# 어는점 내림 현상에 대한 교과서 내용 및 중등 과학 교사들의 개념 분석

하성자 · 김범기 · 백성혜
(한국교원대학교)

# The Analysis of Textbook Contents and Science Teachers' Conceptions on Freezing Point Depression Phenomenon

Seong-Ja Ha · Bumgi Kim · Seoung-Hey Paik
(Korea National University of Education)

## ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate explanations of science textbooks and science teachers' conceptions related to freezing point depression phenomenon. Seven kinds of middle school science textbooks and five kinds of high school chemistryII textbooks were analyzed for the purpose. The teachers' conceptions were searched by a questionnaire developed in this study. The subjects were 146 science teachers. The explanation types of science textbooks were divided into two; 'Description of the phenomenon' and 'Vapor pressure lowering'. The explanations in most of middle school science textbooks and high school chemistryII textbooks belong to 'Description of the phenomenon' and there was no explanation of the reason. The graphs related to depression of freezing point were diverse, too. Most of the science teachers also did not have scientific conception. The percentage of the teachers who thought that the cause of freezing point depression was blocking of solute in solution was high. But the teacher could not find meaningful relation the 'Blocking of solute' explanation represented for elevation of boiling point with depression of freezing point. It is insisted that entropy concept is need to explain depression of freezing point phenomenon in this study.

**Key words:** middle school, high school, science textbook, science teacher, misconception, freezing point depression, explanation type

## Ⅰ. 연구의 목적 및 필요성

과학 교육 목표 중의 하나는 학생들에게 자연에 대한 의미 있는 이해를 발달시키는 기회를 제공하는 것이다 (Tomanek, 1994). 이러한 측면에서 볼 때, 과학의 발달은 자연에 대한 의미 있는 이해를 도울 수 있는 개념의 발달이라고도 말할 수 있다. 이러한 개념 중 에너지와 관련된 개념이 많이 있다. 그래서 과학 교과서에서 설명되는 많은 자연 현상들이 전통적으로 에너지의 측면에서 기술되어왔다. 그러나 에너지 뿐 아니라 엔트로피 역시 자연 현상의 이해에 중요한 개념이라고 말할 수 있다. 20세기에 이르러서야 비로소 과학의 현상을 설명하는데 적용되어 온 엔트로피의 개념은 온도, 상변화, 진공 중으로의 기체 확산, 이상적인 유체의 혼합, 총괄성으로 끓는점 오름과

*2004.3.10(접수) 2004.4.23(1심통과) 2004.12.6(최종통과)
Corresponding author : 백성혜(shpaik@knue.ac.kr)

어는점 내림, 삼투압 등 매우 많은 자연 현상을 설명하기 위하여 필요한 개념이다. 이러한 엔트로피의 개념은 확률과 관련된 개념이므로 이미 학생들은 초등학교 수학시간에서부터 이와 관련된 개념을 형성할 기회를 가진다. 7차 초등학교 교육과정의 수학을 살펴보면, 확률과 통계라는 영역이 명시되어 있고 6단계에서 경우의 수와 확률을 배우며, 8단계부터 확률의 뜻과 기본 성질, 확률의 계산 등을 다룬다. 그럼에도 불구하고 아직까지 과학교육과정에서 다루는 일부 자연 현상에 대한 설명에서는 엔트로피의 개념을 도입하지 않고 있다. 그리고 에너지의 관점으로만 자연현상을 설명하기 때문에 왜 이러한 일이 일어나는지를 명확하게 설명하는데 한계가 따른다.

그 중에서도 특히 어는점 내림 현상을 제대로 설명하기 위해서는 에너지 관점 및 엔트로피 관점이 모두 필요하다. 그러나 지금까지 전통적으로 어는점 내림 현상은 끓는점 오름 현상과 연결하여 증기압 개념을 입자 운동 에너지의 관점에서 설명하는 것이 보편적이었다. 증기압이란 기체 상태를 고려해야 하므로 액체와 기체의 상전이 과정인 끓음에서는 가능한 개념이지만, 고체와 액체의 상전이 과정인 얼음에서는 불필요한 개념이다. 따라서 끓는점 오름과 어는점 내림을 같은 증기압 개념으로 설명하는 데에는 무리가 따른다.

이 연구에서는 초등학교와 중학교, 고등학교 과학교과서에서 제시되는 어는점 내림 현상에 대한 설명 유형을 살펴보고자 한다. 그리고 과학 교사들을 대상으로 이러한 설명 방식에 대한 개념의 이해를 조사함으로써 설명방식에 문제점이 없는지 살펴보고자 한다. 교과서의 설명을 교사들이 제대로 이해하지 못한다면 학생들 또한 이를 제대로 이해하기 어려울 것이다. 만약 학생들을 중심으로만 개념의 이해 정도를 파악한다면 이는 학생들이 가지는 인지 수준이나 학습 동기 등 또 다른 요인으로 문제점이 해석될 가능성이 있으므로 이 연구에서는 교사들을 중심으로 이들이 전달하고자 하는 자연 현상에 대한 개념 이해를 살펴보고자 하였다.

## Ⅱ. 엔트로피 개념의 필요성에 관련된 선행연구 고찰

소금과 같은 용질이 녹아 있는 용액의 끓는점이 순수한 용매의 끓는점보다 높다. 이와 같은 현상을 끓는점 오름이라 한다. 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮다. 이와 같은 현상을 어는점 내림이라 한다. 이런 현상은 관찰을 통해 쉽게 확인할 수 있다. 그러나 왜 이러한 현상이 일어나는지를 설명할 때 에너지의 관점만 적용하면 설명이 용이하지 않다.

