

## 대기 중의 증발 현상에 대한 중등학교 화학전공 교사들의 개념 변화 과정에 대한 연구

양기창<sup>†</sup> · 백성혜\*  
한국교원대학교 화학교육과  
<sup>†</sup>수원 대평고등학교  
(2007. 6. 28 접수)

### A Research on the Conception Change Process of Secondary School Chemistry Major Teachers Related to the Evaporation Phenomena in the Air

Gee-Chang Yang<sup>†</sup> and Seoung-Hey Paik\*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chung-Buk 363-791, Korea

<sup>†</sup>Sinwon Daepyeong High School, Sinwon City, 440-841, Korea

(Received June 28, 2007)

**요 약.** 이 연구에서는 대기 중에서 물이 증발하는 현상을 상평형 그림으로 설명하는 중등학교 화학전공 교사들의 선개념을 알아보았다. 이 연구에서 개발한 설문을 실시하기 위하여 25명의 화학전공 과학 교사들을 선정하였으며, 그 중에서 6명에게 설문지의 응답에 대한 생각을 면담으로 알아보았다. 연구 대상자 중 10명의 교사를 선정하여, 이 연구에서 개발한 수업에 의해 선개념이 변화하는지 알아보았다. 연구 결과, 많은 교사들이 물의 증발 현상을 상평형 그림으로 설명할 수 없다고 생각하는 것으로 밝혀졌다. 또한 그들은 증기 압력과 상평형 그림의 세로축과도 관련이 없다고 생각하였다. 그러나 그들은 수업을 통해 지구과학에서 다루는 포화 수증기량 곡선을 적용함으로써 상평형 그림의 증기 압력 곡선을 설명할 수 있다는 점을 깨달았다. 그들은 이미 포화 수증기량 곡선에서 물질의 포화 상태와 불포화 상태, 평형 이동 과정 등에 대한 개념을 적용하는 과정을 알고 있었기 때문이다. 지구과학과 화학을 통합한 과학 수업을 통한 개념 변화에 의해 교사들은 증발과 같은 자연 현상을 상평형 그림으로 이해할 수 있게 되었다.

**주제어:** 개념 변화, 과학 교사, 증발 현상, 상평형 그림, 통합과학 수업

**ABSTRACT.** In this study, preconceptions held by chemistry major secondary school science teachers were searched in relation to explanations of water evaporation phenomena with phase equilibrium diagrams. 25 chemistry major science teachers were selected to complete questionnaires developed in this study and 6 among of them were selected to participate in follow-up interviews. Among these, 10 participants were selected for an evaluation of the change of their preconceptions through lessons developed in this study. From the results, it was found that many teachers believed that the phase equilibrium diagram could not explain water evaporation phenomena. They also thought that there was no relation between vapor pressure and the vertical axis of the phase equilibrium diagram. However, after the lessons in earth science, they recognized that the vapor pressure curve of the phase equilibrium diagram could be explained by adopting a saturated vapor curve. Because they had known the process of application the conceptions of saturated situation, non-saturated situation, process of equilibrium movement in saturated vapor curve. They could understand natural phenomena such as evaporation with the phase equilibrium diagram through a change in their conceptions as guided from science lessons integrating earth science and chemistry.

**Keywords:** Conception Change, Science Teacher, Evaporation Phenomena, Phase Equilibrium Diagram, Integrated Science Lesson

## 서 론

물의 증발은 실생활과 밀접한 자연 현상으로 과학 교육과정에서 초등학교부터 고등학교까지 꾸준히 다루어지는 내용이다. 따라서 이에 관련된 유아, 초, 중등학교 교재 및 학생들과 과학 교사들의 사고 유형에 관련된 연구들<sup>1-10)</sup>이 국내·외에서 활발히 진행되어 왔다. 그 중 백성혜 등<sup>4)</sup>은 중등과학 교과서를 분석한 결과 증발이나 끓음을 설명할 때 사용하는 개념의 차이는 학교 급별보다는 전공영역이 더 큰 변인이고, 교과서가 증발을 설명할 때 사용한 개념들을 충분히 관련지어 제시하지 못하고 있다고 하였다. 또한 과학 교사들을 대상으로 하는 연구들<sup>4,6,8,20)</sup>에서도 다양한 개념이 존재함을 확인할 수 있었다. 학생들은 교과서의 설명이나 교사의 개념에 영향을 받게 되므로<sup>2)</sup> 물의 상태 변화에 관련된 교사들의 사고가 다양하다면, 이러한 개념적 혼란은 수업을 통해 학생들에게 전달될 가능성이 높다.

과학적 개념의 여러 가지 기능 중에서 자연을 이해하는 수단으로서의 기능이 가장 중요하다.<sup>2)</sup> 예를 들어 화학열역학에서 제시하는 상평형 그림에 관련된 개념들은 자연 상태에서 관찰되는 다양한 물질의 상태 변화를 이해하는 관점을 제공해 준다. 그러나 열린계, 혼합물 상태인 대기 중에서 일어나는 증발 현상을 상평형 그림으로 표현된 과학 개념으로 이해하려면 우선 상평형 그림의 전제 조건인 닫힌계, 순물질 상태의 동적 평형의 개념을 실제 관찰되는 자연 현상의 조건과 비교하여 구분하는 것이 필요하다. 그러나 대부분의 과학 교과서에서는 이러한 구분을 명확하게 제시하지 않고 있다. 비록 교과서에서 그 설명이 명확하지 않더라도 교사들이 제대로 파악하고 있으면 이를 학생들에게 정확하게 전달하는 것은 어려운 일이 아닐 것이다. 그러나 선행 연구<sup>4,6,8,20)</sup>들에서 밝힌 바와 같이 과학 교사들조차도 개념에 대해 많은 혼란을 가지고 있다면, 상태 변화와 관련된 개념의 학습에 학생들도 어려움을 겪게 될 것이다.

이 연구에서는 언 빨래가 마르는 현상에 대한 중등학교 화학전공 교사들의 인식을 조사한 선행 연구

<sup>20)</sup>를 토대로 대기 중의 증발 현상을 설명할 때, 화학전공 교사들이 겪는 어려움을 해결하기 위한 방안을 제시하고 이러한 방안의 효과에 대해 분석해 보고자 한다. 이 연구에서 알아보려고 하는 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 화학전공 교사들이 가지고 있는 상평형 그림에서 세로축의 의미와 대기 중에서 물이 증발할 때 나타나는 증기 압력에 공기가 미치는 영향에 대한 인식에서 어떤 선개념들이 존재하는가?

둘째, 증기 압력 곡선과 지구과학에서 다루는 포화 수증기량 곡선을 관련지어 평형의 이동 개념을 제시하면 화학 교사들의 개념이 어떻게 변화하는가?

