Journal of the Korean Chemical Society
2015, *Vol. 59, No. 4*
Printed in the Republic of Korea
http://dx.doi.org/10.5012/jkcs.2015.59.4.289

가열과 비가열 상황에서 증발과 끓음 개념에 대한 초등교사들의 분류 기준에 대한 생각

백성혜* · 김양아
한국교원대학교 화학교육과
(접수 2015. 4. 2; 게재확정 2015. 5. 16)

The Elementary School Teachers' Thoughts of the Classification Criteria for Evaporation and Boiling Concept in the Heating and Non-Heating Conditions

Seoung-Hey Paik* and Yang Ah Kim
*Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, 363-791, Korea. *E-mail: shpaik@knue.ac.kr*
(Received April 2, 2015; Accepted May 16, 2015)

요 약. 이 연구의 목적은 가열과 비가열 상황에서 증발과 끓음 개념을 분류하는 기준에 대한 초등학교 교사들의 생각을 알아보는 것이다. 이를 위하여 초등학교 교사 37명을 대상으로 설문 및 면담을 실시하였다. 가열 상황을 제시하였을 때, 많은 교사들은 증발 현상을 끓음으로 생각하였으며, 그 반대 상황에서는 끓음 현상을 증발로 생각하였다. 이것은 교사들이 가열 상황과 끓음을 연결하고 사고하고, 비가열상황도 증발현상을 연결하여 사고함을 의미한다. 또한 가열과 비가열 상황에 따라 교사들이 증발과 끓음을 구분하는 분류 기준이 달랐다. 이 연구에서는 증발과 끓음 개념에 대한 생각의 혼란을 방지하기 위하여 전형적인 사례를 벗어난 다양한 사례를 교과서과 교수방식에 제시할 필요성을 제안하였다.

주제어: 증발, 끓음, 가열상황, 비가열상황, 초등교사

ABSTRACT. The purpose of this study was to survey the elementary school teachers' thoughts of the classification criteria for evaporation and boiling concept in the heating and non-heating conditions. For this purpose, we conducted a survey and interviews with 37 elementary school teachers. When the heating conditions were presented, many teachers thought evaporation phenomena as boiling. In opposite condition, many teachers thought boiling phenomena as evaporation. This means that teachers‘ thought of boiling phenomena was connected with heating conditions and evaporation phenomena with non-heating conditions. In addition, the classification criteria to distinguish evaporation and boiling phenomena depending on the heating and non-heating conditions were not coherent. In this study, we suggested that a various cases beyond the typical case must be presented in the textbooks and teaching in order to avoid confusion of thoughts related to evaporation and boiling concepts.

Key words: Evaporation, Boiling, Heating situation, No heating situation, Elementary school teacher

서 론

증발과 끓음은 물질의 상태변화, 물질의 보존, 물질의 입자관 등을 이해하는데 토대가 되는 중요한 개념이며,[1–4] 일상생활과 밀접하게 관련되어 있어서 초등학교부터 다룬다. 그러나 눈으로 관찰할 수 없는 기체 상태로의 변화를 다루기 때문에 많은 학생이 대안적 개념을 가지는 것으로 나타나고 있다. 많은 연구[5–12]에서 초등학생들의 대안 개념을 찾고, 과학 개념 형성의 어려움을 조사하였다.

초기에 학생들이 잘못된 개념을 형성하면 이후의 과학 학습에 지속적으로 부정적인 영향을 미친다. 여러 학년의 학생들을 대상으로 물의 끓음과 증발 등의 개념을 연구들[2,13,14]에 따르면, 학년이 높은 경우에도 어린 학생들과 유사한 비과학적 개념들이 존재하고 경우에 따라서는 학년이 높은 학생들의 비과학적 개념이 더 많은 것으로 나타나기도 하였다. 다른 연구[15]에서도 11학년부터 13학년의 독일 학생들이 끓음에 대해 다양한 오개념을 가지고 있음을 밝혔다. 특히 학생들은 증발이나 끓음이라는 용어를 사용하지만 개념적 이해가 과학자의 것과 다르며, 기본적인 과학개념들을 통합시켜 이해하는 데 실패하는 것으로 나타났다.[2] 심지어 대학생인 예비교사들도 증발과 끓음을 구분하는 데에 어려움을 겪는 것으로 나타났다.[16] 다른 연구[17]에서도 초등학교 과학을 담당할 예비교사들이 증발에 대한 오개념을 가지고 있음을 밝혔다. 또한 초등학교 교사들을 대상으로 끓음의 개념을 알아본 연구[18]에서도 과학전공이 아닌 교사들은 굉장히 많은 오개념을 가지고

있으며, 그 원인은 일상생활에서의 경험 때문이라고 하였다. Paik & Cho의 연구[19]에서는 대기 중의 수증기량이 증발과 끓음에 미치는 영향에 대한 생각을 고등학생들과 화학전공한 교사들에게 알아본 결과, 고등학생 뿐 아니라 화학을 전공한 교사들조차도 대기 중의 수증기량이 증발과 끓음에 영향을 미칠 것이라는 오개념을 가지는 것으로 나타났다. 또한 Kim 등의 연구[20]에서는 언 빨래가 마르는 현상에 대해 중등학교 화학전공 교사들조차도 증발과 승화 등의 개념에 오류를 나타내는 것으로 분석하였다.