미시 상태의 관점으로 보면, 용매에 해당하는 한 액체 물질에 용질에 해당하는 다른 물질이 섞었을 때, 엔트로피는 순수한 용매의 엔트로피보다 높다. 액체가 고체로 변하는 응고 현상은 액체의 무질서가 고체의 질서정연함으로 변하는 것이다. 순수한 용매는 정상적인 어는점에서 규칙적인 구조를 갖는다. 용질이 존재하면 본래의 순수 용매보다 더 무질서하게 되므로 엔트로피가 높아지기 때문에 이를 좀더 정돈된 형태로 바꾸어 주기 위해서는 온도가 더욱 낮아져야 한다. 즉, 용질의 존재로 인해 어는 온도가 더욱 낮아지게 된다.

이러한 엔트로피의 개념은 커피에 설탕이 녹아 들어가는 현상으로부터 우주의 운명까지 아주 넓은 범위의 자연 현상을 설명해 준다(Friedman, 2001). Strong(1972)은 엔트로피가 주요한 과학적 개념이며, 모든 물질적 변화에 기여하고, 제안된 변화가 가능한지를 예측할 수 있게 해주며, 각각의 변화와 주변에 대한 영향을 연결시켜 준다고 하였다. Lambert(2002)는 엔트로피 개념으로 온도, 상변화, 진공 중으로의 기체 확산, 이상적인 유체의 혼합, 총괄성으로 끓는점 오름과 어는점 내림, 삼투압 등을, 그리고 Craig(1988)는 화학반응, 열기관, 이상적인 용매에서 고체의 용해, 삼투압 등을 설명할 수 있다고 하였으며, 김주현 등(2000)은 용해, 확산과 분출의 구분에 엔프로피의 개념이 필요하다고 주장하였다.

따라서 이 개념을 과학교과서에 도입하는 것은 매우 중요함에도 불구하고 우리나라 7차 과학교육과정에서 이 개념은 고등학교 물리 Ⅱ 교과서에야 비로소 제시된다. 그리고 엔트로피의 개념을 필요로 하는 삼투 현상, 어는점 내림 현상, 종의 다양성, 유전 현상 등과 같은 자연 현상을 초등학교부터 고등학교까지 화학, 생물 등 과학의 다른 영역에 해당하는 교과서에서 엔트로피의 개념 없이 설명한다.

고등학교 물리 Ⅱ 과목은 선택과목이므로 이를 선택하지 않은 대다수의 학생들은 자연 현상을 설명하는 과학교과서에서 엔트로피 개념의 도입에 대해 제대로 배워보지 못하고 교육과정을 마치게 되는 것이다. 물론 엔트로피의 개념은 그리 쉽게 이해되지 않는 면이 있지만, Lambert(2002)는 엔트로피라는 개념을 정성적으로 간단

하게 제시하면서 자연 현상을 설명하는 것이 필요하다고 주장하였다.

Friedman(2001)은 어느 나이가 되면 엔트로피에 대한 직관적인 이해를 하게 되는지 연구했다. Friedman은 이 연구에서 3살에서 11살 사이의 306명의 아동에게 정리되어 있는 돌들이나 소풍 상자 등을 제시하고 어떤 일이 일어날 수 있는지 예측하도록 하였다. 그러한 다양한 질문 중 하나는 다음과 같다. "미스터 피그가 집 안을 잘 정돈하고 나가면 그 후에 어떤 일들이 일어났다. 가끔은 사람이 왔다가 집안을 돌아보고 가기도 하고, 때로는 개가 와서 뛰어놀다가 가기도 하고, 가끔은 창문으로 바람이 불기도 했다. 미스터 피그의 집안이 어떻게 되었을지 나에게 설명해 보겠니?" 그 결과 4살이라도 엔트로피 법칙과 반대되는 현상에 대해서 민감하게 반응하였으며, 더 성숙한 아동은 일관성 있게 이 법칙을 적용하였으며 그들의 대답을 설명하는데 이것을 사용할 수 있었다.

엔트로피 개념을 정성적으로라도 정확하게 도입하려면 아동들이 원자와 분자 같은 미시적 세계관을 도입해야 한다. 이전의 연구에서는 아동들이 미시적 세계관을 이해하기 위해서는 어느 정도의 발달단계에 도달해야 한다고 주장한다. 하지만 Nakhleh와 Samarapungavan(1999)은 7세부터 10세 사이의 아동들이 물질의 성질에 대해 가지는 사고의 유형을 조사하고, 선행 연구를 인용하여 아이들이 교육적 도움을 적절히 받는다면 복잡하고 추상적인 과학적 사고도 할 수 있다고 제안했다. 그들은 물질의 상태에 대한 거시적인 특성과 미시적인 특성을 학생들이 어떻게 이해하는지 연구한 결과, 이와 관련된 수업에서 아이들이 학습에 어려움을 느끼는 이유는 그들 사고와 논리 발달 단계 때문이 아니라 거시적 세계관에서 미시적 세계관으로 관점을 바꾸는 존재론적인 전환의 문제 때문이라고 하였다.

이에 반해, 이러한 설명을 배우지 못한 학생들은 학년이 올라가도 이에 관련된 과학적 개념을 가지지 못하는 것으로 나타났다. 노태희 등(1995)은 고등학교 1, 2, 3학년 학생들을 대상으로 기체 상태에 대한 개념 이해도를 조사한 연구에서 분자 운동의 관점을 가진 학생은 학년이 올라감에 따라 증가하지만, 기체 내에서 분자가 균일하게 분포한다고 보는 학생의 비율은 학년이 올라감에 따라 오히려 감소하는 것을 관찰하였다. 조정일 등(1994)은 엔트로피와 관련이 있는 확산 현상에 대한 학생들의 이해를 알아보았는데, 조사 대상 학생 중 14%만이 확산 개념을 이해하고 있었으며, 확산을 통한 입자의 균일한 분포에 대한 이해를 하고 있는 학생은 8%에 불과하였다고 보고하였다.

