

## 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 이해

박기라 · 윤희숙\*

강원대학교 과학교육학부

(접수 2015. 4. 10; 게재확정 2015. 8. 3)

### Pre-service Chemistry Teachers' Understanding of the Boiling Process of a Liquid Mixture

Kira Park and Heesook Yoon\*

Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

\*E-mail: hsyoon@kangwon.ac.kr

(Received April 10, 2015; Accepted August 3, 2015)

**요약.** 본 연구의 목적은 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 인식을 알아보는 것이다. 이를 위해 사범대학에 재학 중인 예비 화학교사 65명을 대상으로 에탄올 수용액의 끓는점과 가열 곡선 유형, 용액이 끓을 때의 기포 속 입자 모형 등에 대한 설문조사를 실시하고, 이 중 9명을 면담하였다. 그 결과, 50% 몰분율의 에탄올 수용액의 끓는점에 대한 예비교사의 인식은 '78-100 °C 구간에서 끓기 시작한다'는 과학적인 응답이 52.3%이었고, '에탄올 끓는점인 78 °C에서 끓기 시작한다'고 생각하는 응답이 35.4%이었다. 전자의 경우, 물과 에탄올의 부분 증기압력의 합이 순수한 에탄올의 증기압력보다 작고, 물의 증기압력보다 커진다는 과학적인 설명에 비해 '끓을 때 에탄올 분자가 물 분자와의 인력이나 진로 방해 등을 통해 순수한 끓는점보다 높아진다'고 생각하는 설명이 많았다. 후자의 경우, 에탄올이 먼저 끓는데, 끓는점은 물질의 고유성질이므로 혼합물이 되어도 변하지 않는다고 생각하였다. 액체 혼합물의 가열 시 온도변화에 대해서는 끓기 시작하면서 온도가 증가하다가 일정한 온도가 된다고 생각하는 응답자가 69.2%이었으나 이들은 에탄올이 끓으면서 기화되어, 액체상에 물의 비율이 높아지기 때문에 점점 끓는점이 증가하게 된다는 설명을 하거나, 에탄올은 상태 변화하지만 액체로 남아있는 물이 열에너지를 흡수하기 때문에 혼합액체의 온도가 증가한다는 설명을 제시하였다. 상당수의 예비교사는 두 개의 일정한 온도 구간이 나타나다는 응답을 하였는데 이들은 액체 혼합물의 각 성분이 자신의 고유한 끓는점에서 상태변화를 한다고 생각하고 있었다. 또한, 액체 혼합물의 증발과 끓음 상황에서 기체상에서의 입자 모형을 분석한 결과, 증발 상황에서는 대부분의 예비교사가 기체상에 물과 에탄올이 동시에 존재하는 모형을 그렸으나, 끓음 상황에서는 기체상에 에탄올만 존재하는 모형을 그리는 비율이 증가하였다. 결과를 바탕으로 예비교사들이 혼합액체의 끓음에 대해 가지고 있는 대체적 개념과 이들의 인식 개선을 위한 시사점을 논의하였다.

**주제어:** 액체 혼합물, 끓음, 대체적 개념, 예비 화학교사

**ABSTRACT.** The goal of this study is to investigate pre-service chemistry teachers' understanding of the boiling process of a liquid mixture. We surveyed 65 students in the chemistry program of the College of Education about the boiling point of a 50%(by mole) ethanol aqueous solution and the temperature changes during heating. We then interviewed 9 of these students. According to the survey results, the percent of the pre-service teachers who thought that the boiling point of the ethanol solution would be 'between the boiling points of ethanol and water (78-100 °C)' and 'the same as that of ethanol' were 52.3% and 35.4%, respectively. The majority of those who stated the former explained that the boiling point of the ethanol solution increased due to the effects of attraction or blocking by water molecules. Most of those who believed the latter explained that physical properties such as the boiling point would not be changed by the addition of water. With regard to the temperature change during heating, 69.2% of the teachers thought that the temperature would increase gradually while boiling, which some thought resulted from the increasing amount of water in the solution as the ethanol boiled off. Others thought that two temperature plateaus would be observed as each component of the liquid mixture underwent phase transition at its specific boiling point. When asked about the particle model of the gas phase during the boiling and evaporation process, some students drew both ethanol and water during evaporation but only ethanol when boiling. We discussed several alternative concepts of pre-service chemistry teachers about the boiling process of liquid mixtures and ways to improve their understanding.

**Key words:** Liquid mixture, Boiling, Alternative concept, Pre-service chemistry teacher

## 서 론

끓음은 일상생활의 경험을 통해 자주 접하는 현상이지만 그 원리를 이해하기 위해서는 심화된 과학지식이 요구된다.<sup>1</sup> 학교 현장에서는 끓음에 대해 학교 급별로 수준을 달리하여 교수학습이 이루어지고 있다. 2009 개정 과학과 교육과정에 의하면<sup>2</sup> 초등학교 3~4학년군의 '물의 상태변화' 단원에서 물의 끓음을 학습하며, 중학교에서는 1~3학년군의 '물질의 특성' 단원에서 순물질과 혼합물의 끓는점의 변화를 학습하도록 제시하고 있다. 고등학교에서는 화학 II의 '용액' 단원에서 라울의 법칙을 비휘발성 용질이 녹은 용액에 적용하여 증기압 내림과 끓는점 오름 등의 묽은 용액의 총괄성을 학습하도록 되어 있다. 한편 대학의 교육과정에서는 일반 화학에서 두 휘발성 액체에 대해 라울의 법칙을 적용하고,<sup>3</sup> 물리화학에서 휘발성 액체 혼합물의 증기압, 끓는점, 열역학적 성질들을 배우게 된다.<sup>4,5</sup> 즉, 학년이 올라감에 따라 순물질의 끓음에서 혼합물의 끓음으로, 현상적인 접근에서 원리적인 접근으로, 거시적인 접근에서 미시적인 접근으로 내용이 심화되고 있다. 혼합물의 끓음의 경우, 중학교 교육과정에서는 현상적으로 접근하지만 원리를 이해하기 위해서는 고등학교 수준 이상의 설명이 필요하다. 예를 들어 소금물과 같은 비휘발성 용질이 녹은 용액의 끓는점이 순수한 물보다 높고, 끓는점이 점차 증가하는 현상은 중학교에서 제시되지만, 이에 대한 원리는 용액의 총괄성으로서 고등학교 화학 II에서 설명된다. 또한 에탄올 수용액과 같은 휘발성 액체 혼합물의 끓음의 원리는 대학 화학수준에서 제시된다.

교육과정의 강조와 더불어 액체의 끓음에 대한 이해에 초점을 맞춘 많은 연구들이 초·중등, 대학 화학교육의 다양한 수준에서 보고되어 왔다.<sup>6-11</sup> Osborne과 Cosgrove는 12-17세의 학생들이 끓는 물속의 기포를 수증기가 아닌 열, 공기, 수소와 산소 등으로 인식하고 있다고 보고하였다.<sup>6</sup> Johnson은 3년동안 중학생을 대상으로 끓는 물속의 기포에 대한 이해도를 조사하여 학년이 올라갈수록 공기라는 응답은 줄어들고, 공기와 물, 기체상태의 물이라는 응답이 증가함을 보고하였고, 끓는 물속의 기포에 대한 학생들의 이해 발달을 위해서 입자적 관점에서의 접근이 필요하다고 주장하였다.<sup>7</sup> 조미정은 증발과 끓음에 대해 고등학생과 화학 전공 교사의 인식을 조사한 결과 많은 학생들과 몇몇의 교사들이 증발과 끓음의 구별을 가릴 유무로 판단하고 있음을 보고하였다.<sup>8</sup> 또한 연구대상자들이 증기압력과 외부압력이 같으면 기포가 왜 발생하는지에 대한 이해가 부족하며, 이의 원인으로 교과서 서술 내용의 부적합을 지적하였다.