## 연구방법

**연구 대상.** 선개념을 파악하기 위하여 교육대학원에 재학 중인 화학전공 교사 25명을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문에 응답한 화학전공 교사들은 교육 경력이 5년 미만인 경우가 11명, 6-10년 사이인 교사가 10명, 11-15년 사이의 경력을 가진 교사가 4명이었다. 성별로는 9명이 남자 교사였으며, 16명이 여자 교사였다. 연구 대상 교사들 중에서 상평형 그림을 지도해 본 경험을 가진 교사는 11명이었고, 이를 지도한 경험이 없는 교사는 14명이었다. 물의 증발과 관련된 개념으로 포화 수증기량 곡선에 대한 내용을 지도한 경험을 가진 교사는 12명이었고, 지도한 경험을 가지지 않는 교사는 13명이었다. 교사들이 가지는 선개념을 교정하기 위한 수업 및 사후 면담에는 이 중에서 10명의 교사들이 참여하였다. 수업에 참여한 교사들의 자료는 Table 1과 같다.

**연구 절차.** 상태 변화와 관련된 선행 연구들에서 나타난 사고 유형의 특성과 상평형 그림에 대한 과학적 개념을 토대로 교사들의 인식을 알아보기 위한 설문문의 기초 문항을 개발하였다. 개발한 문항을 화학전공 교사 5인에게 투입하여 문제점을 보완한 후에 화학교육 전문가와 화학전공 교사 3인에게 타당도를 의뢰하고 최종 수정, 보완하여 설문지를 완성하였다. 이 과정에서 응답 유형의 분류에 대한 체계

Table 1. Subjects

	Sex	Period of Teaching (year)			Teaching experience of phase equilibrium diagram		Teaching experience of saturated vapor curve	
		~5	6-10	11-15	Yes	No	Yes	No
Teacher 1	F			○	○		○	
Teacher 2	F		○		○		○	
Teacher 3	F	○				○		○
Teacher 4	M			○		○	○	
Teacher 5	F	○				○	○	
Teacher 6	F	○				○		○
Teacher 7	F		○		○			○
Teacher 8	F		○		○			○
Teacher 9	F			○	○		○	
Teacher 10	F		○			○	○	

Table 2. The represented concepts for changing teachers' preconceptions

Concepts
① Vapor pressure curve supposes the dynamic equilibrium situation.
② State change is the process of moving from nonequilibrium situation to equilibrium situation.
③ Air in the 1 atm hardly affects on vapor pressure of water.
④ Vapor pressure curve and saturated vapor curve are same meaning.
⑤ The law of Le Chatelier could apply to state change situation.

를 확립하고, 설문지의 문장도 응답자들이 이해하기 쉽도록 수정하였다.

설문은 연구대상자가 가지고 있는 개념을 가능한 한 정확히 알아내기 위하여 선다형 문항과 선택 이유를 알아본 서술형의 문항을 짝지어 구성하였다. 설문 내용은 상평형 그림으로 대기 중에서 물의 증발 현상을 설명하는 것, 공기가 증기 압력에 미치는 영향, 상평형 그림의 세로축에 대한 의미, 증기 압력 곡선과 포화 증기압 곡선과의 관계 등에 대한 것이다. 수정된 문항에 대한 신뢰도를 조사하기 위해 화

학전공 교사 5인을 대상으로 검사-재검사 신뢰도를 조사하였으며, 설문 문항의 평균 신뢰도는 0.8이었다.

수정 보완된 최종 설문지는 교육대학원 화학교육 전공 과정에 있는 현직교사 25명에게 투입하여 응답 자료를 확보하고 분석하였다. 응답 결과를 분류 체계에 따라 범주화하고(Table 3), 유형별 특징을 나타내는 6명의 교사와 개별 면담을 실시하여 이들의 사고를 보다 깊이 알아보았다. 면담은 주로 설문 내용의 응답을 토대로 하였으며, 설문의 응답에 대한 이유를 보다 구체적으로 알아보기 위해 실시하였다. 그

Table 3. Teachers' thoughts of possibility that evaporation phenomena can be represented on phase equilibrium diagram

Thoughts	Reason	Number(%)
The phenomena could be represented on the diagram.	Vapor partial pressure is lower than saturated vapor pressure.	4(16)
	The phenomena could be represented on liquid state of the diagram.	2(8)
	Because the phenomena belong to state change.	1(4)
	No response	1(4)
	Total	8(32)
The phenomena could not be represented on the diagram.	Vapor pressure changes by air.	4(16)
	The diagram could represent only one state.	4(16)
	Simple descriptions of the phenomena	2(8)
	No idea or no response	7(28)
	Total	17(68)

러나 설문 내용 이외에도 연구 문제와 관련된 다른 내용들에 대해서도 언급하여 의견을 듣는 등 비교적 자유롭게 대화하는 비구조화된 형식으로 진행하였다. 변답은 교사의 반응을 강요하거나 제한하지 않는 개방적인 형태로 진행하였으며, 변답 내용은 모두 녹음하였고 녹음한 자료는 2일 이내에 전사하여 범주화된 유형별로 내용을 분석하였다.

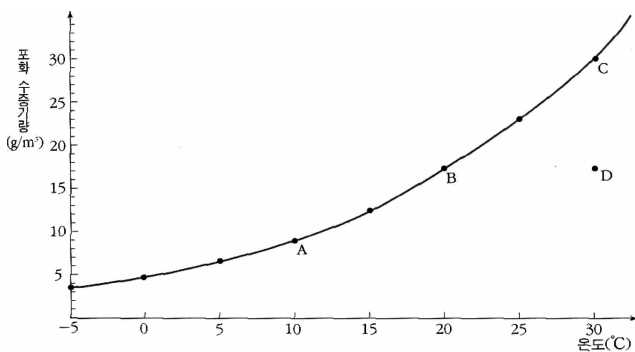
그 후 교사들의 선개념을 바꿀 수 있도록 수업을 실시하였다. 수업은 크게 설명식 전달 중심의 전반부와 토론 중심의 후반부로 나누어 진행되었다. 전반부에는 중학교 3학년 지구과학 영역에서 다루는 포화 수증기량 곡선을 도입하여 상평형 그림에 대한 선개념을 교정하는 데에 초점을 두었다. 이와 관련된 내용을 제시하면 Fig. 1과 같다.

Fig. 1에 제시한 바와 같이 중학교 3학년 과학 교

과서에서는 포화와 불포화의 개념을 포함하여 물의 증발 현상을 다루고 있다. 수업에서는 이 그림을 상평형 그림과 접목할 때 세로축의 포화 수증기량을 상평형 그림의 증기 압력 곡선과 관련지을 수 있다는 점을 제시하였다. 또한 수업에 동적 평형의 개념, 평형과 비평형 상태에 대한 인식, 평형이 이동되는 과정에 대한 내용 등을 포함하였다(Table 2).