## Ⅲ. 연구 방법

### 1. 교과서 분석

7차 교육과정에 근거하여 개발된 중학교와 고등학교 과학교과서 중에서 중학교 2학년 과학교과서와 고등학교 화학Ⅱ 교과서에서 어는점 내림에 관련된 내용을 다루므로 이를 중심으로 분석하였다. 분석에 사용된 중학교 교과서는 금성출판사(이성묵 등 12인, 2002), 교학사(정완호 등 9인, 2002), 대일도서(최돈형 등 11인, 2002), 동화사(박봉선 등 10인, 2002), 디딤돌(김찬종 등 11인, 2002), 지학사(이광만 등 16인, 2002), 블랙박스(김정률 등 9인, 2002) 등에서 출간한 것을 대상으로 하였다. 각 교과서에 대한 기호는 중학교의 약자인 M 뒤에 나열된 순서로 번호를 부여하였다.

고등학교 화학Ⅱ 교과서는 금성출판사(서정쌍 등 6인, 2003), 대한교과서(이덕환 등 7인, 2003), 중앙교육진흥연구소(우규환 등 5인, 2003), 청문각(여수동 등 7인, 2003), 천재교육(김희준 등 5인, 2003) 등에서 출간된 것을 분석하였다. 교과서의 기호는 고등학교의 약자인 H 뒤에 나열된 순서로 번호를 부여하였다.

### 2. 연구 대상

어는점 내림에 관련된 설문에 응답한 과학 교사들이 근무하는 중·고등학교는 전국에 분포하고 있다. 이들 중 70명은 중소도시에 위치한 한 대학원에서 과학교육 관련 석사과정을 이수한 현직 과학 교사들이었다. 연구자가 이들에게 전화로 연락하여 연구의 취지 및 설문에 대한 양해를 구했으며, 이들이 주변의 중등학교에 근무하는 동료 과학 교사들에게도 설문에 대한 양해 및 허락을 구하여 동료 과학 교사 76명에 대한 허락도 받았다. 따라서 연구 대상자 총 인원수는 146명이다. 연구자는 설문에 대한 취지를 이해하고 양해를 얻은 과학 교사들에게 설문지를 우편으로 보내고 이들의 응답 결과를 우편으로 받았다. 연구 대상 교사들의 전공 및 근무 학교에 대한 자료는 Table 1에 제시하였다.

**Table 1.** The characteristics of science teachers number(%)

| Major | Middle school | High school | Total |
|---|---|---|---|
| Physics | 28(19.2) | 18(12.3) | 46(31.5) |
| Chemistry | 19(13.0) | 29(19.9) | 48(32.9) |
| Biology | 15(10.3) | 15(10.3) | 30(20.5) |
| Earth Science | 10( 6.8) | 12( 8.2) | 22(15.1) |
| Total | 72(49.3) | 74(50.7) | 146(100) |

비록 중학교 2학년과 고등학교 화학II 교과서에서만 어는점 내림을 다루지만, 화학 전공교사만을 연구 대상으로 하지 않은 이유는 중등과학 교사들이 중학교로 발령을 받게 되면 자신의 전공과 관계없이 어느 때라도 이 내용을 다룰 가능성이 있기 때문이다. 따라서 사범대학교에서 일반화학 수준까지는 모두 필수 과목으로 이수하였으므로 모든 과학 전공 교사들을 대상으로 이들의 어는점 내림 현상에 관련된 개념을 알아보았다.

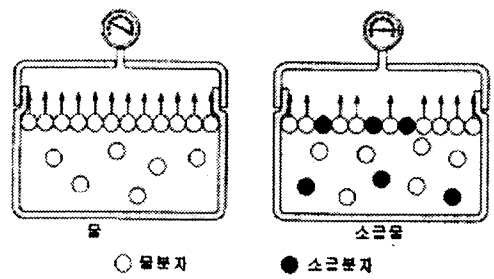
## 3. 검사 도구

교과서에서는 보편적으로 끓는점 오름을 용질이 용액의 증발을 방해해서 생긴 증기압 내림 현상으로 설명하고 있다. 그리고 '유사한 현상'으로 어는점 내림을 설명한다. 따라서 과학 교사들은 이 현상을 어떻게 이해하고 있는지 서술형 문항의 설문으로 교사들의 생각을 살펴보았다. 교사들의 어는점 내림에 대한 개념을 조사하기 위해 개발된 검사 문항은 다음과 같다.

---

대부분의 화학 교과서에서 끓는점 오름과 어는점 내림을 다음과 같이 설명하고 있습니다.

> 소금물에서는 아래 그림과 같이 **소금이 물의 증발을 방해하기 때문에** 소금물의 증기 압력은 **순수한 물의 증기 압력보다 작아진다**. 따라서 소금물을 끓게 하려면 순수한 물일 때보다 더 높은 온도까지 올려야 끓는다. 이때, 순수한 물의 끓는점과 소금물의 끓는점의 차이를 **끓는점 오름**이라고 한다. **마찬가지로** 소금물의 어는점은 순수한 물의 어는점보다 낮다. 이 차이를 **어는점 내림**이라고 한다.




끓는점 오름을 대부분의 교과서에서 위와 같이 **용질(소금)의 방해현상으로 인한 증기압 내림 현상**으로 설명하고 있다. **같은 원리로 어는점 내림**을 설명할 수 있을까? 어는점 내림 현상이 나타나는 원인을 설명해 보세요.

---

이 검사지는 과학교육 전문가 2인과 과학 교사 1인으로 구성된 연구자들에 의해 작성되었으며, 과학교육을 전공하는 석 · 박사 과정 과학 교사 10명의 협의 과정을 거쳐 내용 타당도를 검증 받았다.

# Ⅳ. 연구 결과 및 논의

## 1. 교과서의 설명 유형 분석

어는점 내림에 관한 교과서의 설명 유형은 크게 두 가지로 분석되었다. 하나는 이유에 대한 설명 없이 용액은 순수한 용매보다 더 낮은 온도에서 언다고 현상을 묘사하는 경우이다. 그에 대한 예는 다음과 같다.

