Journal of the Korean Chemical Society
2019, *Vol. 63, No. 2*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2019.63.2.123

반응적 교수법이 예비화학교사들의 증발과 끓음에 관한 수업설계 인식에 미친 영향

조나연[†] · 김은지 · 백성혜*
한국교원대학교 화학교육과
[†]완산고등학교
(접수 2018. 8. 19; 게재확정 2019. 1. 29)

The Effect of Responsive Teaching Method on the Recognition of Pre-service Chemistry Teachers about Instructional Design related to Evaporation and Boiling

Na-Yeon Jo[†], Eunji Kim, and Seoung-Hey Paik*
Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungju 28173, Korea.
[*]E-mail: shpaik@knue.ac.kr
[†]Wansan High School, Jeonju 55071, Korea.
(Received August 19, 2018; Accepted January 29, 2019)

요 약. 이 연구에서는 H대학교 화학교육과 예비교사들을 대상으로 반응적 교수법의 효과를 알아보고자 하였다. 이를 위하여 토론을 학습자 생각의 본질 존중하기, 학습자 생각에서 학문적 연결 관계 인식하기, 학습자 생각의 본질 확장하기의 3단계로 구성하였다. 학습자 생각의 본질 존중하기 단계에서는 예비교사 20명을 대상으로 실시한 설문지를 분석하여 증발과 끓음에 관련된 예비교사들의 생각의 본질을 파악하였다. 이 중에서 5명의 예비교사를 선발하여 자신의 생각과 학문적 연결 관계를 인식하도록 하였다. 이러한 단계를 통해 예비교사들은 증발과 끓음에 대한 자신들의 생각의 본질을 파악하였으며, 이러한 생각의 본질을 학문적으로 연결하여 사고의 프레임을 수정하거나 확장하는 과정을 경험하였다. 또한 예비교사 스스로 자신의 개념이 역동적인 변화하는 과정을 직접 체험함으로써 반응적 교수법의 효과를 인식하였다.

주제어: 반응적 교수법, 예비화학교사교육, 증발, 끓음

ABSTRACT. The purpose of this study was to investigate the effect of responsive teaching method for pre-service teachers in Chemistry Education Department of H University. We designed three steps for the discussions: foregrounding the substance of learners' ideas, recognizing the disciplinary connections within learners' ideas, taking up and pursing the substance of thinking. In the step of foregrounding the substance of learners' ideas, we analyzed the questionnaires conducted by the 20 pre-service teachers to understand the nature of their ideas about evaporation and boiling. Among them, five pre-service teachers were selected to recognize the disciplinary connections within learners' ideas. Through these steps, the pre-service teachers have grasped the nature of their thinking about evaporation and boiling, and have experienced the process of modifying or expanding the frames of thought by the disciplinary connections within learners' ideas. In addition, the pre-service teachers directly perceived the effect of the responsive teaching method by experiencing dynamic changes of their conceptions.

Key words: Responsive teaching, Pre-service chemistry teacher education, Evaporation, Boiling

서 론

2013년에 발표된 미래 세대를 위한 과학 표준(Next Generation Science Standard, 이하 NGSS)에 따르면, 학문 분야의 핵심 개념(core idea), 개념을 바탕으로 과학의 전 영역에서 공통으로 필요한 관통 개념(crosscutting concepts), 과학과 공학의 실천(practice)[1] 등 학습자에게 역량을 기를 수 있는 교육이 중요해지면서 반응적 교수법(Responsive Teaching)이 대두되었다.[2] 그리고 많은 선행연구에서 반응적 교수법의 교육적 효과를 제안하고 있다. Watkins 등[2]은 반응적 교수법을 통해 교수자들이 수업 활동에서 학습자들의 사고에 참여하고 대응할 수 있으며, 학습자들의 생각을 알아차리고 해석할 수 있다고 주장하였다. Ball[3]과 Hammer[4]는 학습자들이 학습 목표에 대해 부정확하고 경쟁적인 다른 개념을 가지게 될 때 "교육적 긴장"이 일어난다고 하였다.

반응적 교수법은 보편적으로 다음의 세 가지 단계로 구

***Table* 1.** Approaches used by instructors for attending to learners' thinking[5]

How learners' thinking is viewed by the instructor	Description	Related instructional goal
Indicator of learning	Instructor sees learners' ideas as illustration understanding on the part of learners	Track learners' learning
Problem to be addressed	Instructor sees learners' ideas as errors or misunderstandings that need to be addressed	Deal with obstacles to learning
Resources to be collected	Instructor sees learners' ideas as a set of actions or events to be observed	Monitor the range of ideas in the classroom
Foundations to build on	Instructor sees learners' ideas as strategies or concepts to develop	Connect and build on learners' ideas
Message to be deciphered	Instructor sees learners' idea as comment or methods that needs to be interpreted	Make sense of learners' thinking
Products of a process	Instructor sees learners' ideas as the outcome of lesson design	Reflect on lesson design

성되어 있다. 첫째, 학습자들의 선개념을 통한 생각의 본질을 드러내는 것이다. 반응적 교수법은 학습자들이 그들의 학문적 경험을 만들어 가는데 의미가 있다. 이때 교수자의 가장 중요한 역할은 학습자들의 생각을 평가하고 교정하는 것이 아니라, 이해하고 표현해 주는 지적 공감이다. 교수자들은 학습자들의 생각을 공유하는 것 뿐 아니라, 학습자들의 관점에서 그들이 말하려고 하는 것을 이해하려고 시도해야 한다. 지적 공감이란 학습자의 인지 과정을 이해하려는 노력이다. 지적 공감을 구하기란 쉽지 않지만 면접, 관찰, 설문지를 통해 획득할 수 있다. 학습자들의 생각을 인식하기 위한 교수자의 접근법은 크게 6가지로 구분된다(*Table* 1).[5] 즉, 학습자의 학습을 추적할 수 있는 측정 도구, 학습을 방해하는 것을 확인할 수 있는 문제 상황 파악, 학습자들의 생각의 범위를 알아내는 자원, 학습자들의 생각을 연결하고 구성해가는 구성체, 학습자의 생각을 의미 있게 만드는 메시지, 수업 전체의 방향을 결정하는 과정의 산출물 등이다. 선행연구에 따르면 교수자들은 주로 이러한 6가지 교수법을 학습자들의 사고에 반응할 때 사용하는 것으로 나타났다.