수업 후에 교과서의 설명에서 찾아볼 수 있는 시각의 문제점에 대해서도 토론하였다. 이를 바탕으로 후반부에서는 교사들이 스스로 자신의 생각이 바뀌어 나가는 과정에 대해 토론하는 시간을 가졌으며, 여전히 혼란스러운 부분에 대한 논의도 하였다. 수업을 마치고 나서 2차 설문지를 통해 수업 내용 중에 어떤 개념이 상평형을 이해하는데 변화를 주었는지, 수업을 통해 새롭게 혼란을 겪게 된 것은 무엇인지,

② 온도에 따른 포화 수증기량



IV-6. 포화 수증기량과 온도 사이의 관계

온도(°C)	-5	0	5	10	15	20	25	30
포화 수증기량(g/m³)	3.4	4.8	6.8	9.4	12.8	17.3	23.1	30.4

표 IV-1. 온도에 따른 포화 수증기량

- 포화 수증기량은 온도가 높아짐에 따라 어떻게 변하는지?
- A점에 있는 공기는 어떤 상태인가? 이 상태의 공기 속에 물이 들어 있는 컵을 놓아 두면 어떤 일이 생길까?
- B점에 있는 공기의 온도가 높아져 D점의 상태에 이르렀다고 한다. 이 공기 1m³ 속에는 몇 g의 수증기가 포함될 수 있을까? 이 상태의 공기 속에 물이 들어 있는 컵을 놓아 두면 어떤 일이 생길까?

공기의 온도가 높아지면 그 속에 최대한으로 포함될 수 있는 수증기의 양, 즉 포화 수증기량은 많아지지만, 하루 동안 공기 속에 실제로 포함되어 있는 수증기량에는 큰 변화가 없다.

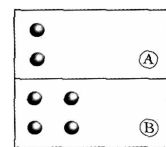


Fig. 1. The explanation of saturated vapor curve in 9th science textbook.

학교 수업에서 빠진 내용으로 보충했으면 하고 생각하는 내용은 무엇인지 등에 대한 교사들의 생각을 알아보았다. 수업 시간의 토론 내용과 2차 설문만으로도 교사의 사고를 충분히 알 수 있다고 판단되어 설문 결과에 대한 2차 면담은 따로 실시하지 않았다.

### 연구 결과 및 논의

물이 증발할 때의 증기 압력과 상평형 그림에 대한 교사들의 선개념, 개념 변화 과정을 알아보기 전에 교사들이 가지고 있는 선개념을 파악하기 위하여 대기 중에서의 물의 증발 현상을 상평형 그림으로 설명할 수 있는지에 대한 생각을 조사하였다(Table 3).

조사 결과, 물의 증발 현상을 '상평형 그림으로 설명할 수 있다'고 응답한 경우는 8명이었다. 대기압, 상온인 경우 물의 증발이 일어나는 현상을 상평형 그림에 나타낼 때 세로축의 압력 조건은 대기압의 부분 압력인 수증기 압력이므로 증기 압력 곡선보다 작고, 따라서 액체에서 기체 상태로의 변화를 상평형 그림으로 설명할 수 있다는 응답을 한 교사는 4명이었다. 물이 증발하는 상황에서 주어진 조건인 대기압과 상온을 상평형 그림의 액체 영역에 표시한 경우가 2명이었으며, '상태 변화이기 때문에' 상평형 그림으로 설명할 수 있을 것이라고 단순하게 생각한 교사가 1명이었다. 이유에 대해 무응답 한 교사도 1명 있었다.

대기 중에서의 물의 증발을 '상평형 그림으로 설명할 수 없다'고 생각하는 교사들은 17명으로 그 비율이 매우 높았다. 물의 증발 현상을 상평형 그림으로 설명할 수 없는 이유로 '공기가 있으면 증기 압력이 변한다'는 응답이 4명, '상평형 그림은 물의 상태만 예측 가능하다'는 응답이 4명이었다. '열린계이므로', '증발은 확산 현상이다'와 같이 상황이나 현상적인 묘사를 하면서 이 상황과 상평형 그림이 무관하다는 의미의 응답을 한 교사도 각각 1명씩 있었으며, '모른다'와 무응답이 7명으로 가장 높은 비율을 차지하였다.

교사 중 한 명은 상평형 그림으로 물의 증발을 설명하는 것이 가능한지에 대한 질문에 '공기가 있으면 증기 압력이 변하기 때문에' 상평형 그림으로 증발 현상을 설명할 수 없다고 응답하면서 자신의 불편한 감정을 다음과 같이 표현하였다.

교사2: 왠지 찜찜한데요. **대기가 존재**하잖아요. 대기의 존재가, 포화 수증기량의 정의를 내릴 때도 정반응 속도와 역반응 속도가 평형이라고 얘기하고 증기 압력도 맞지만, **공기가 있는 상태에서 상평형 그림으로 설명한다는 것이 왠지 찜찜한데요.**

설문의 응답을 분석한 결과, 물의 증발 현상을 '상평형 그림으로 설명할 수 있다'고 응답한 교사 8명 중 7명은 공기가 물의 증기 압력에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각하였다. 그러나 '상평형 그림으로 설명할 수 없다'고 응답한 교사 17명은 모두 '공기가 물의 증기 압력에 큰 영향을 미친다'고 생각하였다.

백성혜 등<sup>4</sup>은 중등 과학 교과서에서 '공기 중의 수증기량', '공기 중의 수증기 분압', '증발하는 수증기 분자수', '액체 속의 기포 압력' 등 4가지 유형으로 증기 압력을 표현하고 있으며, 이러한 다양한 증기 압력의 정의가 상태 변화를 이해하는데 혼란을 유발할 수 있음을 지적하였다. 또한 백성혜와 조미정<sup>6</sup>은 교과서에서 증기 압력을 대기압의 부분 압력으로 표현하면서 증기 압력이 증가하면 전체 외부압이 증가하는 것으로 인식할 가능성이 있음을 지적하였다. 또한 이렇게 대기압과 증기 압력을 관련지을 때 상태 변화의 정의에서 혼란이 야기될 수 있음을 지적하였다.

평형에 미치는 압력 효과에 대한 물리화학 책의 설명<sup>24</sup>에 따르면, 상평형 그림을 해석할 때 공기의 존재는 증기 압력에 영향을 미치지 않는다고 보는 것이 타당하다.

평형 상수는  $\Delta G$ 의 값에 의존하며, 이 값은 한 정해진 압력, 즉 표준 압력에서 정의된다. 따라서  $\Delta G$ 의 값은 평형이 이루어지는 압력에 무관한 상수이며, 그리하여  $K$ 도 실제로 평형을 이루는 압력과는 무관하다. 이 압력 무관성을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{\partial K}{\partial p}\right)_T = 0$$

$K$ 가 압력에 무관하다는 것이 평형 조성이 압력에 무관하다는 것을 뜻하지는 않는다. (중략) 결과적으로 비활성 기체를 가해서 가압하는 것으로는 계의 평형 조성에 아무런 영향도 주지 못한다(기체가 이상적인 한) 계의 압력을 증가시키는 다른 한 방법은 기체를 압축하여 부피를 작게 해 주는 것이다. 이와 같이 하면 부분 압력이 변한다. 비꾸어 말하면 기체가 차지하는 부피가 감소하기 때문에 그 몰농도가 변하는 것이다.