> 용질이 녹아 있는 용액의 어는점은 순수한 용매의 어는점보다 낮으며, 이러한 현상을 어는점 내림이라고 한다.
> (중앙교육진흥연구소(주). 화학II 교과서)

다른 설명 유형은 증기 압력이 낮아지는 개념으로 어는점 내림을 설명하는 경우이다. 이에 해당하는 교과서 설명의 예는 다음과 같다.

> 용액을 냉각시킬 때 순수한 용매가 먼저 결정이 되므로 용액은 점점 진해지고, 이 때 증기 압력이 낮아져서 결정이 생기는 온도도 낮아진다. 따라서 용액의 어는점은 용매의 어는점보다 낮은 것을 볼 수 있다. 이 현상을 어는점 내림이라고 한다. (청문각, 화학Ⅲ 교과서)

이와 같은 두 가지 유형으로 중학교 2학년 과학교과서와 고등학교 화학Ⅱ 교과서를 분석한 결과를 Table 2에 제시하였다.

모든 중학교 2학년 과학교과서에서 어는점 내림은 이유에 대한 설명 없이, '혼합물은 순물질과는 달리 끓는점은 더 높아지고 어는점은 더 낮아진다.'고 단순히 현상을 묘사하는 수준으로 제시하였다.

분석한 고등학교 화학Ⅱ 교과서 중 3종의 경우에도 중학교 2학년 교과서의 수준과 동일하게 어는점 내림에 대한 설명을 하였다. 그리고 단지 2종의 화학Ⅱ 교과서에서 용액의 증기압 내림으로 어는점 내림을 설명하였다. 이 경우에는 보편적으로 끓는점 오름 현상을 먼저 설명한 다음, 어는점 내림은 끓는점 오름과 같은 이유로 일어난다고 설명하였다.

그런데 끓음은 액체가 기체로 상태 변화하는 현상이므로 증기압으로 설명이 가능하지만, 어는 과정은 액체가 고체로 상태 변화하는 것이다. 이때 기체의 증기압이 어떤 작용을 하는지 설명이 명확하지 않다. 분석한 어느 교과서에서도 어는점 내림에 대한 구체적인 설명은 제시되지 않았다. Franzen(1988)도 교육과정에서 어는점 내림이 현상학적으로만 가르쳐지고 있는 점을 지적하였다.

특히 끓는점 오름을 설명할 때 증기압이 변화하는 이유는 용액 중에 포함된 용질이 용액의 표면을 막아서 용매 입자가 공기 중으로 나가 기체가 되려는 것을 방해하기 때문에 증기압이 내려간다고 설명하는데, 용액이 액체에서 고체로 변할 때 용질 입자가 어떠한 작용을 해서 용액의 증기압을 내리게 하는지에 대해서는 설명이 없다.

교과서에서 끓는점 오름과 어는점 내림 현상을 설명하기 위해 제시하는 상평형 그래프는 Fig. 1과 같이 세 종류이다. 세 그래프는 모두 끓는점 오름은 C → D로 변화되는 것으로 동일하다. 즉 압력이 1기압일 때, 용매의 끓는점은 C 위치의 온도이지만, 용액의 끓는점은 D 위치의 온도로 더 높아지는 것이다.

그렇지만 어는점 내림에 대한 그래프는 교과서마다 약간씩 다르다. (가) 그래프에서는 어는점 내림을 B → A로 보고 있으며, (나) 그래프에서는 어는점 내림을 E → F 로 보고 있고, (다) 그래프에서는 B → F 로 보고 있다.

이렇게 교과서마다 어는점 내림에 대한 설명이 다른 것은 교과서의 저자들 역시 이 개념에 대해 명확한 이해를 가지고 있지 못하다는 가정을 가능하게 한다.

Fig. 1에서 (가)와 (나)의 경우에 그래프의 세로축은 압력으로 표시되어 있고, (다)의 경우에는 기압으로 표시되어 있다. 그런데 압력이나 기압의 의미가 액체에서 고체로 상전이하는 과정에서 무엇을 의미하는가를 설명하는 내용에서 통일된 시각을 찾기 어렵다. 예를 들어 (가)에서 세로축의 압력은 용매의 경우나 용액의 경우에 일정하다고 가정하고 용매의 경우에는 B점에 해당하는 온도에서, 용액의 경우에는 A점에 해당하는 온도에서 언다고 어는점 내림을 설명한다. 그러나 (나)와 (다)의 경우에는 용매의 경우와 같은 압력 혹은 기압에 해당하는 A점이 표시되어 있지 않고, 용액의 삼중점에 해당하는 F점에서의 온도로 변한다고 설명한다. 따라서 (나)와 (다)의 경우에는 용액이 얼 때, 온도 뿐 아니라 압력 혹은 기압도 용매의 경우와는 다르게 변한다고 해석하여야 한다.

이러한 개념 설명의 모호성을 해결하기 위해서는 선행연구(Craig, 1988; Lambert, 2002; Strong, 1972)에서 주장한 바와 같이 어는점 내림 현상을 엔트로피의 과정으로 설명할 필요가 있다. 그러나 이 연구에서 분석한 중학교와 고등학교 화학Ⅱ 교과서 중에서 이러한 과정의 설명이 제시된 경우는 없었다.

