

중등 과학교과서에서 증발, 끓음의 설명에 제시된 개념간의 관련 정도 분석

백성혜¹ · 정애경² · 고영환³

(한국교원대학교)¹ · (후포중학교)² · (서문여자중학교)³

Analysis of Concepts Related to Explanations of Evaporation and Boiling in Secondary School Science Textbooks

Seong-Hey Paik¹ · Ae-Kyung Jeong² · Young-Hwan Ko³

(Korea National University of Education)¹ · (Whopo Middle School)²

· (Suh-Moon Girls' Middle School)³

ABSTRACT

This study was to examine the concepts using to explain evaporation and boiling in secondary school science textbooks developed in 6th and 7th science curriculum. The types of explanations were compared with maps represented the concepts relationships divided into middle and high schools, 6th and 7th curriculum, and subjects and chapters to find explanation diversity. The difference of explanations related to evaporation and boiling concepts was found in the school levels and subjects. There were few relationships between the main concepts of evaporation phenomena and those of boiling phenomena.

Key words: science textbooks, concept relation, evaporation, boiling, explanation, secondary school, science curriculum.

I. 서 론

1. 연구의 필요성과 목적

현재까지 이루어진 물의 상태변화와 관련한 연구(국동식, 1988; 노태희와 전경문, 1996; 백성혜 등, 2002; 신인철, 1992; 양영민, 1992; 이윤정, 1994; 조부경 등, 2002; Bar & Galili, 1994; Bar & Travis, 1991; Johnson, 1998a, 1998b; Osborne & Cosgrove, 1983; Tytler, 2000) 결과, 학생들이 전형적으로 증발, 응결, 끓음과 같은 단어를 사용하지만 좀더 깊이 있는 질문을 유도했을 때 학생들 대부분이 과학자가 설명하는 방법과 다르게 이

해하고 있음을 밝혔다. 즉, 과학적 용어를 사용하고 있더라도 물리 변화에 내재해 있는 개념적 이해는 다양하고 복잡하였으며 과학자의 개념과 달랐다. 또한, 인지구조가 연령에 따라 변할 수 있으나, 일상생활이나 교육을 통해서 잘못 형성된 어떤 과학개념은 그 후의 교육에 의해서도 크게 변화하지 않아서 더 높은 학년 층에서 더욱더 많이 사용되므로(Osborne & Cosgrove, 1983), 개념을 배울 때 올바른 개념 형성이 이루어지지 않았을 경우 교육적 효과를 기대하기 어려울 것이다.

학생들이 학교를 다니면서 공식적으로 접하는 과학의 내용은 아이들이 과학적 사고를 형성해 나가는데 큰 영향을 미친다. 또한 학교 교육에서 교과서는 교사와 학생을

연결해 주는 매개체로서 매우 중요한 역할을 차지하므로 교과서의 내용과 그 조직이 학생들의 개념 형성에 지대한 영향을 준다(최경희, 1997)고 할 수 있다. 따라서 학생들이 올바른 과학개념을 가지기 위해서는 교과서 내용 체계가 정확히 정립되어야 할 것이다.

그러나 아직까지 학생들과 교사들에게 가장 중요한 교육 매체라고 할 수 있는 과학교과서에서 증발과 끓음에 대해 어떻게 설명하고 있는지 그 유형에 대해 분석한 연구는 많지 않다. 따라서 이 연구에서는 중등학교 과학 교과서를 중심으로 증발과 끓음의 설명 유형을 설명에 사용된 개념들간의 관련성을 분석함으로써 제시하고자 한다. 특히 교과서마다 설명이 다른 경우 보편적인 설명 유형과 보편적이지 않은 설명 유형을 파악하기 위하여 설명에 사용된 개념들 간의 관계를 나타낸 연결선 위에 이러한 개념들 간의 연결을 설명에 포함시킨 분석 교과서의 수를 기록하였다.

이러한 분석을 통해 분자의 운동이나 분자간 인력의 개념과 같은 미시적인 관점을 증발이나 끓음의 현상을 설명할 때 관련짓는 교과서의 빈도를 알아보려고 하였다. 이는 Johnson(1998a), Johnson(1998b), Bar와 Travis(1991), 임명혁(2002)등 선행연구에서 증발과 끓음의 개념을 입자적 관점으로 이해할 때 학생들이 과학적 개념을 획득할 가능성이 높다는 결과를 제시하였기 때문이다. 이를 위하여 교과서의 설명에서 제시된 개념들 간의 관련성을 분석하기 위한 맵을 고안하였다. 그리고 설명 유형이 학교급에 따라, 혹은 과학의 단원이나 영역에 따라, 그리고 교육과정의 변천에 따라 변화되었는지 살펴봄으로써 증발과 끓음에 대한 설명이 다양한지, 아니면 한가지 유형이 고착되어 있는지 알아보려고 하였다. 이러한 분석 결과를 토대로 보다 바람직한 설명 유형을 찾아보고자 하였다.

2. 용어의 정의

이 연구에서 사용한 맵은 교과서의 진술문을 근거로 서술된 개념들 간의 관계를 연결선으로 표시하고, 이러한 개념간의 관계를 제시한 교과서의 수를 전체 분석 교과서의 수로 나눈 값을 연결선에 표시한 것이다. 이러한 맵을 통해 교과서마다 보편적으로 증발과 끓음을 설명하는 진술문에서 관련짓는 개념들과 보편적으로 관련을 짓지 않고 단순히 나열하는 개념들을 파악할 수 있다. 일부 교과

서에서는 개념들 간의 관련을 지어 서술하지만 일부 교과서에서는 그렇게 서술하지 않을 경우에 이러한 차이를 맵을 통해 한눈에 확인할 수 있다.

II. 선행연구 고찰

증발과 끓음 현상에 대한 학생들의 이해에 관련된 연구는 많은 나라에서 다양한 연령을 대상으로 이루어져 왔다. 국외의 연구는 주로 여러 연령에 걸친 개념 유형을 알아보는 연구가 많이 이루어졌다. Osborne과 Cosgrove(1983)는 뉴질랜드의 8살에서 17살까지의 학생들을 대상으로 끓음, 증발, 응결, 얼음의 녹음에 대한 학생들의 개념을 조사하였다. 특히 그들은 끓는 물을 학생들이 관찰했을 때 기포 형성에 관심을 가지지만 기포가 무엇으로 되어 있는가에 대한 질문에 열, 공기, 수소와 산소, 증기로 이루어져 있다는 다양한 생각을 가지고 있음을 지적하였다. Bar와 Travis(1991)도 이와 유사한 결과를 제시하였다.

Stavy(1988)는 이스라엘의 4학년부터 9학년까지의 학생을 6개 그룹으로 나누어 상태 및 상태변화와 관련된 개념 형성 과정을 연구하였는데, 학생들의 생각은 상황의 존적이며, 입자 이론의 적용이 빈약하여 어떤 상황에서는 적용시키지만 다른 상황에서는 그렇지 못함을 밝혔다. Bar와 Galili(1994)도 이와 유사한 결과를 얻었다. Stavy(1990)는 4학년에서 9학년까지의 아이들을 대상으로 나이에 따라 6개의 그룹으로 나누어 증발의 본질, 증발 과정에서의 무게에 대한 보존 능력 등을 검사하였다. 그 결과, 어린 학생들은 주로 물질이 눈에서 사라지면 무게나 특성이 사라진다고 생각하였으나, 학년이 높아질수록 물질은 보이지 않아도 무게가 변하지 않고 물질은 그대로 존재한다고 생각하는 비율이 높아졌음을 밝혔다. 가역성에 대한 응답 비율도 무게 보존처럼 학년이 높을수록 증가하였다. Hwang과 Hwang(1990)은 대만의 중학생, 고등학생, 대학생 1200명을 대상으로 시범 실험을 통한 그룹 검사와 임상적 면담 방식으로 끓음과 증발에 대한 학생들의 개념을 조사하였는데, 모든 학년의 학생들이 끓음과 증발에 대해 오개념을 가지고 있음을 밝혔다.

