

다양한 물질의 상태에 대한 중고등학생들과 과학교사들의 분류 기준에 대한 유형 분석

김선경[†] · 김영미[‡] · 백성혜^{*}

한국교원대학교

[†]광주과학고등학교

[‡]발안중학교

(2008. 7. 11 접수)

Type Analysis of Secondary School Students' and Science Teachers' Criteria for Classifying States of Various Matter

Sun-Kyoung Kim[†], Young-Mi Kim[‡], and Seoung-Hey Paik^{*}

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk, 363-791, Korea

[†]Kwang-Ju Science High School, Kwang-ju, 503-836, Korea

[‡]Balan Middle School, Gyunggido, 445-923, Korea

(Received July 11, 2008)

요 약. 본 연구의 목적은 중·고등학교 학생들과 과학교사들의 다양한 물질들에 대한 상태와 그 분류 기준을 조사하고 비교해 보는 것이다. 본 연구의 대상은 중학교 1학년 학생 65명과 화학 I을 배우고 있는 고등학교 2학년 학생 72명, 중등학교 과학교사 97명이며, 질문지에 의한 조사방법을 이용하였다. 연구 결과, 유리의 상태를 분류함에 있어서 중학생은 액체로, 고등학생과 교사는 고체로 분류하는 비율이 높았으며, 학교 급간 교재의 유리의 상태에 대한 다른 분류와 더불어 과학교사들의 다양한 상태 분류 기준이 나타났다. 김과 구름, 연기에서 이 둘 모두 기체로 생각하는 경향성을 보였다. 유동성이 점점 커지는 젤리와 쿠키반죽, 케이크 반죽, 소금물의 설문 결과를 통해 물질들이 보이는 거시적 현상이 물질의 상태를 구분할 때 중요한 역할을 하고 있는 것으로 생각된다. 그러나 거시적 관점으로 물질들의 상태를 구분하는 것은 혼란을 가중 시킬 뿐만 아니라, 혼합물의 경우 그 상태를 정의하기 어렵다. 그러므로 물질의 세 가지 상태에 있어서는 순물질들만의 미시적 관점에서의 일관성 있는 재정의가 필요하며, 다양한 교육적 노력이 요구된다.

주제어: 물질의 상태, 미시적 관점, 거시적 관점, 고체, 액체, 기체, 혼합물

ABSTRACT: This study is aimed at investigating and comparing what classification criteria secondary school students and science teachers adopt in terms of various matter and their states. The subjects include sixty-five 7th graders, seventy-two 11th graders, and ninety-seven secondary school science teachers. Each participant was surveyed through questionnaires. The results showed that a majority of middle school students classified the state of glass into liquid, while more high school students and science teachers classified it into solid. There also showed the different classification about the state of glass in textbooks among school grades and various classification criteria of states about it among science teachers. They showed a tendency to regard steam, cloud and smoke as gas altogether. According to the questionnaires comparing jelly, cookie dough, pancake dough and salt water, it became clear that macroscopic phenomenon of matter plays an important role in classifying the states of mixture. But the classification of the states of mixture from macroscopic viewpoint not only caused increased confusion but also be hard to define the states of mixture. So, it is necessary to consistently redefine the states of only pure matter from the microscopic viewpoint about the three states of matter

and to make various educational efforts.

Keywords: States of matter, Microscopic viewpoint, Macroscopic viewpoint, Solid, Liquid, Gas, Mixture

서 론

과학이란 자연 현상의 규칙성을 설명하는 방식이라고 할 수 있으며, 이러한 규칙성을 이용해 공통적인 특성을 지닌 것들을 중심으로 분류를 하게 된다. 화학분야에서도 물질의 세 가지 상태, 순물질과 혼합물, 원소와 화합물, 산성과 염기성, 금속과 비금속 등 다양한 물질의 특성에 따른 분류에 대해 중요하게 다룬다. 특히 물질의 세 가지 상태에 관련된 내용은 과학 교육과정이 시작되는 초등학교 3학년 과정으로부터 대학교까지 지속적으로 제시되므로 화학분야에서 매우 기초적인 개념이며, 또한 심화 확장되어 나가는 주요 개념이라고 할 수 있다.

이러한 물질들을 분류할 때, 분류 기준은 거시적 관점일 수도 있고 미시적 관점일 수도 있다. 예를 들어 고체를 단단함과 같은 거시적 관점으로 분류할 수도 있고, 결정의 유무와 같은 미시적 관점으로 분류할 수도 있다. 그리고 거시적 관점과 미시적 관점은 서로 관련성을 가진다. 예를 들어 유동성이라는 거시적 특성은 입자의 결정이 없을 때와 같은 미시적 특성과 관련이 있다. 그러나 경우에 따라서는 거시적 특성과 미시적 특성이 서로 다른 분류 결과를 유발하기도 한다. 예를 들어 끓는 물에서 뽑어져 나오는 김은 겉보기에는 기체와 같은 특성을 가지지만, 미시적으로 보았을 때 마치 가루 물질처럼 작은 액체 방울들로 구성되어 있기 때문에 액체로 분류된다.

보편적으로 화학에서는 학년이 올라갈수록 거시적인 분류 기준보다는 미시적인 분류 기준이 더 중요하게 다루어진다. 예를 들어 순물질과 화합물을 분류하는 활동이나, 원소와 화합물을 분류하는 활동 등은 거시적 관점으로는 분류가 가능하지 않다. 이러한 분류는 기본적으로는 입자의 종류에 대한 이해가 선행되어야 하기 때문이다.

초등학교 과학과 교육과정에서 물질을 나누는 기준은 주로 거시적 관점에 의해 결정된다. 실험을 통해 고체는 그릇 모양에 따라 모양이 변하지 않고, 액체는 그릇 모양에 따라 모양이 변하는 것으로 설명되며, 기체 또한 그릇에 따라 모양이 변하며, 공간을 차지

하고, 이동시킬 수 있다고 설명하고 있다. 그 후 가루 물질을 제시하고 돋보기를 사용하여 결정 형태가 있으면 고체로 분류하는 활동을 제시한다. 이를 통해 가루 물질이 담은 용기에 따라 모양이 바뀌지만 고체로 분류한다는 것을 가르친다.

