하고, phase diagram을 상 도표라는 용어로 번역하고, 상과 상태의 구분을 명확히 하고, 상평형 그림에서 임계점을 표시하며 다양한 실생활 사례를 개발할 필요가 있다.

주제어: 2015 개정 교육과정, 화학II 교과서, 상평형 그림

ABSTRACT. In this study, six types of 2015 revised curriculum ChemistryII textbooks were analyzed for conditions, definitions, whether or not critical points were displayed, and real-life examples of phase diagram. In this study, it was confirmed that the problems pointed out in several previous studies were not reflected in the 2015 revised curriculum ChemistryII textbook. The same as the situation defining the phase diagram, the translation of the phase diagram into a phase equilibrium diagram, the distinction between phase and state being unclear, the critical point not being shown in the phase diagram, real life examples are very limited what is being presented as is suggested as a problem. Therefore, it is necessary to reflect the results of various previous studies in the revised curriculum ChemistryII textbook that will be made in the future, specify the conditions under which the phase diagram is drawn, newly model the situation defining the phase diagram, and translate the phase diagram as a 'phase diagram'. It is necessary to use the term, clarify the distinction between phase and state, mark the critical point in the phase diagram, and develop various real-life examples.

Key words: 2015 revised curriculum, Chemistry II textbook, phase diagram

서 론

자연 현상을 설명하는데 사용하는 과학 지식은 사실·법칙·이론 등으로 구성되어 있다. 따라서 자연 현상을 성공적으로 설명하기 위해서는 관련된 과학 지식들의 관계를 잘 파악하고 있어야 하며, 또한 각 과학 지식들이 적용될 수 있는 전제 조건이나 제한점, 한계 등을 파악하는 것이 중요하다.¹

대부분의 2015 개정 교육과정 고등학교 화학 II 교과서에서는 교육과정 성취기준에 따라 물과 이산화탄소의 상

평형 그림을 도입하여 압력과 온도 변화에 따른 물질의 상태 변화를 설명하고 있다. 그러나 Kim *et al.*²의 연구에 의하면 대부분의 과학 교사들이 물의 상평형 그림을 이용하여 물의 상태 변화를 설명하는데 어려움을 느끼고 있는 것으로 나타났다. 특히 물의 증발, 얼음의 승화 현상에 대한 교사들의 이해도가 낮은 것으로 나타났는데, 교사가 이해하지 못하는 내용을 학생이 이해하길 바라는 것은 어불성설일 것이다.

그 동안 상평형 그림의 이해와 관련하여 몇 가지 연구 결과들¹⁻⁴이 있으나 상평형 그림이 1성분 닫힌계임을 강

조해야 한다는 주장,^{1,4} 상평형 그림에서 y축의 의미,^{1,2,4} 언 빨래가 마르는 현상을 설명할 때 상평형 그림을 해석하는 방법^{1,3} 등과 같이 연구 문제가 굉장히 한정적이며, 2010년 이후로는 상평형 그림과 관련된 연구가 이루어지지 않아 최근 중등 교육 현장에서 기존에 제시된 문제점들이 개선되었는지 확인할 수 없었다.

상평형 그림이 1성분 닫힌계임을 강조해야 한다는 선행 연구는 다음과 같다. Peckham & McNaught³은 많은 교과서가 상평형 그림이 오로지 순수한 물질, 1성분 계임을 강조하는데 실패하고 있다고 지적했다. Peckham & McNaught³에 따르면 공기로 포화된 계에서 물의 어는점은 0.000 °C이며, 공기가 없는 순수한 물로만 되어 있는 계에서 물의 어는점은 0.002 °C이다. Peckham & McNaught³은 계에 따라 나타나는 어는점의 차이는 미비하다고 할 수 있지만, 이러한 조건을 무시한다면 학생들이 오개념을 형성할 것이라고 주장했다. Kim *et al.*²은 물질의 상태 변화를 상평형 그림을 이용해 해석할 때 가정한 물질의 상태가 동적 평형에 도달했는지의 유무 및 물질이 존재하는 계가 열린 계인지 닫힌계인지 구분하는 인식의 중요성을 강조했다. Yang & Paik⁴은 상태 변화를 해석할 때 닫힌계의 동적 평형 상태와 열린계의 평형 이동 상태, 순수하게 한 물질만 존재하는 경우와 공기 등이 포함된 경우를 구분할 수 있어야 상평형 그림과 관련된 다양한 형태의 학습 전이가 일어날 것이라고 주장했다. Park¹은 상평형 그림으로 설명하기 어려운 몇 가지 의문점들의 가장 근원적인 문제는 물의 상평형 그림과 같이 1성분계의 상평형 그림은 그 물질만 존재하는 경우라는 것을 간과했기 때문임을 언급하였다.

상평형 그림에서 y축의 의미와 관련된 선행 연구로, Kim *et al.*²은 기화곡선 및 승화곡선에서는 기체의 증기 압력으로 이해하여야 하며, 용해곡선에서는 고체에 작용하는 압력 혹은 액체에 작용하는 압력을 나타내기 때문에 기화곡선 및 승화곡선의 증기 압력과는 구분되어야 한다는 점을 강조했다. Yang & Paik⁴은 동적 평형 상태에서 기체의 압력을 증기 압력으로 정의하고 있으나, 비평형 상태의 기체 압력도 증기 압력이라고 할 수 있으므로 평형 상태에서는 포화 증기 압력·평형 증기 압력 등의 용어를 사용하며, 비평형 상태에서 증기가 나타내는 압력은 증기 압력으로 구분해서 사용할 것을 제안했다.

언 빨래가 마르는 현상을 설명할 때 상평형 그림을 해석하는 방법에 관련한 선행 연구는 다음과 같다. Peckham & McNaught³은 공기의 존재를 고려하지 않을 때 학생들이 오개념을 형성할 수 있는 예시를 다음과 같이 제시했다. 겨울에 언 빨래가 마르는 현상을 승화로 해석할 때 대기압인 1기압은 상평형 그림에서 삼중점의 압력보다 높

기 때문에 승화로 해석하지 못하는 학생들이 존재한다. 하지만, 상평형 그림은 순수한 물질을 대상으로 그려졌기 때문에 공기의 존재를 고려할 필요가 없으며, 물의 부분 압력이 삼중점보다 아래에 있으면 승화가 가능하다고 하였다. Kim *et al.*²은 언 빨래가 마르는 현상을 물의 증발과 관련지어 다룰 필요성에 대해 주장했으며, 언 빨래가 마르는 현상을 증발과 관련지어 다루지 않을 때 물의 끓음과 같이 격렬하게 일어나는 변화만이 상태 변화이고, 표면에서 부분적으로 일어나는 변화는 상태변화가 아니라고 생각할 가능성을 제시하였다. Park¹은 공기가 존재할 때 1기압의 추가 압력에 의해 증가되는 수증기의 압력은 0.1% 이내이므로 공기가 존재하는 경우에도 얼음의 포화 수증기압은 공기가 없는 경우의 증기 압력을 그대로 사용해도 무방할 것이라고 주장했다.