반응적 교수법의 두 번째 단계는 학습자들의 생각에 담긴 학문적 관계를 인식하는 것이다. 반응적 교수법은 교수자가 학문적 창조자(disciplinary progenitors)의 역할[6]을 수행하거나, 과학의 출발점(seeds of science)[7]을 포함한 학문과 학습자들의 의미 사이의 결합을 시도하기 위하여 귀를 기울인다는 특징이 있다. 학문적 창조자로서 학습자의 활동은 현상에 대한 고민, 개념을 지지하기 위한 근거 찾기, 정확성을 위한 노력, 예측이나 설명을 위한 기계론적 추론, 또는 비공식 실험이나 설명의 제안을 마련하는 것 등을 포함한다. 이때 교수자는 반응적 교수법을 통해 학습자의 생각을 이끌어내고, 이로부터 학문과의 관련성을 생각하게 된다.[3]

반응적 교수법의 세 번째 단계는 학습자의 사고의 본질을 이해하고 확장하는 것이다. 교실 활동은 학습자과 학습자, 학습자과 교수자와의 관계를 형성하고, 어떤 경우에는 학습자들이 자신들의 추론과 학문 사이를 연결하기도 한다. 예를 들어, 교수자는 학습자들이 다른 학습자의 생각을 평가하도록 하거나, 학습자들의 생각과 생각 사이를 연결하도록 하거나, 학습자들이 자신의 생각을 검증하기 위해 실험을 설계하고 실시하도록 장려할 수 있다. 반응적 교수법에서 학습자들의 사고의 틀을 확장하기 위해서는 학습자들의 생각에 주의를 기울여야 하며 특히, 학습자들의 인식론적 사고의 틀에 주의를 기울여야 한다. 그러나 학습자들의 인식론적 사고의 틀은 상황에 따라 달라질 수 있기 때문에, 이를 포착하는 것은 쉽지 않다. 반응적 교수법을 활용할 수 있는 교수자는 학습자의 인식론적 사고의 틀을 안정화시키면서 발달시킬 수 있지만, 그렇지 않은 교수자는 학습자들의 인식론적 사고의 틀을 불안정하게 하거나 파괴시킬 수도 있다.[8] Lineback[9]은 반응적 교수법이 교수자가 수업 중에 학습자들의 개념을 받아들일 때 발생한다고 설명하였다. 지금까지 교수자가 순간적으로 수업 중에 학습자들의 생각을 채택하는 다양한 방법을 분석하는 연구가 거의 없었으며 반응적 교수법이 학습자의 학습을 장려하는 효과적인 전략으로 인정받기 시작하였다고 설명하였다.

반응적 교수법에 관련된 선행 연구들을 살펴보면 다음과 같다. 우선 교수자가 교실의 복잡한 역동성에 주의를 기울이고 학습자에게 반응하면서 상호작용하는 수업의 가치를 제시한 연구들이다.[10–12] 또한, 반응적 교수법이 진행되는 수업의 긴장감을 통해 학습자들의 이해를 이끌어 내고, 교육과정에서 기대하는 목표의 성공적 달성이 가능하다고 여러 선행연구에서 주장하였다.[4,13–18] 그러나 반응적 교수법을 분석할 때에는 신중할 필요가 있으며, 깊은 통찰력과 분별력이 필요하다.[19] 왜냐하면 교실에서 부딪치는 딜레마를 해결하고 의도한 목표를 달성하기 위한 교수자의 노력은 교육적 복잡성을 가지기 때문이다.[3,20–23] 그럼에도 불구하고, 여러 선행연구에서 반응적 교수법의 교육적 효과를 제시하였다.[24–28] 또한 이러한 반응적 교수법을 통해 교수자의 전문성 성장도 이루어짐을 보고하였다.[7,29–33]

우리나라에서도 미국의 NGSS를 기반으로 2015 개정 교육과정이 발표되었으며, 여기서는 기능, 핵심개념을 통한 역량 개발 등이 강조되고 있다. 또한, 학습자참여 수업이 강조되고 있으나, 학습자참여 수업을 담당할 교수자들을 위한 교육이 부족한 실정이다. 따라서 이 연구에서는 예비화학교사들을 대상으로 증발과 끓음에 대한 반응적 교수법을 제공하고, 이를 통해 학습자참여 수업을 실천할 수 있는 역량을 길러주고자 한다. 따라서 연구자와 예비교사들 간의 반응적 상호작용을 구성하는 것에 연구의 초점을 맞추고, 이러한 과정에서 예비교사들의 생각을 존중하면서 학문적 지식과의 갈등과 긴장을 예비교사들이 경험하도록 하였다. 이러한 과정은 반응적 교수법의 본질이므로, 이 논문에서는 최종적으로 예비교사들이 모두 동일한 "옳은" 학문적 지식을 획득하는 것을 목적으로 하지 않는다. 이 연구는 잘 구조화된 교육 상황에서 의도된 목표를 도달하는 것이 아니라, 혼란스럽고 자연스러운 교육 환경에서 학습자들의 사고의 구조가 어떻게 추출되고 발전해 나가는지[34]에 초점을 맞추고자 한다.

연구 방법

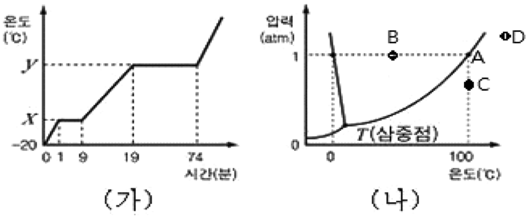
연구 대상

충북 소재 H대학교 화학교육과에 재학 중인 1학년부터 4학년까지 예비화학교사 20명을 대상으로 설문지를 이용해 증발과 끓음에 대한 예비교사 생각의 본질을 파악하고자 하였다. 그 후 예비교사의 생각에서 학문적 연결 관계를 인식하기 위하여 연구에 참여 의지가 없는 15명의 예비교사를 제외하고, 적극적으로 반응적 교수에 참여할 의사를 지닌 4학년 예비교사 ①, ②, ③, ④, ⑤를 대상으로 매주 3시간씩 5주 동안 토론을 진행하였다. 이 연구에서는 교실에서의 생산적인 경험을 갖춘 감각자로서 예비교사들이 반응적 교수법을 깨달을 수 있도록 5명의 예비교사들에게 '학습자 생각의 본질을 존중하기', '학습자의 생각에서 학문적 연결 관계를 인식하기', '학습자 생각의 본질 확장하기'의 단계를 거치는 소집단토론 환경을 제공하였다. 이 토론에 참여하는 예비교사들은 자신의 생각을 표현하기 위하여 자료를 토론 시간에 가져오거나 자신의 생각을 구체적으로 기술하는 시간을 가짐으로써 자신의 생각이 학문적 지식과 실천에 어떻게 연결될 수 있는지 경험하는 과정을 거쳤다.[35]

연구 절차

학습자 생각의 본질을 존중하는 단계에서 예비교사들은 *Fig*. 1의 설문지를 통해 자신의 생각을 구체적으로 서술하였다. 이때 자신이 표현한 생각에 대해 "왜 그렇게 생각하는가?", "자신의 생각을 그림으로 표현해 보세요." 등과 같은 질문을 통해 자신의 생각에 대한 본질을 생각해 볼 수 있는 기회를 가졌다. 학습자의 생각에서 학문적 연결 관계를 인식하는 단계에서는 예비교사들이 가진 증발과 끓음에 대한 개념을 상평형과 상태변화의 개념과 보다 구체적으로 연결하도록 시도하였으며, 사고가 불일치하는 개념에 대해 토론이 이루어질 수 있는 환경을 제공하였다. 이때 교수자의 의사소통방법이 학습자의 학습에 잠재적인 영향을 미칠 수 있기 때문에[36] 이 단계에서는 입증하기(validation)와 다시생각하기(pondering), 면밀히 조사하기(probing)와 같은 유형의 질문을 제공하였다(*Table* 2). 이를 위하여 증발과 끓음에 관련된 실험 상황을 제시하였다. 예를 들면, 둥근 플라스크에 물을 끓이고 뚜껑을 닫아 닫힌계를 만든 후에, 둥근 플라스크에 찬물을 부어 냉각되면서 기압이 낮아져서 물이 끓는 상황을 제시하면서 열린계와 닫힌계에서 온도와 압력 조건의 변화에 따른 상태변화의 개념을 동적 평형과 비평형의 개념과 연계하도록 하였다. 또한 "압력솥 안의

그림 (가)는 1기압에서 -20℃의 얼음 100g을 일정한 열량으로 가열할 때 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 것이고, 그림 (나)는 물의 상평형 그림이다.