중학교 1학년 과정에서는 '물질의 세 가지 상태'라는 단원을 통해 미시적 관점으로 분류를 피하고 있다. 이는 처음 구체적으로 미시적 관점으로의 물질의 상태를 분류함으로써 거시적 관점으로부터 미시적 관점으로 그 분류 기준이 바뀌고 있는 학년이라 할 수 있다. 고등학교 교육과정에서도 원자와 분자, 그리고 결합에 대해 깊이 학습하게 됨으로써 구체적으로 입자들 간의 배열과 거리, 운동의 형태 등 다양한 차이점을 도입해 물질의 상태를 구분하고 있다. 이러한 물질의 세 가지 상태에 대한 연구¹⁾²⁾들은 다양한 대상을 중심으로 진행되어 왔다.

초등학생 및 교사들의 물질의 상태에 대한 개념을 조사한 이을수 등³⁾은 초등학생들이 액체의 개념으로 '담는 그릇에 따라 모양이 변하는 것', '흘러내리는 것', '잡을 수 없는 것', '고체가 녹은 상태' 등과 같이 교과서에 제시된 액체의 성질과 관련된 답변이 가장 많았다고 보고했다. 이러한 거시적 특성들에 의하면 가루물질의 경우 물질의 상태를 분류함에 있어 용기에 따라 모양이 변하며 기울이는 방향에 따라 유동적이기 때문에 거시적 관점을 이용하여 분류한다면 액체로 분류되는 경우⁴⁾가 많다. 특히, 처음으로 물질의 세 가지 상태에 대해 접하는 초등학교 3학년 '우리 주위의 물질' 단원에서 그릇에 담아 차이점을 비교하는 실험을 통해 액체와 고체의 차이점을 그릇 모양에 따른 모양 변화 유무로 나누고 주위의 가루물질을 찾아 관찰하는 활동이 있다. 그러나 가루물질의 상태에 대해서는 교과서의 본문 내용이 아닌 읽을거리⁵⁾를 통해 잠깐 언급될 뿐 앞서 활동과 연관 지어 생각했을 때 가루물질을 액체로 잘못 생각할 수 있게 한다.

중학교 1학년 물질의 세 가지 상태 단원에서는 학생들에게 친숙한 일상생활의 물질들을 이용해 설명하고 있는데, 이들을 고체, 액체, 기체로 구별함에 있어 학생과 교사는 종종 어려움을 겪는다. 예를 들어

젤리나 쿠키를 만들 때 쓰는 반죽은 일정하게 모양이 유지 될 수 있으나 단단하지 않고 풀컹거린다. 유리는 모양이 있고, 단단하나 오랜 시간에 걸쳐 흘러내리는 성질을 가지고 있다. 특히, 중학교 1학년 학생들은 '분자'를 이용한 미시적 관점으로 물질의 상태를 구분하는 방법을 습득하였음에도 불구하고 거시적 관점으로 분류하는 경향성이 더 높게 나타나는 연구결과⁹⁾를 보았을 때, 이러한 물질들을 거시적 관점으로 분류하게 되면 고체로 분류해야 할 지 액체로 분류해야 할 지 혼란을 겪을 수 있다.

Stavy와 Stachel⁹⁾은 유치원에서 7학년까지의 이스라엘 아동들을 대상으로 30개의 물질을 제시하여 고체와 액체로 분류해 보는 연구에서 단단한 고체인 경우 고체로 올바르게 분류하는 반면, 반죽덩어리나 면, 솜, 옷, 점토 등과 같이 단단하지 않는 물질과 분말에 대해서는 올바르게 분류하지 못하며, 특히 분말의 경우 '쏟아지기' 때문에 액체로 분류하거나 중간그룹으로 분류하는 경향성이 있다고 밝혔다. 이러한 경향은 예비교사를 대상으로 한 연구에서도 찾아 볼 수 있었는데, 53개의 일상생활 물질을 제공하여 상태를 분류하게 한 결과, 21개의 물질에 대해서만 같은 상태로 분류하였으며, 높은 학년의 학생들도 분말을 고체로 인식하지 못하였다고 보고하였다. 이러한 결과를 통해 연구자들은 분말의 거시적 특성이 액체의 특성과 유사하기 때문에 이를 고체로 분류하는 것을 어렵게 한다고 주장하였다. 또한, 반죽덩어리와 같은 혼합물이나 상태가 분명하지 않은 물질들에 대해 학생들은 거시적 관점으로 상태를 정의하는 경향이 컸으며, 반죽을 현탁액 또는 콜로이드로 분류한 학생들은 24명에 불과하였고, 이들 중 입자 이론으로 설명한 학생은 2명에 불과했다고 밝혔다.

이울수 등¹⁰⁾의 연구에서는 고체의 경우 초등학교 학생들은 직관적인 경험에 의해 단단한 물체의 속성을 가지고 있으면 고체로 생각하는 경향을 보였으며, 초등학교 생과 교사 모두 젤리가 형태를 유지하고 있기 때문에 고체로 분류한 응답률이 높게 나타났다. 그러나 물렁거리거나 형태가 변하기 때문에 액체로 분류한 응답도 높게 나타나, '형태'라는 하나의 기준으로 물질의 상태를 구분하는 데에도 혼란이 있었다. 액체의 경우에는 물이 액체의 보편적인 예로 사용되기 때문에 아동들이 모든 액체 상태를 물의 상태에 비유해서 설명하려 하거나¹¹⁾ 모든 액체는 물과 물이 아닌 물질로

되어 있다고 믿는 경향성을 보였다. 그러므로 액체를 학습할 때 물과 더불어 점성이 있는 액체나 가루와 같은 비사례 등의 다양한 예를 제시하는 교수형태가 시도되어야 한다.¹¹⁾

기체의 경우도 공기, 수증기, 기체를 혼용해서 사용하고 있었으며, 기체가 녹은 액체 속에 원래의 기체가 그대로 존재한다고 생각하는 등 기체에 관한 오개념이 가장 많은 것으로 나타났다.¹²⁾ 이러한 경향성은 중학생들에게서도 나타났는데 학생들은 김, 구름, 연기 등 공기 중에 떠 있는 물질은 모두 기체로 인식하려는 경향이 있었다.¹¹⁾

다양한 물질의 상태를 분류함에 있어 이 연구에서 사용한 분류 기준은 김선경 등⁹⁾의 연구에서 사용한 것으로 이 선행연구는 단지 중등학생과 과학교사들이 어떻게 고체와 액체, 그리고 기체를 정의하는지에 대한 유형만을 분석하였다. 그러나 단순히 고체와 액체, 기체의 분류 기준뿐 아니라 실제 일상생활에서 쉽게 볼 수 있는 다양한 물질들의 상태를 구분함에 있어서도 혼란이 나타날 것으로 생각되며, 이러한 혼란은 교사로부터 학생들에게 전달될 수 있기 때문에 매우 중요한 것으로 생각된다. 더군다나 많은 선행연구들은 초등학교 학생들을 대상으로 하는 경우가 대부분이었다. 그러나 상태에 관련된 혼란은 초등학교 뿐 아니라, 중·고등학교나 교사들에게도 존재할 가능성이 높다. 따라서 이 연구에서는 중학교에서부터 고등학교, 그리고 현장에서 직접 학생들을 가르치고 있는 교사까지 연구대상을 확대하여 여러 가지 물질의 상태는 어떻게 구분하며 그 구분 기준은 무엇이라고 생각하는지, 또한 그렇게 생각하는 원인은 무엇이며, 이러한 응답에는 일관성이 있는지에 대해 연구함으로써 물질의 상태에 대한 교육적 문제점과 해결방안에 대해 고찰해 보고자 한다.