또한, 교과서는 학생들이 학습을 위해 사용하는 가장 기본적인 도구로, 교과서의 설명과 예시는 학생들의 개념 형성에 지대한 영향을 미칠 수 있다.⁵ Abraham *et al.*⁶은 학생들이 개념을 잘 학습하지 못하는 이유로 교과서의 불완전성을 지적하였으며, Park *et al.*^{7,8}도 학교 환경 중에서 교과서는 우리나라 교육 현장에서 교수·학습의 방향을 제시해 주는 중요한 역할을 하므로 오개념의 주요한 형성 원인이 될 수 있다고 하였다. Yu⁹는 화학 교과서와 관련된 선행연구가 탐구 활동, 시각적 자료 분석, 읽기 자료 분석 등으로 상당히 한정적임을 강조하며, 본문 텍스트의 서술 내용을 분석하는 것은 교육과정에서 추구하는 화학교육의 목표에 비추어도 의미를 갖는다고 주장했다.

따라서 이 연구에서는 2015 개정 교육과정 화학II 교과서를 분석하여 지금까지 이루어진 선행연구의 문제 제기가 개선되어 반영되었는지 확인하였다. 또한, 교과서 분석 중 ‘정의’ 유목에서 상평형 그림의 정의가 교과서마다 차이가 있는 것을 확인하여 용어 번역의 과정을 살펴보았으며, y축의 의미를 해석하는 과정에서 상평형과 관련이 있는 액체의 증기 압력과 끓는점 부분도 일부 포함하였다. 또한, 교과서마다 임계점 표시 유무에 따라 상평형 그림의 형태가 다른 것을 확인하여 임계점의 표시 유무도 살펴보았다. 이러한 연구는 현장에서 실제로 이루어지는 화학교육의 개선에 도움을 줄 것으로 보이며, 추후 개정될 교육과정에 상평형 그림과 관련된 의미 있는 제언을 할 수 있는 자료가 될 것으로 본다.

연구 내용 및 방법

분석 대상

이 연구에서는 국내에서 출판된 2015 개정 교육과정 화학II 교과서 6종¹⁰⁻¹⁵을 분석하였다. 분석한 교과서는

Table 1. High school Chemistry II textbooks

Textbook	Author	Publisher
HA	Choi, M. H. <i>et al.</i> ¹⁰	Mirea-n
HB	Park, J. S. <i>et al.</i> ¹¹	Visang Press
HC	Hong, H. K. <i>et al.</i> ¹²	Kyohaksa
HD	Jang, N. H. <i>et al.</i> ¹³	Sangsang Academy Press
HE	Lee, S. G. <i>et al.</i> ¹⁴	Jihaksa
HF	Noh, T. H. <i>et al.</i> ¹⁵	Chunjae

Table 1에 나타난 것처럼 기호를 부여하였다.

분석방법

이 연구에서는 1차적으로 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서의 상평형 그림에서 다루고 있는 내용 중 선행연구에서 문제를 제기한 1성분 닫힌계임을 강조해야 한다는 주장¹⁻⁴을 확인하기 위해 상평형 그림의 조건 유무를 상정하였다. 또한, 상평형 그림에서 y축의 의미^{1,2,4}를 확인하기 위해 상평형 그림의 정의 유무를 상정하였다. 언 빨래가 마르는 현상을 설명할 때 상평형 그림을 해석하는 방법¹⁻³이 반영되었는지 확인하기 위해 실생활 예시의 유무를 상정하였다. 1차 분석을 마친 후 상평형 그림의 정의가 교과서마다 차이가 있는 것을 확인하여 2차 분석에서는 외국의 일반화학 책을 참고하여 용어 번역의 과정을 살펴보았으며, y축의 의미를 확인하는 과정에서 상평형과 관련이 있는 액체의 증기 압력과 끓는점 부분도 ‘정의’ 유목에 포함하였다. 또한, 교과서마다 임계점 표시 유무에 따라 상평형 그림의 형태가 다른 것을 확인하여 ‘임계점의 표시 유무’ 유목을 추가하였다. 따라서 최종적으로 상평형 그림의 조건, 정의, 임계점의 표시 유무, 실생활 예시의 4가지 유목으로 확정지어 3차 분석을 진행하였다. 분석의 신뢰도를 높이기 위하여 화학교육 전공 교수 1인과, 화학교육 전공 현직 교사 1인, 그리고 화학교육 전공 석사과정생 2인이 각각 분석한 그 결과를 서로 비교하였으며, 일치하지 않는 경우 분석 기준을 보다 상세히 하고 재분석하여 신뢰도를 높이고자 하였다.

연구 결과 및 논의

상평형 그림이 그려지는 조건 분석

1기압 25 °C에서 컵에 담겨 있는 물은 증발해서 기체로 변할 수 있다. 하지만 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서에 제시된 물의 상평형 그림에 따르면 1기압 25 °C에서 물은 액체 상태로만 존재하는 것으로 표현되어 있다.

위에 제시된 상황에서 온도와 압력이 동일하지만, 물의 모습이 다르게 존재할 수 있는 이유는 각 상황에서 계의

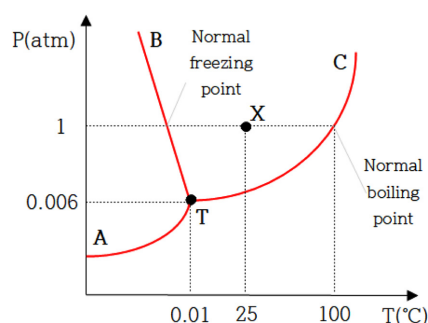


Figure 1. State of water at 1 atm and 25 °C.

종류가 다르기 때문이다. 일상생활에서 컵 속에 담겨 있는 물은 열린계의 상황에서 존재한다. 하지만 상평형 그림은 1성분 닫힌계에서 그려진 그림이다. 따라서 상평형 그림을 1기압 25 °C에서 컵에 담겨져 있는 물의 증발 상황으로 해석하면 혼란이 발생하게 된다.