증발에 관련하여 선행연구에서 제시한 오개념들을 정리해 보면, “증발은 화학적 변화이다.”, “액체 전반에서 일어난다.”, “수증기에는 수소와 산소 기체가 포함되어 있다.”등 속성에 대한 것, “거시적 관점에서 증발을 이해한다.”와 같은 입자적 관점의 부재, “기체의 무게가 액체의 무게보다 가볍기 때문에 물로 채워진 비커의 무게는 증발 후에 줄어든다.”와 같은 시스템적인 것, “증발에는 가열이 포함되어야 한다.”, “온도가 높지 않으면 증발이 일어나지 않는다.”와 같은 온도와 관련된 것 등이 있다.

끓음에 관련된 선행연구에서 제시한 오개념 중에는 “끓음은 화학적 변화이다.”, “끓음은 물 표면에서만 일어난다.”, “끓을 때 액체의 화학적 구조가 변한다.”와 같은 속성적인 것, “거품은 열로 만들어진다.”, “거품은 수소와 산소로 구성되어 있다.”, “거품은 공기이다.” 등과 같은 끓을 때 나타나는 거품에 대한 오개념, “물은 100 ºC에서만 끓는다.”, “끓는점은 항상 일정하며 변하지 않는다.”, “끓음은 열에 의해서만 일어나는 과정이다.”, “대기압은 끓는점에서 무시할 수 있다.” 등과 같은 영향 미치는 변인에 대한 것, “증기압과 끓는점의 관계”, “순수한 액체와 용액의 끓은점”, “대기압과 증기압의 혼동”과 같은 압력과의 관계에 대한 것 등이 있다.

많은 연구[21–23]에서 증발 현상을 과학적으로 이해하기 위해서는 보존 논리와 기체에 대한 개념 형성이 중요하다고 하였다. 기체에 대한 개념은 눈에 보이지 않는 미시적 관점의 이해를 형성하는 것으로, Tytler 등[11] 역시 증발에 대한 이해를 증진하기 위해서는 분자 관점에서의 사고가 필요하다고 하였다. 그 외에도 여러 선행연구[24–29]에서 학생들의 이해 증진을 위해 거시적 관점과 미시적 관점을 동시에 제시할 필요성을 주장하였다. Stamovlasis 등의 연구[30]에서도 물질, 특히 기체에 관련된 학생들의 이해를 다룬 다양한 선행연구를 고찰하고 논리적 사고력, 장독립/의존성, 그리고 확산/수렴적 사고가 물리변화에 대한 개념적 이해에 중요한 영향을 미친다고 하였다.

그러나 학생들이 미시적 관점에 대한 논리적 사고가 가능해야만 특정한 과학 개념의 학습이 가능하다면, 형식적 조작기에 도달하지 못한 초등학생들을 대상으로 올바르게 가르칠 수 있는 과학개념은 거의 없을 것이다. 또한 인지구조는 연령에 따라 변하지만 인지구조가 발달한 후에도 개념의 변화가 일어나는 일은 드물다. 오히려 일상생활이나 교육을 통해서 잘못 형성된 개념은 그 후의 교육에 의해서도 크게 변화하지 않아서 더 높은 학년 층에서 더욱 더 많이 나타난다.[2]

그런 점에 비추어 보았을 때, 증발과 끓음에 대한 학생들의 오개념을 인지구조보다는 경험이나 교육적 효과에 의한 것으로 보는 것이 더 타당할 수 있다. 이런 점에서 Krnel 등[31]은 학생들의 인지 수준이 발달하면서 개념 이해가 증가하는 것은 인지 발달 때문이 아니라 성장하면서 경험을 더 많이 획득하기 때문이라고 제안하였다. 이러한 점에서 증발과 끓음에 관련된 교육적 효과를 보고한 연구[32,33]들도 제시되었다. Costu 등의 연구[32,33]에서는 18세에서 21세 사이의 대학교 신입생을 대상으로 끓음과 증발에 대한 다양한 선개념을 조사하고 교육을 통해 학생들의 사고 변화가 가능함을 주장하였다. 또한 개념변화 조건을 토대로 한 사례 기반 학습이 10학년 학생들의 기체 개념 이해에 긍정적인 영향을 미친다고 주장한 연구[34]도 있다. Yang & Paik[35]은 대기 중의 증발 현상에 대한 중등학교 화학전공 교사들의 개념 변화 과정에 대한 연구를 통해 포화수증기량 곡선의 적용한 수업이 상평형 그림에 대한 교사들의 오개념을 개선하는데 효과적임을 보고하였다.