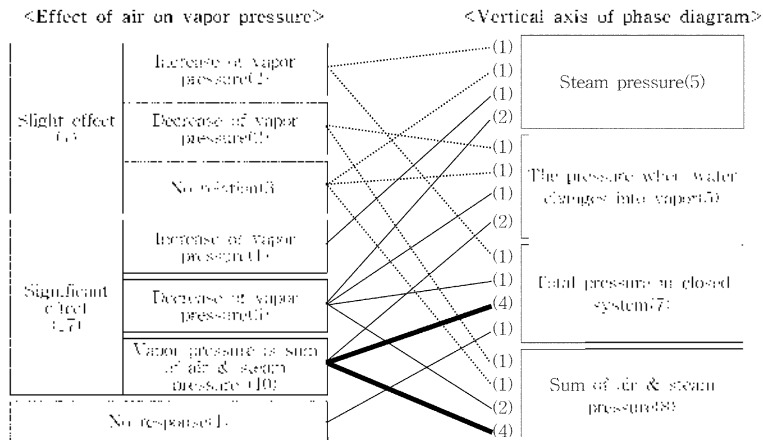


Fig. 2. The relation between teachers' thoughts of the effect of air on vapor pressure and the meaning of vertical axis of phase equilibrium diagram (Number).

공기가 증기 압력에 미치는 영향에 대한 교사들의 사고와 상평형 그림의 세로축에 대한 이해 사이의 관계를 알아본 그림(Fig. 2)에 의하면, 증기 압력은 공기와 수증기 압력의 합이므로 공기의 존재는 증기 압력에 영향을 미친다고 생각하는 교사가 10명으로 가장 많았다. 그리고 이들의 대부분은 상평형 그림에서 세로축이 공기와 수증기 압력을 합한 압력으로 이해하거나, 닫힌계의 전체 압력으로 이해하고 있었다.

물의 증발 현상을 상평형 그림으로 설명하기 위해서는 '물의 증기 압력에서 공기의 영향은 무시할 수 있다'고 생각하여야 하며, 세로축은 공기의 영향은 무시할 수 있으므로 '수증기만의 압력'을 의미한다고 생각하여야 한다. 그러나 이러한 사고를 하는 교사는 2명밖에 없었다. '물의 증기 압력에서 공기의 영향을 무시할 수 있다'고 생각한 교사 7명 중에서 5명은 상평형 그림에서 세로축을 '물이 증기로 변화려는 압력' 등 다른 의미로 이해하거나, '닫힌계에서만 적용되는 상황'이라고 인식하였다. 또한 2명은 비록 '공기의 영향을 무시할 수 있다'고 응답하였음에도 불구하고, 상평형 그림에서 세로축이 '공기와 수증기 압력의 합'으로 이해함으로써 공기가 증기 압력에 영향을 미친다고 생각하는 교사들과 별다른 사고의 차이를 나타내지 못하였다.

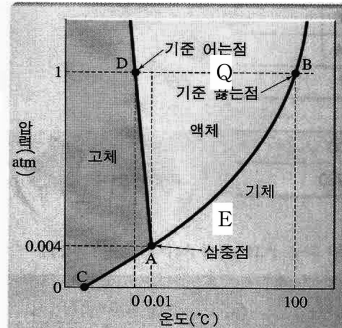
'공기가 증기 압력에 큰 영향을 미친다'고 생각하는 경우에는 열린계와 닫힌계를 구분하여야 하기 때문에 상평형 그림의 조건인 닫힌계와 물이 증발하는 열린계의 상황을 구분하여 사고할 수밖에 없다. 김

현희 등<sup>20)</sup>의 논문에서도 보편적인 일반화학 교재의 내용에 이러한 사고가 표현되어 있다고 제시하였다. '공기가 증기 압력에 영향을 미친다'고 생각한 교사 17명 중에서 3명은 상평형 그림의 세로축은 '수증기 압력'을 의미한다고 생각하였으나 열린계에서 공기 증으로 증발이 일어나는 현상을 상평형 그림과 관련 짓지 못하였다. 또한 5명은 상평형 그림의 세로축이 '닫힌계의 압력'이라고 생각하여 선행 연구에서 제시한 일반화학 교재의 사고 유형과 같은 것으로 나타났다.

비록 잘못되었지만 일관성 있게, '공기가 증기 압력에 영향을 미친다'는 생각을 가지고 상평형 그림에서 세로축이 '공기와 수증기 압력의 합'으로써 증기 압력을 의미한다고 생각하는 교사도 4명 있었다. 이러한 오개념이 생긴 원인을 알아보기 위하여 교사 중 한 명과 면담을 한 결과는 다음과 같다.

면담자: 왜 세로축이 대기압이라고 생각하고 계시죠?  
 교사11: 물질의 상태를 그 압력으로 구했기 때문이죠. 문제를 풀 때 예를 들면 '1기압 25 °C일 때 물은 어떤 상태인가?'라고 하면...  
 면담자: 문제에서는 대기압이라는 표현을 쓰지 않았잖아요?  
 교사11: 그렇죠. 그런데 당연히 1기압을 대기압이라고 놓고, 문제가 풀렸기 때문에...

이 교사가 의미하는 문제는 Fig. 3에 제시한 한 화학 II 교과서<sup>21)</sup>에서도 찾아볼 수 있었다. '물질의 상



교실의 온도와 기압에 해당하는 지점을 Q로 위 그래프(상평형 그림)에 표시해 보자.  
교실에서 붉은 어떤 상태로 존재하는가?

Fig. 3. Chemistry II textbook content of water state change according to phase equilibrium diagram.

테와 용액" 단원 내용 중에 이러한 잘못된 시각이 내포되어 있기 때문에 많은 교사들이 자연 현상에서 관찰되는 상태 변화 현상과 상평형 그림에서 의미하는 개념 관계를 제대로 연결짓지 못한다는 것을 짐작할 수 있다.