[끓음에 대한 질문] 그림 (가)의 끓음을 그림 (나)의 A점에 표현할 수 있다고 생각하나요? 그 이유를 말해 볼까요?

[증발에 대한 질문] 증발은 그림 (나)의 점에 표현할 수 있나요? 그 이유를 말해 볼까요?

***Figure* 1.** The questionnaire of boiling and evaporation.

***Table* 2.** Type of instructors' responses[36]

Type of instructors' response	Example of the instructor's actual words	Potential effect these words have on learners' learning
Validating and pondering	Hmmm... that's interesting idea. Let's think more about that. So are you saying that you can express evaporation on a phase equilibrium graph?	The pre-service teachers think that idea of the relationship between evaporation and phase-equilibrium graphs could be helpful and may lead the class to a scientific discovery. The rest of the class begins to think about the idea since they have validated it. Pre-service teachers may come up with questions or counterarguments on their own. As the discussion progresses, pre-service teachers discuss together to solve the problem.
Probing	Can you tell us why you think that it is impossible to express evaporation on a phase equilibrium graph? Can you express your thoughts in more detail with Venn diagrams?	The pre-service teachers must defend this thinking. Since this is often difficult to do, other pre-service teachers may join in and help him articulate it. Additionally, there may be some pre-service teachers who disagree and want to propose a different argument. The pre-service teachers are engaged in the process of coming to consensus and defending their thinking.

물은 끓을 수 있을까?", "웅덩이 속의 물은 증발하여 어디로 갔을까?" 등과 같은 발산적 질문을 통해 예비교사들의 사고가 확장되도록 하였다.

학습자 생각의 본질을 확장하는 단계에서는 예비교사로서 반응적 교수법을 통해 얻은 교육적 효과에 대해 스스로 분석하고, 교수자의 역할에 대해 인식하는 과정을 경험하도록 하였다.

자료 수집 및 분석

중학교 과학 교과서와 고등학교 화학 II 교과서에서 끓음과 증발에 대해 서술한 내용을 분석하여 설문지를 개발하였다(*Fig.* 1). 개발 과정에서 연구자 3인은 반복적인 협의를 거쳐 교과서에 서술되어 있는 내용을 중심으로 설문지의 문항을 구성하였으며, 이 설문지의 문항이 예비교사의 끓음과 증발에 대한 사고의 본질을 알아보는 것인지를 확인하기 위하여 화학교육 전문가 1인과 박사과정 및 석사과정에 재학 중인 현장 화학교사 2인에게 안면타당도를 검증받았다.

설문 내용 중에 증발이나 끓음을 그래프에 표현할 수 있는지 물어보는 문항은 입증하기에 해당하고, 그 이유를 말해보라는 문항은 다시 생각하기에 해당한다. 분석을 통해 사고의 유형을 분류하여 끓음과 관련된 사고 유형은 A, B로 구분하고, 증발과 관련된 사고 유형은 C, D로 구분하였다. 상평형 그림에 끓음을 표현할 수 있다(A), 표현할 수 없다(B)로 나누고, 상평형 그림에 증발을 표현할 수 있다(C), 표현할 수 없다(D)로 분류하였다. 또한 온도와 압력을 제시한 경우(1), 평형을 제시한 경우(2)로 구분하였다. 이렇게 응답자의 사고 유형을 분석하는 틀을 개발하는 과정에서 연구자 3인은 수시로 협의 과정을 거쳐서 연구자 전원이 합의에 이를 때까지 논의를 계속함으로써 정합성과 중립성을 확보하고자 하였다. 또한 연구 대상자들이 자신의 생각을 그림으로 표현해 보는 과정에서 드러난 사고의 해석에 대해 연구자 3인이 독립적으로 분석한 후, 일치하지 않는 내용은 반복적인 협의를 거쳐서 합의에 도출하였다. 그 후 분석 결과에 대해 화학교육 전문가 1인과 박사과정 및 석사과정에 재학 중인 현장 화학교사 2인의 교차 검토 과정을 거쳤다.

연구 결과 및 논의

학습자 생각의 본질 존중하기 단계

이 단계에서 분석한 끓음과 증발에 대한 예비교사들의

***Table* 3.** Responses of the pre-service teachers related to boiling and evaporation

Can the boiling be expressed at point A on the phase equilibrium graph?		Pre-service teachers
A. Can	A-1. The conditions of temperature and pressure are the same.	8, 9, 12, 17
	A-2. The equilibrium is due to the coexistence of liquid and gas.	②, ④, ⑤, 11, 15
B. Can not	B-1. The condition of temperature or pressure are different.	①, 6, 7, 10, 14, 16, 18, 20
	B-2. (가) is non-equilibrium, and (나) is equilibrium.	③, 13, 19
Can the evaporation be expressed in phase equilibrium graph at 20 °C and 1 atmosphere?		**Pre-service teachers**
C. Can	C-1. The conditions of same temperature and pressure can indicate.	8, 12, 15, 17
	C-2. It can be indicate the curve where liquid and gas coexist.	④
D. Can not	D-1. The condition of temperature or pressure are different.	9, 10, 11, 13, 16, 18, 19, 20
	D-2. Evaporation is not the condition of dynamic equilibrium.	①, ②, ③, ⑤, 6, 7, 14

응답은 *Table* 3과 같다.

학습자 생각의 본질을 존중하는 단계에서는 설문지에 응답한 자료를 분석하여, 끓음과 증발에 대해 상평형 그래프에 표현할 수 있다고 생각하는 예비교사의 사고와 표현할 수 없다고 생각하는 사고를 일차적으로 구분하였다. 그리고 표현할 수 있다는 생각의 본질은 '동일한 온도와 압력 조건이다(A-1, C-1)', '액체와 기체의 두 상이 공존할 수 있다(A-2, C-2)'의 두 가지 유형이 존재한다는 것을 파악하였다. 한편, 상평형 그래프에 표현할 수 없다고 생각하는 예비교사 사고의 본질은 '온도와 압력 조건이 다르다(B-1, D-1)'와 '평형의 조건이 다르다(B-2, D-2)' 등 두 가지 유형으로 나타났다. '온도와 압력 조건이 다르다'라는 사고는 상평형 그래프에 표현할 수 있다고 생각한 유형의 A-1, C-1과 관련된 것이며, 이와 반대되는 생각이라고 볼 수 있다. 또한, '평형의 조건이 다르다'는 사고는 두 상의 공존과 관련된 사고라고 분석할 수 있다. 이러한 분석을 통해 끓음과 증발 현상에 대해 모든 예비교사들이 '온도와 압력의 조건'이나 '평형 조건' 안에서 사고함을 알 수 있다.

①, ③, 6, 7, 10, 13, 14, 16, 18, 19, 20 등 가장 많은 예비교사들(11명, 55%)은 증발과 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 없다고 표현하였다. 그 이유로 공통적으로 '온도와 압력 조건'의 차이 때문이라고 생각하는 경우는 16, 18, 20 등 3명(15%)이었으며, 공통적으로 '평형 조건' 때문으로 생각하는 경우는 예비교사 ③으로 코딩된 1명(5%)이었다. 또한 끓음은 '온도와 압력 조건' 차이로, 증발은 '평형 조건' 때문으로 생각하는 예비교사들은 ①, 6, 7, 14 등 4명(20%), 반대로 끓음은 '평형 조건 때문'으로, 증발은 '온도와 압력 조건' 차이로 생각하는 예비교사들은 10, 13, 19 등 3명(15%)이었다.