한편 액체의 끓음과 관련하여 증기압력에 대한 이해를 살펴본 연구는 주로 고등학생과 대학생, 예비교사를 대상으로 한 연구들이 많았다. Canpolat 등은 증발, 증발속도, 증기압력에 대한 인식 조사를 통해 상당수의 대학생들이 증기압력이 액체의 부피나 표면적에 의해 달라진다고 인식하였으며,<sup>12</sup> 액체가 끓고 있을 때의 증기압력이 끓는점이 높은 순서대로 낮아진다고 인식하고 있음을 보고하였다.<sup>13</sup>

한편 혼합물의 끓음에 대한 오인과 관련된 국내외 연구는 주로 비휘발성 묽은 용액의 총괄성과 관련된 연구가 많았다.<sup>14-18</sup> 김성혜는 묽은 용액의 성질에 대한 고등학교 화학 II 교과서와 화학전공교사의 설명 유형을 조사하여 묽은 용액의 총괄성이 나타나는 원인으로 용질의 역할에 대한 이해가 부족함을 보고하였다.<sup>14</sup> Pinarbasi 등은 예비교사의 인식을 조사한 연구에서 용액의 끓는점이 증가하는 것이 물과 소금입자의 상호작용 때문이라는 오인이 많았으며, 물이 끓고 소금이 나중에 끓는대거나, 용액의 밀도가 증가하기 때문이라는 대체적인 개념이 있음을 보고하였다.<sup>15</sup> 윤희숙과 정대홍(2006)은 예비화학교사와 현직교사들의 상당수가 끓는점 오름을 설명하기 위하여 '용매-용질 간의 인력'이라는 엔탈피 개념을 선호하는 경향이 나타남을 보고하였고, 엔트로피 개념의 도입이 필요함을 주장하였다.<sup>1</sup>

지금까지의 혼합물의 끓음에 대한 교사나 예비교사의 이해를 조사한 연구들은 주로 비휘발성 용질이 녹아 있는 묽은 용액의 끓음에 대한 것이었으며, 혼합물로서 휘발성 액체 혼합물의 끓음에 대한 이해를 조사한 연구는 보고되지 않았다. 이는 액체 혼합물의 끓음에 대한 이해가 대학 수준으로 어렵고, 중등교육과정에서 현상 차원으로 제시될 뿐 현상에 대한 설명이 이루어지지 않기 때문으로 여겨진다. 그러나 액체 혼합물과 그 끓음 현상이 중학교 교육과정에서 다루어지고 있으므로,<sup>19-22</sup> 이를 가르치게 될 예비교사들은 이에 대한 이해를 필요로 할 것이다. 이러한 점에서 예비화학교사가 액체 혼합물의 끓음에 대한 이해는 어떠하며, 어떠한 어려움과 문제점이 있는지를 알아봄으로써 화학교사교육에 시사점을 제공하고자 한다. 한편 예비 화학교사들은 대학에서 화학을 배우는 학습자이기도 하다. 휘발성 혼합용액의 끓음에 대한 이해는 석유 정제 등의 원리를 이해하기 위한 기본적인 화학 개념에 해당된다. 따라서 본 연구는 대학화학교육 내용으로서 액체 혼합물의 끓는점의 이해에 있어 대학학습자가 갖는 오인과 그 원인에 대한 정보를 제공할 수도 있을 것이다.

본 연구에서는 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 인식을 알아보고자 하며, 현상을 접근하는 관점에 따라 거시적인 이해, 미시적인 이해로 나누어 조사하려

한다. 이 연구에서 알아보고자 하는 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 거시적인 관점의 이해는 어떠한가?

둘째, 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 미시적인 관점의 이해는 어떠한가?

셋째, 거시적인 관점과 미시적 관점의 관계는 어떠한가?

### 연구 방법

#### 연구 대상

액체 혼합물의 끓음에 대한 예비교사의 인식을 조사하기 위하여 서울, 강원, 전남 등 세 지역의 국립 사범대학에 재학 중인 2-4학년 화학전공 예비교사 65명을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문대상자는 2학년 11명, 3학년 15명, 4학년 5명으로 모두 일반화학과 물리화학 1을 이수하였다.

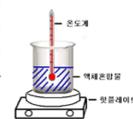
#### 설문지 개발 및 자료 분석

액체 혼합물의 끓음에 대한 예비교사의 인식을 알아보기 위하여 설문지를 개발하였다. 본 연구에서 사용한 설문지 개발에 앞서 일반화학을 이수한 사범대학 과학교육학부 1학년 40명을 대상으로 50% 몰분율을 갖는 에탄올 수용액의 시간에 따른 혼합액체의 가열곡선을 그리고, 끓는점을 표시하게 하는 방식으로 예비검사를 실시하였다.

본 연구에서 50% 몰분율을 갖는 에탄올 수용액을 선택한 이유는 다음과 같다. 첫째, 에탄올 수용액은 학생과 예비교사에게 익숙한 물질이며, 친숙한 상황에서 예상이 가능하다. 둘째, 에탄올 수용액의 끓음은 중학교 교육과정에서도 다루기 때문에 이에 대한 예비교사의 심화된 지식을 알아볼 필요가 있다. 셋째, 실제로 에탄올 수용액은 이상용액이 아니며, 에탄올의 농도에 따른 실제 용액의 끓는점에 대한 자료는 *CRC Handbook of Chemistry and Physics*에 제시되어 있다.<sup>23,24</sup> 에탄올 수용액은 에탄올 비율이 95.5%(w/w)일 때 에탄올보다 더 낮은 온도에서 끓는다. 그러나 에탄올의 비율이 85%(w/w) 이하에서는 에탄올보다 더 높은 끓는점을 가지며, 라울의 법칙을 적용하여 끓는점의 거동에 대한 설명이 가능하다. 또한 이후 물리화학에서 다루는 양의 벗어남과 음의 벗어남, 불변 끓음 혼합물 등의 학습과 연계가 가능한 소재이다.

예비검사 결과를 이용해 개발한 설문지는 Fig. 1과 같다. 첫 번째 문항은 에탄올 수용액의 끓는점에 대한 예상을 알아보기 위한 것으로 5가지의 끓는점을 제시하여 선택하게 하였다. 두 번째 문항은 에탄올 수용액의 상태변화 시 온도변화에 대한 예상을 알아보기 위한 것으로 3가지의

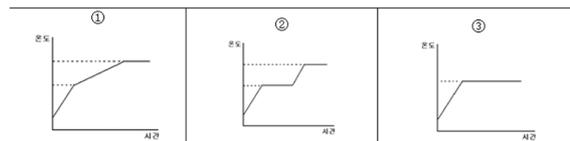
※ 물과 에탄올 액체 혼합물의 끓는점을 알아보기 위하여 오른쪽 그림과 같은 장치로 실험을 하였습니다. 물과 에탄올을 1:1 입자 비율로 섞어 액체혼합물을 만들고, 액체혼합물 안에 온도계를 담고, 핫플레이트로 가열하면서 가열 시간에 따른 액체 혼합물의 온도변화를 측정하였습니다.



1. 1기압에서 물과 에탄올 액체혼합물의 끓기 시작하는 온도는 어떠할지 다음 중 자신이 생각하는 온도에 **O**표 해주세요. (1기압에서 물의 끓는점은 100°C, 에탄올의 끓는점은 78°C입니다.)

- ① 78°C 이하    ② 78°C    ③ 78°C에서 100°C사이    ④ 100°C    ⑤ 100°C 이상    ⑥ 기타 (    )

2. 액체혼합물이 끓기 시작 한 후의 온도변화는 어떻게 될까요?



3. 다음은 비커 안에 담겨져 있는 액체혼합물을 입자모형으로 그린 것입니다. 비커 안에는 에탄올 분자와 물 분자가 같은 개수로 들어있습니다.

- 1) 액체 혼합물이 끓기 전 증발이 일어나고 있을 때 액체 표면위에 존재하는 입자를 그리세요.
- 2) 액체가 끓을 때는 액체 내부에서 기포가 생겨 위로 올라옵니다. 끓기 시작할 때 기포 속에 존재하는 입자를 동그라미 안에 그리세요.