**Table 2.** Explanation types of science textbooks related to freezing point depression phenomenon

| Type of explanation | Middle school | High school |
|---|---|---|
| Description of the phenomenon | M1~M7 | H2, H3, H5 |
| Vapor pressure lowering | - | H1, H4 |

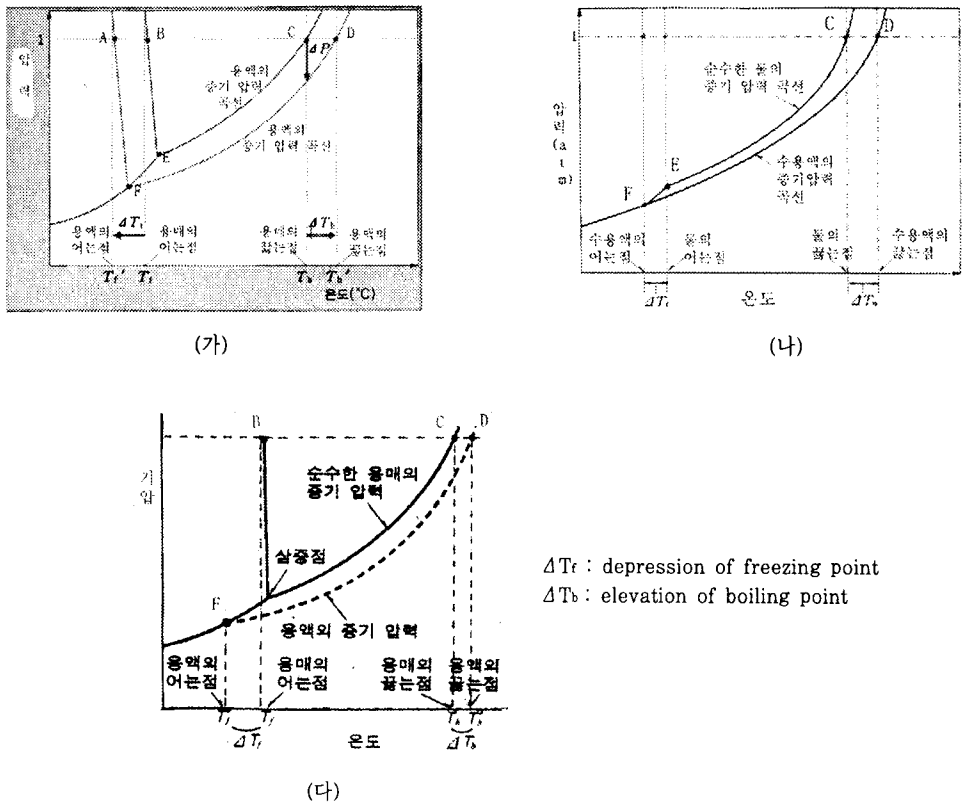



Fig. 1. The graphs related to elevation of boiling point and depression of freezing point

## 2. 교사들의 어는점 내림에 대한 이해

중등학교 과학 교사들을 대상으로 어는점 내림 현상이 일어나는 이유를 물어본 서술형 문항의 분석 결과는 Table 3과 같다. 연구 대상을 중학교와 고등학교로 구분하여 분석하였으나, 교사들의 개념 유형의 차이는 나타나지 않았다. 전공에 따른 차이도 역시 나타나지 않았으므로, 전공에 따른 개념 유형의 구분은 제시하지 않았다.

Table 3을 보면, 51.3%의 교사들이 어는점 내림을 명확하게 설명하고 있지 못하였다. 기타 및 무응답의 유형으로 구분한 답변 중에서 기타에 해당하는 답변의 내용은 매우 다양하였으나, 보편적으로 '잘 모르겠지만' 또는 '어렵네요. 등의 표현을 사용하면서 자신의 생각을 명확하게 표현하지 못한 경우였다.

그 다음으로 높은 비율은, 끓는점 오름 현상에서 도입하였던 '용액 표면에 있는 용질이 용매의 기화를 방해하는 현상(Blocking of solute)' 으로 어는점 내림을 설명한 유형이었다. 앞서 분석한 바와 같이, 대부분의 교과서에서

Table 3. The types of science teachers' conceptions related to freezing point depression phenomenon number(%)

| Type of conception | Middle school | High school | Total |
|---|---|---|---|
| Blocking of solute | 29(19.9) | 21(14.4) | 50(34.3) |
| Vapor pressure lowering | 5( 3.4) | 8( 5.5) | 13( 8.9) |
| Description of the phenomenon | 4( 2.7) | 1( 0.7) | 5( 3.4) |
| Entropy | 1( 0.7) | 2( 1.4) | 3( 2.1) |
| The others and no response | 33(22.6) | 42(28.7) | 75(51.3) |

이유를 설명하지 않고 현상을 묘사하거나, 이유를 설명한 경우에는 끓는점 오름 현상을 설명하기 위해 도입한 증기압 내림의 설명을 어는점 내림의 경우에 그대로 도입한 경우뿐이었으므로, 교사들의 개념이 이와 같은 경향을 나타내는 것은 교과서의 서술과 관련이 깊다고 할 수 있다.

용질의 방해 때문에 어는점이 내려간다고 표현한 교사의 응답의 사례를 제시하면 다음과 같다.

> 용질이 녹아 있는 용액의 경우, 용질에 의해 방해를 받기 때문에 표면에 도달하기 어려워 액체가 고체로 되는 속도가 줄어들기 때문이다.

이 설명을 본다면 이러한 응답을 한 교사는 액체가 고체가 되려면 표면에 도달해야 한다고 생각함을 알 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 마찬가지로 액체가 기체가 되기 위해서는 필요한 개념이지만, 액체가 고체가 될 때 이러한 개념을 적용하는 것은 적절한 상황이 아니라고 본다. 액체가 기체로 될 때에는 입자 사이의 인력을 끊고 거리가 멀어져야 하기 때문에 입자의 인력이 가장 약한 액체의 표면에서 기화가 쉽게 일어나지만, 액체가 고체로 될 때에는 인력을 끊는 변화가 아니라 입자의 이동이 줄어들고 단단히 결합하는 과정이 이루어지므로 표면으로 이동하는 과정을 고려할 필요가 없기 때문이다.

같은 유형으로 분류된 다른 교사의 응답을 제시하면 다음과 같다.

> 소금이 물 표면의 응고를 방해하기 때문이다.

이 경우에도 교사는 액체가 고체로 응고할 때 표면에서의 과정이 중요하다고 생각함을 알 수 있다.

입자가 어는 현상을 방해하는 역할을 조금 다르게 해석한 유형의 교사들도 있었다. 그 중 하나는 용질과 용매의 결합에너지의 관점으로 설명한 경우이다. 그 예에 해당하는 응답을 다음에 제시하였다.