우리나라의 경우 2007 개정교육과정에서는 초등학교 4학년 때 증발과 끓음 개념을 다루지만, 미시적인 입자 개념을 도입하지 않고 있다. 학생들은 주로 개념의 정의나 대표성을 띠는 사례로부터 과학 개념을 형성하는데, 나이가 어릴수록 추상적인 정의보다는 구체적인 사례로부터 개념을 형성할 가능성이 높다. 그러나 제한된 사례는 대안개념의 형성을 자극할 가능성이 높다. 이는 비단 학생들만의 문제가 아니며, 선행연구에서 지적한 바와 같이 성인이 된 후나 교사의 경우에도 해당된다. 이에 대한 교정이 이루어지는 교육 처치가 없는 한 초등학교 때 잘못 형성된 개념은 평생 유지될 가능성이 있다.

특히 증발과 끓음처럼 액체 상태에서 기체 상태로의 변화라는 공통점을 가진 개념을 구분하기 위해서는 경험한 사례의 특징적 차이가 중요하다. 초등학교 4학년 때 증발과 끓음 개념을 대조하여 구분하도록 제시하지만, 고등학생들도 두 개념을 구분하는 것에 어려움을 나타내었다. 선행 연구[36]에 따르면 고등학생들은 증발과 끓음을 구별할 때 기화 위치나 기포 발생 유무 보다는 가열상태인지 아닌지로 판단하였다. 즉 물을 가열하고 있으면 끓음으로, 가열하지 않은 상태이면 비록 기포가 나오고 있어도 증발로 생각하고 있었다. 이는 어렸을 때 잘못 형성된 개념이 지속되는 경우를 보여주는 것이라고 할 수 있다. 대부

분의 개념 설명에서 증발은 공기 중에 두었을 때의 상황으로, 끓음은 가열 상황으로 제시하기 때문에 액체의 상태를 보고 판단하기 보다는 사례의 외적 요인인 가열 여부가 개념 형성에 영향을 미친 것이다. 다른 연구[2,37]에서도 많은 학생들이 끓음은 가열 상황에서만 일어난다고 생각한다고 밝혔다. Canpolat 등[38]은 대학생들도 기화가 일어나려면 끓는점에 도달하기까지 가열해야 한다는 오개념을 가지고 있다고 하였다.

이렇게 증발과 끓음에 관련된 과학 개념 형성에 학생들이 어려움을 겪는다면, 이를 지도하는 교사들의 생각은 어떠한지 알아보는 것도 필요하다. 연구의 시점은 2007 개정 교육과정이었고, 증발과 끓음은 초등학교 4학년에 제시되어 있다. 이 연구에서는 선행연구에서의 지적을 근거로 하여 가열 여부가 초등학교 교사들의 증발과 끓음 개념에 대한 생각에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 교사의 생각의 특성은 학생들을 지도할 때 큰 영향을 미칠 가능성이 있기 때문이다. 특히 끓음을 제시할 때 교과서 및 일상 사례에서 가장 전형적인 가열 상황을 제시하고, 이 상황에 따라 증발과 끓음을 구분하는 기준이 달라지는지 확인하고자 하였다. 이를 통해 상황에 따른 개념 구분의 어려움이 발생하는지 알아보고, 일관성 있는 구분 기준을 가지고 증발과 끓음 개념을 지도할 필요성을 제안하고자 하였다.

연구 방법

중부지역의 대학원 석사과정에 재학 중인 10명의 초등교사들을 대상으로 면담을 통해 증발과 끓음을 구분하는 분류 기준을 조사한 결과, 가열 상황 여부가 표면에서의 상태변화나 액체 속에서의 상태 변화보다 더 중요한 요인으로 작용한다는 점을 파악하고, 이를 근거로 4가지 유형의 상황을 제시한 설문을 구성하였다. 즉, 가열하지 않고 있으며 표면에서만 물의 증발이 일어나는 상황, 가열하고 있지만 표면에서만 물의 증발이 일어나고 물속에서 기포가 나오지 않는 상황, 가열하지 않고 있지만 물속에서 기포가 나오는 상황, 가열하고 있으며 물속에서 기포가 나오는 상황을 제시하였다. 그리고 각각의 상황을 증발과 끓음으로 구분하도록 요구하였으며, 그렇게 분류한 기준을 적도록 하였다. 설문지는 과학교육전문가 1인과 과학교육 전공 석사학위를 가진 초등학교 과학교사 5인의 검토를 거쳤다.

중부 지역 대학원 석사과정에 재학하는 초등교사 37명과 제주 지역의 초등교사 43명을 대상으로 개발한 설문지를 통해 생각을 조사하였다. 대학원 석사과정에 재학하는 초등교사들의 근무지는 전국적으로 분포하고 있다. 설문 결과는 각 문항에 대한 응답과 그 이유 진술을 범주화하여 유형을 분류하고, 그 빈도를 산출하였다.

연구 결과

비가열 상황에서 증발 개념의 분류기준

알코올 램프가 주어지지 않은 상황에서 빈 통에 적당량의 물을 넣고 오랜 시간동안 가만히 두었을 때의 물 분자의 위치와 이동하는 방향을 나타낸 모습을 *Fig.* 1과 같이 제시하고 이를 증발과 끓음 중에서 구분하도록 연구대상자들에게 요청하고 그 이유에 대한 진술을 수집하였다.