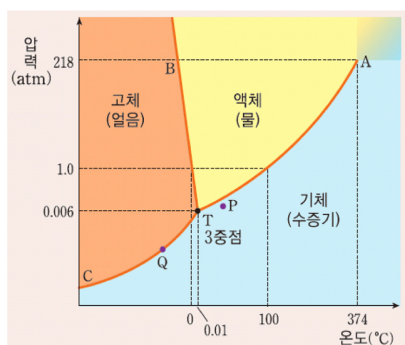
물질의 상태 변화를 설명할 때는 선행연구¹⁻⁴에서 강조했다듯이 계의 조건을 고려하는 것이 매우 중요하다. 하지만 2015 개정 교육과정 화학 II의 교육과정 성취기준에서는 열린계, 닫힌계, 고립계와 같은 계의 종류에 대한 서술이 포함되어 있지 않다. 이에 따라 상평형 그림이 그려진 조건을 닫힌계라는 용어를 사용하여 설명한 교과서는 없었다. 다만, 1성분 닫힌계의 개념을 풀어서 서술한 교과서는 일부 있었다. HC 교과서에서는 ‘상평형 그림에서 물질의 상태는 순수한 물질을 진공 상태의 밀폐된 용기에 넣고 온도와 압력을 변화시켜가면서 측정한 것이다.’라고 서술했으며, HD 교과서에서는 ‘상평형 그림은 어떤 물질도 주위로 빠져나갈 수 없고, 공기도 존재하지 않는 조건에서의 변화를 나타낸다.’라고 서술했다. 나머지 교과서에서는 계의 조건과 관련된 서술을 찾아볼 수 없었다. 이러한 서술의 현황을 Table 2에 제시하였다.

Table 2에 따르면, 6종의 교과서 중 단 2종만이 상평형 그림이 그려지는 조건인 1성분 닫힌계를 제시하였다. Peckham & McNaught³이 1990년대에 많은 교과서의 상평형 그림이 순수한 물질을 대상으로 그려졌다는 사실을 표현하지 않는다고 지적했으나, 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서에서는 성취기준의 한계에 따라 이러한 제안을 충분히 고려하지 못하고 있음을 확인하였다.

상평형 그림이 그려진 전제 조건을 무시하고 일상생활

Table 2. Explanation of one-component closed system in High school Chemistry II textbooks

Explanation	Textbook
Presentation	HC, HD
Missing	HA, HB, HE, HF



P점에서 수증기는 온도를 낮추면 물로 역화된다. 더운 여름철 얼음물이 들어 있는 유리컵 표면에 물방울이 맺히는 현상은 이와 관련이 있다.
 곡선 BT의 모든 점에서는 고체와 액체가 평형을 이루며 함께 존재한다. 고체와 액체가 평형을 이루는 온도를 고체의 녹는점 또는 액체의 어는점이라고 한다. 예를 들어 1기압에서 얼음의 녹는점은 0 °C이다. 녹는점은 압력에 따라 달라지는데, 곡선 BT를 통해 압력이 클수록 얼음의 녹는점은 낮아지는 것을 알 수 있다.



Figure 2. An example of the phase transition in an open system with a phase diagram.¹²

예시에 적용했을 때, 오류가 생기는 경우를 교과서에서 확인할 수 있었다. 예를 들어, Fig. 2에 나타난 것처럼 HC 교과서에서는 더운 여름철 얼음물이 들어있는 유리컵 표면에 물방울이 맺히는 현상을 상평형 그림으로 설명하고 있는데, 이러한 상황은 열린계이기 때문에 닫힌계에서 그려진 상평형 그림을 적용하는 것은 잘못된 것이다. 일상 생활의 사례를 교과서에서 제시하는 이유는 자연 현상 및 일상생활의 문제를 과학적으로 탐구하는 능력을 기르고, 이를 통해 화학의 핵심 개념을 이해하기 위함이다.¹⁶ 그러나 상평형 그림이 그려진 조건을 고려하지 않은 일상 사례를 제시하고 제시된 사례를 상평형 그림으로 해석하는 것은 학생들이 과학적 사고 활동을 하는 데 있어 어려움을 갖게 되는 원인이 될 수 있으므로,² 교과서 설명에서는 관찰되는 자연 현상에 포함된 전제 조건을 명확하게 진술하고 해당하지 않는 사례에 적용하는 오류가 일어나지 않도록 해줄 필요가 있다.^{2,17}

상평형 그림의 정의에 대한 분석

상평형 그림에 대한 정의를 분석한 결과, 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서에 실린 상평형 그림의 정의에 대한 관점은 두 가지로 나타났다. 첫째, 상평형 그림은 ‘온도와 압력에 따른 고체, 액체, 기체 사이의 평형을 나타낸 것이다.’라는 평형에 초점을 맞춘 관점이다. Kim *et al.*²도 물의 상평형 그림을 ‘닫힌계에서 초기에 진공 상태로 다른 기체를 배제하고 액체인 물과 기체인 수증기, 혹은 고체인 얼음 사이의 동적 평형에 도달하였을 때의 온도와 압력을 나타낸 것이다.’라고 정의하였는데, 이는 평형에 초점을 맞춘 관점이다. 둘째, ‘온도와 압력에 따라 나타나는 물질의 상태를 표현한 것이다.’라는 상태에 초점을 맞춘 관점이다. 분석에 사용한 교과서 중 HA, HD 2종의 교과서는 평형에 초점을 맞춘 관점으로 상평형 그림을 정의했으며, 나머지 4종의 교과서는 상태에 초점을 맞춘 관점으로 상평형 그림을 정의하였다. 두 가지 관점에 대해 교과서의

Table 3. Perspective of phase diagram in High school Chemistry II textbooks

Perspective	Textbook
Equilibrium	HA, HD
State of matter	HB, HC, HE, HF

진술 방식을 분류하면 Table 3와 같다.

상평형 그림이 과학적 개념이라면 정의가 두 가지로 교과서마다 다르게 제시되는 것은 문제라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 외국의 일반화학 책^{18,19}에 서술되어 있는 상평형 그림의 정의에 대해 알아보았다.

Atkins *et al.*¹⁸에서는 상평형 그림을 ‘A phase diagram is a map that shows which phase is the most stable at different pressures and temperatures.’라고 정의하고 있었으며, Oxtoby *et al.*¹⁹에서는 ‘a plot of pressure against temperature that shows the stable state for every pressure’라고 정의하고 있었다. 두 외국 교과서 모두 용어와 정의에서 평형이라는 용어와 개념은 전혀 사용하고 있지 않은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 phase diagram을 상‘평형’그림으로 번역하면서 상평형 그림을 평형 개념과 연관 짓게 되는 것이 문제라고 판단하였다.

Phase diagram은 직역하면 상 도표이며, 온도와 압력을 독립 변인으로 나타내고 물질의 상(phase)을 종속 변인으로 나타낸 도표이다.¹⁸ 이에 비추어 보면 ‘온도와 압력에 따라 나타나는 물질의 상태를 표현한 것이다.’라는 상태에 초점을 맞추는 두 번째 관점이 본래 정의에 비추어 보았을 때 보다 정확하다고 할 수 있다.