Russel과 Watt(1990)의 SPACE (Science Process And Concept Exploration) 프로젝트에서는 5세부터 11세까지의 어린이를 대상으로 증발과 응결에 대한 개념을 조사하였다. 그 결과, 학생들 중에서 증발의 의미를 올바르게

이해하고 사용하는 경우는 적음을 알아내었다. 그리고 상황에 따라 익숙한 어휘를 사용하려는 경향이 있어 상황에 의존적임을 밝혔다. Bar와 Travis(1991)는 이스라엘의 6세부터 14세까지의 아이들을 대상으로 증발, 끓음, 응결, 공기중의 수증기의 존재에 대한 인식을 연구하였다. 연구 결과, 6세에서 12세의 아이들은 증발 개념과 기포 안의 물질의 본질과 관련된 관점의 발달이 공기의 존재를 이해하는 능력과 관계되는 특정한 획득 단계를 따른다고 하였다. Bar와 Galili(1994) 역시 5세부터 15세까지 아이들의 증발에 대한 개념을 알아본 결과, 개념에 대한 관점의 전환은 특정 나이에서 이루어지는 것을 관찰하였다.

Johnson(1998a)은 끓는 물이 기체로 바뀐다는 것을 아이들이 이해하고 있다고 주장한 Bar와 Travis(1991)의 연구 결과에 의심을 가지고 끓음을 증발과 구별하여 33명의 중학생을 대상으로 3년에 걸친 종단 연구를 하였다. 연구 결과, 그는 기포에 대한 학생들의 응답의 변화가 입자적 생각의 사용 여부와 관련이 있다고 밝혔다. 즉, 입자적 생각을 가진 학생들이 기포를 기체로서의 물로 이해하는 과학적 개념을 더 많이 가진 것으로 나타났다. Johnson(1998b)은 또한 증발과 응결도 같은 방법으로 조사하여, 증발과 응결에 대한 학생들의 이해 또한 입자적 생각의 발달과 관계가 있다고 하였다.

Chang(1999)은 교육대학생 364명을 과학적 배경에 따라 4그룹으로 구분하여 연구한 결과, 대부분의 학생들이 공기 중의 수증기의 존재에 대해 이해를 제대로 하지 못하고 있음을 밝혔다. Tyler(2000)는 아이들이 증발과 응결에 대한 사고에서 주요한 차이를 나타내는 차원을 탐색하여, 개념적/ 존재론적 차원에서 추상적인 것에 대한 이해의 차이를 밝혔다.

국내 연구는 초등학생을 대상(최병순, 1993; 이정화, 1994; 이윤정, 1994; 박홍순, 1995; 예종성, 1999; 강태정, 2000; 윤재화, 2001)으로 학습 전후의 개념 유형을 알아보는 연구가 많이 이루어졌다. 중학생을 대상으로 한 연구로 전정수(2003)는 중학교 1, 2, 3학년 학생들의 증발과 끓음에 대한 개념을 설문지로 조사하였다. 유치원부터 중학생에 이르기까지 넓은 연령의 학생들을 대상으로 한 연구(임명혁, 2002; 조부경 등, 2002)도 이루어졌다. 임명혁(2002)은 연구를 통해 유치원생은 지각적 수준으로 이해하며, 학년이 높아질수록 상태 변화로 이해하는 유형이 많았으나, 과학자적인 관점인 분자 운동 개념으로 상태 변화 현상을 이해하는 학생은 적었다고 보고하였다. 조부

경 등(2002)은 연구 결과를 통해 학생들이 과학적 개념을 형성하기 전 단계에서의 일부 제한된 경험이 잘못된 결론을 이끄는 경우가 있으며, 학생들이 비록 과학 용어를 사용하는 경우에도 그 개념에 대한 이해가 형성되지 못한 경우가 있다고 하였다. 그러므로 교사들은 학생이 사용하는 용어의 의미가 교사나 교재에서 사용하는 의미와 다를 수 있으므로 이 점을 고려하여 용어 사용에 신중을 기해야 한다고 하였다.

고등학생을 대상으로 한 연구(국동식, 1988; 박선양, 2000)와 대학생들 대상으로 한 연구(여상인, 2001)도 이루어졌다. 여상인(2001)의 연구에서는 초등학교 예비교사들의 증발과 응결에 대한 이해와 대안 개념을 조사하였다. 그 결과, 일부 대학생의 경우 어린 아동이 가지고 있는 대안 개념을 가지고 있는 경우도 있었다고 지적하였다.

Ⅲ. 분석대상 교과서 및 연구 방법

현재 중·고등학교에서 사용하고 있는 6차와 7차 중등 과학교과서 가운데 증발과 끓음에 대한 설명이 있는 교과서를 대상으로 분석하였다. 이 연구에서는 제 6차 교육과정에 따른 '과학 2' 교과서 16종, 고등학교 화학Ⅱ 교과서 12종, 고등학교 지구과학Ⅱ 교과서 12종 그리고 제 7차 교육과정에 따른 중학교 '과학 1' 교과서와 '과학 2' 교과서 14종을 분석하였다. 고등학교 화학Ⅱ와 지구과학Ⅱ 교과서의 경우 분석 시기에는 7차 교육과정의 교과서가 나오지 않아서 분석에서 제외하였다.

이 연구의 첫 단계에서는 교과서에 진술된 문장을 바탕으로 '증발(evaporation)'과 '끓음(boiling)'의 설명에 사용한 개념을 분석하였다. 중·고등학교 과학 교과서에서 증발을 설명하는데 사용된 개념들은 계의 상태(state of system), 공기 중 수증기량(amount of vapor in air), 바람(wind), 햇빛(sunlight), 가열(heat), 온도(temperature), 분자운동(molecular motion), 분자간 인력(intermolecular force), 물질의 특성(property of matter), 기화지점(position of vaporization) 등 10 가지였다. 그리고 '끓음'을 설명할 때 사용된 개념들은 계의 상태(state of system), 가열(heat), 온도(temperature), 온도일정(constant temperature), 외부압(external pressure), 증기압(vapor pressure), 분자운동(molecular motion), 분자간 인력(intermolecular force), 물질의 특성(property of

matter), 끓는점(boiling point), 기화지점(position of vaporization) 등 11개였다.

각 교과서마다 증발이나 끓음을 설명하는데 사용한 개념은 차이가 있었으며, 같은 개념을 사용한 경우에도 설명에서 개념들 간에 관련을 짓는 정도는 차이가 있었다. 어떤 개념들은 서로 관련짓지 않고 나열되어 있는 경우도 있었다. 따라서 설명에 사용한 개념들과 설명 안에서 이들 개념들이 서로 관련을 짓는 상황을 표현하기 위하여 관련을 지어 설명한 개념들 간에는 연결선을 표시하였다. 그리고 연결선 위에는 이러한 관련을 제시한 교과서의 수를 분석한 총 교과서의 수로 나누어 표시하였다. 이 숫자는 얼마나 보편적인 교과서 설명인지에 대한 정보를 제공해 준다.

이렇게 작성한 맵을 근거로 중학교와 고등학교 교과서 설명에 있어서의 차이점과 공통점, 6차와 7차 교과서의 공통점과 차이점, 그리고 과목이나 단원에 따라 설명에서의 차이가 있는지 비교하여 분석하였다.