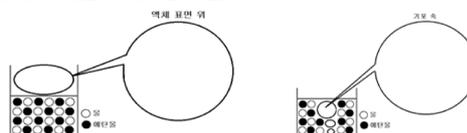


Figure 1. Questionnaire on boiling of liquid mixture. Item 1 & 2 are about macroscopic prediction. Item 3 is about microscopic prediction.

가열곡선을 제시하여 선택하게 하였다. 세 번째 문항은 에탄올 수용액이 끓기 이전의 증발 상황에서 액체 표면 위의 입자 모형과, 끓음 상황에서 액체 내의 기포 안의 입자 모형을 그리게 하였다. 또한 각 문항의 응답에 대한 이유를 서술하도록 요구하였다. 첫 번째와 두 번째 문항은 거시적인 관점의 이해를, 세 번째 문항은 미시적인 관점의 이해를 묻는 문항이다.

설문지의 객관식 문항은 5개의 끓는점과 3개의 가열곡선 보기에 대해 응답자 수와 비율을 계산하였고, 이유를 묻는 서술형 문항에 대해서는 응답내용을 유형화하여 그에 대한 응답자 수와 비율을 계산하였다. 입자 움직임을 그리는 문항은 입자 모형을 유형화하여 그에 대한 응답자 수와 비율을 계산하였다.

각 설문문항의 과학적인 응답은 50% 몰분율 에탄올 수용액은 순수한 에탄올과 물의 끓는점 사이에서 끓기 시작하며(78 °C~100 °C), 용액이 끓는 동안 온도는 점점 증가하다가 일정해진다(Graph 1)는 것이다. 또한 증발과 끓음 모두에서 적절한 입자 모형은 에탄올 입자(E)를 물 입자(W)보다 많이 있게 그리는 것이다(E>W).<sup>23</sup>

이에 대한 과학적 설명은 다음과 같다. 혼합용액이 끓기 위해서는 혼합용액의 증기압력이 대기압과 같아져야 한다. 휘발성 2성분 이상용액의 경우, 전체 증기압력은

두 성분의 증기압의 합과 같으며, 각 성분의 증기압력은 몰분율에 비례한다(라울의 법칙). 혼합용액의 증기압력은 휘발성이 큰 성분의 순수한 증기압력보다 작아지고, 휘발성이 약한 성분의 순수한 증기압력보다는 작아지게 되므로 혼합용액은 두 성분의 끓는점 사이에서 끓게 된다. 끓는 동안 두 성분은 함께 기화가 되어 액체 내부에 기포를 형성하고, 기포가 액체 표면으로 나와 대기 중으로 사라진다. 이 때 액체 내부의 기포인 증기 상에서는 액체 상에서보다 휘발성이 큰 성분의 비율이 높으므로,<sup>4</sup> 액체 상에는 휘발성이 작은 성분의 비율이 높아지고, 따라서 끓는점은 계속해서 상승하게 된다. 한편 실제용액의 경우, 혼합물에 들어 있는 서로 다른 분자들 사이의 인력이 순수한 용매의 동일한 분자 간 인력보다 크거나 약하면 증기압력은 Raoult의 법칙에서 예측한 값보다 더 작거나 크게 나타날 수 있다(음의 벗어남과 양의 벗어남).<sup>4</sup> 그러나 본 연구에서는 이상적인 용액 수준에서 현상을 과학적으로 설명할 수 있는 지에 초점을 두고 학생들의 응답을 분석하였다.

#### 면담 및 분석

설문 대상자 중에서 9명을 대상으로 반 구조화된 면담을 실시하였다. 9명의 면담 대상자는 설문지의 끓는점과 상태변화 시 온도변화, 입자 모형에 대한 응답 유형에 따라

각 1~2명씩 선정하여, 설문지 응답에 대한 자세한 설명을 추가적으로 질문하였다. 면담 대상자에 대한 정보는 Table 1과 같다. 면담의 내용은 모두 녹음기로 녹취하였으며, 면담이 끝난 후 면담 내용을 전사하였다. 면담 내용의 분석은 2인의 연구자가 함께 토론하고 합의하는 과정을 거쳐, 설문 결과를 해석하고 주장하기 위한 증거자료를 발췌하였다.

### 연구 결과 및 논의

#### 액체 혼합물의 끓음에 대한 거시적 이해

**액체 혼합물이 끓기 시작하는 온도에 대한 이해:** 50% 몰분율을 갖는 에탄올 수용액의 끓는점에 대한 예비화학 교사의 응답과 그에 대한 이유를 조사하여 분석한 결과는 Table 2와 같다. 전체 설문 응답자의 52.3%는 에탄올 수용액이 '78 °C와 100 °C 사이'에서 끓는다고 응답하였으며, 35.4%는 '78 °C'에서 끓는다고 응답하였다. 기타 '100 °C 이상', '78 °C 이하'라고 응답한 응답자는 각각 9.2%와 3.1%로 낮은 응답비율을 나타내었다.

예비교사가 응답한 에탄올 수용액의 끓는점에 대한 구체적인 이유를 살펴 본 결과, 에탄올 수용액의 끓는점을 78 °C라고 응답한 23명의 예비교사는 모두 '끓는점이 낮은 에탄올부터 끓기 때문에 78 °C에서 끓기 시작한다'고 설

Table 1. The object of interview

| Name           | Boiling point (°C) | Graph type | Particle model during boiling | Sex | Grade |
|----------------|--------------------|------------|-------------------------------|-----|-------|
| Pre. Teacher 1 | 78                 | 1          | E>W                           | M   | 3     |
| Pre. Teacher 2 | 78                 | 1          | E                             | M   | 3     |
| Pre. Teacher 3 | 78                 | 2          | E                             | M   | 3     |
| Pre. Teacher 4 | 78                 | 2          | E                             | F   | 3     |
| Pre. Teacher 5 | 78-100             | 1          | E>W                           | M   | 3     |
| Pre. Teacher 6 | 78-100             | 1          | E>W                           | F   | 4     |
| Pre. Teacher 7 | 78-100             | 1          | E                             | F   | 3     |
| Pre. Teacher 8 | 78-100             | 1          | E=W                           | F   | 3     |
| Pre. Teacher 9 | 78-100             | 2          | E>W                           | M   | 3     |

Table 2. Pre-service chemistry teachers' responses about boiling point of 1:1 ethanol/water mixture

| Boiling point | Reason of their choices                    | Frequency (%) |
|---------------|--|---------------|
| Below 78 °C   | (no concrete answer)                       | 2(3.1)        |
| 78 °C         | Boiling point of ethanol                   | 23(35.4)      |
| 78 °C-100 °C* | Decreasing of vapor pressure*              | 4(11.8)       |
|               | Boiling point elevation                    | 5(14.7)       |
|               | Attraction force between ethanol and water | 13(38.2)      |
|               | Hindrance of water molecules               | 5(14.7)       |
|               | Mixing of two materials                    | 7(20.6)       |
| Above 100 °C  | Boiling point elevation and etc.           | 6(9.2)        |
| Total         |  | 65(100.0)     |

\*Scientific response

명하였다. 그 중 3명은 혼합물이기 때문에 물질의 고유한 성질인 끓는점은 변하지 않는다는 언급을 추가하였다. 이에 해당하는 예비교사의 응답의 예는 다음과 같다.

화합물이 아니라 혼합물이기 때문에 물질의 성질은 변하지 않는다. 따라서 에탄올과 물의 끓는점은 변하지 않고 끓는점이 낮은 에탄올부터 78°C에서 끓기 시작한다.

끓는점, 녹는점이나 밀도 등은 세기 성질로 순물질일 경우 물질마다 특정한 값을 가지며 양에 의존하지 않는 고유한 물질의 특성이다. 그러나 둘 이상의 순물질이 혼합되어 있는 상태가 되면 각각의 화학적 성질은 유지되지만, 혼합물의 끓는점, 밀도 등의 물리적 성질이 각각의 값을 가지게 되는 것은 아니다. 마치 철가루와 모래의 혼합에서 철가루의 화학적 성질이 변하지는 않지만, 혼합물의 밀도 값은 철가루와 모래의 밀도 사이 값을 갖게 되는 것과 같다. 몇몇 예비교사의 경우, ‘물질의 특성이 변하지 않는다’는 명제를 단순하게 적용하는 경향을 보였다.