2015 개정 교육과정 화학 II 교과서 중 2개의 교과서에서는 상평형 그림을 ‘온도와 압력에 따른 고체, 액체, 기체 사이의 평형을 나타낸 것이다.’라는 평형에 초점을 맞춘 관점으로 정의하였다. 이는 상평형 그림이라는 용어를 정의하는 데는 적합하다고 할 수 있으나, phase diagram의 본디 의미를 훼손하는 정의라고 할 수 있다. 반면, 분석에 사

용한 교과서 중 4개의 교과서는 ‘온도와 압력에 따라 나타나는 물질의 상태를 표현한 것이다.’라는 상태에 초점을 맞춘 관점으로 정의하였다. 하지만 이러한 정의는 phase diagram에 대한 정의이지, 평형에 대한 내용이 용어에 포함되어 있지 않으므로 상‘평형’ 그림의 정의로는 부적절하다. 결국 앞서 언급한 것처럼 phase diagram의 용어와 그 정의에는 평형 개념이 포함되어 있지 않는데, 용어의 변역을 상평형 그림으로 하면서 용어와 정의 간의 괴리가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Phase diagram을 상평형 그림으로 번역했을 때 생길 수 있는 문제는 다음과 같다. 첫째, 공존 곡선이 아닌 위치에 대한 상태의 해석이 모호해진다. 예를 들어, Fig. 1에 표시된 지점 X에서 보여지듯이 1기압 25 °C에서 물은 단일 액체상의 영역에 존재한다. 이 때, 이 지점은 상‘평형’ 그림에 표현되어 있는 지점이므로 평형 상태로 간주해야 하는지에 대한 문제가 발생한다. 하지만 상평형이라는 용어는 두 가지 이상의 상 간에 이루어지는 동적 평형을 의미하기 때문에,¹¹ 액체가 고체나 기체로 변화하고, 고체나 기체가 다시 액체로 변화하는 과정을 포함할 수 없는 1기압 25 °C 지점에 평형이라는 용어를 사용하는 것에는 문제가 있다.

둘째, 상평형 그림에서 공존 곡선 위의 점은 항상 평형 상태라는 오개념을 형성할 수 있다. 이러한 오개념과 관련된 내용을 Fig. 3에 나타낸 Park¹이 제안한 피스톤 그림을 통해 확인하려고 한다.

Fig. 3에 존재하는 물은 닫힌계에 존재하고 있으며 대기압은 1기압으로 가정한다. 온도를 25 °C라고 할 때 물의 증기압은 0.031기압이며, 이는 대기압보다 작기 때문에 물의 증발은 일어날 수 없고, 액체상에서만 존재한다. 이 결과는 Fig. 1과 같이 상평형 그림을 해석해서 나온 것과 동일하다.

상평형 그림에서 오개념을 형성할 수 있는 상황을 Fig. 3을 이용해 제시하면 다음과 같다. 외부 압력을 1기압으로 유지한 채 100 °C가 되었다고 가정하면, 상평형 그림에서 이

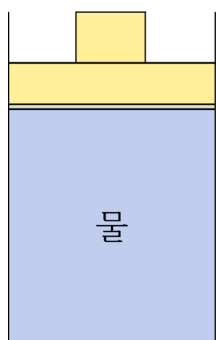


Figure 3. Water in a syringe for thought experiment.¹

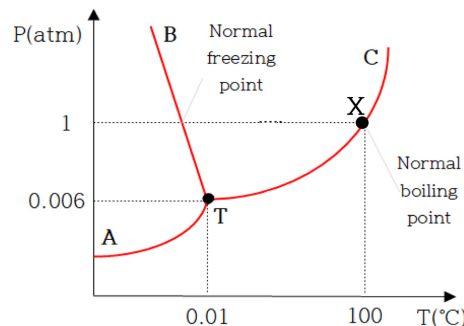


Figure 4. The point at which liquid and gas are in equilibrium.

지점은 액체와 기체가 평형을 이루며 공존하고 있을 것이다. 표준 끓는점을 나타내는 이 지점을 Fig. 4에 점 X로 표시하였다. 하지만 상평형 그림은 액체와 기체의 비율은 말해 주지는 않는다. 이는 다시 말해, 액체:기체=1:3인 상황과, 액체:기체=1:5인 경우가 같은 지점으로 표현된다는 것이다. 이러한 생각은 외국의 일반화학 책¹⁸에서도 확인할 수 있다. 자료를 Fig. 5에 제시하였다.

상태 변화가 일어나는 지점에서 가해주는 열은 계의 온도를 높이는데 사용되는 것이 아니라 물질의 상태 변화를 일으키는 데 사용된다. 따라서 1기압 100 °C에서 물이 전부 기체로 변하기 전까지 지속적으로 가열된다면, 가열되는 중에 나타나는 각각의 상태는 상평형 그림에서 전부 1기압 100 °C에 위치할 것이다. 이러한 상황을 Fig. 5의 (c)와 (d)에서 확인할 수 있다. 하지만 $\text{H}_2\text{O}(l) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g)$ 반응, 다시 말해 (c)→(d)로 가는 과정에서 지속적으로 열을 가한다면 내부 수증기압이 외부 대기압 보다 순간적으로 커져야 하는 상황이 생길 것이고, 또한 기체의 양도 늘어나게 될 것이다. 가열하는 중에 순간적으로 평형이 깨지는 무수히 많은 상황이 상‘평형’ 그림의 공존곡선 위에 한 점으로 표현되면서 정적인 평형 상태로 오인될 수 있다.

Yang & Paik⁴은 가열을 통해 온도의 변화가 일어나고, 온도의 변화를 줄이는 방향으로 평형이 이동하는 것이 액체가 기체로 기화하면서 기화열을 흡수하는 과정이라고 끓음을 해석하며, 끓음은 동적 평형 상태에서 액체와 기체가 공존하는 상평형과는 구분이 되어야 한다고 주장했다. Choi *et al.*²⁰도 열린계의 액체가 끓을 때에는 액체가 계속 기화하면서 액체의 양이 줄어들고 기체의 양은 늘어나기 때문에 그런 상태는 열역학적 평형의 상태는 아니라고 주장했는데, 닫힌계에서도 액체와 기체의 비율은 가해준 열에너지의 크기에 따라 결정되므로 역시 평형 상태로 간주할 수 없다. 그러나 용어를 상평형 그림으로 사용하면 공존곡선에 해당하는 온도와 압력에서 물질은 항상 동적 평형 상태라고 생각하는 오개념을 유발할 수 있다.