한편 ④, 8, 12, 15, 17 등 5명(25%)의 예비교사들은 증발과 끓음을 상평형 그래프에 표현할 수 있다고 생각하였으며, 그 이유를 공통적으로 '온도와 압력 조건' 때문으로 생각하는 경우는 8, 12, 17 등 3명(15%)이었다. 또한 공통적으로 '액체와 기체의 공존' 때문으로 생각하는 경우는 예비교사 ④로 코딩된 1명(5%)이었다. 예비교사 15는 끓음은 액체와 기체의 공존 때문으로, 증발은 '동일 온도 압력 조건' 때문으로 생각하였다.

끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 있지만 증발은 표현할 수 없다고 생각하는 예비교사들은 ②, ⑤, 9, 11 등 4명이었다. 이 중에서 예비교사 ②와 ⑤는 끓음을 그래프에 표현할 수 있는 이유로 액체와 기체가 공존하기 때문이라고 답하였고, 증발을 그래프에 표현할 수 없는 이유는 평형 조건이 아니기 때문이라고 답하였다. 한편, 예비교사 9는 끓음을 그래프에 표현할 수 있는 이유가 온도와 압력 조건이 같기 때문이라고 생각하였고, 증발을 그래프에 표현할 수 없는 이유가 온도 압력 조건이 다르기 때문이라고 생각하였다. 그러나 예비교사 11은 끓음을 그래프에 표현할 수 있는 이유가 액체와 기체가 공존하기 때문이라고 생각하였고, 증발을 그래프에 표현할 수 없는 이유가 온도 압력 조건이 다르기 때문이라고 생각하였다.

마지막으로 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 없지만, 증발은 표현할 수 있다고 생각하는 예비교사는 한 명도 없었다. 이를 통해 예비교사들은 상평형과 끓음을 더 긴밀한 학문적 연결 고리로 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 학문적 연결 과정에서 매우 다양하고 복잡한 사고의 본질이 내재되어 있음을 확인할 수 있었다. 면밀히 조사하기 단계에서 학습자들의 초기 생각의 본질을 보다 명확하게 이해하기 위하여 자신의 생각을 벤 다이어그램으로 표현하도록 요구하였을 때, 실험에 참여한 5명의 예비교사들은 *Fig.* 2와같이 자신의 생각의 본질을 드러내었다.

모든 예비교사들은 상태변화를 더 큰 개념으로 인식하고 그 안에 상평형이라는 개념이 포함되어 있다고 생각하였다. 그러나 증발과 끓음 현상을 이해하는 방식인 매우 다양하였다. 예비교사 ④는 증발과 끓음을 상평형 그래프에 표현할 수 있다고 생각하였으며, 그 이유를 동일하게 '액체와 기체의 공존' 때문으로 생각하였다. 이러한 생각은 상평형 그래프 안에 증발과 끓음 현상을 모두 제시한 그림과 일치한다. 예비교사 ①은 증발과 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 없다고 생각하였으며, 끓음은 '온도와 압력 조건' 차이로, 증발은 '평형 조건' 때문으로 생각하였다. 이러한 생

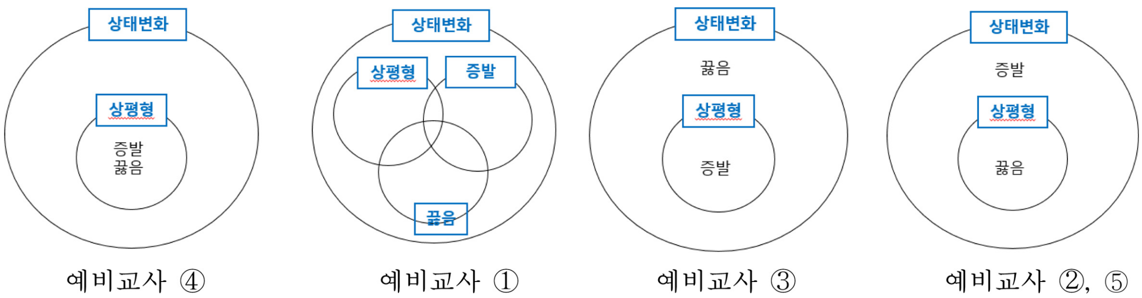


***Figure* 2.** Pre-service teachers' pre-perceptions related to boiling and evaporation.

각을 반영하여 증발과 끓음 현상이 상태변화 안에는 포함되지만 상평형 안에는 부분적으로만 포함되는 관계를 제시하였다. 예비교사 ③도 역시 예비교사 ①과 마찬가지로 증발과 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 없다고 생각하였으며, 그 이유가 물이 끓을 때는 비평형이지만, 상평형 그래프에서 증기압 곡선은 평형이라고 생각하였다. 이러한 사고가 부분적으로 반영된 그림으로 증발은 상평형 안에, 그리고 끓음은 상평형 바깥에 존재하는 것으로 표현하였다. 예비교사 ②와 ⑤는 예비교사 ③과 정반대의 사고를 가지고 있었다. 이들은 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 있지만 증발은 표현할 수 없다고 생각하였으며, 끓음은 그래프에 표현할 수 있는 이유가 액체와 기체가 공존하기 때문이라고 생각하였고, 증발을 그래프에 표현할 수 없는 이유는 평형 조건이 아니기 때문이라고 생각하였다. 따라서 끓음을 상평형 개념 안에 제시하고, 증발은 상평형 개념 바깥에 제시하였다.

이렇게 분석된 예비교사들의 선개념을 바탕으로 증발과 끓음에 관련된 다양한 현상을 학문적으로 연결하여 해석하는 과정에서 연구자는 학습자들의 의견을 존중하며 관련 학문과 연결된 다음 단계의 토론을 계획할 수 있었다.

학습자의 생각에서 학문적 연결 관계 인식하기 단계

기존의 소집단 토론과는 다르게 교수자가 소집단 토론에 적극적으로 참여하여 예비교사들의 생각을 조명하고, 이들이 자신의 생각을 '입증하기(Validation)'와 '다시 생각하기(Pondering)', '면밀히 조사하기(Probing)' 등의 경험을 할 수 있도록 하여 자신의 생각을 학문과 연결시킬 수 있는 기회를 제공하였다. 이러한 과정을 통해 얻은 자료를 분석하여 예비교사들의 생각과 학문적 관계 인식의 과정에서 몇 가지 특징을 찾았다. 다음은 초기 생각에서 가장 학문적 연결 관계가 가까운 예비교사 ①과 예비교사 ③의 토론 과정을 제시한 것이다. 학문적 근접성 때문에 예비교사 ①은 예비교사 ③과 토론하면서 자신의 사고를 변화시키는 과정을 경험하였다.