한편, 에탄올 수용액의 끓는점에 대해서 ‘78°C에서 100°C 사이’라고 과학적으로 적절한 응답을 한 예비교사는 34명이었으며, 이들의 응답 이유는 다섯 개의 유형으로 나눌 수 있었다. 첫째 유형은 ‘증기압력이 감소하기 때문’이라고 설명한 경우로, 이에 대한 대표적인 응답예시는 다음과 같다.

순수한 에탄올은 78°C에서 끓지만 물 분자의 비율이 생겨서 순수 에탄올의 증기압보다 낮아지게 된다. 그러므로 순수한 에탄올의 증기압에 도달하기 위해서는 그만큼 열이 필요하다.

이는 끓음을 증기압력과 대기압과의 관계로 인식하고 혼합 액체의 끓는점을 예상한 경우로 과학적 설명에 가깝지만, 이 유형의 인식을 가진 것으로 보이는 응답자는 4명으로 빈도수가 작았다.

둘째는 ‘끓는점 오름’으로 설명한 유형으로 5명의 응답자가 있었다. 대표적인 응답예시는 다음과 같다.

혼합물이므로 끓는점 오름 현상이 있어 원래 에탄올의 끓는점인 78°C보다 좀 높은 온도에서 끓기 시작할 것이다.

이들 예비교사들은 비휘발성 용질이 녹은 묽은 용액의 성질에서 배운 ‘끓는점 오름’을 휘발성 액체 혼합물에도 적용하는 것 같다. 혼합물의 증기압력은 각 성분의 증기압력의 합으로 나타내어진다. 비휘발성 용질이 녹은 용액의 경우는 용매에 의해서만 증기압력이 발생하지만, 휘발

성 액체 혼합물의 경우는 두 용매 모두 증기압력이 발생하므로 이들의 증기압력은 각 부분압의 합으로 고려되어야 한다는 점에서 ‘끓는점 오름’으로 설명하는 것은 한계를 갖는다.

세 번째 유형은 ‘에탄올과 물 분자 사이의 인력 때문’이라는 응답으로 가장 빈도수(13명)가 큰 유형이다. 대표적인 응답예시는 다음과 같다.

끓는점이 차이나는 이유가 분자 간 인력이 크게 작용하는데 물 분자끼리는 인력이 크고, 에탄올 분자끼리는 비교적 작다. 그리고 물과 에탄올 사이 인력은 물과 에탄올 각각의 것 사이의 것일 듯싶다.

이는 분자 사이의 인력이 큰 물과, 분자 사이의 인력이 상대적으로 작은 에탄올이 혼합되었으므로 혼합된 것의 평균 분자 간 인력을 따지자면 중간일 것이고, 분자 사이의 인력과 끓는점의 관계(순수한 용매의 경우, 분자 간 인력이 클수록 끓는점이 높아진다)를 적용하여 끓는점도 물과 에탄올의 사이 값을 가질 것이라는 인식이다. 그러나 분자 수준에서 볼 때 라울의 법칙은 용액의 엔트로피가 용매의 엔트로피보다 높기 때문에 용매 입자가 증기상에 존재하려는 경향이 상대적으로 줄어들고, 용액 속의 용매는 순수한 용매보다 증기압력이 낮아지는 것으로 설명된다.<sup>3</sup> 위에서 제시된 ‘물과 에탄올의 인력’으로 끓는점의 증가를 설명하는 것은 인력이 비슷한 분자끼리 섞인 경우(이상용액에 가까움)에도 혼합액체의 끓는점이 높아진다는 점에서 한계를 갖는 설명이다.

넷째 유형은 ‘에탄올의 기화를 물이 방해하기 때문’이라는 인식으로 5명의 응답자가 있었다.

순수한 에탄올은 78°C에서 끓겠지만 혼합물에서의 에탄올은 끓는점이 더 높은 물에 의해 방해를 받기 때문에

이는 에탄올 입자가 물 입자의 방해로 인해 액체상에서 기체상으로 이동하기가 어려워지기 때문에 더 높은 온도에서 끓게 된다는 설명이며, 예비교사 6과 7과의 면담에서도 드러났다. 예비교사 7은 ‘물 입자의 방해’를 ‘인력으로 인한 방해’와 ‘끓는점 오름에서처럼 표면 입자를 막는 방해’ 두 가지를 다 포함하는 것으로 진술하였다. 이는 둘째나 셋째 유형의 한계를 모두 갖는 설명이다.

면담자: 78°C 보다 높은 온도에서 끓는 이유가 뭘까?

예비교사 6: 일단은 처음 끓기 시작하는 온도는 혼합물 이니깐 에탄올의 끓는점보다 더 높은 온도에서 끓기 시작하고 혼합물에서 끓는점 오름이 생기

는데... 에탄올이 끓을 때 옆에 있는 물이 방해해서 라고 생각했어요.

면담자: 78 °C 보다 높은 온도에서 끓는 이유가 뭘까?

예비교사 7: 물 분자가 방해를 한다고 생각을 했어요, 에탄올이 나갈 때 근처에서 물이 못나가게 한다고 생각을 했어요. 그래서 78 °C 보다 높은 온도에서 끓을 것이라고 생각을 했어요.

면담자: 아 그렇군요. 그럼 여기서 에탄올이 날아갈 때 물은 어떻게 방해할 것 같아?

예비교사 7: 점점 에탄올이 끓으면 물의 비율이 커지니까 에탄올과 물의 인력에 의한 영향이 커질 것 같아요. 그리고 표면에 있는 물이 에탄올의 기화를 막아서 진로 방해도 할 것 같아요.

다섯째는 단순히 ‘혼합물이므로 두 물질의 끓는점의 사이 값을 가진다’는 유형으로 7명의 응답자가 있었다. 이는 ‘둘의 용매를 합치면 기존의 용매보다는 더 낮거나 높지도 않을 것이다’와 같이 응답에 대한 재진술로 예상에 대한 이유를 구체적으로 파악하기 어려웠다.

6명의 예비교사는 혼합액체가 100 °C 이상에서 끓는다고 답하였는데 ‘물에 다른 물질이 혼합되었기 때문에 100 °C 이상에서 끓는다’고 설명하였다. 이들은 물을 용매로 간주하여 끓는점 오름을 기계적으로 적용한 것으로 보인다.

**액체 혼합물의 끓음 과정에서의 온도변화에 대한 이해**

액체 혼합물의 끓음 과정에서의 온도변화에 대한 그래프

선택과 그 이유에 대한 응답은 Table 3과 같다. 에탄올 수용액의 온도변화에 대해 묻는 질문에 예비교사의 69.2%는 ‘끓기 시작하면서 온도가 점점 증가하다가 일정’해지는 그래프를 선택하였고, 24.6%는 ‘끓기 시작하면서 일정한 온도 구간이 존재하다가, 온도가 올라가고 다시 일정’해지는 그래프를 선택하였다. ‘끓기 시작하면서 일정한 온도를 유지’하는 그래프를 선택한 예비교사의 비율은 6.2%로 매우 낮았다.

예비교사의 응답에 대한 구체적인 이유를 파악하기 위하여 우선 ‘끓기 시작하면서 온도가 증가하다가 일정’해지는 온도변화 그래프를 선택한 46명의 예비교사의 응답 이유를 분석하여 네 개의 유형으로 나누어 제시하였다.

첫 번째 유형은 조성비의 변화로 설명하는 경우로 18명의 예비교사에 해당되었다. 가열할수록 액체상에 에탄올의 조성이 작아지고 물의 조성이 커지기 때문에 점점 끓기가 어려워져서 끓는점이 증가한다는 인식이다. 이는 끓는 과정에서의 조성변화로 인한 용액의 온도변화 혹은 끓는점의 변화에 대한 과학적인 이해가 있다고 할 수 있다. 그러나 조성의 변화가 왜 일어나는지, 온도의 증가가 왜 일어나는지에 대한 예비교사의 설명을 추가적으로 면담하였을 때 몇 가지 대체적 개념이 드러났다.