Fig. 3에서는 요구하는 답은 '액체 상태'이며, 이것은 교실의 온도와 기압에서 물이 증발하는 상황을 고려하지 않고 한 가지 상태로 존재한다는 것을 강조하는 의미를 가진다. 이러한 교과서 설명의 시각은 높은 비율의 교사들이 기화 현상에 속하는 물의 증발은 상평형 그림으로 나타낼 수 없다고 인식한 것 과도 깊은 편견을 가진다고 할 수 있다. 물이 증발하고 있는 상태는 평형에 도달한 것이 아니므로 엄밀히 말하면 상평형 그림에 표시할 수 없다. 다만 교실의 온도나 기압이 아닌, 물의 온도와 수증기압을 현재의 조건으로 상평형 그림에 표시해 볼 수 있다. 이로써 불포화된 교실에서는 물이 증발하여 수증기압이 증가해야만 평형에 도달할 수 있다는 것을 알 수 있다. 지금까지 상 경계를 이용한 설명 방식은 물이 형성된 처음 조건에서 기체가 형성되는 조건으로 변화시키면 이를 상평 그림 위에 처음 조건을 시작점으로 나중 조건을 끝점으로 하는 화살표를 그리고 끝점이 기체 영역이므로 기체가 된다는 것이었다. 상태 변화는 시작점에 관계없이 최종 조건에 의존한다. 따라서 증발하는 물의 온도와 수증기압을 상평형 그림 위에 점으로 표시하는 것은 화살표의 끝점만을 나타낸 것이며 이 점이 기체 영역에 있으므로 기화하여야 한다고 설명할 수도 있다. 그러나 이러한 설명

방식은 왜 대기압이 아닌 수증기압을 세로축의 압력으로 표시하는지에 대한 근거를 낼 수 없다. 따라서 공기 중에서 상평형 그림을 적용하는 경우 물과 수증기 또는 얼음과 수증기 사이의 상태 변화는 평형에 영향을 미치는 증기 압력을 세로축의 압력으로 보아야 하며, 물과 얼음 사이의 상태 변화는 물과 얼음이 받는 압력인 대기압(외부압)을 세로축의 압력으로 보아 평형 상태의 온도와 압력에 도달할 수 있도록 상태 변화가 일어난다고 설명하여야 한다. 이러한 방법은 단원계 순물질에서 어떻게 단일상이 형성되는 지도 잘 설명해 준다. 즉 수증기가 물로 바뀌는 조건을 유지하면 수증기가 모두 물로 바뀐 후에는 더 이상 상태 변화가 일어나지 않는 단일상의 되며 이 조건에서 물은 안정된 상인 것이다.

선행 연구<sup>20)</sup>에서는 열린계에서의 대기압 상황과 상평형 그림의 전제 조건이 되는 닫힌계에서 순수한 물의 증기 압력만을 고려하는 상황이 다르기 때문에 교사들이 인 빨래가 마르는 현상을 승화로 보거나 상평형 그림으로 나타내는데 어려움을 보였다<sup>21)</sup> 지적하였다. 특히 Fig. 3의 Q점이 나타내는 바와 같이 상평형 그림의 세로축을 대기압으로 본다면 자연 상태에서 일어나는 승화나 증발과 같은 상태 변화를 설명하는데 어려움이 발생하게 될 것이다.

증발과 같은 유형의 상태 변화로 구분하는 끓음의 경우를 Fig. 4의 상평형 그림에서 보편적으로 F점에 표시한다.<sup>22)</sup> 그리고 외부압이 1기압일 때 물은 100°C에서 끓는다는 것을 설명하면서 상평형 그림의 세로축이 외부압인 것처럼 제시하고, 액체와 기체가 공

온도와 압력에 따라 결정되는데, 이러한 관계를 나타낸 그래프를 상평형 그림이라고 한다.

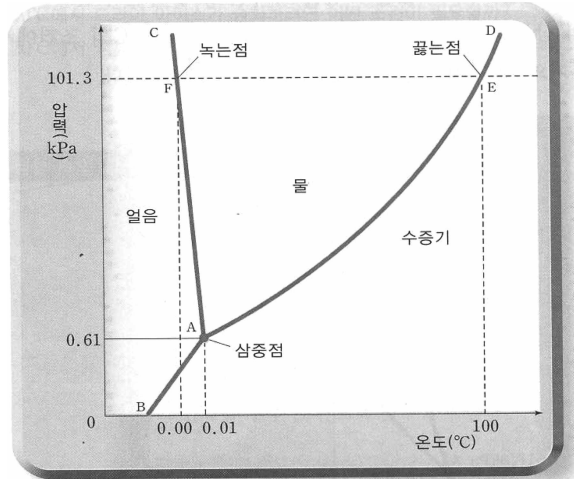


그림 32 물의 상평형 그림(물은 온도와 압력의 변화에 따라 얼음과 수증기로 변한다.)

그림 32에 나타낸 물의 상평형 그림에서 곡선 AD는 온도에 따른 물의 증기 압력의 변화를 나타낸 증기 압력 곡선이다. 이 곡선상의 온도와 압력에서는 물과 수증기가 공존한다.

점 E는 101.325kPa에서 물의 기준 끓는점이 100°C임을 나타내며 이 온도에서 물은 액체와 수증기가 공존한다.

Fig. 4. The explanation of phase equilibrium diagram of water in Chemistry II textbook.

존하는 상태가 끓음의 상태라고 설명하면서 마치 액체와 기체가 동적 평형을 이루고 있다는 의미처럼 제시하는 경향이 있다. 그러나 이는 세로축이 대기압이라는 의미는 아니다. 액체의 증기 압력이 외부 압력과 같아지는 온도를 그 압력에서의 끓는점이라고 한다. 따라서 E점에서 세로축은 외부 압력과 같은 1기압의 증기 압력이 되는 온도를 찾은 것이다. 상평형 그림에서 증기 압력 곡선을 읽는 경우에는 세로축의 압력을 증기 압력으로 해석해야 하는 것이다.

또한 끓음은 상평형에 도달한 상태가 아니며, 평형이 이동하는 과정으로 인식해야 한다. 외부에서 가열해 줌으로써 온도의 변화가 일어나고, 이러한 변화를 줄이는 방향으로 이동하는 것이 바로 액체가 기체로 기화하면서 기화를 흡수하는 과정이기 때문이다. 따라서 끓음의 상태에서는 외부에서 가해준 열이 끊임없이 물의 온도를 높이는 과정이기 때문에 동적 평형 상태에서 액체와 기체가 공존하는 상평형과는 구분되어야 한다.

Fig. 3이나 Fig. 4처럼 끓는점을 상평형 그림의 증기 압력 곡선 위에 표시하는 것은 끓음이 일어나는 상황을 상평형으로 보았다기보다는 그 온도에서 물이 1기압의 증기 압력을 나타내며 이 때 대기 중에서 끓을 수 있다는 표시를 한 것이다. 상평형 그림은 일정한 압력에서 액체의 끓는점을 찾는 간결한 방법을 제공하고 있지만 끓는점을 찾는 과정에서 대기압을 세로축의 압력으로 오인하게 하는 요인이 되고 있다.