응답을 분석한 결과를 *Table* 1에 제시하였는데, 모든 교사들(100%)이 이 현상을 증발로 분류하였다. 이렇게 분류한 기준에 대해 알아본 결과, 가장 많은 응답률은 '기화 위치'였다. 55%의 교사들이 물 표면에서의 기화 현상, 표면에서의 물 이동 등 기화위치를 근거로 이 현상을 증발로 구분하였다. '열을 가해주지 않았으므로', '열에너지 전달이 없으므로', '자연 그대로 두었으므로', '자연적으로 증발' 등 가열하지 않았다는 상황으로부터 증발과 끓음을 구분한 경우는 모두 '가열 여부'라는 응답 유형에 포함시켰다. 가열 여부로 증발 현상을 판단한 교사는 22.5%이었다. '끓는점에 도달하지 않았으므로', '끓는점보다 낮기 때문' 등의 '끓는점 도달여부'로 이 현상을 증발로 분류한 교사들은 총 10명으로 12.5%의 응답률을 보였다. '동적평형에 도달했으므로', '외부의 영향을 받지 않았으므로' 등의 응답은 따로 분류하기에는 빈도수가 매우 적어서 기타에 포함시켰으며 이러한 응답률은 7.5%였다. 증발이라고 응답하였으나 이유를 설명하지 못하는 경우도 2명이 있었으며, 2.5% 응답률을 보였다.

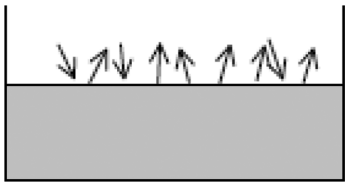


***Figure* 1.** Evaporation in non-heating situation.

***Table* 1.** The classification criteria of evaporation in non-heating situation

Response		Evaporation*	Boiling
Number(%)		80(100.0)	0(0.0)
Classification criteria	Position*	44(55.0)	0(0.0)
	Non-heating	18(22.5)	0(0.0)
	Boiling point	10(12.5)	0(0.0)
	The others	6(7.5)	0(0.0)
	No response	2(2.5)	0(0.0)

*Scientific conception

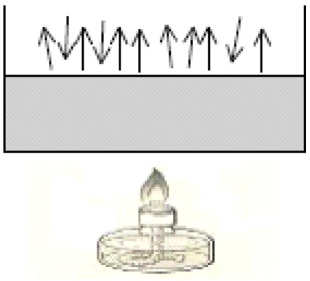


***Figure* 2.** Evaporation in heating situation.

가열 상황에서 증발 현상의 분류기준

빈 통에 적당량 넣은 물을 알코올램프로 가열하는 상황에서 물 표면에서 증발만 일어나고 있는 모습을 *Fig*. 2와 같이 제시하고, 이를 증발과 끓음 중에서 구분하도록 연구대상자들에게 요청하고 그 이유에 대한 진술을 수집하였다. 이때 열린계에서의 상황이고 비가열 상황보다는 온도가 높아지는 것을 감안하여 증발하는 경향이 응축되는 경향보다 더 많다는 것을 나타내도록 위방향의 화살표 개수를 더 많이 표시하였다.

응답을 분석한 결과는 *Table* 2에 제시하였다. 알코올램프로 가열하는 상황에서 이 현상을 증발이라고 답한 교사는 38명(42.5%), 끓음이라고 답하는 교사는 38명(42.5%)으로 동일한 비율을 나타내었으며, 기타 및 무응답 한 교사는 4명이었다. 이 경향은 비가열 상황에서 증발이라고 답한 교사의 정답률(100%)과 비교할 때 매우 큰 변화라고 볼 수 있다. 알코올램프로 가열하는 상황과 그렇지 않은 상황에서 동일한 증발 현상이지만 교사들은 그렇게 분류하지 않았다. 즉 가열 여부가 증발과 끓음의 개념을 분류하는 데 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

교사가 많은 혼란을 느끼는 이유를 보다 자세히 살펴보기 위하여 증발이나 끓음을 선택한 구체적인 이유를 조사하여 그 결과를 *Table* 2에 정리하여 제시하였다. 이 현상을 증발이라고 답한 이유로는 '기화위치'가 26명(32.5%)으로 가장 많았다. 그러나 비가열 상황에서 증발이라고 답한 교사의 수(38명, 42.5%)와 비교할 때 12명 더 적은 응답이었다. 정답률이 10% 정도 낮아진 이유는 알코올램프의 제시로 인해 이 현상을 끓음으로 분류한 교사의 수가 늘었기 때문이다. 끓음으로 답한 이유로는 '가열했기 때문에'라고 응답한 교사가 22명(27.5%)으로 가장 많았고, '끓는점에 도달해서'로 응답한 교사가 8명(10%)으로 그 다음이었다. 비가열 상황에서 증발과 끓음의 구분 기준을 '기화위치'라고 답한 44명 중 26명은 동일한 기준으로 이 현상을 증발이라고 분류하였으나, 18명은 분류의 기준을 바꾸었다. '기화위치'가 아닌 다른 기준으로 바뀐 18명 중 17명은 모두 '외부의 열 공급', '가열해 주었으므로' 등 '가열'에 관련된 이유를 제시하였으며, 1명은 '기타(수증기가 많으므로)'를 이유로 제시하면서 이 현상을 끓음으로 생각하였다. 이 결과를 통해 많은 초등학교 교사들이 물을 가열하는 상황 자체만으로도 이를 끓음으로 생각하는 경우가 많다는 것을 확인할 수 있었다.