또한, 그 동안 선행 연구에서 제기되어왔던 상평형 그

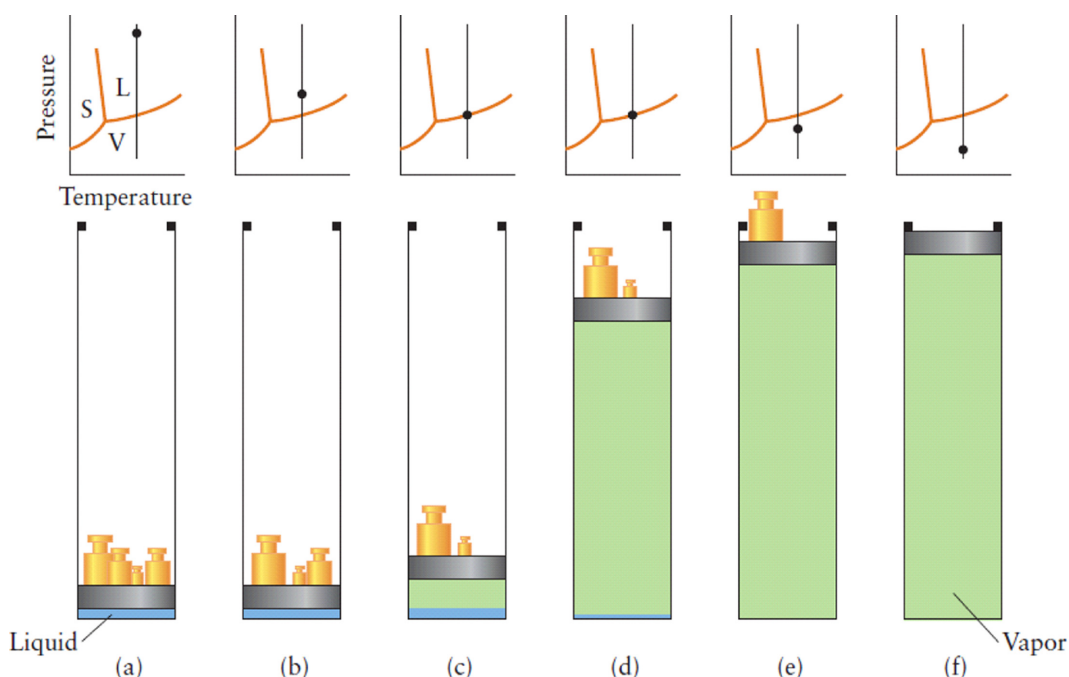


Figure 5. Interpretation of standard boiling points.¹⁸

Table 4. Meaning of y-axis in phase diagram in High school Chemistry II textbooks

Meaning of y-axis	Textbook
Presentation	-
Missing	HA, HB, HC, HD, HE, HF

림에서의 y축의 의미를 교과서에서 어떻게 서술하고 있는지 살펴보았지만, y축의 압력에 대해 기술하고 있는 교과서는 없었다. 이를 교과서별로 정리하여 Table 4에 제시하였다. 따라서 이번 연구에서는 선행 연구들의 결과를 고찰하고, y축에 대한 올바른 해석을 제시하고자 한다.

Yang & Paik⁴은 상평형 그림의 y축을 공기 중에서 공기 +수증기의 압력으로 이해하거나 닫힌계의 전체 압력으로 이해하고 있는 것은 문제이며, y축은 수증기만의 압력 혹은 액체나 기체에 작용하는 압력으로 이해해야 한다고 주장했다. Jeong²¹은 상평형 그림에서 y축은 용해곡선에서 고체나 액체가 느끼는 압력을 나타내며, 기화곡선에서는 기체의 증기압이라고 주장하였다. 또한, 그는 앞서 제시한 컵에 담긴 물을 상평형 그림으로 설명할 수 있는가에 대해서도 논의하였다. 그는 액체 물이 느끼는 압력은 1기압이지만 수증기의 압력은 포화된 상태라고 해도 25 °C에서 1기압에 훨씬 못 미치며, 수증기 외의 다른 기체들이 대부분이기 때문에 상평형 곡선으로 잘 설명될 수 없다고 주장했다. 이와 같이 선행연구에서는 상평형 그림에서의 y축이 하나임에도 불구하고 두 가지 해석이 공존하는 주

밀폐된 공간 안에 물을 넣고 놓아두면 처음에는 물이 증발하면서 기화된 수증기가 밀폐된 공간 안으로 퍼져 나간다. 이 수증기는 밖으로 빠져나가지 못하므로 밀폐된 공간 내부에 수증기 분자 수가 점점 증가한다. 이 중 수면에 충돌한 수증기는 물 분자에 끌려서 액체 상태로 다시 응축된다. 이렇게 증발과 응축을 반복하다가 결국에는 증발하는 속도와 응축하는 속도가 같아지게 된다.

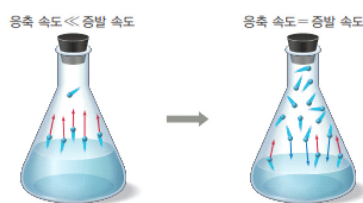


그림 1-15 밀폐된 공간에서 액체의 증발과 응축

밀폐된 공간에서 증발과 응축을 반복하면서 증발과 응축 사이에 동적 평형 상태가 되었을 때 기체가 나타내는 압력을 액체의 증기 압력이라고 한다.

Figure 6. Textbook description of vapor pressure.¹⁴

장을 하였다.

Yang & Paik⁴과 Jeong²¹의 주장을 살펴보면 y축의 의미를 계에 작용하는 ‘전체 압력’으로 해석될 여지로 두고 서술했음을 알 수 있다. 이는 이들이 상평형 그림이 그려지는 환경을 Fig. 6에 나타난 것처럼 증기 압력을 정의할 때 가정한 상황과 동일하게 생각한 것으로, 플라스크 내부에 물과 수증기 외에 공기나 다른 성분이 존재하고 있을 경우를 상정해서 서술한 것이다. 하지만 2015 개정 교육과정 화학 II 교과서에 제시된 상평형 그림은 1성분 닫힌계

에서 그려진 그림이므로, 1성분 외에 다른 성분은 배제하고 생각해야 한다. 따라서 y축의 의미를 1성분 닫힌계에 작용하는 압력이라고 정의하면 공기나 다른 성분의 존재를 살펴볼 필요가 없으며, 물질의 상태에 따라 다르게 정의할 필요가 없다.