연구 내용 및 방법

연구대상. 다양한 물질의 상태에 대한 중·고등학교 학생들과 과학교사들의 분류 기준 유형을 분석하기 위해 대도시에 소재한 S 중학교 1학년 학생 65명과 B 고등학교 2학년 학생 72명, 그리고 중부권에 위치한 K 교육대학원에 재학 중인 과학 교사 97명을 대상으로 질문지를 투입하였다. 중학생의 경우 그 지역의 상위권에 속하는 학교의 1학년 학생들이었으며, 질

문지를 투입한 시기는 '물질의 세 가지 상태' 단원에서 물질의 상태에 대한 구분을 배우고 난지 약 5개월 정도 지난 후인 2학기 중순에서 말경이었다. 따라서 이들의 개념은 초등학교부터 중학교 1학년까지 배운 내용에 대한 자신의 사고가 안정적으로 정착된 후라고 할 수 있다. 고등학생의 경우에는 문과와 이과 학생들 모두 화학 I 교과를 배우고 있는 과정이었다. 화학 I 교과에서는 직접적으로 물질의 세 가지 상태에 관한 내용을 다루지는 않지만, '물의 성질' 단원이나 '기체의 성질' 단원에서 미시적 관점을 이용해 액체나 기체의 특성을 다루기 때문에 중학생보다는 좀 더 심화된 수준으로 물질의 상태에 대해 배운다고 볼 수 있다. 고등학생들의 응답 결과를 분석해 보았을 때 문과와 이과 학생의 응답 경향성에서 차이가 거의 나타나지 않았으므로 문과와 이과로 구분하지 않고 분석하였으며, 과학교사의 경우도 대학 전공별(화학전공자와 기타과목 전공자), 근무경력별(~5년 미만, 5년 이상~15년 미만, 15년 이상~), 근무 학교급 별(중, 고) 응답 경향성의 차이가 거의 없었기 때문에 교사 변인에 따른 분석은 제시하지 않았다. 연구 대상별 인원수는 Table 1에 제시하였다.

검사도구. 다양한 물질의 상태에 대한 학생들과 교사들의 분류 유형과 기준을 알아보기 위한 검사 도구로 선다형 질문지를 사용하였다. 질문지의 구성은 먼저 제시한 물질의 상태를 고르도록 하고, 그렇게 구

분한 기준을 보기(Table 2의 기준들) 중에서 고르도록 하였다. 각 문항들에는 보기에서 고를 수 없는 경우를 대비하여 기타 항목을 두어 자신이 생각하는 답을 적도록 하였다. 그러나 질문지에서는 질문지에 포함된 물질들은 우리 주위에서 쉽게 찾아 볼 수 있으며, 선행연구들^{1,2,6,8,10,11}에서 이들의 상태를 구분하는데 어려움이 있다고 보고된 물질들(김과 구름, 연기, 젤리, 반죽)과 그 외 교재 상에서 다른 상태 정의가 나타나는 유리, 그리고 가장 대표적인 혼합물인 소금물 등을 포함시켰다. 또한, 질문지의 보기에서 사용한 분류 기준들은 물질의 상태에 관한 중·고등학생들과 과학교사들의 개념 유형을 분석한 김선경 등⁸의 연구에서 사용한 기준을 참고로 하였다. 보기에 포함된 분류 기준들은 Table 2와 같다.

각 유형들을 표기할 때 편의상 거시적 관점 중 모양과 부피의 변화를 'A', 단단함과 유동성을 'B'로 표기하였고, 미시적 관점 중 분자운동과 배열을 'a', 분자 간 인력과 거리를 'b'로 표기하였다. 또한 혼합 관점이란 거시적 관점과 미시적 관점을 혼합하여 답한 경우를 의미한다.

연구 결과 및 논의

유리의 상태와 상태 분류 기준에 대한 분석 결과, 중학생, 고등학생 그리고 과학교사들의 유리에 대한

Table 1. 설문에 응한 연구대상 인원수

| 대상 | 중학생 | 고등학생 | | 과학교사 | | | | | | |
|----|-----|------|----|------|----|--------|------|-----|-------|----|
| | | 문과 | 이과 | 전공별 | | 경력별(년) | | | 학교급 별 | |
| | | | | 화학 | 기타 | ~5 | 5~15 | 15~ | 중 | 고 |
| 인원 | 65 | 37 | 35 | 46 | 51 | 22 | 35 | 40 | 48 | 49 |
| | | 72 | | 97 | | | | | | |

Table 2. 응답 분석을 위한 물질의 상태 분류 기준

| | | |
|--------|------------|--|
| 거시적 관점 | 모양과 부피 | '모양이나 부피가 일정하거나 일정하지 않다' 등과 같은 설명으로 분류한 경우 예) 고체: 용기에 따라 모양이 변하지 않음 기체: 온도와 압력에 따라 부피가 크게 변함 |
| | 단단함과 유동성 | '단단하다, 단단하지 않다, 또는 유동성이 있다, 유동성이 없다' 등과 같은 설명으로 분류한 경우 예) 고체: 단단함, 액체: 흐르는 성질이 있음 |
| 미시적 관점 | 분자운동과 배열 | '분자운동이나 배열'에 의해 물질의 상태를 분류한 경우 예) 고체: 분자 배열이 매우 규칙적임 액체: 진동, 회전 운동을 하고 약간의 병진운동도 가능함 |
| | 분자간 인력과 거리 | '분자간의 인력이나 분자간의 거리'에 의해 물질의 상태를 분류한 경우 예) 기체: 분자간의 거리가 매우 멀 |

Table 3. 유리의 상태 분류 응답 수 명(%)

| 상태 | 중학생 | 고등학생 | 과학교사 |
|----|-----------|-----------|-----------|
| 고체 | 26(40.0) | 41(56.9) | 64(66.0) |
| 액체 | 33(50.8) | 20(27.8) | 25(25.8) |
| 기타 | 6(9.2) | 11(15.3) | 8(8.2) |
| 합계 | 65(100.0) | 72(100.0) | 97(100.0) |

상태 분류 응답 수는 Table 3과 같다. Table 3에서 세로축의 기타 항목은 분류가 어렵거나 소수의 응답, 그리고 무응답을 포함한다.