이 연구에서는 타당도 검증을 위해 분석 대상 교과서에서 증발과 끓음을 설명하는 소단원의 진술문들을 선정하고 이를 분석한 맵을 과학교육 전문가 2인, 현직 중등학교 과학교사 2인, 과학 교육 전공 석사과정 대학원생 5인에게 제공하여, 분석 결과에 대한 타당도를 검증받았다. 타당도에 문제가 제기된 경우에는 선정된 설명문과 분석

한 맵의 교정을 위해 연구에 참여한 과학교사와 대학원생, 그리고 과학교육 전문가의 토론이 반복적으로 이루어져 합의를 도출하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 증발에 대한 중등 과학교과서의 개념간 관련 정도 분석

증발은 6차 중학교 '과학 2' 교과서의 지구과학 영역, 고등학교 화학 II 교과서, 그리고 7차 중학교 '과학 1' 화학영역에서 다루고 있다. 물리와 지구과학 교과서에서도 이러한 개념을 다소 다루지만, 그 내용이 매우 협소하여 개념간의 관련성을 분석할 정도가 되지 못하므로 분석에서 제외하였다.

6차 중학교 '과학 2' 교과서에서는 지구과학 영역에서 증발을 제시하고 있다. 이를 Fig. 5에 맵으로 표현하였다. Fig. 1에서 보면, 증발을 설명할 때 햇빛을 관련지어 설명한 교과서의 수는 분석한 총 8개의 교과서 중에서 4개였다. 이를 4/8로 표현하였다. 선의 굵기는 보편적으로 교과서에서 설명하는 유형과 보편적인 설명 유형이 아닌 경우를 백분율로 구분한 것이다.

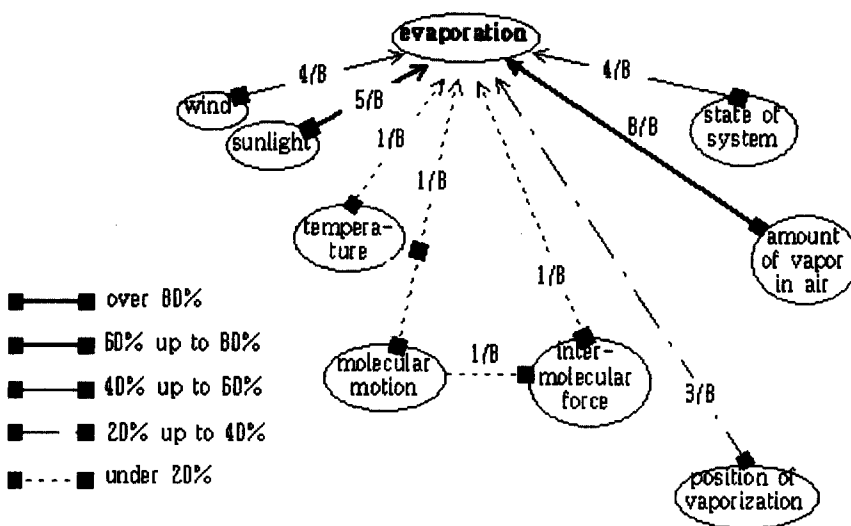


Fig. 1. The map of concepts related to explanations of evaporation in science textbooks for 8th grade of 6th curriculum

대부분의 교과서에서는 증발 자체를 정의하지 않고, 공기 중의 수증기량, 햇빛, 바람, 계의 상태 등 증발의 조건에 대해서 설명하였다. 그리고 증발의 설명에 사용된 이러한 개념들은 서로 관련이 없이 나열되어 있었다. 모든 교과서에서 증발은 공기 중의 수증기량과 관련지어 설명하였다. 교과서의 설명 중 하나를 사례로 제시하면 다음과 같다.

“수면이나 지표면, 또는 식물 등으로부터 증발한 물은 수증기로 변하여 대기 중으로 이동한다. 그러므로 대기 중에는 언제나 수증기가 포함되어 있다... 증략... 공기 1m3 속에 포함할 수 있는 최대 수증기량을 포화수증기량이라고 한다.”(강영희 등, 2000).

그러나 선행연구들에서 학생들의 과학적 개념 형성에 중요하다고 지적한 분자 운동의 개념이나 분자간 인력의 개념을 관련지어 증발을 설명한 교과서는 1개 밖에 없었다.

6차 중학교 ‘과학 2’ 교과서와 달리 7차 중학교 ‘과학 1’ 교과서는 화학 영역에서 증발을 설명하였다. 이를 Fig. 2에 맵으로 제시하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 7차 중학교 과학1 교과서 8종 중에서 7종은 분자 운동의 개념과 증발을 관련지어 설명하였다. 그리고 기화의 지점과 증발을 관련지은 경우도 7종이나 있었다.

그러나 분자 운동과 기화의 지점을 관련지어서 증발을 설명하지는 않았으며, 따로 나열하여 설명하는 유형이 보편적이었다. 증발을 기화의 지점과 관련지어 설명한 사례 중 하나를 제시하면 다음과 같다. “증발은 빨래가 마르는 것과 같이 액체가 표면에서 기체로 변하는 현상이다.” 또한, 증발을 분자운동과 관련지어 설명한 사례 중 하나를 제시하면 다음과 같다. “증발을 하는 것으로 보아, 물질을 이루는 분자는 끊임없이 운동을 하고 있음을 알 수 있다.” 이와 같이 분자운동과 증발이 표면에서 일어난다는 개념은 서로 관련을 짓지 않고 설명되어 있다.

또한 6차 교육과정과 7차 교육과정의 중학교 과학 교과서에서는 증발을 설명할 때 분자간의 인력 개념은 대부분 포함시키지 않았다. 그러나 미시적인 입자 관점을 학생들이 가지게 될 때 비로소 증발과 끓음과 같은 상태변화에 대해 올바른 과학개념을 형성할 수 있다는 선행연구의 결과를 고려해 볼 때, “분자 운동이 활발하여 분자 사이의 인력을 끊을 수 있는 상태에 있는 분자들은 대기 중으로 이동할 수 있다. 이 때 액체의 표면에 있는 분자들끼리의 인력이 액체 내부의 분자간 인력보다 작기 때문에 표면에서부터 분자들이 이동하게 된다”와 같은 설명이 필요하다고 본다.

교육과정에서 증발을 설명할 때 분자 운동의 개념은 포함시키고 분자간 인력의 개념은 포함시키지 않아야 한다는 조건이 포함되어 있지 않다면 이렇게 미시적인 입자의

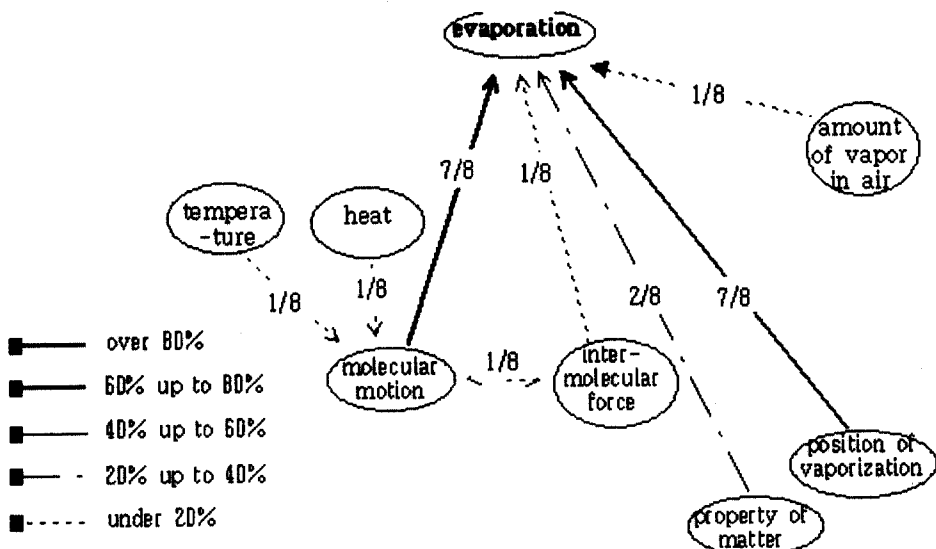


Fig. 2. The map of concepts related to evaporation in science textbooks for 7th grade of 7th curriculum

두 관점, 즉 분자 운동에너지와 분자의 인력 개념이 증발에 대한 이해를 돕는데 필요한 개념이라고 본다. 그리고 이 개념들은 증발이 일어나는 지점에 대한 개념을 설명할 때에도 필요한 개념이라고 본다. 학생들의 인지 수준을 고려할 때 분자간의 인력 개념이 어려울 수 있다고 판단되었다면, 같은 학년의 다른 단원인 “상태변화와 에너지” 단원에서 분자간의 인력 개념을 포함시킬 수 없었을 것이다. 따라서 이 단원에서 증발을 설명할 때 분자간의 인력 개념을 포함시키지 않을 이유는 찾지 어렵다고 본다.