#### 포화 수증기량 곡선의 도입으로 인한 교사의 개념 변화 과정

지구과학 영역에서 다루는 포화 수증기량 곡선과 증기 압력 곡선을 관련지어 줌으로써 상평형 그림을 바르게 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 포화 수증기량 곡선은 대기 중에서의 물의 증발을 설명하기 위해 지구과학에서 널리 이용되는 방식이다. 증기 압력 곡선은 포화 수증기량 곡선과 세로축의 단위만 다를 뿐 동일한 것<sup>24,26</sup>으로 이를 이용하여 증발을 설명



Table 4. Types of responses related to meanings of vapor pressure curve and saturated vapor curve

Types of responses		Number(%)
'Same meaning	The unit vapor pressure is different.	15(60.0)
	The two curve related each other.	7(28.0)
Different meaning	There is no relation between the two curve.	1(4.0)
No response		2(8.0)

\*Scientific conception.

할 수 있는 것이다. 동적 평형 상태에서 증기가 나타내는 압력을 그 온도에서 포화 증기 압력 또는 증기 압력이라고 한다<sup>27</sup>. 많은 교사들이 증기 압력 곡선과 포화 수증기량 곡선이 같은 현상을 설명하고 있다고 응답했다(Table 4). 공기 중의 증발 현상과 같이 열린 계의 경우를 불포화되어 있는 조건(Fig. 1의 E점)으로 보고, 닫힌계에서 평형에 도달한 상황을 포화 상태(Fig. 1의 B나 C점)로 보면, 상평형 그림과 물의 증발 현상을 관련지어 설명할 수 있다. 즉, 열린계에서는 물이 계속 공기 중으로 증발하여도 공기 중에 수증기가 포화되지 못한다. 이때 물은 상평형 그림의 증기 압력 곡선보다 아래 부분의 온도와 압력이 유지되는 조건에 놓여 있다고 할 수 있다. 그러나 닫힌계에서는 물이 증발하면서 일정한 증기 압력이 형성되어 평형에 도달하게 된다. 이때 물은 상평형 그림의 액체와 기체가 공존하는 상태인 증기 압력 곡선 위의 조건이 유지되는 상태에 도달하게 된다고 할 수 있다. 포화 수증기량 곡선은 이미 교사들이 알고 있는 지식이므로, 이를 이용하여 상평형 그림으로 상태 변화를 설명할 때 가지는 선개념의 문제점을 파악하고 교정하는 데 도움을 주는 역할을 하도록 한 것이다.

전반부 수업을 마친 후에 혼란스럽게 인식되는 내용에 대해 설문하였을 때, 2명의 교사가 '증기압과 무관한 끓음이나 용해는 어떻게 설명해야 하는지 모르겠다'고 응답하였다. 이외에도 '세로축의 의미', '상평형 그림으로 대기 중의 증발 설명', '대기 중에서 물의 상태', '상평형 그림으로 상태 변화와 상태 표시를 동시에 이해하는데 어려움', '대기 중 상태 변화를 상평형 그림에서 포화 수증기량 곡선처럼 확실 표로 표시할 수 있는지' 등에 대해 혼란스럽다는 응답이 각각 1명씩 있었다.

승화 곡선과 증기 압력 곡선에서의 세로축은 증기 압력으로 해석되나 용해 곡선은 물과 얼음이 받는 압

력으로 외부압으로 해석되어야 하는 이중성이 세로축의 해석을 어렵게 하고 있다. 또한 아직 상태 변화가 일어나는 과정이 평형이 이동되는 과정임을 구분하지 못하거나, 관습적인 교과서의 표현에 위배되는 경우 쉽게 이를 받아들이기 어려워하는 것이다. 이러한 과정은 수업을 통해 교사들이 기존에 가지고 있던 개념과 새로운 개념이 갈등을 일으키는 상황으로 볼 수 있다. 상평형 그림의 세 곡선을 평형 상태로 보고 비평형 상태에서 평형 상태로 이동하는 과정을 상태 변화로 묘사하는 설명 방식은 기존의 상평형 그림을 세 곡선을 상 경계로 해석하고 상태 변화를 그 위에 표시하는 방식과는 다른 설명 방식이다. 다음은 상평형 그림으로 상태 변화와 상태 표시를 동시에 이해하는데 어려움을 겪는 교사와의 수업 중 토론 자료이다.

교사9: 잠깐만요. 그건(평형과 비평형을 이용한 설명) 알겠는데 무슨 온도와 압력에서 고체, 액체, 기체로 존재한다는 것은 중요하잖아요? 그러면 그것은 어떻게 해서 나온 거예요?

연구자: 조건을 잘 따져야 돼요. 만일에 닫힌 용기에 물만 있고 수증기량 평형이다. 그런데 평형일 때 압력보다 더 높은 압력을 가하면 여기는 100% 다 뭐만 남아요?

다른 교사들: 물.

연구자: 물만 남아요. 그게 물을 표시한 영역이예요. 그래서 액체라고 표현하는 거고.....

교사9: 그 부분을 잘 모르겠어요.

(중략)

연구자: 상태 변화는 설명이 돼요?

교사9: 그건 되는데. 상태 표시를 하지 못하니까 상태 변화도 완전히 이해하지 못한 거라는 생각이 드는데요?

이 교사는 상평형 그림을 고체, 액체, 기체의 상태

를 표시하는 개념으로 받아들이다가 상태 변화를 상평형 그림으로 나타내면서 평형 이동의 관점을 도입하는 것에 대해 어려움을 표시하였다. 상평형 그림에서 단일 상을 표현하는 것은 그 상만 존재한다고 가정할 때이지만, 우리가 관찰하는 상황에서는 대부분 두 상이 공존하는 경우이며, 이 때 증발과 같은 상태의 변화는 상평형이 깨어진 상태로 새로운 평형으로의 이동이 일어나는 과정임을 인식시키는 것이 중요하다.

이 교사는 상평형 그림을 이용한 상태 변화에 대한 교과서의 설명 방식과 이 수업에서의 설명 방식이 달라 학생들을 어떠한 관점으로 지도해야 할지 혼란스러워했다. 화학 II 교과서에서는 상평형 그림을 이용하여 온도와 압력에 따른 상의 경계로 상태 변화를 설명하기 때문이다. 이 교사가 수업의 내용을 쉽게 받아들이지 못하는 이유 중 하나는 기존의 교과서 설명에 대한 믿음이 컸기 때문이었다.

이러한 사고의 변화 및 교과서의 문제점에 대해 충분히 토의한 후반부 수업 후 제출한 설문지를 통해, 수업 내용 중 어떤 개념이 상평형을 이해하는데 도움을 주었는지 물어보았다. 그 결과, 10명 중 8명의 교사들은 '평형과 비평형의 차이에 대한 인식'을 꼽았으며, '포화 수증기량 곡선을 도입하여 설명한 방식'이 도움을 주었다고 응답한 교사는 7명이었다. 또한 '증기 압력 곡선에서 세로축의 의미'에 대한 재해석이 도움을 주었다고 응답한 교사도 4명이었다. 교사들은 상평형 그림을 평형 상태와 비평형 상태로 구분하여 인식하고, 포화 수증기량 곡선을 도입하여 증기 압력에 대한 이해를 하면서 상평형 그림의 세로축에 대한 의미도 빠르게 받아들였다.