연구자: (실험을 제시하면서) 플라스크에 물을 끓여놓고 뚜껑 닫고, 계속해서 끓이면 물이 끓을까요?
예비교사 ③: 닫힌계라면 물이 끓지 않을 거라고 생각해요.
예비교사 ①: 계와 관계없이 끓음은 외부압과 증기압만 같아지면 일어난다고 생각해요, 외부 압력과 증기압이 같기 때문에 끓음은 평형 상태에요.
예비교사 ③: 닫힌계라면 끓으면서 액체가 기체로 상태변화(증발)하면서 수증기가 압력이 높아지게 하고, 그럼 계속 압력이 높아져서 끓는점이 높아지기 때문에 끓지 않을까라고 생각해요. 실험은 완벽한 닫힌계 상태는 아닐 것이라고 생각해요.
예비교사 ①: 그럼 평형이 아닌데...
연구자: 그러면 비평형인가요?
예비교사 ①: 끓음이 닫힌계에서 안 일어날 것 같아요. 계속 가열해주는 상황에서 끓음이라는 건 열린계에서 하는 실험이고, 상평형에 걸치고 있던 끓음이 상평형 밖으로 빼야할 것 같아요.

토론을 통해 예비교사 ①은 예비교사 ③의 닫힌계에서의 끓음이 발생하지 않을 것이라는 근거에 동의하게 되었다. 즉, 예비교사 ①은 토론 과정을 통해 사고의 변화가 일어나면서 상평형이라는 과학 개념과 끓음이라는 현상을 분리하여 인식하게 되었다.

증발과 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 없다고 생각한 예비교사 ①, ③과는 달리, 예비교사 ②, ⑤는 끓음은 상평형 그래프에 표현할 수 있지만 증발은 표현할 수 없다고 생각하였다. 따라서 둘 다 상평형 그래프로 표현할 수 있다고 생각한 예비교사 ④보다는 더 가까운 학문적 연결 관계를 가지고 있다고 할 수 있다.

다음은 예비교사 ⑤가 토론하면서 사고를 변화시키는 과정을 포착한 면담 내용을 제시한 것이다. 이때 이미 예비교사 ③을 통해 닫힌계에서는 끓음이 발생하지 않을 것이라고 동의한 예비교사 ①은 비평형일 때에만 끓음 현상이 관찰되며, 닫힌계이기 때문에 평형에 도달하면 끓음이 관찰되지 않는다는 자신의 생각을 확고하게 가지고 있었다. 또한 예비교사 ①과 예비교사 ③의 사고가 예비교사 ⑤의 사고에 큰 영향을 주었으며, 특히 계의 조건을 생각하는 과정에서 사고의 변화가 일어났음을 파악할 수 있었다.

예비교사 ⑤: 처음에 100도씨에서 딱 그 정상끓는점이라고 했을 때는 저는 그 때의 상황은 상평형이 맞는다고 생각을 했거든요. 그런데 저희가 보통 생각하는 끓음은 예비교사 ①이 말했던 것처럼 물을 계속 끓이기 시작하면 액체가 안 되고 없어지잖아요. 상평형이라는 것은 가역적이어야 하는데 그것만 봤을 때 끓음이 (상평형이) 아니라고 생각이 들거든요? 그런데 상평형곡선에 나타내는 식으로 풀었을 때 정상 끓는점이라고 정의를 한 것은 그 지점에 대해서는 얘기를 할 수 있을 거라고 생각을 했어요. 만약에 계속 가열을 해주어 액체를 계속 바깥으로 내보낸다면 끓음은 더 이상 상평형곡선에 나타내는 게 의미가 없지만, 끓음이라는 것을 더 정확하게 이야기를 해야 혼동이 되지 않을 것 같아요.
예비교사 ⑤: 조금 바꿔도 돼요? 일단 끓는다는 것의 정의를 만약에 계속 가열해준다는 상황으로 본다면 상평

형이 아닐 것 같아요.
연구자: 어떤 생각이 당신의 생각을 바꾸게 했나요?
예비교사 ⑤: 가열을 해줬을 때 액체가 기체로 계속 빠져나가고 있는 상황이잖아요. 그건 더 이상 가역적인 게 아니니까 상평형에 들어가지 않을 것 같아요. 증발은 매 온도에서 항상 일어날 수 있는 것이고, 끓는다는 것은 '100℃에서 끓는다.'라고 했을 때 그 순간에서만 일어나는 것이니까 끓는 것보다는 증발이 더 큰데, 상평형에는 끓는 게 안 들어가고, 상태 변화에만 들어가요.
연구자: 그러면 예비교사 ③과 생각이 같아져 버린 거네요?
예비교사 ⑤: 네. 계속 가열을 해준다는 상황을 생각하다보니…….
연구자: 그러면 생각을 변하게 한 것은 특별히 누구의 멘트가 도움이 됐나요?
예비교사 ⑤: 네. 예비교사 ①이 열린계, 닫힌계 얘기를 한 게 생각 변화하는 데 도움을 줬어요.

그러나 토론 과정에서 예비교사 ⑤는 전적으로 예비교사 ①의 생각에 동조하지 않았으며, 오히려 예비교사 ③과 같아졌다. 이는 *Fig.* 2에서 예비교사 ③의 벤 다이어그램과 예비교사 ⑤의 벤 다이어그램 안에 증발과 끓음의 위치가 정반대로 제시된 것과도 관련이 있다. 즉 토론을 통해 예비교사 ⑤는 예비교사 ①보다는 예비교사 ③의 벤 다이어그램으로 변화가 더 쉽게 일어난 것이다.

한편, 초기 사고의 본질이 예비교사 ⑤와 같았던 예비교사 ②의 경우에는 토론을 통해 예비교사 ⑤와는 다른 사고로 발전하였다. 이러한 사고의 변화는 예비교사 ⑤와 마찬가지로 예비교사 ①과의 토의 과정에서 이루어졌다.

예비교사 ②: 닫힌계에서 끓음도 격렬하게 밖으로 나가는 게 부딪혀서 격렬하게 안으로 파고든다고 볼 수 있지 않을까?
예비교사 ①: 나는 닫힌계에서 끓고 있다는 것 자체가 이미 평형이 아니고 끓음이 끝나고 아무 변화가 보이지 않을 때가 평형에 도달한거고 끓는 도중은 일단 평형이 아니고 평형까지 가기 위해서 지금 기체를 충분히 만들고 있다고 생각하거든.
연구자: 냉각시켜버렸으니까 상황을 옮겨놓은 것이 아닐까요? 마치 평형상태에 있는 드라이아이스를 밖에 내놓으면 아직은 드라이아이스지만 기포가 나오고 있는 것처럼 말이에요.
예비교사 ②: 그런데 기포가 많이 오르는 만큼 물방울이 맺히잖아요. 그 물방울들끼리 모이면 액체니까 서로 같은 공존 상태가 아닐까 싶어요.
연구자: 드라이아이스를 1기압, 20℃ 조건에서 승화하잖아요. 그럼 드라이아이스가 승화하면서 주변의 온도를 떨어뜨리고 수증기가 물방울이 생겨요. 이 현상은 평형인가요?
예비교사 ①: 이 현상도 평형이 아니에요. 주변의 온도가 낮아지면서 이산화탄소라는 기체가 발생하고 그러면서 새로운 평형에 도달하기 위해서 평형에 도달할 때까지 이산화탄소가 발생해요. 열린계에서는 그런데 평형에 도달하기가 어려우니까 끝까지 승화하겠죠.
예비교사 ②: 드라이아이스가 승화할 때, 열린계라면 드라이아이스가 없어질 때까지 상태 변화한다는 말은 이해가 돼요. 하지만 닫힌계라면 기체인 수증기가 액체로 상태변화하고, 고체인 드라이아이스가 기체인 이산화탄소로 변하잖아요. 기체의 양은 감소하지만 결국 보충되고, 고체와 기체는 평형을 이룬다고 생각해요. 그래서 상 전체에서 상태변화가 일어나게 되면 상평형이 된다고 생각해요. 상태변화가 일어나는 영역이 중요해요.