기포가 발생하지 않았다는 이유로 제시한 현상을 증발이라고 분류한 교사는 6명이었으며, 이는 두 번째로 높은 분류 기준이었다. 비가열 상황에서는 '기포 발생 여부'로 증발과 끓음을 구분한 교사가 없었으나, 가열 상황에서는 기포 발생 여부를 분류 기준으로 증발과 끓음을 구분함을 확인할 수 있었다. 이 역시 끓음과 가열 상황을 밀접하게 생각하는 교사의 분류 기준의 특성을 보여주는 것이라고 할 수 있다.

끓는점의 도달여부를 알 수 없으므로 증발이라고 답한 교사가 2명, 가열하였기 때문에 증발이라고 답한 교사가 2명이 있었다. 또한 증발이라고 답하였으나 그 이유를 설명하지 못한 교사가 2명이 있었다. '물의 끓는점인 100 ºC에 도달하였는지를 알 수 없기 때문에 증발이나 끓음을 선택할 수 없다'는 응답은 '끓는점 도달여부'에 포함 시켰다. 끓는점이 100 ºC라고 답하는 교사는 끓는점을 압력과 상관없이 온도에만 영향을 받는 것으로 생각하고 있음을 알 수 있다. 가열을 하였기 때문에 증발이라고 답하거나 이유를 설명하지 못하는 교사는 증발에 대한 개념이 정립되어

***Table* 2.** The classification criteria of evaporation in heating situation

Response		Evaporation*	Boiling	The others
Number(%)		38(42.5)	38(42.5)	4(5.0)
Classification criteria	Position*	26(32.5)	0(0.0)	0(0.0)
	Bubbling*	6(7.5)	0(0.0)	0(0.0)
	Boiling point	2(2.5)	8(10.0)	2(2.5)
	Heating	2(2.5)	22(27.5)	0(0.0)
	The others	0(0.0)	8(10.0)	2(2.5)
	No response	2(2.5)	0(0.0)	0(0.0)

*Scientific conception

있지 않은 것으로 보인다. 그리고 끓는점 도달여부를 알 수 없다고 응답한 교사는 제시한 상황에 대한 판단을 유보한 것으로 이 역시 증발에 대한 개념 정립이 부족한 것으로 분석하였다.

비가열 상황에서 증발과 끓음의 분류 기준을 '끓는점 도달여부'로 보고 분류한 학생 10명은 가열 상황에서도 같은 분류 기준을 적용하는 일관성을 보였다. 가열 상황에서 10명 중 2명은 끓는점 도달을 하지 않았기 때문에 증발로 분류하였으며, 8명은 가열을 하였으므로 끓는점 도달했을 것이기 때문에 끓음이라고 답하였다. 비록 최종적인 분류 결과는 달랐지만, 일관성 있는 기준을 적용했다는 점에서 '끓는점 도달여부'는 증발과 끓음을 구분하는 명료한 분류기준으로 작용할 수 있음을 시사한다.

비가열 상황에서 끓음 현상의 분류기준

설문을 작성하기 전에 실시한 예비 조사에서 증발과 끓음에 대한 판별 기준이 끓는점 도달 여부이고, 끓는점은 온도에만 영향을 받기 때문에 100 ℃라는 고정된 값을 가진다는 사고가 많이 있었다. 이는 전형적인 사례에서 기압은 1기압으로 가정하고 온도만 제시한 경우가 많기 때문이라고 판단된다. 따라서 끓음이 온도 뿐 아니라 기압의 조건에 영향을 받는다는 점을 생각하는지 알아보기 위하여 적당량의 물이 들어 있는 통이 0.3기압 70 ℃ 상태일 때 물 내부의 기포가 발생되는 모습과 물 표면의 분자들이 기화되는 모습을 제시하였다(*Fig.* 3). 물이 든 용기를 가열하지 않은 상황에서 이러한 끓음 현상을 교사들이 분류하는 기준에 대해 알아보았다(*Table* 3).