이 연구에서는 선행연구가 제시하는 상평형 그림의 y축에 대한 혼란은 상평형에 대해 명확하게 정의를 내리지 않고, 증기 압력의 상황을 그대로 가져온 것에서 기인하는 것으로 분석했다. 분석에 사용한 교과서 중에서 5종은 상평형에 대해서 정의하지 않았으며, 유일하게 상평형에 대한 정의를 제시한 HB 교과서에서는 ‘플라스크 안에 물을 넣고 밀폐하면 처음에는 증발하는 물 분자가 응축하는 물 분자보다 많지만, 일정한 시간이 지나면 물의 증발 속도와 수증기의 응축 속도가 같은 동적 평형에 도달한다. 이처럼 두 상태 사이에 평형이 이루어졌을 때를 상평형이라고 한다.’라고 제시하였다. 이렇게 상평형을 설명할 때, 밀폐된 플라스크 속에 물을 넣고, 증발 속도와 응축 속도를 비교하면, 이러한 상황은 Fig. 6과 같이 증기 압력을 정의할 때의 상황과 동일하다. 상평형에 대한 정의를 내리지 않고, 증기 압력의 정의를 내릴 때 사용했던 그림을 그대로 가져오므로써 $l \rightleftharpoons g$ 를 나타내는 기화 곡선과 $s \rightleftharpoons g$ 를 나타내는 승화 곡선은 무리 없이 설명이 되지만, 기체를 생성하지 않는 용해 곡선은 설명되지 않는 것이다. 마찬가지로, 액체나 고체가 상태 변화를 통해 만들어 내는 기체가 나타내는 압력을 y축의 의미로 해석한다면 고체와 액체의 경우 y축을 무엇으로 해석해야 하는지 의문이 생길 수 있다.

따라서 상평형의 개념을 설명할 때 증기 압력의 정의를 설명하기 위한 자료인 Fig. 6과 같은 자료를 제시하면 해석의 오류가 발생할 수 있으므로, Fig. 3에 나타난 것처럼 외부 압력에 의해 자유로이 움직일 수 있는 피스톤을 가정하여야 하며, 피스톤 내부는 공기 없이 오로지 물만 존재하는 것으로 제시해야 한다.

임계점의 표시에 대한 분석

물질의 상(phase)이란 ‘공간상에 어떤 물질들이 모여서 거시적 관점에서 균일한 물리적 성질을 갖는 계’를 일컫는 용어이다.¹⁹ 물리적 성질이란 밀도, 압축률, 비열, 굴절률, 전기전도도 등이 있다. 하지만 분석한 교과서에서는 모두 ‘상(phase)’이 무엇인지 서술하지 않은 채 상평형 그림을 제시하고 있었다. 상에 대한 정의가 없으므로 상평형에 대한 정의를 논의할 수가 없고, HA와 HD 교과서에서는 상평형을 고체, 액체, 기체 사이의 평형이라고 서술하고 있었다.

하지만 물질의 상(phase)과 상태(state of matter)는 다른

개념이다. 상은 ‘계가 균일한 물리적 성질을 가지는가?’에 의한 구분이고¹⁹, 상태는 ‘거시적으로 나타나는 형태’에 의한 구분이다.¹⁸ 예를 들어, 통나무는 흐르는 성질이 없고 단단하기 때문에 고체 상태라고 이야기 할 수 있지만, 통나무의 표면과 내부는 서로 다른 성분으로 되어있으며 그 성질도 다르기 때문에 통나무를 고체상, 혹은 단일상이라고 부를 수는 없다.

순물질의 경우 상과 상태는 구분하기가 어렵다. 상평형 그림의 액체 영역은 균일한 물리적 성질을 가지며, 거시적인 형태도 액체 상태를 나타내기 때문이다. 그래서 1기압 25 °C 조건 하에 존재하는 물의 경우 ‘액체상이 된다.’, 혹은 ‘액체 상태로 존재한다.’라는 말은 모두 옳다고 할 수 있다. 하지만 혼합물일 때에는 상과 상태는 엄격하게 구분된다. 예를 들어, 헥산과 니트로벤젠을 섞는다고 할 때 이들의 상태(state)는 액체 상태라고 할 수 있지만, 이들의 혼합물은 섞는 비율에 따라 다른 성질을 나타내고, 다른 상(phase)을 나타낸다고 할 수 있다. Choi *et al.*²⁰도 물질의 상은 상태와 구별되어야 하며, 따라서 ‘상태 변화’라는 용어를 ‘상 변화’로 서술하는 것이 옳다고 주장하였다.

또한 물질의 상은 고체, 액체, 기체만 존재하는 것이 아니다. 액정, 플라즈마, 초임계 유체 모두 물질이 가질 수 있는 상이다. 하지만 분석에 사용한 모든 2015 개정 교육과정 화학Ⅱ 교과서 중 HD 교과서에서만 읽기 자료로 임계점과 초임계 유체에 대해서 설명하고 있었고, 나머지 교과서에서는 이에 대한 언급이 없었다.

언급의 유무와는 별개로 상평형 그림에서 임계점을 표시한 경우를 살펴보았다. HC, HD, HE 교과서는 Fig. 7에 제시한 것처럼 초임계 유체의 영역을 별도의 방법으로 표시하였다. HB, HF 교과서는 Fig. 8에 제시한 것처럼 임계점 영역이 드러나지 않게 상평형 그림을 편집하였다. HA

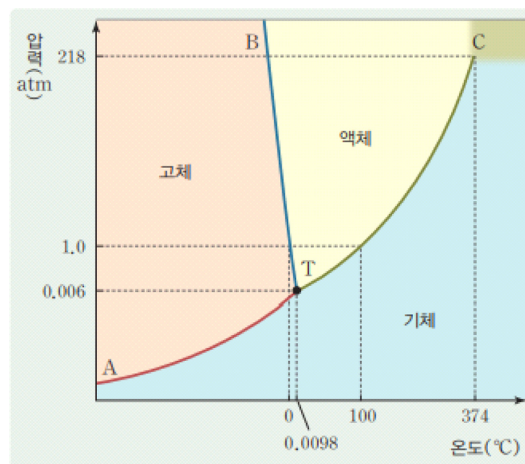


Figure 7. Phase diagram representing the region of supercritical fluid.¹⁴

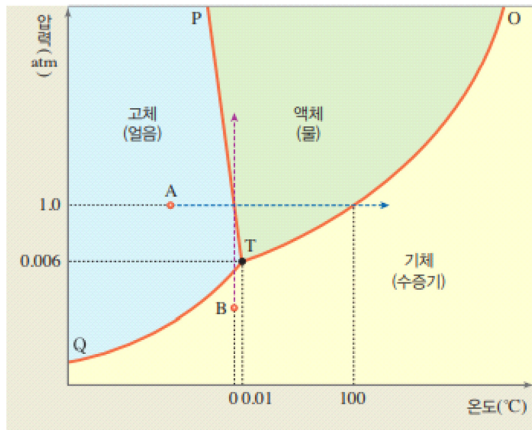


Figure 8. Phase diagram without representation of the supercritical fluid.¹¹

Table 5. Expression of supercritical fluids in High school Chemistry II textbooks

Supercritical fluids	Textbook
Presentation	HC, HD, HE
Missing	HA, HB, HF

교과서는 가상의 기화곡선을 연장하고 액체 영역을 색칠하여 임계점 이후에도 액체와 기체가 구분되는 것처럼 표현했다. 언급한 내용을 Table 5에 요약하여 제시하였다.