예비교사 ②는 예비교사 ⑤보다는 훨씬 더 예비교사 ①의 사고에 동조하였으며, 다만 끓음과 두 상의 평형이라는 관점에서 공통점이 있다고 사고함으로써 끓음을 상평형에서 완전히 배제한 예비교사 ①과 다소 의견을 차이를 가지게 되었다.

한편 예비교사 ④는 초기에 증발과 끓음을 모두 상평형 그래프에 표현할 수 있다고 생각하여 5명의 예비교사들 중에서 가장 차이가 나는 사고를 가지고 있었다. 그러나 소집단 토론 과정을 통해 닫힌계와 열린계에 대한 학문적 연계과정에서 예비교사 ③의 사고에 동조하면서 끓음을 상평형 개념에서 분리하는 사고로 변화하였다.

연구자: 상평형그림에 왜 끓음을 표현할 수 있다고 생각하나요?
예비교사 ④: 상평형 자체가 증기압력이라는 용어를 쓰잖아요. 그건 밀폐된 용기 안에서의 압력이라고 딱 정의를 해주거든요. 그러면 닫힌계를 말하는 거고, 저는 닫힌계라는 전제하에 끓음이라는 용어 자체가 끓는점에 도달한 그 상태가 끓음이라고 생각을 했어요. 상평형이라는 개념을 쓴다는 것 자체가 닫힌계에요.
연구자: 다른 예비교사들의 생각을 듣고 나니 끓음에 대한 지금 생각이 어떤가요?
예비교사 ④: 끓음을 저는 끓는점에 딱 도달했을 때 순간이라고 생각해서 (상평형) 썼는데, 만약에 열린계, 닫힌계까지 나오고 끓음이 아까 말했듯이 계속 가열해

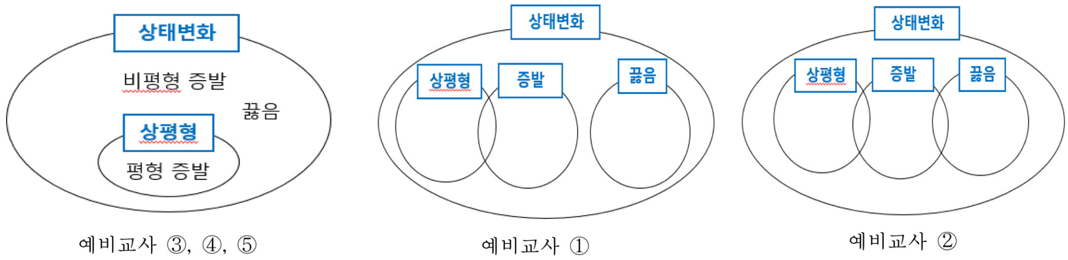


***Figure* 3.** Pre-service teachers' post-perceptions related to boiling and evaporation.

쳐서 날아가는 상황이면 상평형으로 못 쓸 것 같아요. 너무 고려해야하는 게 많아지는 것 같아요. 끓음이라는 용어를 수증기가 공기 중으로 나가는 현상으로 본다면 이는 닫힌계에서는 관찰할 수 없는 현상이에요. 그러니까 상평형은 동적평형. 즉, 닫힌계에서 논의할 수 있는 개념이므로 끓음은 상평형 바깥쪽에 존재해야 할 것 같아요.

예비교사들은 토론 과정에서 상평형, 상태변화를 열린계의 상황이나 닫힌계의 상황과 연계하여 보다 깊이 있는 학문적 연계를 형성하였으며, 이 과정에서 *Fig.* 3과 같은 사고의 과정으로 변화하였다. 이는 예비교사들이 토론 후에 최종적으로 다시 제시한 벤 다이어그램이다. 이들은 그림에서 제시한 사고의 차이를 명확하게 인지하고 있었지만, 스스로 형성한 학문적 연계 과정에서 초기 사고의 본질적 차이로부터 발생한 이러한 사고의 차이를 반드시 통일할 필요가 없음도 인지하게 되었다.

가장 큰 변화는 끓음을 상평형 개념과 연결하였던 사고로부터 벗어나 분리하게 된 것이다. 이는 평형의 개념을 닫힌계에서의 동적 평형의 개념과 연계하면서 일어난 변화라고 할 수 있다. 단순히 동적 평형을 두 상의 공존 현상과만 연계하였던 사고를 보다 깊이있는 학문적 연계로 발전시킨 결과라고 할 수 있다. 가장 많은 예비교사들이 예비교사 ③의 사고에 동조하였으며, 이는 예비교사 ③의 사고의 본질에 열린계와 닫힌계에 대한 고려가 내재되어 있었고, 다른 예비교사들이 이러한 사고를 자신의 사고와 연결함으로써 학문적 연계를 보다 깊이있게 할 수 있는 계기를 만들어 주었기 때문이라고 본다. "끓음은 평형에 도달하기 위한 상태 변화일 뿐, 평형과 관련이 없다는 것을 알게 되었다"라는 사고의 발달이나, 끓음은 열린계와 닫힌계의 구분이 필요하고 증발은 열린계, 닫힌계 모두에서 일어나며 증발과 끓음이 공통적으로 기화라는 현상이라는 사고 안에 내제되어 있는 학문적 연계를 예비교사들은 보다 명확히 인식하게 되었다. 예비교사들은 반응적 교수과정을 통해 자신의 선개념들을 버리지 않으면서 보다 정교하게 발달시켰고 확장하였다. 이는 교수자가 적극적으로 개입하여 발산적 질문을 통해 예비교사들의 사고 안에서 학문적 연계를 이끌어 내었기 때문이다.

학습자 생각의 본질 확장하기 단계

예비교사들을 대상으로 반응적 교수법을 체험시키는 이 연구의 성과는 구성주의적 교육의 효과에 대한 체험을 통해 실천적 교수 역량을 획득하는 것이다. 예비교사 ①은 공통적인 교육과정을 배웠음에도 불구하고 자신의 생각과 다른 예비교사들의 생각이 근본적으로 차이가 난다는 것을 알게 된 것을 깨달음으로서 다양한 선개념의 존재에 대해 인식하게 되었다. 또한 예비교사 ③은 어떤 과학적 개념이든 깊이 있게 생각하면 전제 조건을 제대로 알아야 그 개념을 이해하는 것임을 인식하게 되었으며, 지금까지 그러한 생각을 하지 못하였다는 점을 깨닫게 되었다.

예비교사 ①: 물론 다른 사람들의 생각이 저랑 약간의 차이가 있을 것이라고는 생각했어요. 하지만 그게 큰 차이는 아닐 것이라고 생각하고 표면적인 차이만 있을 것이라고 보았는데, 예비교사 ③이 저랑 거의 완전히 반대로 그림을 그린 것을 보고 혼란이 왔어요. '내 생각이 아닐 수 있겠구나' 부터 시작해서 계속 내 생각의 이유를 찾아보니까 문득 깨달음을 얻을 수 있었어요.