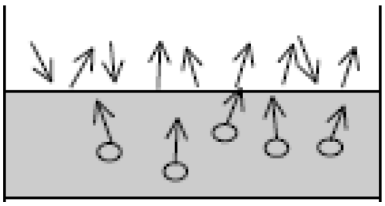


***Figure* 3.** Boiling in non-heating situation.

***Table* 3.** The classification criteria of boiling in non-heating situation

Response		Evaporation	Boiling*
Number(%)		32(40.0)	48(60.0)
Classification criteria	Position*	0(0.0)	26(32.5)
	Bubbling*	0(0.0)	18(22.5)
	Boiling point	16(20.0)	2(2.5)
	Heating	8(10.0)	0(0.0)
	The others	8(10.0)	0(0.0)
	No response	0(0.0)	2(2.5)

* Scientific conception

비가열 상황에서 끓음에 대한 교사의 응답률은 60%이다. 비가열 상황에서의 증발에 대한 교사의 응답률이 100%였던 것 보다는 40% 낮은 정답률을 보인다. 비가열 상황에서 증발보다 끓음을 이해하는데 어려움이 있다.

가열 상황에서 끓음에 대한 객관식 응답이 정확한 이해를 통한 응답인지 확인하기 위해 응답의 이유 설명을 분석해 보았다. 이는 표 IV-3에 나타내었다.

끓음은 표면에서만 기화가 일어나는 증발과 다르게 표면과 내부 모두에서 기화 현상이 일어나므로, 제시한 현상을 끓음이라고 분류한 48명(60.0%)의 교사 중 26명(32.5%)은 '기화 위치'로 바르게 이해하고 있었다. 두 번째로 많은 응답은 기포가 발생했기 때문이라는 것으로, 끓음 현상은 액체 내부에서 액체가 기체가 되면서 기포가 생기는 현상을 분류의 기준으로 보는 것은 과학적 판단이라고 할 수 있다.

비가열 상황에서 끓음 현상을 증발로 분류한 교사는 32명(40.0%)으로, 그 중 끓는점에 도달하지 못하였다는 이유를 제시한 경우가 16명(20.0%)으로 가장 많았다. 1기압보다 낮은 기압을 제시하였음에도 불구하고, 기압과 끓는점의 관계를 생각하지 못하여서 발생하는 문제라고 볼 수 있다. 더구나 기포가 발생하고 있음에도 불구하고 100 ℃보다 낮은 온도를 기준으로 끓음 여부를 분류함을 확인할 수 있었다. 또한 가열을 하지 않았기 때문에 증발이라고 답한 교사는 8명, 물분자가 서서히 움직이기 때문, 기화 현상이 활발하기 때문 등 기타 이유로 증발이라고 답한 교사가 8명이었다.

가열 상황에서 끓음 현상의 분류기준

적당량의 물이 들어있는 통을 알코올램프로 가열하면서 물의 내부에 기포가 발생하고 물 표면에서도 공기 중으로 이동이 일어나는 끓음 현상을 *Fig.* 4에 제시하였다.

이 현상을 끓음이라고 답한 교사는 75명(95.0%)으로 비가열 상황에서의 끓음에 대한 48명(60.0%)의 교사보다 27명(35.0%)이 더 많았다(*Table* 4). 분류 기준에 대해 알아

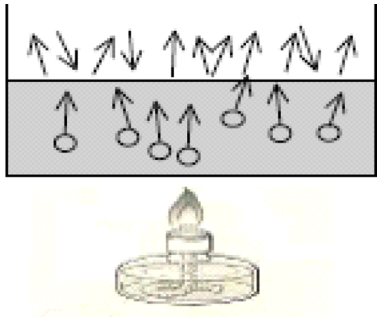


***Figure* 4.** Boiling in heating situation.

***Table* 4.** The classification criteria of boiling in heating situation

Response		Evaporation	Boiling*	Reserve judgment
Number(%)		2(2.5)	76(95.0)	2(2.5)
Classification criteria	Position*	0(0.0)	26(32.5)	0(0.0)
	Bubbling*	0(0.0)	18(22.5)	0(0.0)
	Boiling point	2(2.5)	8(10.0)	2(2.5)
	Heating	0(0.0)	6(20.0)	0(0.0)
	The others	0(0.0)	4(5.0)	0(0.0)
	No response	0(0.0)	4(5.0)	0(0.0)

*Scientific conception

본 결과, 끓음이라고 답한 교사들은 기화 위치, 기포발생 여부, 끓는점 도달여부, 가열 여부의 순으로 분류 기준을 제시하였다.

26명(32.5%)은 액체의 내부와 외부에서의 기화 현상이 일어나는 것으로 끓음이라고 답하였고, 18명(22.5%)은 액체 내부에서 기포가 발생했으므로 끓음이라고 답하였다.

또한 8명(10.0%)는 끓는점 도달여부로 판단하였다. 주어진 상황에서는 물의 온도와 기압을 제시하지 않았으므로, 끓는점 도달여부로 증발과 끓음을 구분하는 것은 과학적 개념이라고 보기 어렵다. 비가열 상황과 가열 상황에서 증발을 분류하는 기준으로 끓는점 도달 여부를 제시한 교사들은 10명이었으며, 이들은 끓는점에 도달하지 못하므로 그 현상이 증발이라고 응답하였다. 가열 상황에서는 증발 현상에 대하여 2명은 끓는점에 도달여부를 알 수 없으므로 증발이라고 분류하였으며, 8명은 가열로 끓는점에 도달하게 되므로 끓음이라고 분류하였다. 비가열 상황에서 제시된 끓음 현상에서는 16명의 교사가 열 공급이 없으므로 끓는점에 도달하지 못하여 증발이라고 분류하였고, 2명은 내?외부의 분자가 활발하게 이동하는 것을 근거로 끓는점에 도달하였다고 보고 끓음이라고 답하였다. 가열 상황에서 끓음 현상을 제시하였을 때에는 8명의 교사는 끓는점에 도달한 것으로 보고 끓음으로 분류하였으며, 2명의 교사는 끓는점 여부를 알 수 없다고 하여 증발이라고 답하였다. 그리고 2명의 교사는 분류를 유보하였다.