과학적인 설명에 의하면, 에탄올과 물이 모두 기화되는데 휘발성이 높은 성분의 비율이 액체상에서보다 증기상에서 증가하기 때문에 액체상에는 휘발성이 낮은 물의 비율이 점점 증가한다고 볼 수 있다. 그러나 예비교사 7의 경우, 용액에서 물의 비율이 증가하는 이유를 끓기 시

**Table 3.** Pre-service chemistry teachers’ responses about temperature change of 1:1 ethanol/water mixture

| Graph type | Reason of their choices   | Frequency (%) |
|------------|---|---------------|
|            | Increase of water ratio*  | 18(39.1)      |
|            | During state change of ethanol, water is heated.                      | 10(21.7)      |
|            | Rephrase (no concrete reason)   | 12(26.1)      |
|            | Etc.  | 6(13.0)       |
|            |   | 46(69.2)      |
|            | Temperature is constant during state change of ethanol and water.     | 15(24.6)      |
|            | The mixture become one compound and change states like a pure liquid. | 4(6.2)        |
| Total      |   | 65(100.0)     |

\*Scientific response

작할 때 에탄올만 날아가기 때문이라고 인식하고 있었다. 또한 온도가 올라가는 이유에 대해서는 앞에서 ‘용액이 끓기 시작하는 온도가 78 °C 보다 높은 것을 설명하던 방식’과 같이 물 분자의 방해라는 관점을 제시하였다.

면담자: 왜 온도가 점점 높아진다고 생각했어요?

예비교사 6: 온도가 증가하는 것은 끓으면서 용액이 진해져서 농도가 증가하는 것 같아요.

면담자: 왜 혼합물이 끓기 시작하면서 온도가 점점 높아진다고 생각했어요?

예비교사 7: 그 이유는 에탄올만 날간다고 생각을 해서 물의 비율이 점점 높아진다고 생각을 하고 방해 받는 정도가 더 커질 것이라고 생각했어요.

두 번째 유형은 ‘물의 가열로 인해 온도가 증가’하기 때문에 혼합용액의 온도가 증가한다는 인식으로 10명의 예비교사의 의견에 해당된다. 에탄올이 끓으면서 상태변화로 인해 온도변화가 없지만 물은 상태변화를 하지 않기 때문에 온도가 증가하여 혼합용액의 온도가 증가하는 구간이 나타나고, 물의 끓는점이 되어 다시 일정해진다는 것이다. 이 유형에서도 혼합용액의 끓음 과정에서 100 °C에 도달하기 전에는 에탄올 분자는 끓지만 물은 끓지 않는 상태로 존재한다는 대체적 개념이 면담 과정에서 드러났다. 응답 예시는 다음과 같다.

면담자: 왜 끓기 시작하면서 온도가 높아진다고 생각했어요?

예비교사 5: 에탄올의 상태변화가 일어나고 있잖아요.

근데 물은 상태변화가 안 일어나고 에탄올만 상태변화가 일어나고 물은 액체인 상태로 남아있으니깐 그냥 물에 의해서 온도가 올라간다고 생각을 했어요.

면담자: 왜 온도가 점점 높아지나요?

예비교사 1: 물은 남아 있잖아요. 물은 온도가 올라가는데 에탄올은 끓고, 물은 온도가 올라가는 거죠.

세 번째는 유형은 ‘낮은 온도에서 끓기 시작해서 온도가 올라가다가 에탄올이 다 끓으면 물만 남아 일정해진다’처럼 온도변화 그래프에 대한 재진술 수준의 설명이었다. 이는 혼합용액의 온도변화가 왜 그렇게 나타나는지에 대한 이유를 구체적으로 파악하기 어려운 진술이었다. 기타 의견으로는 ‘끓은 용액이 아니므로 총괄성이 나타나지 않을 것이다’ 등 논리적이지 못한 의견들이 있었다.

한편, 두 개의 일정한 온도 구간을 갖는 그래프를 선택한 예비교사 15명은 모두 ‘에탄올이 먼저 상태변화하고 나중에 끓는점이 높은 물이 상태변화하기 때문에 온도가

일정한 두 개의 구간이 나타난다’고 설명하였다.

에탄올이 끓는 동안 온도가 일정하고 물이 끓는 동안 온도가 일정하다.

78 °C에서 에탄올이 기화되어 날아간 뒤 열이 에탄올의 상태변화에 다 쓰인 뒤 에탄올이 기화되어 사라지면 물의 온도가 올라가다 100 °C에서 물의 상태변화에 열이 사용되어 평형상태를 유지한다고 생각

이들 중 일부는 에탄올이 끓기 시작하는 온도를 78 °C로, 일부는 인력이나 방해 등으로 78 °C보다 높아질 수 있다고 생각하였으나 에탄올이 먼저 끓고, 물이 끓는다는 대체적 개념은 여전히 존재함을 볼 수 있다.

### 액체 혼합물의 끓는점에 대한 인식과 온도변화에 대한 인식과의 관계

Table 4는 예비교사가 예상한 에탄올 수용액의 끓는점과 온도변화 그래프의 관계를 정리한 것이다. 전체적인 빈도를 볼 때 거시적인 관점의 이해에서 예비 화학교사의 인식은 세 가지 양상이 두드러진다.

첫째는 78 °C와 100 °C 사이에서 끓기 시작하고, 점점 온도가 증가한다는 인식으로 43.1%의 예비교사에 해당된다. 이들의 인식은 물과 증기압력의 감소, 물-에탄올의 인력, 에탄올 분자의 방해 등으로 끓는점이 에탄올보다 증가하고, 물의 비율이 높아짐에 따라 같은 이유로 온도가 점점 증가하게 된다는 것이다.

둘째는 78 °C에서 끓기 시작하여 온도가 점점 증가한다는 인식으로 20%의 예비교사에 해당된다. 이들의 인식은 물질의 고유한 성질인 끓는점은 혼합에 의해 변하지 않기 때문에 78 °C에서 끓기 시작하지만 물의 비열에 의해 온도가 증가한다고 생각한다.

셋째는 78 °C에서 끓고 온도가 일정한 두 개의 구간을 갖는다는 인식으로 15.4%의 예비교사에 해당된다. 이들의 인식에는 ‘상태변화 중에는 온도가 일정하다’는 명제와 ‘물질이 혼합되더라도 각각의 고유의 성질을 잃지 않는다’는 두 명제가 바탕이 되어있는 것으로 생각된다.

하지만 이들 모두는 전체적으로 액체 혼합물이 끓을 때, 에탄올 입자가 먼저 끓는 것으로 인식하는 대체적 개념을 보였다. 이는 에탄올 수용액이 하나의 상임에도 불구하고, 에탄올 분자와 물 분자를 분리된 계로 인식함을 의미한다. 또한 이들은 에탄올과 물의 각각의 증기압력의 합이 대기압과 같아지면 끓기 시작한다는 증기압력 관점으로 혼합물의 끓는점을 이해하지 못하고 있다고 판단된다. 1 기압에서 물은 100 °C가 되기 전에도 상태 변화하여 증기

**Table 4.** Relation of boiling point and temperature change about 1:1 ethanol/water mixture in pre-service chemistry teachers' predictions

| Boiling point | Graph Type | Frequency (%) |          |         | Total     |
|---------------|------------|---------------|----------|---------|-----------|
|               |            | Graph 1       | Graph 2  | Graph 3 |           |
| Below 78 °C   |            | 1(1.5)        | 1(1.5)   | -       | 2(3.1)    |
| 78 °C         |            | 13(20.0)      | 10(15.4) | -       | 23(35.4)  |
| 78 °C-100 °C* |            | 28(43.1)      | 4(6.2)   | 2(3.1)  | 34(52.3)  |
| Above 100 °C  |            | 3(4.6)        | 1(1.5)   | 2(3.1)  | 6(9.2)    |
| Total         |            | 46(69.2)      | 15(24.6) | 4(6.2)  | 65(100.0) |

\*Scientific response

압을 가진다는 것과 끓음을 증기압력과 대기압력과의 관계로 인식시킬 필요가 있다.