예비교사 ③: 제가 중등학교에서 다루는 증발에 대해 깊이 생각을 안 해 봤는데 막상 끓음과 증발에 대해 생각해 보니 깊이 생각할 것이 있다는 것을 알게 되었어요. 친구들이랑 얘기를 해보니까 제가 알고 있었지만 놓치고 있었던 열린계와 닫힌계의 조건에 대해서 다시 한 번 생각해 보고 개념을 정교화 시킬 수 있었던 것 같아요. 증발이란 용어를 어떤 전제 조건에서 사용할 수 있는지 생각할 수 있는 계기가 되었어요.

교수자로서 어떤 교육을 학습자들에게 해야 하는가에 대한 성찰도 있었다. 예비교사 ②는 입증하기와 다시 생각

하기, 면밀히 조사하기 등 반응적 교수법을 통해 형성된 개념이 과학자들의 사고, 혹은 과학적 개념과 달랐을 때의 문제를 고민하였으나, 궁극적으로는 창의적 사고의 과정의 가치를 받아들이고 사고의 발달 과정에서의 차이를 인식하는 것 자체가 더 중요하다는 것을 이해하게 되었다. 이는 과학교육과정에서 강조하는 창의적 사고의 가치를 문서가 아닌 체험의 과정을 통해 깨닫게 된 것으로 반응적 교수법을 적용한 예비교사 교육의 효과라고 할 수 있다. 또한 예비교사 ④와 예비교사 ⑤도 과학 개념을 가르친다는 것이 개념의 정의를 합의하는 과정이며, 이를 가르치는 과정이 필요함을 인식하였다. 이러한 성과는 예비교사 교육에서 목표하는 구성주의적 교수 역량의 획득을 하는데 반응적 교수법이 효과적임을 보여주는 것이다.

예비교사 ②: 토론을 통해 우리가 합의한 내용이 만약에 틀린 것이라면 전체적으로 오개념을 가질 수 있는 거니까 마지막에 정리를 할 수 있는 게 필요하겠다고 생각했어요. 과학적 개념을 도입할 수 있는 영상을 보고, 그래도 올바른 과학적 개념을 도입할 수 있는 시간이 마지막엔 필요하겠다는 생각이 들었어요.

연구자 : 마지막으로 얘기하고 싶은 게 있어요. 과학에 정답은 있다고 생각하나요?

예비교사 ②: 물론 없지만, 이것은 우리들끼리 사회적 합의를 한 것이고 과학자들이 사회적 합의를 한 게 따로 있을 것이 아니에요. 그래서 만약에 과학자들이 합의한 내용과 우리가 일상생활에서 사용하는 것과 다르다면, 다시 이 사이에 관계를 새롭게 창조해낼 수 있는 것도 필요하다고 생각해요.

예비교사 ④: 끓음이라는 용어를 정의하는 과정에서 많은 논의가 있었잖아요. 그런데 학교에서는 과학 개념을 정의하는 과정은 없어요. 학생들과 함께 과학 개념을 합의해야 하는 과정을 가르쳐야겠어요.

예비교사 ⑤: 저도 그건 예비교사 ③과 되게 비슷한데, 처음에 증발하고 끓음이라는 것을 깊이 생각해 본 적이 없었거든요? 심지어 교생실습에서도 증발과 끓음을 중학교 애들한테 가르쳤을 때도 그냥 제가 알고 있는 부분만 가르치고 말았는데 여기서 이야기를 하다 보니까 내용을 아예 몰랐던 건 아닌데, 계에 대해서도 알고 있었는데, 토의하는 과정에서 정교화가 된 것 같아요. (중략) 계의 조건에 따라 끓음과 증발 현상이 다르게 표현될 수 있다는 것을 알게 되었어요. 학교에서 가서 교사로서 끓음과 증발 현상을 가르치기 위해 내용을 어떻게 재구성해야 할지에 대해 생각해 보게 되었어요.

결론 및 제언

이 연구는 예비화학교사들을 대상으로 증발과 끓음에 대한 반응적 교수법을 제공하고, 이를 통해 학습자 참여 수업을 실천할 수 있는 역량이 길러졌는지 확인하는 것이었다. 이를 위하여 연구자들은 예비교사들에게 반응적 상호작용을 할 수 있는 수업 내용을 제공하였으며, 이러한 수업 과정에서 예비교사들의 생각을 존중하면서 학문적 지식과의 갈등과 긴장을 경험하도록 하였다. 이 과정을 통해 예비화학교사들은 구성주의 수업을 체험하고 교수역량을 강화시키는 과정을 경험하게 되었다.

반응적 교수법은 교수자가 학습자들의 사고의 실체를 알아내고, 학문적 구조에서 기대하는 바를 학습자들이 획득할 수 있도록 돕는 매우 효과적인 교수 방법이다. 반응적 교수법은 학습자들의 개념적 이해를 증진시키고, 실제적으로 학문적 연계를 경험함으로써 사고를 성장 할 수 있는 풍부한 기회를 제공해 준다. 따라서 예비교사들이 반응적 교수법의 의미를 깨닫고 이를 지도할 수 있는 역량을 획득하는 것은 매우 중요하다.

이 연구에서는 예비교사교육에 반응적 교수법을 적용함으로써 예비교사들이 진정한 의미의 구성주의적 교수법을 체득하게 되는 교육적 효과를 확인하였다. 예비교사들은 중등학교에서 다루는 끓음과 증발을 상태변화, 상평형과 연결하는 과정을 통해 닫힌계와 열린계라는 화학의 핵심 개념으로 접근하는 것이 중요하다는 것을 깨닫게 되었으며, 이러한 과정에서 과거에 학습자로서의 경험에서 드러난 다양한 선개념을 인식하고, 사고를 확장하는 과정에서 이루어지는 교육적 함의와 가치를 깨닫게 되었다. 이러한 예비교사교육을 통해 예비화학교사들은 반응적 교수법이 학습자들의 학문적 사고와 기능에 참여할 수 있는 공간을 열어준다는 선행연구[3,14,17,23,26,37]의 의미를 깨닫게 되었다. 지금까지 반응적 교수법에 관련된 대부분의 선행연구들은 유, 초, 중등 교육이나 대학교육에서 학생들에게 교수자가 반응적 교수법을 적용하고 관련 교과 내용에 관련된 교육적 효과를 알아보았다. 그러나 이 연구에서는 예비교사들을 대상으로 반응적 교수법을 경험시킴으로써 교수자로서 어떤 교육방법을 학습자에게 제공하는 것이 교육적 의미를 가지는가에 대한 성찰을 가능하게 해주었다.

예비교사 교육과정에 반응적 교수법을 도입하는 것은, 교수자로가 학습자들의 생각을 이해하고, 자신이 가르칠 내용에 대한 효과적인 교수학습법을 개발하는 데 매우 유용한 체험을 제공하기 때문에 중요하다.[38,39] 반응적 교수법에서 교수자는 반드시 학습자의 사고로부터 학문과 연결할 수 있는 씨앗을 찾는 능력을 획득해야 한다. 이 연구에 참여한 예비화학교사들이 반응적 교수법을 체험하면서

중등학교에서 다룰 화학 개념에 대한 구성주의적 관점을 명시적으로 경험하였다는 것은 매우 중요하다. 실천적 지식인 교수 전문성은 문서화된 지식이 아니라 체험적 경험을 통해 가장 효과적으로 획득되기 때문이다. 구성주의 관점에서 교수자는 사전에 수업 계획을 세우지만, 학습자들의 생각을 채택하고 추구하는 과정에서 즉각적으로 다음 수업을 설계할 수 있는 역량을 가져야 한다. 따라서 기존의 교육과정에서 제시하는 학습 수준에 학습자들을 맞추기 위해 획일적으로 제공되는 교육에서 벗어날 수 있는 교수 역량을 획득하는 것은 예비교사 교육과정에서 매우 중요하다.