6차 교육과정의 경우와 달리 7차 교육과정에서는 공기 중의 수증기량과 증발을 관련지은 교과서는 1종으로 매우 줄어들었다. 그 원인은 증발을 설명하는 영역이 지구과학 관련 단원에서 화학 관련 단원으로 바뀌었기 때문이라고 해석된다. 지구과학에서는 “물의 순환”이나 “날씨”에 관련된 설명을 위해 증발을 통한 공기 중의 수증기량에 대한 개념이 중요하게 다루어지기 때문이다.

분석한 교과서 중에서 유일하게 한 교과서에서 ‘분자 운동’과 ‘분자간 인력’을 관련지어 증발을 설명하였다. 즉 “액체 분자간의 인력보다 큰 운동에너지를 가진 분자가 액체의 표면에 도달하면, 액체 분자는 다른 분자와의 인력을 이기고 액체 표면에서 튀어나와 기체가 된다.”고 설명되어져 있었다. 이러한 설명을 통해 학생들은 미시적인 입자 관점 중에서 분자간 인력 관점으로 왜 증발이 액체 표면에서만 일어나는지 그 현상을 관련지어 이해할 수 있

을 것이다. 그러나 이러한 설명 유형은 6차와 7차 교육과정의 중학교 과학교과서에서 모두 거의 나타나지 않았다.

선행연구(정애경, 2003)에 따르면, 과학교사들은 증발의 정의 중에서 액체 표면에서 일어나는 현상이라는 점을 매우 중요하게 생각하는 것으로 나타났다. 그리고 ‘분자운동’ 개념과 ‘분자간의 인력’ 개념을 관련지어 증발을 이해하는 비율은 매우 낮았다. 이러한 현상은 아마도 과학 교과서에서 ‘분자 운동’ 개념과 ‘분자간 인력’ 개념을 연결하여 증발 현상을 설명하는 경우가 거의 없었기 때문이라고 볼 수 있다.

6차 고등학교 화학Ⅱ 교과서에 제시된 증발 설명에 대한 설명유형을 분석하여 Fig. 7에 제시하였다. 여기서는 증발을 설명할 때 주로 ‘분자운동’, ‘분자간 인력’, ‘기화 지점’ 등의 개념을 사용하였다. 이러한 설명은 7차 중학교 ‘과학 1’ 교과서의 설명 유형과 유사한 점이 많다. 따라서 증발에 관련된 설명 유형의 차이는 근본적으로 6차 교육과정에 근거한 교과서였는지 아니면 7차 교육과정에 근거한 교과서였는지 하는 점이나, 고등학교 교과서인지 아니면 중학교 교과서인지와 같은 학교급의 구분보다는 화학 영역의 단원에서 설명하는 유형인지 아니면 지구과학 영역에서 설명하는 유형인지에 따라 결정되는 것이라고 해석할 수 있다.

그러나 중학교의 경우와는 미시적인 분자 운동 개념과 분자간의 인력 개념을 서로 관련지어 증발을 설명하는 교

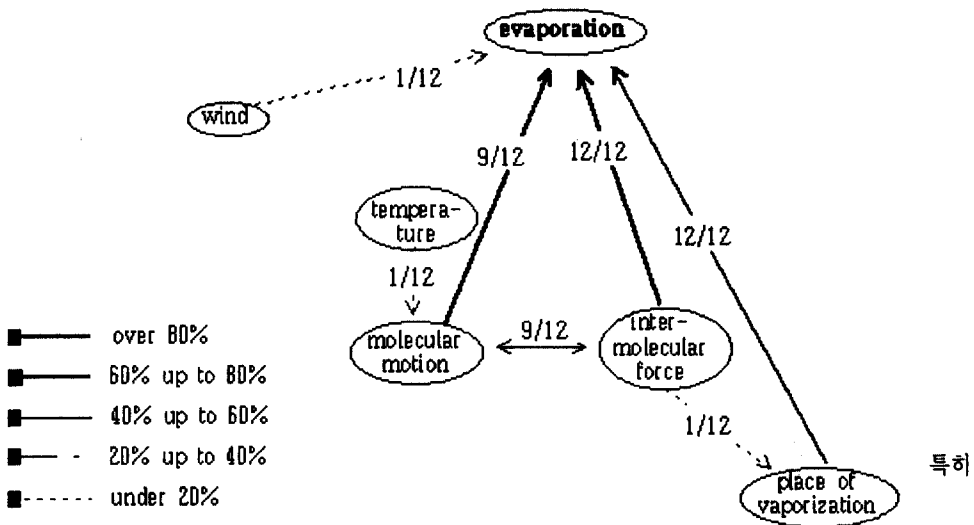


Fig. 3. The map of concepts related to explanations of evaporation in chemistry II textbooks for high school students of 6th curriculum

과서 수가 급격하게 증가하였다. 이를 Fig. 3의 맵으로 확인할 수 있다.

분자간의 인력과 분자 운동의 개념을 상호 관련지어 설명한 교과서의 예를 들면, “액체의 표면에 있는 운동에너지가 큰 분자들은 어느 순간 이 인력을 이겨내고 기체가 되어 공기 중으로 날아간다.” 등을 들 수 있다.

고등학교 화학Ⅱ 교과서는 증발을 설명할 때 분자간 인력과 기화 지점인 표면 개념을 모든 교과서에서 제시하였다. 그러나 한 교과서만 제외하고는 ‘분자간 인력’과 ‘기화 지점’의 개념을 관련짓지 않고 단순히 나열하였다. 표면에서 증발이 일어나는 이유가 바로 분자간 인력이 가장 작은 지점이기 때문에, ‘분자간 인력’과 ‘기화의 지점’ 즉 표면에서 기화가 일어나는 현상으로 증발을 표현하는 것과는 서로 긴밀한 관련을 가진다. 따라서 이러한 관련성이 교과서에 명확하게 표현되는 것이 필요하다고 본다.

2. 끓음에 대한 중등 과학교과서의 개념간 관련 정도 분석

끓음은 6차 중학교 ‘과학 1’ 교과서의 화학 영역과 7차 중학교 ‘과학 1’ 교과서 화학영역, 그리고 고등학교 화학

Ⅱ 교과서에 주로 제시되어 있다. 6차 중학교 ‘과학 1’ 교과서의 설명을 분석하여 Fig. 4에 제시하였다. 7차 교육과정의 경우에도 단원의 영역이 화학으로 6차 교육과정의 경우와 동일하여서 설명의 유형이 크게 변화하지 않았다. 따라서 이 논문에서는 7차 교육과정의 경우를 그림으로 제시하지 않았다.