유리의 상태에 대한 설문 분석 결과, 중학생의 경우는 액체로 답한 비율이 높았으며, 고등학생과 과학교사의 경우 고체로 답한 응답 비율이 상대적으로 높았다. 그러나 중학생의 경우는 고체와 액체로의 구분 비율의 차이가 크지 않아 고등학생이나 과학교사보다는 유리의 상태를 규정짓는데 혼란스러움이 더 큼을 알 수 있다. 고등학생과 과학교사들의 경우도 중학생들의 응답 비율의 차이보다 작긴 하나, 액체로의 응답비율도 25%가 넘어 이들 또한 유리의 상태를 구분하는데 혼란을 겪고 있음을 알 수 있다.

중학생들이 고등학생이나 과학교사와 달리 ‘액체’ 상태로 답을 한 비율이 높게 나타난 이유 중의 하나로 중학교 1학년 과학교과서¹⁴⁾ 내용을 들 수 있다. 관련 내용을 살펴보면 다음과 같다.

유리는 액체일까? 고체일까?

고체는 답는 그것에 관계없이 모양과 부피가 일정하며, 액체는 답는 그것에 따라 모양은 변하지만 부피는 변하지 않는다 또한 고체는 만져 보았을 때 딱딱하며 액체처럼 흐르는 성질이 있다. 그렇다면 우리 주위에서 흔히 볼 수 있는 유리는 고체일까? **우선 유리는 만져 보면 딱딱하고, 모양과 부피가 일정하기 때문에 당연히 고체라고 생각하기 쉽다. 그러나 고체와 액체는 이러한 기준으로만 구별하는 것이 아니다.** 고체 상태에서는 분자들이 매우 규칙적으로 배열되어 있으며, 액체 상태에서는 분자들이 어느 정도 불규칙하게 배열되어 있다. 그렇다면 유리의 분자배열은 어떠할까? 유리는 그 성분 입자들이 매우 불규칙적인 배열을 하고 있다. 따라서 유리는 겉으로 보이에는 딱딱한 고체이지만, 분자 배열 면에서 액체의 성질을 갖는다 (중략) 유리가 일정한 모양을 갖는 것 같지만, 사실은 **눈에 보이지 않을 정도로 천천히 아래로 흘러내린다. 중세 시대에 만들어진 서양의 여러 건축물의 유리창은 아랫부분이 윗부분보다 조금 두껍다고 하는데, 바로 이러한 이유 때문이다.**

이처럼 총 9 종류의 교과서 중 3 종류의 중학교 1학년 과학교과서에서 유리를 ‘액체’ 상태로 소개하고 있었는데, 중학교의 경우 초등학교와 같이 한 종류의 교과서를 사용하는 것이 아니라 학교에 따라 다른 종류의 교과서를 사용할 수 있다. 즉, 한 교과서에 실린 개념들은 다른 교과서에 제시되어 있지 않더라도 부교재 등에서 다루어질 확률이 높으며, 또한 교사들로부터 언급될 가능성이 높다. 그러나 고등학생들과 과학교사들은 중학생들과는 달리 유리를 고체로 분류한 응답 비율이 더 높았으므로, 학교급간에 나타나는 혼란과 과학교사와 학생의 생각 차이로 인해 유발되는 혼란은 클 수 있다.

특히 과학교사들이 유리를 액체가 아닌 고체로 인식하는 비율이 높은 이유도 역시 교재로부터 찾아볼 수 있다. 예비교사 교육과정에서 배우는 대부분의 일반화학 교재¹⁶⁾에서는 유리를 고체로 정의하고 있는데, 그 내용을 살펴보면 다음과 같다.

고체는 결정성이거나 무정형이다. 결정성 고체는 하나 또는 그 이상의 결정으로 이루어지고 각 결정은 3차원적으로 잘 정의된 규칙적인 구조를 가진다. (중략) 무정형 고체는 무질서한 구조를 갖는다 즉, 결정에서 보이는 구성단위들(원자, 분자 또는 이온)의 잘 정의된 배열이 존재하지 않는다. **유리는 그 구성단위들이 규칙적인 결정배열을 이루기 전에 임의의 위치에서 응결하도록 충분히 빨리 냉각시킴으로써 얻어지는 무정형의 고체이다.** 일반 참유리가 한 예이다

자연대학교와 사범대학교에서 많이 사용하고 있는 일반화학 교재 9종을 조사한 결과, 그 중 8종이 유리를 ‘비결정성(무정형)’ 고체라고 소개하고 있다. 그러나 일반화학의 앞부분에서는 물질의 세가지 상태 중 분자배열이 규칙적이며 일정한 상태를 고체라고 정의하기 때문에 동일한 교재의 앞부분과 뒷부분에서 고체에 대한 시각이 다르다고 할 수 있다. 따라서 중학교와 대학교의 교재의 시각도 차이가 있으며, 대학교의 같은 교재 앞부분과 뒷부분 내용의 시각도 다르기 때문에 고체 상태에 대한 과학교사의 혼란이 유발되는 것이라고 할 수 있다.

많은 학생들이 자료를 찾기 위해 애용하는 인터넷에서도 이와 관련된 질문들이 많이 있으며, 이에 대

한 답변도 다양하였다.