초임계 유체에 대한 설명이 누락된 것은 물질의 상에 대한 정확한 개념을 교과서에서 나타내지 않았기 때문으로 보인다. 초임계 유체가 임계점 이상의 온도와 압력에서 거시적으로 나타나는 물질의 상임에도 불구하고, 중학교 수준에서 다루는 물질의 세 가지 상태를 물질의 상과 동일시 여기도록 하면서 상평형 그림을 제시하고 있는 것이 문제라고 판단된다. 따라서 교과서에서 상(phase)와 상태(state)의 개념을 구분하여 제시하는 것이 필요하다.

실생활 예시에 대한 분석

선행 연구에서 제시한 ‘언 빨래가 마르는 현상’에 대해 예시를 다룬 교과서는 없었으며, 분석한 모든 교과서에서 설명하고 있는 실생활 예시는 매우 한정적이었다. HA 교과서에서만 스케이트가 미끄러질 수 있는 이유를 얼음에 압력이 가해지면 표면이 액체로 변한다는 것으로 설명했으며, 나머지 대부분의 교과서에서는 압력 밥솥이나 높은 산에

올라가면 밥이 설익는 이유, 동결 건조 등 한정된 예시만을 설명하였다. 교과서에 나타난 실생활 예시를 Table 6에 표현하였다.

압력밥솥에 관한 HF 교과서의 서술은 다음과 같다. ‘압력밥솥은 내부 압력이 대기압보다 높아서 물이 100 °C보다 높은 온도에서 끓기 때문에 쌀이 잘 익는다.’ 하지만 이러한 설명은 밥솥 내부의 압력이 대기압보다 높아지면 왜 100 °C보다 높은 온도에서 끓는지에 대한 과정은 나타나 있지 않다. 다만 상평형 그림에서 물의 기화 곡선은 압력이 낮아짐에 따라 대응되는 온도가 낮아지는 경향을 나타내기 때문에 학생들은 정성적으로 압력밥솥의 원리를 이해할 수 있다.

하지만 Paik²²에 따르면, 이러한 정성적인 설명은 과학적으로 옳지 않다. 끓는점이란 외부 압력(대기압)과 증기압력이 같아지면서 급격한 기화가 일어나는 지점이다. 그런데 밀폐된 압력밥솥 같은 경우에는 쌀과 물의 혼합물에 작용하는 외부 압력은 물의 증기압력과 원래 밥솥에 존재하던 공기가 나타내는 압력의 합이다. 따라서 계에 작용하는 압력은 물의 증기압력보다는 원래 존재하던 기체의 기압만큼 항상 크고, 가열을 통해 증기압력을 아무리 크게 만든다고 하더라도 물은 끓을 수 없다. 압력밥솥의 경우에는 증기가 빠져나갈 때 계에 작용하는 압력이 순식간에 낮아지면서 밥이 완성되며, 산 위에서 밥이 설익는 현상도 냄비 뚜껑이 들쭉들쭉하는 상황에서 내부 수증기가 외부로 빠져나가기 때문에 용기 내의 압력과 외부 압력이 같아지면서 낮은 온도에서 물이 끓는 것이다.

이렇듯 일상 생활의 사례를 과학적 개념을 이용해서 설명할 때 자세한 과정을 생략하고 학생들에게 교수하는 것은, 학생들이 과학 개념과 예시 사이의 관계를 명료하게 이해하지 못하게 만드는 원인이 된다. 따라서 과학 개념을 실생활에 적용할 때는 학생들의 명료한 이해를 돕고, 오개념 형성을 방지하기 위해 과학적 개념의 적용방식과 원리를 상세히 설명하는 등 세심한 노력이 필요하다.

결론 및 제언

이 연구에서는 2015 개정 교육과정의 화학 II 교과서 6종을 대상으로 상평형 그림이 그려지는 조건, 정의, 임계

Table 6. Application of the phase diagram in High school Chemistry II textbooks

Example	Textbook
Skates slipping	HA
Pressure cooker and phenomenon in which rice does not cook in high mountains	HA, HC, HD, HE, HF
Freeze drying	HC, HD, HE, HF

점의 표시 유무와 실생활 예시 등을 분석하였다. 분석 결과, 상평형 그림은 1성분 닫힌계에서 그려진 것인데 이를 정확하게 명시한 교과서는 없었다. 여러 선행 연구¹⁻⁴에서 필요성을 역설하였지만, 교육과정과 교과서에서는 이를 반영하지 않았음을 확인할 수 있었으며, 이로 인해 상평형 그림의 전제 조건을 무시하고 일상생활 예시에 적용했을 때 오류가 생기는 경우를 교과서에서 확인할 수 있었다.

2015 개정 교육과정 화학Ⅱ에서 상평형 그림과 관련된 성취기준¹⁶은 '[12화학Ⅱ 02-05], 상평형 그림을 이용하여 물질의 상태 변화를 설명할 수 있다.'이며, 상평형 그림을 적용하는 데 주안점을 두고 있는 것이라고 할 수 있다. Lee *et al.*²³은 성취기준을 '이해하다, 적용하다, 분석하다.'의 위계를 갖추어 제시해야 한다고 주장했는데, 상평형 그림은 이전 학년에서 다루는 내용이 아니므로 기본적으로 성취기준에서 상평형 그림에 대한 이해와 관련된 내용이 먼저 제시되어야 할 것이다. 따라서 앞으로의 교육과정에서는 상평형 그림의 올바른 이해를 위해 성취기준에서 상평형 그림을 이해하기 위한 조건을 제시할 필요가 있다. 상평형 그림이 그려지는 조건을 명료하게 제시해야 상평형 그림에 대한 올바른 이해가 가능하고, 이를 바탕으로 과학적으로 적합한 적용과 분석이 가능할 것이다.