Fig. 4에 따르면, 60% 이상의 교과서가 제시하고 있는 설명 유형은 ‘열-온도-온도일정-끓는점-물질의 특성’과 ‘외부압(혹은 대기압)-끓는점’을 관련지은 것이다. 한 교과서의 서술에서 그 예를 들면 다음과 같다. “메탄올을 가열하면 온도가 계속 올라가다가 일정 온도에 도달하면 더 이상 온도가 올라가지 않고 일정하게 유지된다. 이 구간에서는 액체 상태인 메탄올이 끓어 기체 상태로 변하고 있기 때문이다. 이 평평한 부분에 해당하는 온도가 끓는점이 되는데, ... 중략 ... 이와 같이 순수한 물질의 끓는점은 물질에 따라 일정한 값을 가지므로 물질을 구별할 수 있는 특성이 된다. 액체의 끓는점은 외부의 압력, 즉 대기압의 영향을 받는다.”

그러나 끓음의 설명에서 분자의 운동 개념은 증발의 경우와 달리 단지 한 종류의 교과서에서만 도입되었다. 그리고 분자간의 인력과 끓음을 연결시킨 교과서의 설명은

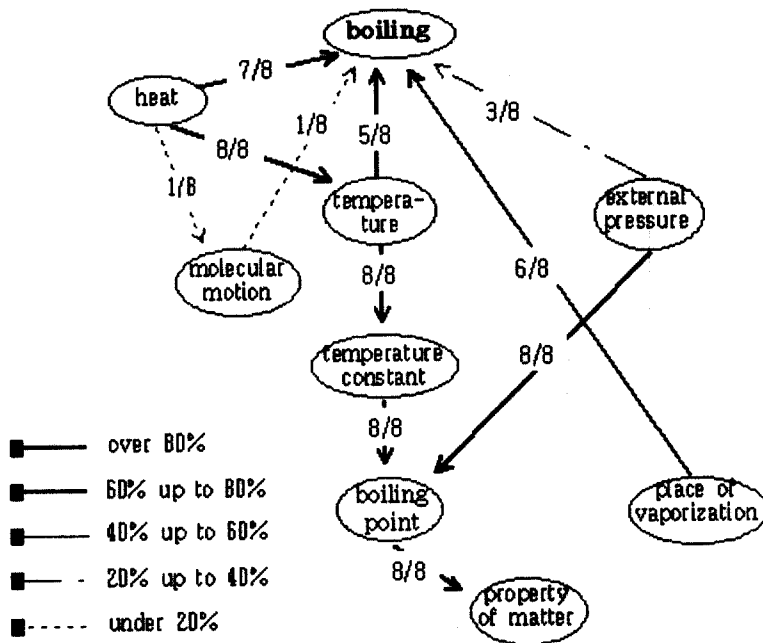


Fig. 4. The map of concepts related to explanations of boiling in science textbooks for 7th grade of 6th curriculum

하나도 없었다. 이는 증발의 경우와 매우 대조되는 설명 유형이라고 할 수 있다. 선행연구들에서 지적하였듯이 증발 뿐 아니라 끓음의 개념에 대해 학생들이 올바른 과학적 관점을 가지기 위해서는 입자의 관점이 도입되어야 한다. 그렇다면 특히 끓음의 설명에 분자 운동이나 분자간 인력 개념을 도입하는 것이 앞으로 교과서 개정에서 필요한 일이라고 생각한다. 예를 들어 “분자 간의 인력이 강하면 이를 끊고 기체로 변하는데 높은 에너지가 필요하다. 끓는점이 높은 물질은 분자간의 인력이 강한 경우이다. 물이 알코올보다 끓는점이 높은 이유는 물 분자들 간의 인력이 알코올 분자들간의 인력보다 크기 때문이다...중략... 분자 운동이 활발해지면 분자간의 인력을 끊고 기체로 되는 분자의 수가 급격하게 증가한다. 끓는점에 도달하면 액체 표면 뿐 아니라 액체 내부에서도 분자들의 인력을 이기고 기체로 변하는 물분자들의 수가 증가하게 된다. 이를 우리는 기포의 형태로 관찰할 수 있다.”고 설명할 수 있다. 끓음에 대한 선행연구에서 지적한 학생들의 잘못된 개념 형성을 방지하기 위하여 교과서에서 조금 더 부연하여 설명할 수 있다면, “끓는 물에서 관찰되는 기포 속에는 기체 상태인 물 분자들이 존재한다. 우리는 흔히 기포를 물 속에 녹아 있는 공기가 석출되는 것이라고 생각하기 쉬우나, 물이 끓을 때 기포 속에는 공기가 아닌 수증기, 즉 기체 상태의 물분자가 대부분 포함되어 있다. 기포를 통해 우리는 액체 상태인 물이 기체 상태로 변화하는 것을 알 수 있다.”와 같은 내용이 첨가될 수 있을 것이다.

중학교 모든 과학 교과서에서 ‘기화 지점’ 개념은 증발과 끓음을 설명할 때에 제시되어 있다. 그러나 증발을 설명할 때에는 기화 지점을 ‘표면’으로, 끓음을 설명할 때에는 기화 지점을 ‘액체 내부’ 또는 ‘전체’로 제시함으로써 증발과 끓음의 설명에서 ‘기화 지점’ 개념은 유사성보다 차이점이 강조된다. 그러면서도 증발과 끓음은 모두 기화의 일종이라는 점을 공통점으로 제시하였다. 근본적으로 학생들이 증발과 끓음의 개념 사이의 공통점과 차이점을 이해할 수 있으려면 앞서 설명한 바와 같이 분자 운동과 분자간의 인력 개념을 포함시켜 설명해 줄 필요가 있다고 본다.

‘열’의 개념은 증발보다는 끓음을 설명할 때 교과서에서 매우 강조된다. 이러한 교과서 설명의 특성은 선행연구(전정수, 2003)에서 학생들이 가열 여부로 증발과 끓음을 구분하는 경향이 나타난다는 결과와 관련이 있다고 할

수 있다. 이 논문에 따르면, 표면에서만 물분자가 이동하는 증발 상황을 동일하게 제시하고, 한 경우에는 알코올 램프로 가열하는 모습을, 다른 경우에는 알코올 램프가 없는 모습을 비교하여 제시한 경우, 높은 비율의 중학교 3학년 학생들이 알코올 램프로 가열하는 모습이 있는 상황을 끓음으로, 알코올 램프가 제시되지 않은 경우를 증발로 구분하는 것으로 분석하였다. 따라서 가열의 상황을 증발과 끓음에 고르게 제시하거나 가열하지 않아도 압력을 낮추면 액체가 끓은 상황을 제시함으로써 반드시 가열의 개념을 끓음과만 관련지어 설명하는 유형에서 교과서 설명이 벗어나는 시도도 이루어질 필요가 있다고 본다.

증발과 달리 끓음에서 새롭게 제시되는 또 다른 개념은 ‘물질의 고유한 특성’이라는 개념과 ‘외부압(혹은 대기압)’의 개념이다. 특히 외부압이나 대기압은 증발과 달리 끓음에서 고려되었다는 점에 주목할 만 하다.

6차 고등학교 화학Ⅱ 교과서에 제시된 설명의 유형은 Fig. 5에 제시하였다. 고등학교 화학Ⅱ 교과서의 설명에서는 수적으로나, 종류 면에서 다양한 개념들이 서로 연결되어 제시되었다.

개념간 연결의 주된 패턴은 중학교 과학 교과서에서 ‘끓음’을 설명하기 위하여 제시한 개념간 연결과 매우 달랐다. 중학교 과학 교과서에서는 ‘열’ 개념과 ‘기화 지점’ 개념이 끓음을 설명하는데 많이 제시되었으나, 고등학교 화학Ⅱ 교과서에서는 ‘외부압’, ‘증기압’, ‘기화 지점’ 등의 개념이 상대적으로 더 많이 제시되었다. 그 사례를 교과서의 설명 중 하나로 제시하면 다음과 같다.