다음은 어떤 개념이 상평형 그림으로부터 증발 현상을 이해하는데 영향을 미쳤는지 수업 후 제출한 설문지를 통해 알아본 결과이다.

교사6: 포화 수증기량 곡선과 증기 압력 곡선이 같다는 사실이 (상평형 그림을) 이해하는데 도움이 되었다. 포화 수증기량 곡선은 그나마 상평형 그림보다는 더 쉬웠기 때문이다. 전에도 포화 수증기량 곡선은 상황 설명이 되는 것 같았고 일상과 쉽게 연관을 지어 생각했었는데 상평형 곡선은 그냥 동떨어진 이쁜 같다는 생각을 했었다. 예전에 배울 때 적용된 예를 많이 접하지 않아서 인지도 모르

겠다. 그래서 익숙했던 포화 수증기량 곡선과 어렵다고 생각하던 상평형 그림을 같이 생각하니 더 쉬웠던 것 같다.

이 교사는 수업 후반부에 자신의 생각을 정리하여 Fig. 5와 같이 제시하였다. 그 내용에서 공기의 영향이 무시될 수 있음을 인식하였으며, 상평형 곡선의 세로축은 외부 압력이 아닌 증기 압력만을 나타낸다는 점도 인식하면서 개념변화가 일어나서 상태 변화란 평형이 이동되는 과정임을 확실하게 깨달았음을 알 수 있다.

자신의 개념을 변화시킨 후에 학교 수업에서 어떤 점을 고려하여 가르칠 필요가 있는지 물어본 결과, '증기 압력의 개념을 외부압과 구분하여 명확하게 이해하고 전달해야겠다', '끓음은 액체와 기체가 공존하는 동적 평형 상태가 아니라 평형이 이동되는 과정이라는 정의를 분명히 해줘야겠다', '상평형 곡선에서 각 3개의 선은 2가지 상이 평형을 이룰 때라는 사실을 강조해야겠다' 등과 같은 응답이 있었다.

## 결론 및 제언

상평형 그림은 물질의 상태 및 상태 변화를 설명하는데 있어서 매우 유용한 도구이다. 그러나 상태 변화는 닫힌계의 동적 평형 상태와 열린계의 평형 이동 상태, 순수하게 한 물질만 존재한 경우와 공기 등이 포함된 경우 등에서 그 해석을 달리 해야 한다. 물론 주어진 조건이 달라질 때, 상평형 그림을 통해 자연 현상을 제대로 이해하기 위해서는 다양한 형태의 학습 전이가 일어날 필요가 있다. 그러나 현재 많은 중등학교 과학 교과서에서 상평형 그림으로 상태 변화를 설명할 때 이러한 점에 대해 언급하지 않고 있으며, 증기 압력이나 상평형 그림의 세로축의 의미, 동적 평형과 평형 이동의 관점 같은 내용을 포함하지 않는다. 따라서 많은 교사들이 이 내용을 지도할 때 이상적인 상황인 닫힌계, 공기를 포함하지 않고 한 물질만 존재할 때 등의 조건만 고려함으로써 일상생활에서 관찰되는 증발이나 승화와 같은 상태 변화에 이 개념을 적용하는데 어려움을 겪는다. 연구 결과, 많은 화학전공 교사들이 대기 중에서의 증발을 상평형 그림으로 설명하는데 어려움을 겪고 있음을 확인할 수 있었다.

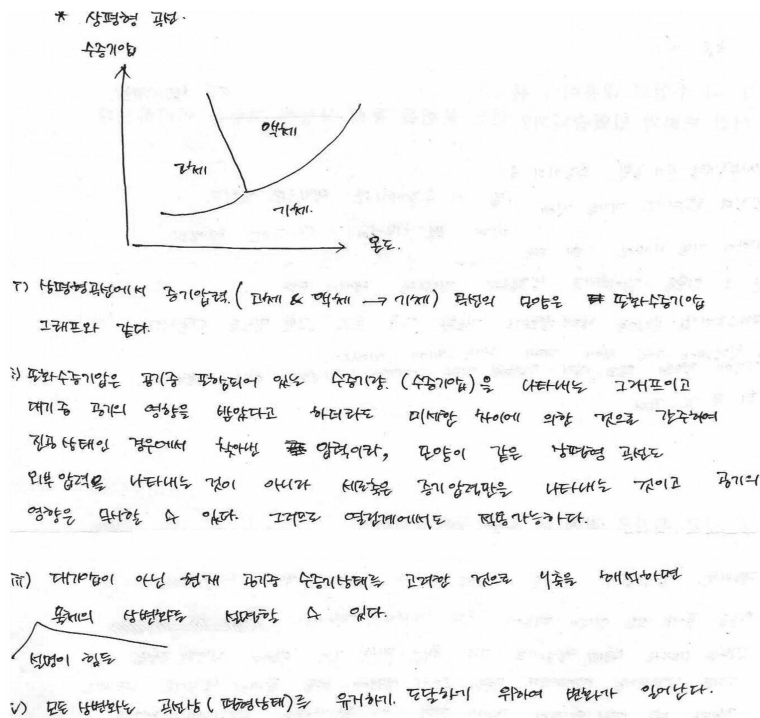


Fig. 5. A teacher's conception change result.

이처럼 과학 개념을 배운 후에 이를 통해 자연 현상을 해석하는 방향으로의 학습 전이가 쉽지 않다면, '과학의 개념을 체계적으로 이해하고, 물질 현상의 탐구와 일상생활의 문제 해결에 이를 적용한다'는 7차 교육과정 화학 교과서의 목표<sup>28</sup>를 달성하기 어렵다고 할 수 있다. 따라서 교과서의 서술 방식과 이러한 내용을 전달해 주는 교사의 사고가 변화될 필요가 있다. 이 연구에서는 수업 전 화학전공 교사들이 상평형 그림으로 증발 현상을 설명할 때 가지는 어려움과 선개념을 조사하고, 수업을 통해 이러한 사고의 교점이 기능함을 확인하였다. 대부분 교사들은 자신이 배우고 있는 대로 학생들을 가르치거나, 교과서의 내용을 그대로 전달하는 방식으로 수업을 진행하기 때문에 교과서의 설명 방식의 변화와 함께 교사의 연수가 이루어진다면 앞으로 상태 변화에 대한 학습의 효과는 매우 커질 것이라고 본다.