증발과 끓음과 같은 현상도 판단 기준의 일관성을 가지고 있지 않으면 상황에 따라 다르게 생각하거나 판단할 가능성이 높으므로, 이러한 관점의 생각에 대한 교육이 이루어질 필요가 있다.

결 론

이 연구에서는 초등학교 교사들이 증발과 끓음 개념을 구분할 때 가열 상황과 비가열 상황에 의존적이며, 구분의 기준에 일관성이 없음을 밝혔다. 이는 끓음 개념을 지도할 때 전형적인 사례가 가열 상황을 포함하고 있으며, 증발 개념을 지도할 때에는 비가열 상황을 포함하고 있기 때문일 가능성이 높다. 과학 개념을 이해하기 위해 제시하는 전형적인 사례는 오히려 개념의 오류를 불러일으킬 가능성이 있다. 추상적인 과학 개념을 이해시키기 위해서 우리는 '대표적'인 사례를 제시한다. 그리고 대표적인 사례에는 전형적인 상황이 포함된다. 이 상황이 오개념을 유발하게 할 가능성을 가지는 것이다.

이러한 문제를 방지하기 위해서는 동일한 상황의 다양한 예를 제시하기 보다는, 예의 기능면을 고려하여 다양한 상황의 대표적 예를 제시하는 것이 더 바람직하다고 본다. 한국의 초등학교 과학교과서에서는 증발과 끓음을 설명할 때 경험적 인지나 속성 파악, 증명과 같은 설명적 기능을 가진 사례와, 개념의 적용을 통한 확인 활동으로 강화의 기능을 가진 예들이 많이 제시되는 것에 비해, 비교나 가정을 통한 강화 기능이나, 확장과 대조를 통한 개념 명료화 기능을 가진 사례[39]의 제시는 매우 드물다. 이 때문에 대표적인 사례의 상황으로부터 증발과 끓음을 판단하는 데에 어려움을 겪을 수 있다. 예를 들어 가열 상황은 항상 끓음의 예에 포함되고, 증발의 예에는 배제됨으로써 가열하지 않은 상황에서 끓고 있는 현상을 제시해도 이를 끓음으로 판단하지 못하게 된다.

증발과 끓음의 예 뿐 아니라 다른 다양한 추상적 과학 개념을 가르칠 때 교과서에서 몇 가지 특수한 사례만을 제시하면 학생들의 개념 형성에 문제를 일으킬 수 있다. 특히 교사들이 이를 인지하지 못하거나 자신이 유사한 오개념을 가지고 있을 경우, 지도에서 문제가 발생할 수 있다. 물론 교과서 지면이나 시간의 한계 때문에 비록 모든 사례를 기능에 따라 고르게 제시하는 것이 어려울 수 있지만, 증발과 끓음 같이 독립적으로 분리하여 제시하기 보다는, 서로 연계하여 비교와 대조의 기능을 가진 사례로 제시되는 것이 효과적일 수 있다.

학생들이 과학 개념을 어려워하는 문제의 원인은 생각

보다 단순할 수 있다. 추상적인 개념인 기체가 포함된 상태변화에 대한 학생들의 학습에서의 어려움에 대한 연구에서는 미시적 관점의 형성 여부를 매우 중요한 관건으로 생각하여 형식적 조작기에 도달하기 전에 증발이나 끓음 개념을 학생들에게 제시하는 것에 대해 회의적이었다. 그렇다고 일상생활 속에서 경험할 수 있는 기체를 포함한 과학 개념을 중학교 이후에나 가르치는 것으로 문제를 해결할 수는 없다.

많은 선행연구에서 어린 학생들이 잘못 받아들인 과학 개념은 성숙한 후에도 지속되는 것으로 나타났다. 이는 잘못 습득한 일이 발생한 원인에 대한 처방이 이후의 교육에서 시행되지 못하였기 때문이다. 비록 기체 개념을 포함하지만, 증발이나 끓음의 개념은 초등학교 학생들이 제시된 현상으로부터 구분하고 이해할 수 있어야 한다. 이를 위하여 가열 상황이나 햇빛, 공기 중의 방치 등과 같은 현상적 조건을 포함한 사례보다는, 물속 기포의 생성 여부, 물 표면에서 공기 중으로 날아감 등의 비교를 통해 증발과 끓음의 개념을 강화하고 명료화하는 기능을 가진 사례를 제시함으로써 쉽게 올바른 과학 개념의 습득이 가능할 것이다.