“액체를 가열하여 온도를 높여 주면, 액체의 증기 압력이 외부의 압력과 같아져서 액체 표면뿐 아니라 액체 내부에서도 증발이 일어난다. 이러한 현상을 끓음이라고 한다. 예를 들면, 대기 압력이 1기압일 때, 액체를 가열하여 액체의 증기 압력이 1기압이 되면 끓음이 일어난다. 이 때의 온도를 끓는점이라고 한다.”

보편적으로 끓음과 증발은 모두 기화의 일종으로 본다. 그리고 끓음은 증발로부터 증기압을 설명하고, 증기압과 외부압이 같을 때 액체 내부에서부터 기포가 발생하는 현상으로 설명되어 있다. 따라서 앞에 제시한 고등학교 화학Ⅱ 교과서의 사례와 같이 끓음을 증발의 일종으로 볼 수도 있다. 그러나 왜 증발은 액체 표면에서 일어나는 기화이고, 끓음은 액체 전체에서 일어나는지 그 이유에 대해

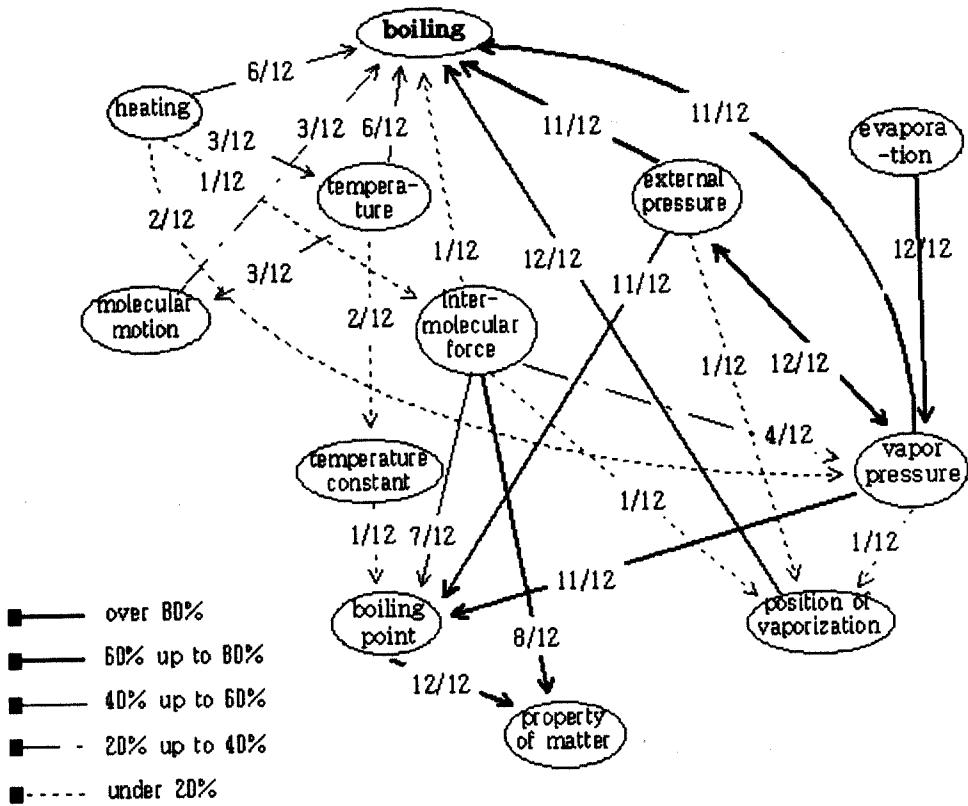


Fig. 5. The map of concepts related to explanations of boiling in chemistry II textbooks for high school students of 6th curriculum

서는 명확하게 설명이 되어 있지 않다. 단순히 관찰되는 현상만으로 분류하는 것을 넘어서서 그 이유를 통해 증발과 끓음을 구분하려면 그 사이의 연결 고리로 제시된 '증기압력'의 개념을 이해할 필요가 있을 것이다.

3. 증기압에 대한 중등 과학교과서의 설명 유형 분석

Fig. 5에 제시된 바와 같이 증기압 개념은 끓음을 설명하기 위하여 도입하는 매우 중요한 개념이다. 그러나 증기압은 보편적으로 끓음이 아니라 증발을 설명하는 과정에서 정의된다. 6차와 7차 중학교 과학 교과서에서는 증기압에 대한 설명이 거의 없고, 6차 고등학교 지구과학 II 교과서와 화학 II 교과서에서 이에 관련된 설명이 있다. 지구과학 II 교과서에서는 '대기 중의 수증기' 단원에서, 화학 II 교과서에서는 '액체' 부분에서 이 개념을 다룬다.

이를 설명 유형에 따라 구분하면 크게 4 유형으로 나누어진다.

첫째 유형은 '공기 중의 수증기량'이다. 4종류의 고등학교 지구과학 II 교과서에서 이러한 설명을 하였다. 분석한 34종의 교과서 중에서 약 11.8%에 해당한다. 둘째 유형은 '공기 중의 수증기 분압'이다. 계의 상태를 동적 평형 상태로 가정하고, 이때 '액체의 증기가 나타내는 압력'으로 설명한 경우도 이에 포함시켰다. 이러한 설명은 8종의 지구과학 II 교과서와 12종의 화학 II 교과서에서 제시되었는데, 분석한 총 교과서의 58.8%에 해당한다. 이를 표현한 그림은 Fig. 6과 같다.

가장 많은 교과서에서 이러한 유형으로 증기압을 정의하였다. 선행연구(정애경, 2003)에서도 대다수의 교사들이 이 유형으로 증기압을 이해하는 것으로 나타났다. 셋째 유형은 '증발하는 수증기 분자수'이다. 9종의 고등학교 화학 II 교과서에서 이러한 설명을 제시하였으며, 분석한

Fig. 6. Pressure of vapor in air

교과서의 26.5 %에 해당한다. 이 유형은 둘째로 많이 제시되는 설명이다.

넷째 유형은 '액체 속의 기포 내 압력'이다. 이 정의는 앞의 세 정의와 달리 액체 바깥이 아닌 액체 내부에서 증기압을 정의하였다. 이렇게 정의한 교과서는 유일하게 고등학교 화학 II 교과서 1종이었다. 그러나 대학교 일반화학 교재 중에는 다수(Brady & Holum, 1996; Chang, 2000; Ebbing & Wrighton, 1997; Hill & Petrucci, 1996; Kotz & Treichel, 1999; MacMurry & Fay, 2001)가 이러한 설명 유형으로 증기압 개념을 제시하였다.

증기압을 설명할 때 유형 4로 증기압을 정의해야 끓음을 '증기압과 대기압(혹은 외부압)이 같을 때'로 설명하는지 이해할 수 있다. 유형 1-3과 같이 증기압을 '증발함으로써 발생하는 액체 외부의 기체 압력'으로 정의한다면, 초기에 액체 외부가 진공이었을 경우를 제외하고는 증기압이 대기압이나 이미 존재하고 있었던 외부압과 같아지는 어렵다. 따라서 외부압은 항상 증기압보다 대기압만큼 더 크기 때문에 영원히 끓을 수가 없는 상황이 된다. 즉, 외부압과 증기압이 같아질 기회가 거의 없다는 것이다. 선행연구(정애경, 2003)에서 제시한 문제점은 바로 과학교사들이 증기압에 대한 정의를 유형 4가 아닌 다른 유형으로 이해함으로써 발생한 것이었다. 중학교 학생들도 밀폐된 플라스크의 물이 낮은 온도에서 끓는 현상을 플라스크 내부의 기압과 액체의 증기압과 관련지어 이해하는 비율이 매우 낮게 나타났는데(전정수, 2003), 이 역시 증기압에 대한 이해의 부족 때문이라고 볼 수 있다.