| |
|--|
| <p>질문: 유리는 액체 인가요? 고체인가요??</p> <p>어떤 책에서 비결정질 고체라고 하면서 액체인 증거로 제시되는 오래된 유리창은 그 당시 유리제조기술이 나빠서라고 말하지만 대부분의 책들과 사람들은 모두 유리가 액체라고 하니 도대체 어떻게 된 것인지 몰라서 이렇게 질문하니 꼭 답변해 주세요!!</p> |
| <p>★★★전문가 답변 Re: 과냉각 액체</p> <p>작성자: *****</p> <p>일상생활에서 가장 쉽게 접할 수 있는 유리는 규사(모래), 탄산소다, 탄산석회등의 혼합물을 고온에서 녹인 후 냉각하면 생기는 투명도가 높은 물질을 말합니다</p> <p>이러한 원료들은 고온에서 아주 천천히 녹으면서 성질이 변형되고 점성이 높은 액체로 변해갑니다 (중략) 결국 우리가 보기에는 유리가 고체로 보이지만 유리는 결정을 갖는 것이 아니라 점성이 높아져 응고된 상태이기 때문에 극단적으로 점도가 높은 액체(과냉각 액체)로 볼 수 있는 것이지요.</p> <p>(http://www.scienceall.com/sa_community/share/knowledge.sca?todo=KnowledgeView&QNo=62559, 2008. 7월)</p> |

| |
|--|
| <p>Wrote:</p> <p>> 어떤 곳에서는 액체라고하고 또 누구는 고체라고 하는데</p> <p>> 유리는 액체인가요 아니면 고체인가요?</p> <p>> 자세히 설명해주세요</p> <p>답변) 고체라고 하는 것은 구성 분자 간 결합이 아주 강하여 일정한 형태를 유지하는 것이고 액체는 고체보다는 분자 간 결합이 느슨한 편이어서 일정한 형태를 유지할 수 없어 담는 용기의 모양에 따라 형태가 변하게 됩니다</p> <p>그리고 고체에는 결정성 고체와 비결정형 고체가 있습니다.</p> <p>유리는 비결정형입니다. 주성분은 SiO_2(이산화규소)와 소량의 금속 산화물로 구성되어 있습니다. (중략) 결정성 고체는 같은 구조의 격자가 규칙적으로 배열되어 있는 것이고, 비결정형은 불규칙합니다.</p> <p>(http://moolynaru.knu.ac.kr:8080/cgi-bin/NeoBoard/NeoView.cgi?Db=QA&Number=1884_01, 2008. 7월)</p> |
|--|

이 두 인터넷 답변 자료 중 전자의 답변은 중학교 교과서 시각을 나타내 주고 후자의 답변은 대학 교재의 시각을 반영한다고 할 수 있다. 이러한 자료도 많은 사람들이 유리의 상태를 구분하는데 혼란을 가지고 있음을 나타내는 현상이라고 할 수 있다.

중고등학생과 과학교사가 유리의 상태를 Table 3과 같이 분류한 이유를 거시적 관점과 미시적 관점으로

나누어 Table 4에 나타내었다. 여기서, 기체로 답한 경우와 혼합 관점 및 기타 관점은 그 수가 매우 미미하거나 없어 표에서 제외하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 중학생은 거시적 관점을 이용해 액체로 분류하는 경향성을 보였고, 고등학생과 과학교사는 미시적 관점을 이용해 고체로 분류하는 경향성을 보였다.

중학교 교과서에서는 물질의 세 가지 상태를 분자의 배열과 거리와 같은 미시적 관점으로 제시하고, 우리의 상태를 ‘입자의 배열이 규칙적이지 않기 때문’이라는 미시적 관점에 의해 액체로 정의하였다. 그러나 중학생들이 유리를 액체로 구분한 분류 기준은 단단함과 유동성(분류 기준 B)을 근거로 한 비율이 21.5%로 가장 높았다. 따라서 중학생들은 질문지에 제시된 ‘창문의 유리는 오랜 시간이 지나면 아래 부분이 두꺼워지는데..’라는 거시적 특성을 입자의 배열이나 결정과 같은 미시적 특성보다 물질의 상태를 분류하는 기준으로 더 쉽게 받아들임을 알 수 있다. 이러한 거시적 관점으로 설명하는 경향성이 큰 것은 어린 학생층에게서 더 높게 나타났다.¹⁷

고등학생과 과학교사의 경우 고체로의 응답 비율이 높은데, 그렇게 답한 이유는 분자 운동과 배열이라는 미시적 관점(분류 기준 a)이 27.8%, 32.0%로 가장 높았다. 또한 고등학생의 경우에는 중학생과 달리, 단단함과 유동성이라는 거시적 관점(분류 기준 B)으로 유리를 고체로 구분하는 비율도 상대적으로 높았다. 따라서 중학생들은 유리가 유동성이 있으므로 액체로 보는 반면, 고등학생들은 단단하기 때문에 고체로 분류함을 알 수 있다. 이렇게 동일한 물질에 대해 동일한 분류 기준을 적용한 경우에도, 물질의 특성을 바라보는 시각의 차이로 인해 혼란이 유발될 수 있음을 알 수 있다.

김과 구름, 연기의 상태와 상태 분류 기준에 대한 분석 결과. 일상생활에서 쉽게 접하는 ‘김’, ‘구름’, ‘연기’는 매우 가볍기 때문에 공중에 떠 있지만, 그 상태는 액체(김, 구름)와 고체(연기)이다.

중학교 1학년 교과서에서 물질의 상태를 다룰 때, 물을 끓일 때 나오는 ‘김’은 작은 물방울이므로 액체라고 제시하고 있으며, 구름의 경우도 몇 교과서에서 물의 상태변화과정을 통해 호수나 강, 바다의 물이 수증기로 기화된 후 액화된 작은 물방울이 모인 것으로 제시하고 있다. 그러나 연기의 경우에는 대부분의 교

Table 4. 유리의 상태 분류 기준에 대한 응답 수

| 구분 | | | 중학생 | 고등학생 | 과학교사 |
|-----------|---|----|----------|----------|----------|
| 거시적 관점 | A | 고체 | 7(10.8) | 4(5.6) | 5(5.2) |
| | | 액체 | 9(13.8) | 6(8.3) | 0(0.0) |
| | B | 고체 | 9(13.8) | 15(20.8) | 11(11.3) |
| | | 액체 | 14(21.5) | 5(6.9) | 10(10.3) |
| 미시적 관점 | a | 고체 | 4(6.2) | 20(27.8) | 31(32.0) |
| | | 액체 | 6(9.2) | 2(2.8) | 8(8.2) |
| | b | 고체 | 5(7.7) | 2(2.8) | 12(12.4) |
| | | 액체 | 3(4.6) | 6(8.3) | 5(5.2) |

과에서 상태에 대한 언급이 제시되어 있지 않다. 이러한 물질에 대한 상태를 중고등학생 및 과학교사들은 어떻게 생각하고 있는지 조사하여 표 5에 나타내었다. Table 5에서 세로축의 기타 항목은 분류가 어려운 경우와 무응답을 포함한다. '김과 구름', '연기'에 대해 중학생과 고등학생은 기체로의 응답비율이 가장 높았다. 이러한 현상은 관련 단원을 학습하기 전에 물질의 상태에 대한 중학교 1학년 학생들의 사고를 조사한 선행연구¹⁾의 결과와 일

치하므로, 학습을 통해서도 물질의 상태에 대한 오개념이 쉽게 변화되지 않음을 보여주는 것이다. 그러나 중학교 교과서에서 액체로 제시되어 있는 김과 구름의 경우에 중학생들의 경우 35.4%의 학생들이 액체라고 생각하였으므로, 학생들의 사고에 교과서가 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다.