> 소금 이온 입자와 물분자 사이의 결합 때문에 기체로 될 때 결합을 끊고, 고체로 될 때에도 결합을 끊는데 전자는 에너지가 필요하고(흡열) 후자는 에너지를 방출(발열)하는 차이이다.

이러한 설명을 한 교사 역시 액체가 기체로 될 경우나 액체가 고체로 될 경우에 모두 결합을 끊어야 한다고 생각함으로써 이 두 상태변화를 구분하지 못하고 있음을 알 수 있다. 이러한 설명에 의하면 소금물은 냉각되면서 에너지를 방출하기 때문에 온도를 낮추기가 순수한 물보다 더 어렵다. 그러나 이 설명은 액체가 고체가 되는 온도가 순수한 물보다 더 낮은 이유와는 관련이 없다. 즉, 어는점 내림을 설명하는 시각이 아니라고 할 수 있다. 결합에너지의 관점에서 설명한 다른 교사의 예는 다음과 같다.

> 용질이 용매를 강하게 잡아당겨 빨리 얼게 되고 따라서 어는점이 낮아진다.

이러한 설명의 경우에 용질은 용매를 잡아당겨 고체로 만들기가 더 쉬우므로 오히려 순수한 용매의 경우보다 더 빨리 얼 수 있다. 이러한 설명은 오히려 어는점이 순수한 용매보다 용액에서 더 높을 때 가능한 이야기라고 본다.

단순히 어는점 내림을 현상적으로 묘사한 교사의 응답 사례는 다음과 같다.

> 물과 소금의 어는점이 달라서 즉, 물은 0℃, 소금은 그 이하 온도가 어는점이라면 0℃가 되어서 소금이 얼지 않아서 어는점 내림 현상이 나타난다.

이러한 설명은 어는점이 용액에서 더 낮은 이유를 설명하는 것은 아니라고 할 수 있다. 과학은 자연에 대한 의미 있는 이해를 돕는 것(Tomanek, 1994)이라고 볼 때, 단순히 자연 현상을 묘사하는 것은 효과적인 과학교육 의 방법이라고 말할 수 없다. '의미 있는 이해'는 자연 현상의 나열과 암기가 아니기 때문이다. 특히 과학을 학생들에게 '의미 있게' 전달해 주어야 하는 과학 교사들이 이러한 수준으로 자연 현상을 이해한다는 것은 문제라고 할 수 있다. 그러나 과학교육과정 및 교과서의 설명 방식과 교사 교육과정 등을 배제하고, 이 문제를 교사의 문제만으로 거론할 수는 없을 것이다.

가장 높은 비율을 차지한 기타 유형의 응답 중에는 분자 운동의 관점으로 이 현상을 설명한 경우도 있었다. 그 예 중 하나를 제시하면 다음과 같다.

> 액체가 고체로 상태변화 하는 것은 분자 운동 상태가 느려지는 것이며 용액 상태가 되어 농도가 높아지면 분자 운동을 감소시키는 것이 힘들기 때문에 어는점이 내려간다.

분자 운동의 관점은 물질의 상태를 설명하기 위하여 7차 교육과정에서는 중학교 1학년부터 제시된다. 따라서 교사나 학생들에게 가장 익숙한 개념에 해당하지만, 이와 같이 분자 운동의 관점으로 어는점 내림 현상을 설명하려면 용질이 분자 운동에 어떠한 영향을 미치는지 알아야 한다. 그러나 과학교육과정을 통해 온도는 단순히 물질의 분자 운동과 관련지어 설명되었다. 따라서 온도가 낮아지면 분자 운동이 감소하는데, 온도가 낮아져도 용질 때문에 분자 운동이 감소되지 않는 이유를 설명하기 어렵다.

그 외에도 기타의 응답으로는 물질의 성질로 생각하는 경우, 평형의 이동으로 생각하는 경우 등이 포함되었다. 물질의 성질로 생각하는 경우의 예는 다음과 같다.

> 물분자 결정과 소금의 결정이 다르기 때문이다.

이 역시 사실이라고는 할 수 있지만 어는점 내림의 이유를 설명한 것이라고 보기는 어렵다. 평형의 이동으로 설명한 예를 보면 다음과 같다.

> · 물은 0℃부터 얼기 시작하나 용질을 넣어주면 수화현상에 의해 물분자가 감소되고 물분자를 증가시키려면 얼음이 녹아 물분자로 변화되어 새로운 평형에 도달하게 되어 더 낮은 온도에서 얼게 된다.

> · 얼음을 순수한 물이라 전제하고 융해되는 것과 응고되는 입자간의 평형으로 설명한다. 융해는 방해받지 않고 응고는 수용액의 용질에 의해 방해받는다.

그러나 이러한 설명 역시 용질이 평형의 이동에 어떠한 관련을 가지는지에 대해 명확하지 못하다. 단순히 평형 이동이라는 개념을 첨가하여 온도가 내려간다고 설명한 것에 불과하다. 또한 첫 번째의 예에서는 얼음이 녹는 물리 변화에서 물분자가 변화하는 것과 같은 화학변화를 고려한 오류가 포함되어 있으며, 두 번째 예의 경우에는 융해와 응고를 구분하여 응고의 경우에만 용질의 방해를 받는다고 보는 오류도 포함되었다. 이보다 더 심한 개념적 오류의 예를 제시하면 다음과 같다.

> 공기 입자 내에 물분자와 소금 분자가 섞여 있다고 생각하면 농도가 소금물이 더 크다. 따라서 공기 입자는 밀려나가고 소금 입자가 막을 형성한다.