증기압을 유형 4와 같이 정의하면, 외부압이 수압과 평형을 이룬다는 가정 하에 수압을 이겨야 액체 내부에서 기포가 발생할 수 있으므로, 액체 내부의 기포 압력이 외부압과 최소한 같거나 더 커야 함을 의미한다. 따라서 이 정의가 바로 증기압과 외부압이 같을 때 끓는다는 정의를 의미하는 것이라고 할 수 있다. 이를 그림으로 표현하면

Fig. 7과 같다. Fig. 7은 끓는점에서 대기압과 증기압이 같다는 것을 나타내고 있다.

Fig. 7. Gas pressure in the liquid

증기압이 외부압과 같기 전까지는 액체 내부의 수압을 이기고 기포가 발생할 수 없기 때문에, 이렇게 증기압을 정의하여야만 '액체 내부에서 기포가 발생하는 현상, 혹은 액체 전체에서 상태변화가 일어나는 현상'과 끓음을 관련지어 이해하는 것도 가능해질 것이다.

보편적으로 과학 교과서에서 끓음을 설명할 때에는 증기압의 개념이 포함되었다. 그러나 증발을 설명할 때에는 증기압의 개념을 필요로 하지 않고, 오히려 증기압을 설명하기 위해서 증발 현상을 도입하는 경우가 대부분이었다. 즉 공기 중의 수증기압이 형성되는 원인으로 증발을 도입하였다. 반면 끓음의 정의에는 증기압이 매우 중요한 역할을 한다. 증기압과 외부압, 혹은 대기압이 같아야 끓기 때문이다. 그러나 이렇게 끓는점과 증기압을 단순히 관련짓기 보다는 이를 미시적 관점으로 설명하는 시도도 이루어질 필요가 있다고 본다. 특히 증기압을 다양한 여러 정의 중에서 "액체 속의 기포 압력"이라고 정의한다면, 대기압에 의해 형성된 수압을 이기고 물 분자들이 기체 상태로 바뀌기 위해 일정한 분자운동에너지가 필요하다는 점과, 이렇게 액체 전체에서 물분자들이 기체 상태로 바뀌는 현상이 기포로 관찰된다는 점을 설명해줄 수 있을 것이다.

이러한 미시적 관점을 도입한 끓음에 대한 설명은 왜 외부압 혹은 대기압과 증기압이 같을 때 물이 끓게 되는지 이해하는데 도움을 줄 수 있을 것이라고 본다. 그러나 현재까지 대부분의 과학 교과서에서는 왜 증발은 액체 표면에서 일어나는 기화이고, 끓음은 액체 전체에서 일어나

는지 그 이유에 대해서는 명확하게 설명이 되어 있지 않다. 단순히 관찰되는 현상만으로 분류하는 것을 넘어서서 그 이유를 통해 증발과 끓음을 구분하려면 '증기압력' 이나 '분자운동', '분자간 인력' 등의 개념간 연결 고리가 교과서의 설명에 제시되는 것이 필요하다고 본다.

V. 결론 및 제언

이 연구에서는 학생들과 교사들에게 가장 중요한 교육 매체라고 할 수 있는 과학교과서에서 증발과 끓음에 대해 어떻게 설명하고 있는지 그 유형을 분석하였다. 특히 교과서의 설명 유형이 설명 유형이 학급에 따라, 혹은 과학의 단원이나 영역에 따라, 그리고 교육과정의 변천에 따라 변화되었는지 살펴봄으로써 증발과 끓음에 대한 설명이 다양한지, 아니면 한가지 유형이 고착되어 있는지 알아보고자 하였다. 이러한 분석 결과를 토대로 보다 바람직한 설명 유형을 찾아보고자 하였다.

연구 결과, 교과서의 설명 유형은 화학 영역의 단원인가, 아니면 지구과학 영역의 단원인가 등 과목의 특성에 따라 달라지는 것으로 나타났다. 6차와 7차 교육과정에 따른 변화도 비교하였으나, 그러한 변화는 교육과정의 변화라기보다는 증발이나 끓음을 다루는 단원이 화학 영역에 속하는지, 아니면 지구과학 영역에 속하는지에 따라 달라진 것이라고 보았다.

또한 중학교보다는 고등학교에서 설명에 포함된 개념 사이의 연결이 보다 많은 것으로 나타났다. 이에 반해 중학교에서는 단순히 개념들을 나열하여 설명하는 경향이 더 컸다. 개념들 사이의 연결이 많을수록 오스벨이 주장한 유의미 학습이 보다 효율적으로 이루어질 수 있을 것이다. 따라서 중학교 과학 교과서에서 설명을 위해 제시한 개념들을 관련짓는 노력이 이루어질 필요가 있다고 본다. 특히 끓음을 설명할 때 '증기압'의 개념을 액체 속에서의 기포 개념과 관련지어 '기화 지점'과 연결시킬 수 있는 설명이 필요하다고 보지만, 이러한 시도를 한 교과서는 거의 없었다.

선행연구들(Johnson, 1998a; Johnson, 1998b; Bar & Travis, 1991; 임명혁, 2002)에서 증발과 끓음의 개념을 입자적 관점으로 이해하는 것의 중요성을 지적하였지만, 이 연구를 통해 많은 과학 교과서에서 이러한 관점으로 증발과 끓음을 설명하지 않고 있음을 지적하였다. 선행연구들에서는 입자적 관점으로 증발이나 끓음을 이해할 수

있는 학생의 수준을 초등학교 고학년이나 중학교 저학년 정도로 보았다. 따라서 중학교 과학 교과서에서부터 이러한 개념들의 도입과 현상의 연결이 이루어진 설명이 가능할 것이라고 본다.

대다수의 과학 교과서에서 증발과 끓음을 기화가 일어나는 지점으로 구분하였다. 즉, 증발은 표면에서, 그리고 끓음은 액체 내부나 전체에서 일어난다는 점에 초점을 두어 설명하고 있었다. 그러나 이렇게 기화의 지점이 다른 원인을 분자간의 인력과 연결하여 설명하는 경우는 거의 없었다. 따라서 액체의 표면이 액체의 내부보다 분자간의 인력이 상대적으로 약하기 때문에 쉽게 분자가 떨어져 나갈 수 있고, 이 현상이 증발이라는 점을 연결시켜 설명하는 시도도 이루어질 필요가 있다고 본다.

비록 중학교에서는 아직 개념간의 관련성을 이해하기가 어렵다고 판단되더라도, 오스벨(조희형과 최경희, 2001)이 주장한 점진적 분화(progressive differentiation)나 통합적 화합(integrative reconciliation)을 고려한다면, 최소한 고등학교에서는 이러한 개념들 사이의 관련이 나타나야 할 것이다. 특히 분자간의 인력 개념은 기화의 지점에 대한 설명에도 중요할 뿐 아니라, 증발과 물질의 특성을 연결하는 과정에서도 중요한 역할을 한다. 증발이 물질의 특성이 되는 이유는 물질을 구성하는 분자 사이의 인력 크기에 의해 증발 속도가 결정되기 때문이다.

교과서에서 제시하는 학습 내용이 학생들에게 제대로 전달되기 위해서는 여러 가지 방법이 가능할 수 있다. 증발이나 끓음이라는 두 현상도 저학년에서는 단순히 현상적인 측면(예를 들어 기포가 발생한다든지, 가열한다든지, 표면에서 일어난다든지 등등)으로 제시하는 것이 효과적일 수 있다. 그러나 점차 상위 학습이 진행되면서 교과서에 제시된 개념들 간의 통합과 유의미한 연결이 고려될 필요가 있다고 본다. 이렇게 재구성된 교과서의 개념 제시에 의해 과학 교사들과 학생들이 증발과 끓음에 대한 교수-학습을 효과적으로 이루어나갈 수 있을 것인지에 대해서는 앞으로 계속 연구될 필요가 있을 것이다.