**액체 혼합물의 끓음에 대한 미시적 관점의 이해**

에탄올 수용액의 끓음과 증발에 대한 미시적 관점의 이해를 알아보기 위하여 에탄올과 물의 입자비를 1:1로 혼합한 용액에 대하여 끓기 시작할 때 용액 내부의 기포 속 입자모형과, 증발할 때 용액 표면 위의 입자 모형을 그리게 하고, 이를 비교 분석하였다. 예비교사의 입자 모형은 5개의 유형으로 분류되었으며, 각 유형에 대한 입자 모형과 모형에 대한 설명 및 응답 빈도를 Table 5에 제시하였다.

에탄올 수용액에서 물과 에탄올의 입자 비율이 같으므로 일정한 온도에서 휘발성이 큰 에탄올의 증기압력이 물의 증기압력보다 크다. 따라서 증발 상황에서 액체 표면 위에는 에탄올 입자가 물 입자보다 많이 존재하게 된다. 한편 용액의 온도가 높아 에탄올과 물의 증기압력의 합이 대기압과 같아지게 되면 두 물질은 용액 내부에서 기화하여 기포를 생성하면서 끓게 된다. 따라서 끓음 상황에서도 에탄올 입자가 물 입자보다 많이 존재한다.

예비교사의 입자 모형 분석 결과, 끓음 상황에서 에탄올과 물을 동시에 존재하게 그린 예비교사는 66.2%이었으며, 이 중 과학적으로 적절한 모형인 에탄올 입자를 많

**Table 5.** Pre-service chemistry teachers' particle models about boiling and evaporation of 1:1 ethanol/water mixture

| Type        | Explanation   | Frequency (%) |             |
|-------------|---|---------------|-------------|
|             |   | Boiling       | Evaporation |
| E>W*        | Ethanol molecules are more than water molecules.                | 30(46.2)      | 42(64.6)    |
| E=W         | The number of ethanol molecules equals that of water molecules. | 8(12.3)       | 43(66.2)    |
| E<W         | Water molecules is more than ethanol molecules.                 | 5(7.7)        | 3(4.6)      |
| E           | Only ethanol molecules exist.                                   | 16(24.6)      | 3(4.6)      |
| W           | Only water molecules exist.                                     | 3(4.6)        | 2(3.1)      |
| No response |   | 3(4.6)        | 2(3.1)      |
| Total       |   | 65(100.0)     |             |

\*Scientific response

게 그런 E>W 유형은 46.2%이었다. 에탄올 입자수와 물 입자수가 같은 E=W 유형, 물 입자가 에탄올 입자보다 많은 E<W 유형은 각각 12.3%, 7.7%이었다. 에탄올만 그런 E 유형은 24.6%로 두 번째로 높은 비율을 나타냈으며, 물 입자만 그런 W 유형과 기타 및 무응답은 4.6%로 비율이 낮았다.

한편, 증발상황에서는 89.2%의 예비교사가 물과 에탄올을 동시에 그렸으며, E>W 유형이 64.6%, E=W 유형이 20.0%, E<W 유형이 4.6%로 끓음 상황에서의 예비교사의 응답 비율보다 높았다. 한편 E 유형은 4.6%로 끓음 상황에서의 E 유형의 빈도(24.6%)에 비해 현저히 낮은 수치를 보였다.

예비교사의 입자 모형에 대해 살펴본 결과 대부분의 예비교사들은 에탄올 수용액의 증발상황에서는 물과 에탄올이 증기 상에 함께 존재한다고 생각하고 있으며, 에탄올 분자의 수가 더 많다(E>W 유형)는 인식이 우세하였고, 그에 대한 이유도 다음과 같이 과학적으로 적절하게 제시하였다.

증발은 끓는점 이하에서도 나타나므로 두 분자 모두 있다. 더 기화가 잘되므로 에탄올 분자가 더 많다.

증발은 두 분자 다 일어나는데 분자 수의 비율은 에탄올 분자가 더 높을 것이다. 같은 온도에서 증기압력이 에탄올이 더 커서

한편 끓음의 경우에는 여러 가지 대체적 개념이 존재하는 것을 볼 수 있었다. 우선 가장 빈도가 높고 과학적으로 적절한 응답인 E>W 유형으로 응답한 경우에도, 일부 예비교사는 ‘에탄올이 먼저 기화’되었고, ‘기화가 되어도 에탄올은 끓은 것이고, 물은 증발한 것’이라는 대체적 개념을 가지고 있었다. 끓음과 증발이 거시적으로는 차이가 있는 현상이지만, 미시적으로는 차이가 없음에도 불구하고 일부 예비교사는 아래의 응답 예시와 같이 미시수준에서 끓는 입자와 증발 입자를 구별하고 있었다.

에탄올이 물보다 더 먼저 기체가 된다.

에탄올이 끓어서 물은 증발하여 에탄올이 더 많다.

또한 몇몇 예비교사는 ‘액체가 끓을 때는 기포에 상대적으로 에탄올 분자가 많지만 물 분자도 포함되어 있다(E>W 유형)’고 하였으나 ‘에탄올과 물과의 인력으로 물 분자가 함께 동반된다’는 진술을 하였다.

용액 속의 에탄올이 먼저 기체가 되어 기포를 형성할 때 에탄올이 둘러싸여 있던 물 분자가 같이 날아가게 된다. 극소량의 물이 달려 올라갈지라도 고려하지 않아도 될

만큼 소량일 것이라고 예상한다.

한편 두 번째 빈도가 높은 응답인 E 유형의 응답자는 에탄올의 끓는점이 물보다 낮기 때문에 에탄올만 상태변화하고 있다고 설명하였다. 이들은 물이 끓는점 이하에서도 증기압이 있어 기화할 수 있음을 인식하지 못하고 있기 때문으로 여겨진다. 이는 거시적인 이해에서 드러난 대체적 개념과 동일하다.

얼마큼 끓었다는 설명이 없어서.. 일단 끓었다면 끓는점이 더 낮은 에탄올만 기포에 있을 것이라고 생각한다. 물이 아직 끓기 전이라면 말이다.

또한 E=W 유형으로 응답한 응답자의 설명은 액체 상태에 있을 때 에탄올과 물이 1:1로 있기 때문에 기체 상태로 될 때도 에탄올과 물이 1:1로 있을 것이라 생각하였다. 이는 액체상의 조성비와 기체상의 조성비가 같지 않음에 대한 이해가 부족한 경우이다. 그 외에 끓음 상황에서 E<W 유형과 W 유형으로 응답한 응답자는 설명이 이해하기 어렵거나 무응답이어서 분석이 어려웠다. 이와 같이 예비 화학교사가 가지는 혼합물의 끓음 현상에 대한 입자적인 이해는 증발에 대한 입자적인 이해에 비해 상대적으로 부족한 것으로 보인다.

### 거시적 이해와 입자 모형과의 관계

이들 입자 모형과 거시적 이해와의 관계를 살펴보기 위하여 입자 모형별로 응답자가 선택한 주요한 그래프 유형에 대하여 빈도수를 구하였다(Table 6). 그 결과 78°C에서 끓기 시작하여 일정한 두 개의 끓는점 구간을 갖는 그래프 유형을 선택한 10명 중 7명이 E 유형의 입자개념을 가지고 있었다. 다음은 이 유형에 해당되는 예비교사 3과 4와의 면담 내용이다. 이들은 에탄올이 먼저 끓고, 따라서 용액이 끓을 때 에탄올 분자만 기포 안에 존재한다는 인식이 있으며, 끓음과 증발의 입자 모형을 다르게 인식하고 있음을 알 수 있다.

면담자: 왜 온도가 일정한 구간이 나타나나요?

예비교사 3: 이거 에탄올의 끓는점이 78도이니깐 에탄올의 끓는점에서 에탄올이 다 끓고, 물의 끓는점보다 낮아서 다 기화하고.....