이 설명이 무엇을 의미하는지 이해하기는 쉽지 않다. 공기 입자 내에 물분자와 소금 분자가 섞여 있다면 이 상태는 기체 상태라고 할 수 있다. 더구나 소금은 이온 결합 물질이므로 중학교 수준에서부터 소금은 분자가 아니라는 점을 가르친다. 즉 이온으로 구성되어 있는 물질이므로, 이 물질은 기체 상태가 되려면 분자 수준으로 나누어지지 않고 양이온과 음이온으로 나누어진다. 그리고 이러한 이온들이 유체의 상태를 플라스마 상태라고 표현한다. 그러나 7차 과학교육과정에서는 플라스마 상태를 다루지 않으므로 기체 상태로 구분하는 것이 타당할 것이다. 그 다음에 나오는 소금 입자의 막과 공기 입자의 밀림에 대한 설명은 과학적인 오류라고 보기조차 어렵다. 과학을 학생들에게 가르치는 교사로부터 이러한 개념이 드러났다는 사실은 과학 교육의 입장에서 볼 때 심각한 문제라고 할 수 있다.

평형 이동의 개념이나 결합의 개념, 분자 운동의 개념, 소금 입자의 막 개념 등 기타의 유형으로 구분된 설명들은 어는점 내림을 교과서의 설명만으로는 이해하기 어렵기 때문에 교사들이 나름대로 시도한 방법이라고 볼 수 있다. 이는 교사들이 어는점 내림을 설명하는 적절한 방법을 찾지 못하였음을 의미한다.

어는점 내림 현상을 설명하는 데에 있어서 엔트로피의 관점을 적용한 교사는 연구 대상인 146명의 교사 중에서 세 명 뿐이었는데, 그 중 중학교에 재직하는 화학전공 교사는 다음과 같이 자신의 생각을 표현하였다.

> 어는점 내림은 용액의 방해 현상으로 인한 증기압 내림으로 설명할 수 없다. 소금물은 혼합물이다. 따라서 각각 순수한 상태로 존재할 때보다는 엔트로피가 크다. 따라서 엔트로피 적으로 비교적 안정하기 때문에 더 낮은 온도에서 얼게 된다.

이 교사의 경우 교과서에서 제시한 방식인 '용액의 방해 현상으로 인한 증기압 내림'으로는 어는점 내림을 설명할 수 없다는 점을 지적하였다. 그리고 엔트로피의 개념이 도입되어야 한다는 점은 인식하고 있었으나, 개념이 명확하지 못함을 알 수 있다. 즉, 용액 상태에서는 순수한 상태보다 엔트로피가 더 크다고 하였으나, 이것이 엔트로피 적으로 비교적 안정한 것을 의미하는 것처럼 묘사하였다. 이러한 생각은 아마도 결합 에너지의 경우 에너지가 크다는 것이 에너지 적으로 안정하다는 것과 같은 의미로

사용되는 것과 관련이 있을 것이다. 즉 엔트로피를 에너지의 관점과 유사하게 생각하였을 가능성이 있다. 그리고 엔트로피 적으로 비교적 안정하면 왜 더 낮은 온도에서 얼게 되는지에 대한 설명은 명확하게 제시하지 못하였다.

## V. 결론 및 제언

자연 세계를 구성하는 물질을 수많은 입자들로 구성되어 있다는 미시적인 관점으로 보았을 때, 우리는 입자들의 에너지 변화와 엔트로피 변화로 자연 현상을 설명할 수 있다. 몇몇 선행 연구(Craig, 1988; Friedman, 2001; Lambert, 2002; Strong, 1972)에서도 이 점을 지적하고 있다. 그러나 아직까지 우리나라에서는 이와 관련된 연구가 이루어지지 못하고 있다. 우리나라의 경우, 7차 과학교육과정에서는 중학교 1학년부터 미시적인 입자 관점과 에너지의 변화에 대한 개념 등이 도입되었다. 그러나 엔트로피의 개념은 고등학교 과정까지 거의 도입되지 않았다.

엔트로피의 개념이 확률의 개념이라고 보았을 때, 수학 교육과정을 고려한다면 학생들은 이미 초등학생 때부터 엔트로피의 개념을 획득할 수 있는 능력을 가지고 있다고 할 수 있다. 그리고 이미 선행 연구(Friedman, 2001; Nakhleh & Samarapungavan, 1999)를 통해 어린 나이의 아이들도, 비록 직관적인 사고 수준이라 할지라도, 엔트로피에 대한 개념을 형성할 수 있음이 밝혀졌다.

따라서 이 연구에서는 엔트로피의 개념을 도입하여 설명할 필요가 있다는 Lambert(2002)의 연구 결과를 토대로 '어는점 내림'에 관련된 우리나라 중학교와 고등학교 교과서의 설명 유형과 교사들의 개념 유형을 분석하였다. 그 결과, 어는점 내림에 관한 교과서의 설명에 문제가 있음을 밝혔고, 많은 교사들도 이에 대해 잘 이해하지 못하고 있으며 많은 잘못된 개념을 가지고 있음을 밝혔다. 이는 교과서에서 엔트로피의 관점을 도입하지 않고 단순히 끓는점 오름과 같은 현상으로 어는점 내림을 설명하기 때문에 이를 가르쳐야 할 교사들조차 이를 제대로 이해하지 못하는 것이라고 볼 수 있다. 비록 끓는점 오름 현상은 에너지 관점으로만 설명하여도 큰 무리가 없지만, 어는점 내림의 경우에는 이와 같은 설명 방식을 따를 때 혼란이 야기될 수 있다. 따라서 어는점 내림 현상을 설명할 경우에는 엔트로피의 관점이 필요하다고 본다.

엔트로피의 관점을 도입하여 어는점 내림을 설명하는 예를 제시하면 다음과 같다.