예를 들어 대기 중에서의 상태 변화를 설명하기 위해서는 현재 화학 II 교과서의 상평형 그림에 대한 설명 방식을 동적 평형의 개념으로 바꾸고, 여기에 평형 이동의 법칙을 도입하여 상태 변화를 설명하는 것이 필요할 것이다. 수업을 통해 이에 대한 사고의

전환이 교사들의 선개념을 교정하는데 효과적이었음을 확인할 수 있었다. 또한 이미 중학교 과정에서 학습한 '포화'와 '불포화'의 개념을 도입하고 지구과학 영역에서 다루는 포화 수증기량 곡선의 내용에 '동적 평형'의 개념과 '평형 이동'의 개념을 관련지어 설명함으로써 공기 중에서 물이 증발하는 현상을 상평형 그림으로 이해하는데 도움을 줄 수 있음도 확인하였다. 이러한 사고는 궁극적으로 화학에서 다루는 상태 변화와 지구과학에서 다루는 상태 변화를 연결 지음으로써 통합교과적 사고도 유발할 수 있을 것이다. 이미 다른 영역에서 알고 있던 개념을 새 영역에 도입함으로써 더 큰 설명력을 확보할 수 있었던 개념으로 교사들의 사고가 변화할 수 있음을 이 연구를 통해 확인하였기 때문이다.

또한 상평형 그림을 평형과 비평형의 개념으로 설명하는 것은 이후에 학습하게 되는 화학 평형으로의 개념의 확장을 쉽게 할 수도 있다. 이처럼 포화, 불포화 개념에서 상평형으로, 다시 화학 평형으로 개념을 연관성 있게 설명하는 것은 학습자의 확장형 개념 변화를 유도해 가는 과정이라고 말할 수 있다. 이러한 점에서 이 연구에서 제안하는 시도는 구성주의적 교수

학습 측면에서 그 가치를 확인할 수 있다. 또한 화학 평형의 도입은 이전에 학습한 용해 현상, 물질의 상태 변화 등에 관련된 내용을 하나의 근본적인 원리로 관련지음으로써 궁극적으로는 동적 평형 현상에 대한 사고 과정을 획득하여 자연 현상을 암기하지 않고 과학 자적 사고로 이해하는 과정을 겪게 될 수 있다.

이러한 시도에 앞서 고려해야 할 점은 교과서에서 다루는 용어에 대한 시각의 통일이라고 할 수 있다. 이 연구에서 밝힌 바와 같이, 평형 상태인 물의 증기 압력과 비평형 상태에서의 물의 수증기 압력을 구분하는 것은 상평형 그림으로 물의 증발 현상을 이해하는데 매우 중요하다. 상평형 그림에서 동적 평형 상태에서 기체의 압력을 증기 압력으로 정의하고 있으나, 비평형 상태의 기체 압력도 증기 압력이라고 할 수 있으므로 결국 평형 상태와 비평형 상태를 동시에 다루는 경우 이러한 용어와 개념 사이의 혼란이 많은 오개념과 교수 학습의 어려움을 야기하기 때문이다. 따라서 '포화 증기 압력' 또는 '평형 증기 압력'을 평형 상태에서의 증기가 나타내는 압력으로, '증기 압력'은 비평형 상태에서의 증기가 나타내는 압력으로 구분함으로써, 평형과 비평형 상태의 증기 압을 동시에 같은 용어로 표현함으로써 발생하는 문제를 해결해 볼 수 있을 것이다. 이러한 노력이 앞으로 계속될 때 교사들이 학생들에게 과학을 가르치거나 학생들이 배울 때 겪는 어려움의 많은 부분이 해소될 수 있을 것이라고 본다.

이 논문은 한국교원대학교 2007학년도 기성회계 학술연구비 지원을 받아 수행하였음.

### 인용문헌

1. 국동식 *한국과학교육학회지* 1988, 8, 33.
2. 김성수; 백성혜 *대한화학회지* 2002, 46, 252.
3. 박선양 *일상적 상황에서 물의 상태 변화에 대한 학생들의 반응 유형 분석*, 한양대학교 석사학위논문, 2002.
4. 백성혜; 정애경; 고영환 *한국과학교육학회지* 2004, 24, 429.
5. 백성혜; 박재원; 박진옥; 임명혁; 고영미; 조부경; 김효남 *한국과학교육학회지* 2002, 22, 215.
6. 백성혜; 조미정 *한국과학교육학회지* 2005, 25, 773.
7. 전정수 *증발과 끓음에 대한 중학교 학생들의 개념 조사*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2003.
8. 조미정; 백성혜 *대한화학회지* 2004, 48, 527.
9. 신인철 *증발과 응결에 대한 국민학생들의 개념조사*, 한국교원대학교 석사학위논문, 1992.
10. 양영민 *증발과 응결에 대한 국민학교 학생들의 개념조사*, 한국교원대학교 석사학위논문, 1992.
11. 윤재화 *초등학교 학생들의 증발과 응결에 관한 개념 변화 유형 조사 연구*, 서울교육대학교 석사학위논문, 2001.
12. 이윤정 *국민학교 4, 5학년 학생들의 증발과 응결에 대한 선개념 조사 및 수업을 통한 개념 변화*, 이화여자대학교 석사학위논문, 1994.
13. 최병순; 김효남; 강순희; 김영준 *한국과학교육학회지* 1994, 14, 272.
14. Bar, V.; Galili, I. *International Journal of Science Education* 1994, 16, 157.
15. Bar, V.; Travis, A. S. *Journal of Research in Science Teaching* 1991, 28, 363.
16. Chang, J. Y. *Science Education* 1999, 83, 511.
17. Johnson, P. M. *International Journal of Science Education* 1998, 20, 695.
18. Osborne, R. J.; Cosgrove, M. M. *Journal of Research in Science Teaching* 1983, 20, 825.
19. Russel, T.; Watt, D. *Evaporation and condensation: Primary SPACE Project Research Report*, Liverpool University Press, 1990.
20. 김현희; 양기창; 김동욱; 백성혜 *대한화학회지* 2006, 50, 65.
21. 고영환 *화학과 생물 교과서에 제시된 삼투 개념과 고등학교 과학 교사와 학생의 삼투 개념 분석*, 한국교원대학교 박사학위논문, 2002.
22. 조희형; 최경희 *과학교육 총론*, 교육과학사, 2001.
23. 김찬중; 김희백; 박시진; 오치환; 양재철; 장홍식; 정진문; 조현수; 최후남; 한송희; 현종오; 홍경희 *중학교 3학년 과학*, (주)도서출판 디딤돌, 2002.
24. 안은선 역 *물리화학 제6판*, 청문각, 2002.
25. 유규환; 최석남; 오두환; 한은택; 김봉래; 강봉주 *화학II*, (주)중앙교육진흥연구소, 2002.
26. 박찬복; 김승태; 지대성; 이상봉 *포화 수증기압력의 수정 가능성에 대한 고찰*, 대한기계학회지 춘계학술대회 초록집(III), 1989; p 16.
27. 여수동; 여환진; 장영근; 이규욱; 조춘현; 박현영; 양도권; 이충길 *화학II*, 청문각, 2002.
28. 한국교육과정평가원 *고등학교 교육과정 해석(6) 과학*, 교육인적자원부, 2000.