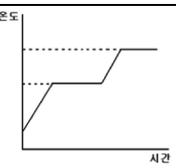
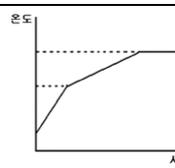
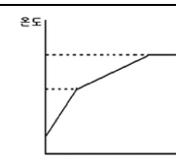
면담자: 액체 혼합물이 끓을 때 기포 안에 입자를 그려 보세요.

예비교사 3: 에탄올만 있는 것 같아요.

면담자: 그러면 증발 상황에는?

예비교사 3: 물이랑 에탄올이랑 기체로 될 것 같아요.

**Table 6.** Relations of particle model during boiling and macroscopic prediction in pre-service chemistry teachers' responses about 1:1 ethanol/water mixture

| Particle model during boiling | Frequency (%)   |   |  | Total    |
|-------------------------------|---|---|--|----------|
|                               | B. P.   | 78 °C   | 78 °C-100 °C*  |          |
| Graph type                    |  |  |  |          |
| E>W*                          | 1(1.5)  | 7(10.8)   | 19(29.2)   | 27(41.5) |
| E=W                           | -   | 1(1.5)  | 3(4.6)   | 4(6.2)   |
| E<W                           | 2(3.1)  | -   | 2(3.1)   | 4(6.2)   |
| E                             | 7(10.8)   | 4(6.2)  | 3(4.6)   | 14(21.5) |
| W                             | -   | -   | 1(1.5)   | 1(1.5)   |
| No response                   | -   | 1(1.5)  | -  | 1(1.5)   |
| Total                         | 10(15.4)  | 13(20.0)  | 28(43.1)   | 51(78.5) |

\*Scientific response

면담자: 액체가 끓으면 액체 내부에서는 기포가 만들어 지는데, 이때 기포 안의 입자를 그려보세요.  
 예비교사 4: 끓는점에서도? 에탄올만 있을 것 같아요.  
 면담자: 왜 에탄올만 있을 것 같아요?  
 예비교사 4: 끓는점에서는 에탄올이 끓으니깐 기포 안에는 에탄올만 있을 것 같아요.  
 면담자: 그럼 끓기 전에 이 액체 표면 위에서는 입자는 어떻게 될 것 같아요?  
 예비교사 4: 물이랑 에탄올이 다 있을 것 같아요. 근데 에탄올이 더 많을 것 같아요.  
 면담자: 왜 에탄올이 더 많을 것 같아요?  
 예비교사 4: 에탄올이 물보다 증발을 더 잘하니깐요.

어느 정도 있을 것 같아요.  
 면담자: 왜 그렇게 생각했어요?  
 예비교사 5: 에탄올이 날아가는데, 이 때 표면에 섞여 있는 몇 개의 물 분자도 같이 날아갈 것 같아서요.  
 면담자: 끓기 시작할 때 기포 안의 분자 움직임은 어떻게 될까요?  
 예비교사 6: 에탄올은 끓고 물은 증발하는 것이 있을 것 같아요. 액체 혼합물이 끓을 때 기포 안에 에탄올하고 물이 있는데, 에탄올은 끓은 거고, 물은 끓는 건 아니구요. 그냥 증발하는 걸로 생각을 했어요.

### 결론 및 제언

한편 78-100 °C에서 끓기 시작하여 끓는점이 점점 증가하는 구간을 갖는 그래프를 선택한 예비교사 28명 중에서는 대체로 끓을 때 기포에 물과 에탄올이 함께 존재하며, 에탄올의 입자수가 더 많다(E>W유형)고 한 응답자가 19명으로 가장 비율이 높았다. 이들은 앞에서 지적한 것처럼 그 이유가 증발에서와 같이 에탄올이 더 잘 기화한다는 맥락으로 이해하는 예비교사도 있었으나, 에탄올 분자가 끌고 올라간다거나, 에탄올은 끓은 분자, 물은 증발한 분자라는 인식 등 대체적 개념이 존재하고 있다. 다음은 이러한 인식을 가진 예비교사 5와 예비교사 6과의 면담 내용이다.

면담자: 액체가 끓을 때는 액체 내부에서는 기포가 만들어 지는데, 이때 기포 안의 입자 움직임을 그려보세요.  
 예비교사 5: 에탄올이 상대적으로 많을 것 같고, 물 분자도

본 연구에서는 액체 혼합물의 끓음에 대한 예비 화학교사의 인식을 알아보기 위하여 65명의 예비 화학교사를 대상으로 에탄올 수용액의 끓는점과 가열 곡선 유형, 용액이 끓을 때의 기포 속 입자 모형 등에 대한 설문조사를 실시하였으며, 이 중 9명을 면담하였다. 설문자료와 면담 자료를 분석하여 얻은 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 에탄올 수용액의 끓는점에 대한 예비 화학교사의 예상은 두 유형이 대표적이다. 78~100 °C에서 끓는다고 생각하는 예비교사는 끓을 때 에탄올 분자가 물 분자와의 인력이나 진로 방해 등을 통해 순수한 에탄올의 끓는점보다 높아진다고 생각하는 경우가 많았다. 또한 에탄올 수용액의 끓는점이 78 °C라고 인식하는 예비교사들은 끓는점은 물질의 고유성질이므로 혼합물이 되어도 변하지 않는다고 생각하였다.

둘째, 액체 혼합물의 가열 시 온도변화에 대해서도 두

가지의 대표적인 인식이 있었다. 우선 액체 혼합물이 끓기 시작하면서 온도가 증가한다고 생각하는 예비교사는 에탄올이 끓으면서, 물의 비율이 높아져서 점점 끓는점이 증가하게 된다고 생각하거나 에탄올은 상태변화 하지만 액체로 남아있는 물이 열에너지를 흡수하여 온도가 증가한다고 생각하였다. 한편 상당수의 예비교사는 두 개의 일정한 온도 구간이 나타난다는 응답을 하였는데, 이들은 끓는점이 낮은 에탄올이 먼저 상태변화하고, 온도가 증가하다가 물이 상태변화 한다고 생각하였다.

셋째, 액체 혼합물이 끓기 시작할 때 기포 속의 입자 모형을 분석한 결과, 증발 상황에서는 대부분의 예비 화학교사가 기체상에 물과 에탄올이 동시에 존재하는 모형을 그렸으나, 끓음 상황에서는 기체상에 에탄올만 존재하는 모형을 그리는 비율이 증가하였다.

결과를 바탕으로 예비 화학교사가 액체 혼합물의 끓음에 대해 갖고 있는 인식에 대하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 예비 화학교사는 휘발성 액체 혼합물의 각 성분은 각기 다른 온도에서 끓는다는 대체적 개념을 갖고 있었다. 즉, 끓는점이 낮은 에탄올이 먼저 끓어 나오고 물은 나중에 끓는다고 생각하고 있었다. 이를 바탕으로 또 다른 대체적 개념이 더하여져서 끓기 시작하는 온도와 가열곡선의 형태에 대한 예측은 다양한 양상으로 나타났다. 이러한 인식의 원인은 이전 교육과정에서 학습한 에탄올의 분별증류 개념의 영향도 있을 것이라고 생각된다. 에탄올의 분별증류는 중등 교육과정의 ‘혼합물의 분리’에서 실험과 함께 제시되고 있으며, 대학교육에서도 일반화학과 유기화학 과목에서 실험과 원리학습이 강조되고 있어, 예비교사들이 에탄올 수용액의 끓음 상황을 분별증류 상황으로 간주하기 쉬울 것이다. 또한 분별증류 상황에서도 순수한 에탄올만 분리되는 것이 아님에도 불구하고, 이를 에탄올이 분리되고, 물이 분리되는 것으로 중등학교에서 단순하게 배웠을 가능성이 있다. 이는 추후 연구로 확인할 필요가 있을 것이다.

둘째, 예비 화학교사는 휘발성 혼합액체의 미시적인 입자모형에 증발과 끓음의 거시적 관점을 적용하는 경향이 있었다. 즉, 끓음 시 발생하는 기포 안에 끓은 에탄올 분자와 증발한 물 분자가 존재한다고 하였다. 증발과 끓음은 거시적 현상으로 기화의 위치, 기포의 유무 등으로 구별되지만, 미시적으로는 둘 다 액체 입자가 기체 입자가 되는 현상으로 끓은 입자와 증발된 입자를 구별할 수 없다. 이러한 예비교사의 인식의 개선을 위해서는 거시적 현상을 미시적 관점과 연결하여 설명할 필요가 있다.