> 고체 상태 물질의 엔트로피가 액체 상태의 엔트로피보다 훨씬 낮다. 따라서 액체 상태를 고체 상태로 만드는 응고 과정에서 엔트로피는 크게 낮아진다. 온도가 낮아지면 엔트로피도 낮아진다. 따라서 어떤 물질이 어는점에 도달하려면 그 물질의 온도를 낮추어야 한다. 그런데 용액의 경우에는 용매만 있을 때와 달리 온도를 낮추어도 용질의 움직임이 용매만큼 쉽게 줄어들지 않을 수 있다. 용매보다 더 활발하게 움직이는 용질 때문에 용매의 분자 운동은 계속되고 엔트로피의 수준도 고체의 상태만큼 낮아지지 않기 때문이다. 이러한 용질의 움직임을 느려지게 함으로써 고체 상태의 엔트로피와 에너지 수준으로 만들기 위해서는 용매만 있을 때보다 더욱 온도를 낮추어줄 필요가 있다. 이것을 우리는 어는점 내림이라고 부른다.

만약 이러한 엔트로피의 관점을 도입하지 않고 어는점 내림을 설명한다면, 우리는 현재 과학교과서에서 제시하는 수준보다 더 나은 설명을 제시할 방법이 없다. 그리고 과학 교사들조차 어는점 내림 현상을 제대로 이해하지 못한다면, 이를 배우는 학생들이 어는점 내림의 개념을 제대로 이해하리라고 기대하는 것은 무리일 것이다.

과학의 발달 과정을 살펴볼 때, 엔트로피의 개념이 형성되고 정착된 것이 비록 최근의 일이라 하더라도 이제는 이러한 관점으로 자연 세계를 다시 이해하려는 시도가 과학교육에서 이루어질 필요가 있을 것이다. 이미 과학자들은 엔트로피의 개념으로 자연 세계를 이해하고 있는데, 우리는 학생들에게 그 이전의 18세기 관점으로 자연세계를 이해하도록 하는 것이 교육적으로 타당한 일일까? 비록 엔트로피의 개념이 매우 어렵기 때문에 보다 성숙한 학생들만이 이 개념을 형성할 수 있다고 하더라도, 우리는 학생들이 보다 성숙해지기를 기다리기 보다는 이러한 개념을 학생들이 올바로 형성할 수 있는 교육적 방법을 모색하는 것이 더 필요하다고 본다. 어는점 내림을 가르쳐야 하는 과학 교사들조차 이에 대한 개념을 제대로 이해하지 못하고 있다는 사실은 우리가 학생들의 성숙을 기대하기 보다는 보다 적극적으로 이를 가르칠 교육적 방법을 모색해야 할 필요성을 나타내는 것이라고 할 수 있다.

우리가 중등학교에서 다루는 과학 개념 중에 엔트로피의 관점이 필요한 것은 어는점 내림에만 국한하지 않는다. 선행 연구에서 지적하였듯이 열, 확산, 삼투, 진화, 대류 등 물리, 화학, 생물, 지구과학에서 다루는 많은 개념들이 엔트로피의 관점에서 설명될 필요가 있다. 따라서

이러한 개념을 보다 효과적으로 학생들에게 전달하는 교육적 방법에 대한 모색과 함께 이를 교사 교육에서부터 시도해 보려는 노력도 필요할 것이라고 생각한다.

## 국 문 요 약

이 연구에서는 어는점 내림에 대한 과학교과서의 설명 방식과 과학 교사들의 개념을 조사하였다. 분석한 교과서는 7차 교육과정에 근거하여 개발된 중학교 2학년 과학교과서 7종과 고등학교 화학Ⅱ 교과서 5종이었다. 교사들의 개념은 설문지를 통해 얻었으며, 연구 대상 교사의 수는 146명이었다. 교과서의 설명 유형은 '현상을 묘사' 하는 것과 '증기압 내림으로 설명' 하는 유형으로 구분하였다. 대부분의 중학교 교과서와 고등학교 교과서에서는 현상을 묘사하는 수준으로 어는점 내림을 설명하였으며, 이러한 현상이 일어나는 이유에 대한 설명은 없었다. 또한 어는점 내림을 설명하는 그래프의 내용도 교과서마다 달랐다. 교사들 역시 어는점 내림에 대해 제대로 이해하지 못하는 것으로 나타났다. 용질의 방해로 어는점 내림 현상을 이해하는 교사들도 많았다. 그러나 끓는점 오름 현상을 설명할 때 도입되는 이러한 개념이 어는점 내림에서는 어떻게 관련되는지 명확하게 설명하지 못하였다. 이 연구에서는 어는점 내림 현상을 설명하기 위하여 엔트로피의 개념을 도입할 필요성에 대해 주장하였다.

## 참 고 문 헌

김주현, 이동준, 김선경, 강성주, 백성혜(2000). 입자론의 관점에서 본 확산과 용해 개념에 관련된 과학 교과서 및 인터넷 자료 분석과 컴퓨터 수업 보조 자료의 개발. 대한화학회지, 44(6) 611-624.

노태희, 임희준, 우규환(1995). 화학양론과 기체 상태에 대한 중 · 고등학생의 개념 이해도 비교. 한국과학교육학회지, 15(4), 438-451.

조정일, 이현욱(1994). 확산과 삼투 분자 운동 모형을 활용한 수업의 개념변화에의 효과. 한국과학교육학회지, 14(3), 293-303.

Craig, N. C.(1988). Entropy of four familiar processes. *Journal of Chemical Education*, 65(9), 760-764.

Franzen, H. F.(1988). The freezing point depression law in physical chemistry. *Journal of Chemical Education*, 65(12), 1077-1078.

Friedman, W. J.(2001). The development of an intuitive understanding of entropy. *Child Development*, 72(2), 460-473.

Lambert, F. L.(2002). Entropy is Simple, Qualitatively. *Journal of Chemical Education*, 79(10), 1241-1246.

Nakhleh, M. B. & Samarapungavan, A.(1999). Elementary School Children's Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 777-805.

Strong, L. E.(1972). Entropy Early, and Often. *Australian Science Teachers Journal*, 18(1), 55-58.

Tomanek, D.(1994). Cases of Content: Studying Content as a Part of a Curriculum Process. *Science Education*, 78(1), 73-82.