과학교사의 경우에 김과 구름을 액체라고 정확하게 응답한 비율이 53.6%로 가장 높았으며, 그 다음에 43.3%의 과학교사가 중, 고등학생들과 마찬가지로 기체라고 잘못 생각하였다. 연기의 경우에는 김과 구름의 경우와는 달리 중, 고등학생과 마찬가지로 기체라고 잘못 생각하는 비율이 49.5%로 가장 높았다. 그리고 연기를 고체라고 정확하게 응답한 비율은 45.4%였다.

Table 6은 '김과 구름' 그리고 '연기'의 상태를 구분할 때 사용한 분류 기준을 거시적 관점과 미시적 관점으로 나누어 분류 기준을 나타낸 것이다. 기타 관점은 그 수가 매우 미미하거나 없어 표에서 제외하였다. 중학생부터 과학교사까지 분자 운동과 배열(분류 기준 a)의 미시적 관점으로 김과 구름, 그리고 연기를

Table 5. 김과 구름, 연기의 상태 분류 응답 수

| 상태 | 대상 | 중학생 | | 고등학생 | | 과학교사 | |
|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 김과 구름 | 연기 | 김과 구름 | 연기 | 김과 구름 | 연기 |
| 고체 | | 2(3.1) | 2(3.1) | 1(1.4) | 4(5.6) | 1(1.0) | 44(45.4) |
| 액체 | | 23(35.4) | 5(7.7) | 13(18.0) | 4(5.6) | 52(53.6) | 1(1.0) |
| 기체 | | 39(60.0) | 57(87.7) | 56(77.8) | 62(86.1) | 42(43.3) | 48(49.5) |
| 기타 | | 1(1.5) | 1(1.5) | 2(2.8) | 2(2.8) | 2(2.1) | 4(4.1) |
| 합계 | | 65(100.0) | 65(100.0) | 72(100.0) | 72(100.0) | 97(100.0) | 97(100.0) |

Table 6. 김과 구름, 연기의 상태 분류 기준에 대한 응답 수 명(%)

| 구분 | | 중학생 | | 고등학생 | | 과학교사 | | |
|--------|---|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | 김과 구름 | 연기 | 김과 구름 | 연기 | 김과 구름 | 연기 | |
| 거시적관점 | A | 고체 | 0(0.0) | 2(3.1) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 1(1.0) |
| | | 액체 | 2(3.1) | 2(3.1) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) |
| | | 기체 | 6(9.2) | 6(9.2) | 2(2.8) | 1(1.4) | 2(2.1) | 2(2.1) |
| | B | 고체 | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 2(2.1) |
| | | 액체 | 2(3.1) | 1(1.5) | 0(0.0) | 0(0.0) | 4(4.1) | 0(0.0) |
| | | 기체 | 2(3.1) | 3(4.6) | 1(1.4) | 3(4.2) | 1(1.0) | 3(3.1) |
| 미시적 관점 | a | 고체 | 0(0.0) | 0(0.0) | 0(0.0) | 4(5.6) | 1(1.0) | 17(17.5) |
| | | 액체 | 7(10.8) | 2(3.1) | 9(12.5) | 1(1.4) | 20(20.6) | 0(0.0) |
| | | 기체 | 22(33.8) | 30(46.2) | 37(51.4) | 38(52.8) | 26(26.8) | 30(30.9) |
| | b | 고체 | 1(1.5) | 9(13.8) | 1(1.4) | 0(0.0) | 0(0.0) | 21(21.6) |
| | | 액체 | 7(10.8) | 0(0.0) | 2(2.8) | 1(1.4) | 24(24.7) | 1(1.0) |
| | | 기체 | 8(12.3) | 0(0.0) | 15(20.8) | 19(26.4) | 10(10.3) | 12(12.4) |

기체로 구분한 비율이 가장 높았다. 과학 교사의 경우에는 학생들과 달리 감과 구름, 혹은 연기를 구분할 때 사용하는 분류 기준이 다른 비율도 상대적으로 높았으므로, 분류 기준에서 많은 혼란을 가지고 있음을 알 수 있다.

혼합물의 상태와 상태 분류 기준에 대한 분석 결과. 물컹거리거나 흐르는 성질이 있는 혼합물의 점성 차이에 따라 학생들이 상태를 어떻게 구분하는지 알아 보기 위하여 젤리, 쿠키 반죽, 팬케익 반죽, 그리고 소금물을 선정하여 중·고등학교 학생들과 과학교사의 응답을 비교해 보았다.

젤리는 모양이 유지되고 부피가 일정하나, 물컹거리리는 성질을 가지고 있다. 젤리의 상태와 그렇게 답한 분류 기준을 Table 7에 나타내었다. 여기서, 기체로 답한 경우와 혼합 관점 들 및 기타 관점들은 매우 미미하거나 없으므로 표에서 제외하였다.

Table 7의 결과는 중학생에서 과학교사로 갈수록 거시적 관점에서의 답변 비율이 감소하고, 미시적 관점에서의 답변 비율이 증가하고 있음을 보여준다. 또한, 세 집단 모두 젤리를 고체로 답한 비율이 액체 상태

Table 7. 젤리의 상태와 분류 기준에 대한 응답 수 명(%)

| 구분 | | 중학생 | | | 고등학생 | | | 과학교사 | | |
|--------|---|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 고체 | 액체 | 기타 | 고체 | 액체 | 기타 | 고체 | 액체 | 기타 |
| 거시적 관점 | A | 고체 | 15(23.1) | 2(3.1) | 2(2.8) | 7(9.7) | 2(2.1) | 6(6.2) | 2(2.1) | 2(2.1) |
| | | 액체 | 2(3.1) | 13(20.0) | 1(1.5) | 11(15.3) | 8(8.2) | 2(2.1) | 1(1.0) | 1(1.0) |
| | B | 고체 | 13(20.0) | 1(1.5) | 8(11.1) | 8(11.1) | 2(2.1) | 11(16.9) | 19(26.4) | 33(34.0) |
| | | 액체 | 1(1.5) | 8(11.1) | 2(2.1) | 11(16.9) | 19(26.4) | 33(34.0) | 4(6.2) | 1(1.4) |
| 미시적 관점 | a | 고체 | 11(16.9) | 19(26.4) | 33(34.0) | 8(12.3) | 8(11.1) | 20(20.6) | 1(1.5) | 1(1.4) |
| | | 액체 | 4(6.2) | 1(1.4) | 1(1.0) | 8(12.3) | 8(11.1) | 20(20.6) | 1(1.5) | 1(1.4) |
| | b | 고체 | 8(12.3) | 8(11.1) | 20(20.6) | 1(1.5) | 1(1.4) | 0(0.0) | 1(1.5) | 1(1.4) |
| | | 액체 | 1(1.5) | 1(1.4) | 0(0.0) | 1(1.5) | 1(1.4) | 0(0.0) | 1(1.5) | 1(1.4) |