셋째, 대부분의 예비 화학교사들은 끓음을 증기압력 관점으로 설명하지 않는 경향을 보였다. 증기압력은 끓음을 설명하기 위해 필수적인 개념이지만,<sup>6</sup> 예비교사가 이해

하기 어려운 개념 중 하나이다.<sup>16</sup> 끓는다는 것은 증기압력이 대기압과 같아지면서 일어나는 현상이라는 것, 끓는점이 하에서도 증기압력이 있고, 따라서 액체 혼합물의 전체 증기압력은 각 휘발성 물질의 증기압력의 합으로 나타난다는 명제를 바탕으로 액체 혼합물의 끓음이 이해되도록 할 필요가 있다.

액체 혼합물의 끓음에 대한 예비교사의 이해를 개선하기 위하여 다음을 제안한다. 첫째, 액체혼합물의 끓음에 대한 인식을 개선할 탐구 자료의 개발이 필요하다. 예비교사는 대학 교육과정의 일반화학과 물리화학을 이수하는 과정에서 액체 혼합물의 끓음에 대해 학습하게 되는데 이 때 액체 혼합물의 끓음에 대한 탐구 자료를 개발하여 예비교사 교육에 활용하면 예비 화학교사의 이해와 흥미를 높이는 데 도움이 될 것이다. 액체 혼합물의 끓는점이나 온도변화를 예상해보게 하고, 시범실험이나 실험을 통해 실제 용액의 끓음 현상을 접하고, 학생들의 개념변화를 유도할 활동을 제시하면 좋을 것이다. 여기에 액체 혼합물의 끓는점을 액체 증기압력 관점으로 생각해보는 과정을 포함할 것을 제안한다.

둘째, 예비교사 교육에서 액체 혼합물의 끓음에 대한 학습을 할 때, 입자적인 관점으로 현상을 이해할 수 있도록 도와주어야 한다. 분자는 눈으로 보이지 않기 때문에, 예비 화학교사들의 이해가 어렵고 대체적 개념을 형성하기 쉽다. 따라서 입자 모형을 이용한 교수학습 자료, 활동지를 통해 예비교사가 액체 혼합물 끓음 같은 거시적인 현상에 대해서 입자적인 관점으로 생각해볼 수 있게 도울 필요가 있다.

셋째, 휘발성 액체 혼합물의 끓음 현상은 라울의 법칙, 휘발성 혼합액체의 상평형도, 불변끓음 혼합물 등의 개념과 관련된다. 본 연구에서는 학년별 인식의 차이를 분석하지 못한 한계가 있다. 후속 연구를 통해 학년에 따른 차이와 관련 개념과의 연계를 살펴본다면 예비 화학교사를 포함한 화학을 전공하는 대학생을 위한 교수전략을 구성함에 있어 더 많은 정보를 제공할 수 있을 것이라 여겨진다.

**Acknowledgments.** 2013년도 강원대학교 학술연구조성비로 연구하였음(과제번호-120131860).

## REFERENCES

1. Yoon, H. S.; Jeong D. H. *J. Korean Assoc. Sci. Edu.* **2006**, *26*, 805.
2. Ministry of Education Science and Technology, *2009 revised science curriculum (Ministry of Education, Science and Technology Announcement No. 2011-361)*; Seoul, Korea, 2011.

3. Brady, J. E.; Jespersen N. D.; Hyslop, A. *Chemistry: the molecular nature of matter*; Wiley: New York, USA, 2012.
4. Atkins, P.; Paula. J. *Physical Chemistry*; Oxford University Press: Oxford; UK, 2010.
5. Engel, T.; Reid. P. *Physical Chemistry*; Prentice Hall: Edinburgh Gate, UK, 2012.
6. Osborne R. J.; Cosgrove, M. M. *J. Res. Sci. Teach.* **1983**, 28, 363.
7. Johnson, P. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, 20, 567.
8. Cho, M. J. Survey of high school students and chemistry teacher's perceptions on evaporation and boiling, Master's Dissertation, Korea National University of Education Graduate School of Education, Chung-Buk, Korea, 2004.
9. Cho, B. K.; Ko, Y. M.; Kim, H. N.; Paik, S. H.; Park, J. W.; Park, J. O.; Lim, M. H. *J. Korean Assoc. Sci. Edu.* **2002**, 22, 204.
10. Kim, Y. A. Survey of elementary school teachers' perceptions on evaporation and boiling, and analysis of textbooks, Master's Dissertation, Korea National University of Education Graduate School of Education, Chung-Buk, Korea, 2013.
11. Jeon, J. S. Middle school students' concepts investigation on evaporation and boiling, Master's Dissertation, Korea National University of Education Graduate School of Education, Chung-Buk, Korea, 2003.
12. Canpolat, N. *Int. J. Sci. Educ.* **2006**, 28, 1757.
13. Canpolat, N.; Pinarbasi, T.; Sozbilir, M. *J. Chem. Educ.* **2006**, 83, 1237.
14. Kim, S. Case study on the relation between pre-serviced teachers' understanding of "dilute solutions properties" and the curriculum in the college of education, Master's Dissertation, Korea National University of Education Graduate School of Education, Chung-Buk, Korea, 2008.
15. Pinarbasi, T.; Sozbilir, M.; Canpolat, N. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, 10, 273.
16. Lee, E. S. Survey of teachers and pre-teachers' understanding of colligative properties in high school chemistry II, Master's Dissertation, Korea National University of Education Graduate School of Education, Chung-Buk, Korea, 2007.
17. Kim, S.; Lee, E.; Paik S. *J. Korean Assoc. Sci. Edu.* **2008**, 28, 291.
18. Ko, K. Y. Research on teaching guidance for vapour-pressure lowering, boiling-point elevation, freezing-point depression of dilute solution using entropy, Master's Dissertation, Yonsei University of Graduate School of Education, Seoul, Korea, 2014.
19. Lee, M. W.; Kwon, S. M.; Kim, K. S.; Lee, H. N.; Chae K. P.; Kwak, Y. J.; Kang, J. H.; Ha, Y. K.; Cho, E. M.; Cho, H. S.; Kwon, Y. J.; Lee E. S.; Kim T. J. *Middle School Science 2*; Kumsung Press; Seoul, Korea, 2012.
20. Lee, S. I.; Cho, B. J.; Jeon, B. H.; Nam, K. S.; Hwang, S. Y.; Kim, Y. H.; Uh, J. Y.; Noh, D. K.; Kim, K. T.; Baik, S. Y.; Kim, C. W.; Kim, Y. K.; Park, R. W.; Shin, S. J.; Kwon, O. S. *Middle School Science 2*, Jihak-sa., Seoul, Korea, 2012.
21. Park, H. S.; Jeong, D. Y.; Shin H. S.; Kim, J. H.; Huh, S. I.; Cho, S. E.; Yoo, J. N.; Lee, H. W.; Kim, J. Y.; Lee, S. J.; Choi, B. S.; Kang S. C.; Oh, S. H. *Kyohak-sa. Middle School Science 2*, Jihak-sa. Seoul, Korea, 2012.
22. Shin, Y. J.; Jin M. S.; Han, M. J.; Lee, K. Y.; Jeong, E. Y.; Kang, J. C.; Kang, S. J.; Son, J. W.; Bae, Y. H.; Lee, B. W.; Lim, H. Y.; Ha, E. S. *Middle School Science 2*, Chunjae Textbook, Seoul, Korea, 2012.
23. Haynes, W. M. *CRC Handbook of Chemistry and Physics*; Taylor & Francis: London UK, 1963.
24. [http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol\\_%28data\\_page%29#Properties\\_of\\_aqueous\\_ethanol\\_solutions](http://en.wikipedia.org/wiki/Ethanol_%28data_page%29#Properties_of_aqueous_ethanol_solutions).