Gagne(박성익과 최영수, 1998)에 따르면, 어떤 개념이 제대로 학습되려면 그 개념에 관한 현상이나 사례 뿐 아니라 그 개념에 무관한 현상이나 사례도 이해하여야 한다고 하였다. 예를 들면 물고기라는 개념을 이해하려면 상어가 물고기라는 점도 이해하여야 하지만, 고래가 물고기가 아니라는 사실도 이해하여야 한다는 것이다. 따라서 학생들이 증발과 끓음의 현상을 제대로 이해하려면, 이들

현상의 공통점과 차이점을 관련된 주요 개념을 비교하면서 학습할 필요가 있을 것이다. 특히 개념들 간의 관련성을 분석하면서 이를 통해 현상으로 나타나는 차이에 대한 근본적인 이해를 하지 못한다면 이에 관련된 폭넓은 사고의 발달을 기대하기 어렵다. Haidar & Abraham(1991)도 주장하였듯이 교과서에서는 실제 관찰을 통하여 얻어진 현상과 이를 설명하는 과학적 개념의 연결 뿐 아니라 과학적 개념들 간의 연결 또한 중요한 것이라고 본다.

국문 요약

이 연구에서는 6차와 7차 교육과정에서 개발한 중·고등학교 과학 교과서에 제시된 증발과 끓음의 설명과 관련된 개념들을 분석하였다. 교과서의 설명 유형은 중학교과 고등학교, 6차와 7차 교육과정, 그리고 과목이나 단원에 따라 구분하여 설명의 다양성을 확인해 보고, 설명에 사용된 개념간의 관계를 표현한 맵을 중심으로 특징을 비교하였다. 증발과 끓음에 관련된 설명의 차이는 주로 중학교과 고등학교 사이, 그리고 화학과 지구과학 분야 사이에서 발견되었다. 증발과 끓음 현상을 설명하기 위한 주요 개념들 사이의 관련성은 부족산 것으로 나타났다.

참고 문헌

강영희, 조완규, 권숙일, 나일성, 소현수, 조희구, 이민호, 윤길수, 하효명, 서평웅, 김중권, 이영만, 목창수 (2000). *중학교 과학2*. (주)두산: 서울.

강태정(2000). 물질의 상태와 상태 변화에 대한 초등 학생의 개념 조사. *한국교원대학교 석사학위 논문*.

국동식(1988). 물의 상태 변화에 대한 중, 고등학생의 개념 형성에 관한 연구. *한국과학교육학회지*, 8(1), 33-41.

박선양(2000). 일상적 상황에서 물의 상태 변화에 대한 학생들의 반응 유형 분석. *한양대학교 석사학위 논문*.

박홍순(1995). 국민학교 아동들의 증발 현상에 대한 이해도 조사. *상지대학교 석사학위 논문*.

백성혜, 박재원, 박진옥, 임명혁, 고영미, 조부경, 김효남 (2002). 물의 상태, 상태변화 및 그 조건에 대한 유치원, 초등, 중등 과학 교재의 내용 분석. *한국과학교육학회지*, 22(2), 215-229.

신인철(1992). 증발과 응결에 대한 국민학생들의 개념 조

사. *한국교원대 석사학위논문*.

양영민(1992). 증발과 응결에 대한 국민학교 학생들의 개념 조사. *한국교원대 석사학위논문*.

여상인(2001). 초등학교 예비교사의 증발과 응결 현상에 대한 이해. *인천교육대학교 과학교육논총*, 13, 209-224.

예종성(1999). 초등학생들의 증발과 응결에 대한 대안적 개념 연구. *부산교육대학교 석사학위 논문*.

윤재화(2001). 초등학교 학생들의 증발과 응결에 관한 개념 변화 유형 조사 연구. *서울교육대학교 석사학위 논문*.

이운정(1994). 국민학교 4,5학년 학생들의 증발과 응결에 대한 선개념 유형과 경험활동 학습을 통한 개념변화 연구. *이화여자대학교 석사학위 논문*.

이정화(1994). 국민학교 저학년 학생의 증발과 응결에 대한 선개념 조사 및 수업을 통한 개념 변화. *이화여자대학교 석사학위 논문*.

임명혁(2001). 물의 상태 변화와 상태변화의 조건에 대한 유아, 초등, 중학교 학생들의 개념 분석. *한국교원대학교 석사학위 논문*.

전정수(2003). 증발과 끓음에 대한 중학생들의 개념 조사. *한국교원대 석사학위논문*.

조부경, 고영미, 김효남, 백성혜, 박재원, 박진옥, 임명혁 (2002). 증발과 증발 조건에 관한 활동에서 유·초·중학교 학생들의 개념 유형 및 학년별 경향성에 관한 연구. *한국과학교육학회지*, 22(2), 286-298.

조희형, 최경희(2001). *과학교육총론*. 교육과학사: 서울.

최경희(1997). 중학교 과학 교과서에 포함된 과학-기술-사회(STS) 내용, 활동 유형 및 포함 정도 분석. *한국과학교육학회지*, 17(4), 425-433.

최병순, 김효남, 강순희, 신인철(1993). 증발과 응결에 대한 국민학생들의 개념 조사. *한국과학교육학회지*, 13(1), 92-99.

Bar, V. & Galili, I.(1994). Stages of Children's Views about Evaporation. *International Journal of Science Education*, 16(2), 157-174.

Bar, V. & Travis A. S.(1991). Children's Views Concerning Phase Changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(4), 363-382.

Brady, J. E. & Holum J. R.(1996). *Chemistry - The Study of Matter and Its Changes* (2nd ed.). John

- Wiley & Sons, Inc : New York.
- Chang, J-Y.(1999). Teachers college student's conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83(5), 511-526.
- Chang, R.(2000). *Essential Chemistry- A Core Text for General Chemistry* (2nd ed.). McGraw-Hill Companies, Inc : N.Y.
- Ebbing, D. & Wrighton, M.(1997). *General Chemistry* (4th ed.). Houghton Mifflin Company: N.Y.
- Hwang, B. T., & Hwang, H. W.(1990). *A study of cognitive development of the concepts of solution*. Research report sponsored by National Science Council, R.O.C(Grant No. NSC79-0111-S003-021-D). Taipei; NSC.
- Hill, J. W. & Petrucci R. H.(1996). *General Chemistry*. Prentice Hall : N.Y.
- Johnson, P. M.(1998a). Children's Understanding of Changes of State Involving the Gas State, Part 1: Boiling Water and the Particle Theory. *International Journal of Science Education*, 20(5), 567-583.
- Johnson, P. M.(1998b). Children's Understanding of Changes of State Involving the Gas State, Part 2: Evaporation and Condensation Below Boiling Point. *International Journal of Science Education*, 20(6), 695-709.
- Kotz, J. C. & Treichel, P.(1999). 최신 일반화학. 탐구당: 서울.
- McMurry, J. & Fay, R. C.(2001). *Chemistry*. Prentice Hall: N.Y.
- Osborne, R. J. & Cosgrove, M. M.(1983). Children's Conceptions of the Changes of State of Water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Russel, T., & Watt, D.(1990). *Evaporation and condensation: Primary SPACE Project Research Report*. Liverpool University Press: London.
- Stavy, R.(1988). Children's conception of gas. *International Journal of Science Education*, 10(5), 553-560.
- Tytler, R.(2000). A Comparison of Year 1 and Year 6 Student's Conceptions of Evaporation and Condensation: Dimensions of Conceptual Progression. *International Journal of Science Education*, 22(5), 447-467.

* 중, 고등학교 과학 교과서는 참고문헌에서 생략하였음.