Table 8. 쿠키 반죽, 팬케익 반죽의 상태와 분류 기준에 대한 응답 수 명(%)

| 구분 | | 중학생 | | 고등학생 | | 과학교사 | | |
|--------|---------|--------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 쿠키반죽 | 팬케익 | 쿠키반죽 | 팬케익 | 쿠키반죽 | 팬케익 | |
| | | 거시적 관점 | A | 고체 | 21(32.3) | 8(12.3) | 16(22.2) | 2(2.8) |
| 액체 | 9(13.8) | | | 14(21.5) | 7(9.7) | 9(12.5) | 6(6.2) | 1(1.0) |
| B | 고체 | | 3(4.6) | 2(3.1) | 5(6.9) | 1(1.4) | 9(9.3) | 2(2.1) |
| | 액체 | | 3(4.6) | 20(30.8) | 3(4.2) | 25(34.7) | 5(5.2) | 33(34.0) |
| 미시적 관점 | a | 고체 | 9(13.8) | 2(3.1) | 20(27.8) | 6(8.3) | 24(24.7) | 0(0.0) |
| | | 액체 | 5(7.7) | 7(10.8) | 3(4.2) | 15(20.8) | 3(3.1) | 0(0.0) |
| | b | 고체 | 4(6.2) | 1(1.5) | 7(9.7) | 1(1.4) | 23(23.7) | 10(10.3) |
| | | 액체 | 0(0.0) | 3(4.6) | 3(4.2) | 3(4.2) | 3(3.1) | 11(11.3) |

보다 높게 나타났다. 이렇게 분류한 기준에 대해서는 중학생의 경우 젤리의 모양과 부피가 일정(A)하기 때문이고, 또는 단단(B)하기 때문이라고 답했으며, 고등학생의 경우 단단(B)하기 때문이거나, 고체처럼 분자 운동이 자유롭지 못하고, 혹은 분자배열이 규칙적(a)이라고 생각하는 것으로 나타났다. 미시적 관점 중 a (분자운동과 배열)의 응답비율이 높은 과학교사의 경우도 젤리의 분자 배열이 규칙적이라고 생각하고 있었다.

초등학생과 초등 교사를 대상으로 물질의 상태를 조사한 연구¹⁾에서도 학생과 교사들이 젤리를 고체로 분류한 비율이 높았으며, 초등학생들은 젤리가 손으로 잡을 수 있기 때문에 고체라고 생각하였고, 초등 교사들은 일정한 형태를 유지하기 때문에 고체라고 생각하였다. 초등학생의 경우에 젤리가 물렁하기 때문에 액체라고 답한 비율도 높게 나타났는데, 모양이 유지되기 때문에 손으로 잡을 수 있으나, 물렁거리리는 젤리의 특성에 대해 학생들이 혼란스러워함을 알 수 있다.

초등학생보다 중학생들이 젤리를 고체로 생각하는 경향이 컸으며, 일정한 모양 유지(A)와 단단함(B)이라는 거시적인 관점의 분류 기준으로 분류하는 경향이 컸다.

쿠키 반죽과 팬케익 반죽의 상태에 대한 학생들과 교사의 생각을 알아본 결과는 Table 8에 나타내었다. 여기서, 반죽의 상태를 기체로 답한 경우와 기타 관점들은 매우 미미하거나 없어 표에서 제외하였다. 쿠키 반죽은 물의 양이 상대적으로 적어서 지점토처럼 물컹거리고 외부에서 힘을 주면 형태가 쉽게 변하지만 가만히 두었을 때 그 형태를 유지하는 특성이 있으며, 팬케익 반죽은 물의 양이 상대적으로 많아서 우

유처럼 흐르는 특성이 있다.

반죽에 대한 상태 조사 결과, 중고등학생과 과학교사 모두 물의 양이 적은 쿠키 반죽은 56.9%이상이 고체로 상태를 분류하였으며, 물의 양이 상대적으로 많은 팬케익 반죽은 46.3%이상이 액체로 구분하였다.

중학생의 경우 두 반죽 모두 거시적 관점들을 이용해 상태를 구분한 응답 비율이 높게 나타났는데, 특히 쿠키 반죽의 경우에는 분류 기준 A인 모양과 부피를 근거로 고체로 분류하였고, 팬케익 반죽의 경우에는 분류 기준 B인 단단함과 유동성을 근거로 액체로 구분하였다. 따라서 학생들이 일정한 하나의 분류 기준을 사용하여 물질의 상태를 구분하기 보다는, 상황에 따라 다른 분류 기준을 적용함으로써 물질의 상태를 구분하는데 더 많은 혼란이 유발될 수 있음을 확인할 수 있다.

고등학생과 과학교사들이 쿠키 반죽과 팬케익 반죽을 분류하는 기준은 동일한 것으로 나타났으며, 쿠키 반죽은 고체로, 팬케익 반죽은 액체로 구분한 비율이 가장 높은 경향도 일치하였다. 그러나 중학생들과 마찬가지로 쿠키 반죽을 구분할 때와 팬케익 반죽을 구분할 때 분류 기준은 달랐다. 특히 쿠키 반죽의 경우에는 중학생들과 달리 미시적 관점에 해당하는 분자운동과 배열의 특성(분류 기준 a)으로의 응답 비율이 가장 높았으나, 팬케익 반죽의 경우에는 중학생의 경우와 마찬가지로 거시적 관점에 해당하는 단단함과 유동성을 기준(분류 기준 B)으로 응답한 비율이 가장 높았다.