상평형 그림의 정의에 대해서는 평형에 초점을 맞춘 관점과 상태에 초점을 맞춘 관점을 확인할 수 있었다. 이번 연구에서는 두 가지 관점의 차이가 영문의 'phase diagram'을 '상평형 그림'이라는 용어로 번역한 것을 문제로 제시하였으며, phase diagram을 상평형 그림으로 번역하는 것보다는 상 도표라는 용어로 번역하는 것이 옳다고 주장하였다. 또한 여러 연구문제에서 제기한 것처럼 상평형 그림에서 y축이 의미하는 바가 다양한 이유를 상평형의 정의를 제시하지 않는 것과 증기압력을 정의할 때의 상황을 그대로 가져오는 데에서 기인하는 것으로 논의하였으며, 상평형 그림에서 y축의 의미를 1성분 닫힌계에 작용하는 압력이라고 정의할 필요가 있음을 주장하였다. 따라서 앞으로의 개정 교육과정에서는 phase diagram을 상평형 그림으로 번역하는 것보다는 상 도표라는 용어로 번역하고, 각 교과서에 실리는 정의도 물질의 상태에 대한 관점으로 일관되게 제시해야 할 것이다.

임계점의 표시에 대한 논의에서는 상(phase)과 상태(state)의 구분에 대한 필요성을 주장하였다. 상과 상태는 다른 개념이지만 이들의 차이를 밝힌 교과서는 없었으며, 이로 인해 중학교 수준에서 다루는 물질의 상태를 고등학교 화학Ⅱ까지 확장하여 물질의 상과 동일시 하는 오류가 발생하고 있음을 주장하였다. 상평형 그림에 대해 학습하는 단원에서 상이 무엇인지 가르치지 않는 것은 큰 문제이며, 각 교과서에서는 물질의 상에 대한 개념을 반드시

기술해야 할 것이다. 이와 같은 노력이 있을 때 그래프를 단순히 적용하는 것이 아니라 그 의미를 올바르게 이해할 수 있을 것이다. 또한 상평형 그림과 관련된 내용 뿐만 아니라, 앞으로의 개정 교육과정에서 과학 개념을 제시할 때는 관련 개념이 적절하게 제시되었는지 확인하여야 할 것이다.

마지막으로, 실생활 예시의 경우 대부분의 교과서에서 동결건조와 압력에 의한 끓는점 변화 등 매우 제한된 예시만을 다루고 있었다. 따라서 앞으로의 개정 교육과정에서는 과학 개념을 실생활에 적용할 때 보다 다양한 예시를 개발할 필요가 있으며, 또한 이러한 예시가 과학 개념에 대한 학생들의 명료한 이해를 돕고 오개념 형성을 방지할 수 있도록 하는 노력이 필요하다.

이 연구에서 상평형 그림과 관련하여 핵심적으로 주장하고자 하는 것은, 용어의 정의가 명확하지 않다면 학생들이 과학적 개념을 형성할 때 문제가 생길 수 있다는 것이다. 특히, 우리나라 교육과정은 학년에 따라 배웠던 내용을 심화시켜 나가는 형태의 교육과정을 따르고 있다. 이에 따라 교과서의 내용은 학년에 따라 심화되고 있지만, 정작 이를 설명할 용어는 낮은 수준에 머무르고 있어 교과서의 서술 방식이나 설명에 문제점이 있는 것으로 확인하였다. 과학적 용어는 실제 세계를 과학적으로 사고할 때 사용되는 가장 기본적인 도구이므로, 교과서에서 용어의 정의와 설명에 대한 세심한 제시가 이루어질 때 학생들의 과학적 사고력을 증진시킬 수 있을 것이다.

이 연구에서는 선행연구에서 제시한 계의 종류를 강조해야 한다는 주장, 상평형 그림에서 y축의 의미, 언 빨래가 마르는 현상을 어떻게 설명해야 하는지와 같은 다양한 논의를 다루고 이러한 선행연구의 주장이 교과서에 포함되고 있지 않음을 확인하였다. 교과서를 개발할 때에는 관련된 다양한 연구를 참고하여 개선 및 발전을 위해 힘써야 하지만, 지금까지 그러한 노력이 제대로 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 따라서 앞으로 이루어질 개정 교육과정에서는 교과서에 제시되는 과학 개념의 조건, 정의 등을 정확하게 제시하기 위해 힘쓰고, 다양한 예시를 개발하여 학생들의 이해를 돕기 위한 노력을 기울일 필요가 있다.

또한, 선행 연구를 검토하면서 상평형 그림과 관련된 연구가 2010년 이후로는 거의 일어나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해 상평형 그림과 관련된 연구 문제 및 가치가 확산되어 더 많은 후속 연구들이 이루어지기를 기대한다.

Acknowledgements. 이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022S1A5C2A04092614/2022R1A2C2005683).

REFERENCES

1. Park, J. Y. *J. Korea. Chem. Soc.* **2007**, 51.
2. Kim, H. H.; Yang, K. C.; Kim, D. W.; Paik, S. H. *J. Korea. Chem. Soc.* **2006**, 50.
3. Peckham, G. D.; McNaught, I. J. *J. Chem. Educ.* **1993**, 70, 560.
4. Yang, G. C.; Paik, S. H. *J. Korea. Chem. Soc.* **2008**, 52.
5. Ko, Y. H. Doctoral Thesis of Korea National University of Education, **2002**.
6. Abraham, M. R.; Grzybowski, E. B.; Renner, J. W.; Marek, E. A. *J. Res. Sci. Teach.* **1992**, 29, 105.
7. Park, S. J.; Joe, H. Y. Learning Theory and Science Education; Kyoyookbook: Seoul. 1994.
8. Choi, K. H. *J. Korea. Assoc. Sci. Edu.* **1997**, 17, 425.
9. Yu, J. A. *J. Sch. Sci. Edu.* **2020**, 14, 55.
10. Choi, M. H.; Seo, I. H.; Han, M. J.; Jeong, D. Y.; Kim, H. K.; Choi, G. S. *Chemistry II*; Mirea-n: Seoul, 2019.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Noh, T. H.; Kang, S. J.; Ju, Y.; Go, S. Y.; Kim, Y. H.; Choi, S. Y.; Yang, C. H. *Chemistry II*; Chunjae: Seoul, 2019.
16. Ministry of Education, *2015 Revised Science Curriculum*, 2015.
17. Kim, S. H.; Lee, E. S.; Paik, S. H. *J. Korea. Assoc. Sci. Edu.* **2008**, 28, 291.
18. Atkins, Peter; Atkins, Peter William; De Paula, Julio. *Atkins' physical chemistry*; Oxford university press: 2014.
19. Oxtoby, D. W.; H. P. Gillis; L. J. Butler. *Principles of Modern Chemistry*; Cengage learning: 2015.
20. Choi, M. H.; Lee, D. H.; Park, J. W. *J. Korea. Chem. Soc.* **2004**, 48.
21. Jeong, D. H. *Chem. Educ.* **2005**, 32, 28.
22. Paik, S. H. *If you Know the History of Chemistry, you can see Chemistry*; Emotionmedia: 2018.
23. Lee, S. M.; Cheon, J. Y.; Hong, H. K. *J. Lea-Cen. Curr. Ins.* **2017**, 17, 261.