이 연구에서 시도한 반응적 교수법을 통해 예비교사들이 중등학교 과학 수업을 비판적으로 사고하고 개선할 수 있는 관점을 획득하게 되었다. 앞으로 예비교사 교육의 방향은 예비교사의 실천적 교수 역량을 길러주는 방향으로 변화되어야 한다. 이를 위해 반응적 교수법은 매우 중요한 교수 역량으로 부각 될 필요가 있다.

이 연구를 통해 얻은 결론으로부터 도출한 제언은 다음과 같다. 지금까지 중요시되었던 과학 지식이나 결과 중심의 성과보다는 사고과정의 변화에 대한 가치를 인식하는 방향으로 교수법의 변화가 이루어질 수 있도록 수업 환경을 바꾸어야 하며, 이러한 방향의 예비교사 교육이 선행되어야 한다. 지금까지 학습자들의 생각을 길러주는 교수자의 반응적 교수는 암묵적으로 이루어져 왔기 때문에 교수자의 수업 전문성에서 반응적 교수법의 의미와 가치가 부각되지 못하였다. 그러나 앞으로 교수자의 수업 전문성 중에 가장 중요한 역량으로 반응적 교수법의 중요성이 대해 강조할 필요가 있다.

Acknowledgments. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. National Research Council. *A framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*; National Academies Press: Washington, D.C., 2012.
2. Watkins, J.; McCormick, M.; BethkeWendell, K.; Spencer K.; Milto, E; Portsmore, M; Hammer, D. *Sci. Ed.* **2018**, *102*, 548.
3. Ball, D. L. *Elem. School J.* **1993**, *93*, 373.
4. Hammer, D. *Cogn. Instr.* **1997**, *15*, 485.
5. Colestck, A. A.; Sherin, M.G. What Teachers Notice When They Notice Student Thinking: Teacher-Identified Purposes for Attending to Students' Mathematical Thinking. In *Responsive Teaching in Science and Mathematics*, Robertson, A. D., Scherr, R. E., Hammer, D. Eds.; Routledge: New York, 2016; pp 126-144.
6. Harrer, B. W.; Flood, V. J.; Wittmann, M. C. *Phys. Rev. Phys. Educ. Res.* **2013**, *9*, 023101.
7. Hammer, D.; van Zee, E. *Seeing the Science in Children's Thinking: Case Studies of Student Inquiry in Physical Science*; Heinemann: Portsmouth, NH, 2012.
8. Radoff J.; Hammer D. Attention to Student Framing in Responsive Teaching. In *Responsive Teaching in Science and Mathematics*, Robertson, A. D., Scherr, R. E., Hammer, D. Eds.; Routledge: New York, 2016; pp 189-202.
9. Lineback, J. E. *J. Learning Sci.* **2014**, 1.
10. Levin, D. M.; Hammer, D.; Coffey, J. E. *J. Teach. Educ.* **2009**, *60*, 142.
11. Maskiewicz, A. C.; Winters, V. *Paper Presented at the 9th International Conference of the Learning Sciences*, Chicago, 2010.
12. Brodie, K. *Teaching and Teacher Education* **2011**, *27*, 174.
13. Carpenter, T. P.; Fennema, E.; Franke, M. L.; Levi, L.; Empson, S. B. *Cognitively Guided Instruction: A Research-based Teacher Professional Development Program for Elementary School Mathematics*; Wisconsin Center for Education Research: University of Wisconsin, 2000.
14. Coffey, J. E.; Hammer, D.; Levin, D. M.; Grant, T. *J. Res. Sci. Teach*. **2011**, *48*, 1109.
15. Duckworth, E. *The Having of Wonderful Ideas and Other Essays on Teaching and Learning, 3rd Edition*; Teachers College Press: New York, 2006.
16. Gallas, K. *Talking Their Way into Science: Hearing Children's Questions and Theories, Responding with Curricula*; Teachers College Press: NY, 1995.
17. Hammer, D.; Goldberg, F.; Fargason, S. *Re. S M ICT E.* **2012**, *6*, 51.
18. Russ, R. S.; Coffey, J. E.; Hammer, D.; Hutchison, P. *Sci. Educ.* **2009**, 875.
19. Chazan, D.; Ball, D. L. *For the Learning of Mathathics* **1999**, *19*, 2.
20. Sherin, M. G.; Jacobs, V. R.; Philipp, R. A. *Mathematics Teacher Noticing: Seeing Through Teachers' Eyes*; Routledge: New York, 2011.
21. Lau, M. Understanding the dynamics of teacher attention: Examples of how high school physics and physical science teachers attend to student ideas. Unpublished doctoral dissertation. University of Maryland: College Park, MD, 2010.
22. Wallach, T.; Even, R. *J. Math. Teacher Educ.* **2005**, *8*, 393.
23. Hutchison, P.; Hammer, D. *Sci. Ed.* **2010**, *94*, 506.
24. Levin, D. M. What secondary science teachers pay attention to in the classroom: Situating teaching in institutional and social systems. Doctoral dissertation. University of Maryland: College Park, MD, 2008.
25. Colestock, A.; Linnenbringer, T. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association: Denver, CO, 2010.
26. Levin, D. M.; Hammer, D.; Elby, A.; Coffey, J. *Becoming*

a Responsive Science Teacher: Focusing on Student Thinking in Secondary Science; National Science Teachers Association Press: Arlington, VA, 2012.
27. Pierson, J. L. The relationship between patterns of classroom discourse and mathematics learning. Doctoral dissertation. University of Texas at Austin: Austin, TX, 2008.
28. Jacobs, V. R.; Franke, M. L.; Carpenter, T. P.; Levi, L.; Battey, *D. J. Res. Math. Educ.* **2007**, *38*, 258.
29. Jacobs, V. R.; Lamb, L. L. C.; Philipp, R. A. *J. Res. Math. Educ.* **2010**, *41*, 169.
30. Sherin, M. G.; van Es, E. A. *J. Technology and Teacher Educ.* **2005**, *13*, 475.
31. Sherin, M. G.; van Es, E. A. *J. Teac. Educ.* **2009**, *60*, 20.
32. van Es, E. A.; Sherin, M. G. *Teaching and Teacher Education.* **2008**, *24*, 244.
33. van Es, E. A.; Sherin, M. G. *J. Math. Teacher Educ.* **2010**, *13*, 155.
34. Maskiewicz, A. C.; Winters, V. A. *J. Res. Sci. Teach*. **2012**, *49*, 429.
35. Michaels, S. *Human Development* **2005**, *48*, 136.
36. Bresser, R.; Fargason, S. *Becoming scientists: Inquiry-based teaching in Diverse Classrooms*; Stenhouse Publishers: Portland, ME, 2013.
37. Richards, J. Exploring what stabilizes teachers' attention and responsiveness to the substance of students' scientific thinking in the classroom. Doctoral dissertation. University of Maryland: College Park, 2013.
38. Philipp, R. A.; Thanheiser, E.; Clement, L. *Int. J. Educ. Res.* **2002**, *37*, 195.
39. Rosebery, A. S.; Warren, B. Boats, *Balloons and Classroom Video: Science Teaching as Inquiry*; Heinemann: Portsmouth, NH, 1998.