과학 개념의 습득은 단순히 인지 발달에 의해 저절로 이루어지는 것이 아니다. 이는 이 연구에서 초등교사들을 대상으로 확인한 결과에서도 나타났다. 따라서 과학 개념을 지도할 때 전형적인 사례를 벗어나 다양한 사례를 접함으로서 개념을 명료화할 수 있는 과정에 대한 고안이 필요하다고 본다.

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

REFERENCES

1. Anderson, B. *Studies in Science Education* **1990**, *18*, 53-88.
2. Osborne, R. J.; Cosgrove, M. M. *J. Res. Sci. Teach.* **1983**, *20*, 825.
3. Stavy, R. *J. Res. Sci. Teach.* **1990**, *27*, 247.
4. Stavy, R. *Int. J. Sci. Educ.* **1990**, *12*, 501.
5. Canpolat, N. *Int. J. Sci, Educ*. **2006**, *28*, 1757.
6. Driver, R.; Leach, J.; Scott, P.; Wood-Robinson, C. *Stud. Sci. Educ*. **1994**, *24*, 75.
7. Fredrickson, S. E.; Heinselman, P. L.; Gonzalez-Espada, W. J.; Zaras, D. *Relative Humidity: What do Students Know About it?* Paper presented on 15th Symposium on Education, retrieved February 15, 2008.
8. Paik, S.-H.; Kim, H.-N.; Cho, B.-K.; Park, J.-W. *Int. J. Sci. Educ.* **2004**, *26*, 207.
9. Paik, S.-H.; Cho, M.-J. *J. Koea Assoc, Res. Sci. Edu*. **2005**, *25*, 773.
10. Tytler, R. *Int. J. Sci. Educ.* **2000**, *22*, 447.
11. Tytler, R.; Prain, V.; Peterson, S. *Res. Sci. Educ*. **2007**, *37*, 313.
12. Varelas, M.; Pappas, C. C.; Rife, A. *J. Res. Sci. Teach.* **2006**, *43*, 637.
13. Bar, V.; Travis, A. S. *J. Res. Sci. Teach.* **1991**, *28*, 363.
14. Hwang, B. T.; Hwang, H. W. *A Study of Cognitive Development of the Concepts of Solution*, Research Report Sponsored by the National Science Council, ROC Taipei: NSC, 1990.
15. Schmidt, H. J.; Kaufmann, B.; Treagust, D. F. *Chemistry Education Research and Practice*, **2009**, *10*, 265.
16. Valanides, N. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2000**, *1*, 355.
17. Yalcin, F. A. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2012**, *13*, 369.
18. Senocak, E. *Aus. J. Teach. Educ.* **2009**, *34*, 27.
19. Paik, S.-H., Cho, M,-J. *J. Korea Res. Sci. Edu.* **2005**, *25*, 773.
20. Kim, H.-H.; Yang, K.-C.; Kim, D. U.; Paik, S.-H. *J. Korean Chem. Soc.* **2006**, *50*, 65.
21. Bar, V.; Galili, I. *Int. J. Sci. Educ.* **1994**, *16*, 157.
22. Johnson P. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, *20*, 567.
23. Johnson P. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, *20*, 695.
24. Ainsworth, S. *Computers & Education* **1999**, *33*, 131.
25. Cook, M.; Wiebe, E. N.; Carter, G. *Science Education,* **2008**, *92*, 848.
26. Hubber, P.; Tytler, R.; Hasiam, F. *Res. Sci. Educ*., **2010**, *40*, 5.
27. Kirbulut, A. D.; Beeth, M. E. *Res. Sci. Educ.*, **2013**, *43*, 209.
28. Seufert, T. *Learning and Instruction*, **2003**, *13*, 227.
29. Stavy, R. *Int. J. Sci. Educ.*, **1988**, *10*, 553.
30. Stamovlasis, D.; Tsitsipis, G.; Papageorgiou, G. *Chemistry Education Research and Practice*, **2012**, *13*, 357.
31. Krnel, D.; Watson, R.; Glazer, S. A. *Sci. Educ.* **2003**, *87*, 621.
32. Costu, B.; Ayas, A.; Niaz, M. *J. Sci. Educ. Technology,* **2007**, *16*, 524.
33. Costu, B.; Ayas, A.; Niaz, M. *Chem. Educ. Res. Practice,* **2010**, *11*, 5.
34. Yalcinkaya, E.; Boz, Y. *Chem. Educ. Res. Practice*, **2015**, *16*, 104.
35. Yang, G.-C.; Paik, S.-H. *J. Korean Chem. Soc.* **2008**, *52*, 84.
36. Cho, M. J.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2004**, *48*, 527.
37. Kruger, C.; Summers, M. *Sch. Sci. Rev.* **1989**, *71*, 17.
38. Canpolat, N.; Pinarbasi, T.; Sozbilir, M. *J. Chem. Educ.* **2006**, *83*, 1237.
39. You, J.-K. *Analusis on Fuctional Trypes of Examples of Concepts in Elementary School Science Textbook.* A master thesis of Chongju National University of Education, 2012.