물질의 상태에 대한 분류의 혼란이 학생들 뿐 아니라 과학교사들도 느끼고 있다는 점은 매우 중요한 문제라고 할 수 있다. 특히 입자의 수준에서 생각하는 미시적 관점의 분류 기준과 형태나 모양 등 거시적 관점으로 분류하는 기준을 일관성 있게 도입하지 못하고, 분류할 물질의 특성에 따라 다른 기준을 적용하여 다르게 판단하는 점도 문제라고 할 수 있다. 과학 교사의 경우에는 팬케익 반죽을 거시적 관점으로 분류한 경우가 38명(39.2%)이었는데, 그 중에서 33명

(34%)이 단단함과 유동성의 특성(분류 기준 B)를 이용하여 이를 액체로 분류하였다. 따라서 과학교사들조차도 액체의 분류 기준에서 가장 중요한 특성이 흐르는 성질로 인식하고 있음을 알 수 있다.

팬케익 반죽을 미시적 관점으로 분류한 교사들 중에는 동일한 분류 기준 b(분자간 인력과 거리)로 분류하였음에도 불구하고 10.3%의 교사는 이를 고체로, 11.3%의 교사는 액체로 분류하였다. 따라서 미시적 관점의 분류 기준으로 물질의 상태를 판단하는 과정에서 교사마다 주관적인 차이가 존재함을 확인할 수 있었다.

소금을 물에 녹여 만든 소금물은 젤리와 반죽들에 비해 가장 물의 양이 많기 때문에 액체의 특성을 적용하기에 가장 적합한 혼합물이다. 따라서 소금물의 상태를 대부분의 학생들과 교사는 액체 상태로 응답하였다. 그러나 분류 기준에 대한 판단은 매우 다양하였다. 이를 Table 9에 제시하였는데, 소금물을 액체 상태로 답하지 않은 경우는 매우 적었기 때문에 액체로 응답한 경우만을 중심으로 분류하였다.

소금물의 경우 중학생 65명 중에서 55명이, 고등학생 72명 중에서 62명이, 그리고 과학교사 97명 중에서 82명이 액체라고 응답하였다. 그리고 중학생보다 고등학생이, 그리고 고등학생보다 과학교사가 미시적 관점으로 소금물의 상태를 분류하는 비율이 높아졌다. 그러나 거시적 관점 중에서 단단함과 유동성을 기준으로 소금물을 액체로 구분하는 비율은 학생과 교사 모두 20% 이상으로 높은 편이었다. 따라서 표 8의 결과와 비교해 보면, 액체를 구분하는 분류 기준으로 학생들과 과학 교사가 가장 중요하게 인식하는 것은 유동성임을 확인할 수 있다.

젤리, 쿠키 반죽, 팬케익 반죽, 소금물 등 4가지 혼합물에 대한 학생들과 교사들의 사고 유형을 종합해 보면, 일반적으로 외부에서 압력을 가하기 전에는 일정한 모양과 형태를 유지하는 젤리와 쿠키 반죽은 고체로 분류한 응답 비율이 높은 반면, 물의 양이 상대적으로 많은 팬케익 반죽과 소금물은 액체로 분류한

Table 9. 소금물을 액체 상태로 분류한 기준에 대한 응답 수 명(%)

| 구 분 | | | 중학생 | 고등학생 | 과학교사 |
|--------|---|----|----------|----------|----------|
| 거시적 관점 | A | 액체 | 23(35.4) | 20(27.8) | 9(9.3) |
| | B | 액체 | 18(27.7) | 15(20.8) | 24(24.7) |
| 미시적 관점 | a | 액체 | 10(15.4) | 19(26.4) | 25(25.8) |
| | b | 액체 | 4(6.2) | 8(11.1) | 24(24.7) |

응답 비율이 높게 나타났다.

물질의 상태를 분류하는 기준은 집단별 특성을 나타내었는데, 중학생의 경우 모든 물질의 상태를 거시적 관점으로 분류한 응답 비율이 높았으며, 고등학생은 고체라고 응답한 경우에는 미시적 관점으로, 그리고 액체라고 응답한 경우에는 거시적 관점으로 응답 비율이 높았다. 과학교사의 경우는 액체라고 분류한 팬케익 반죽을 제외한 다른 물질에 대해서는 미시적 관점으로 분류하는 비율이 높았다.

결론 및 제언

이 연구 결과에서 모든 집단의 일관성 있는 반응으로 나타난 것은, 고체와 액체를 분류하는 기준으로 거시적 관점인 단단함과 유동성(분류 기준 B)을 선택하는 비율이 높았다는 것이다. 대부분 기체로 분류한 김과 구름, 연기와 같은 물질의 경우에는 미시적 관점을 기준으로 분류하는 경향이 컸다. 한편, 우리는 중학교 교과서와 대학 일반화학 교재 및 인터넷 자료 등의 시각 차이로 인해 교사와 학생들이 물질의 상태와 이를 분류하는 기준에서 많은 혼란을 가지고 있었다.

이 연구에서 소재로 삼은 젤리, 쿠키 반죽, 팬케익 반죽, 소금물은 모두 혼합물로 순물질과 달리 두 가지 이상의 다른 물질의 상태가 혼합되어 있으며, 섞이는 비율에 따라 거시적 특성이 다르게 나타나기 때문에 이를 특정 상태로 명확하게 구분하는 것은 적절하지 않을 수 있으나, 이를 통해 학생들과 교사가 생각하는 물질의 상태에 대한 사고 유형을 파악할 수 있었다. 특히 학생들 뿐 아니라 과학교사들도 물질의 상태에 대한 분류에 많은 혼란을 가지고 있음을 이 연구를 통해 파악하였다.

중학생들은 혼합물의 상태를 구분하는 기준으로 거시적 관점을 많이 선택하였으나, 고등학생들과 과학교사는 미시적 관점을 선택하는 비율이 상대적으로 높았다. 그러나 이들이 고체로 선택한 젤리와 쿠키 반죽은 거시적인 관점에서 보았을 때 유동성을 가지지 않는다는 특성도 가지고 있다. 또한 팬케익 반죽이나 소금물은 유동성을 나타낸다. 따라서 혼합물의 상태를 구분하는 기준으로 고등학생들과 과학교사가 중학생과 마찬가지로 거시적 관점을 포함하였을 가능성이 높다.

이러한 거시적 관점에서의 물질의 상태 구분은 혼

합물의 경우에 섞인 물질의 양에 따라 그 특성이 달라지기 때문에 상태를 판단하는 일관성 있는 지표가 되기 어렵다. 그러나 많은 학생들과 교사들이 물질의 상태를 구분하기에 앞서 순물질과 혼합물을 구분하려는 사고를 하지 못하였으며, 물질의 상태를 구분하는데 일관성 있는 기준을 적용하여야 한다는 사고도 하지 못하는 것으로 나타났다.

혼합물들은 순물질보다 우리 주위에서 쉽게 찾아볼 수 있는 친근한 소재이기 때문에 물질의 세 가지 상태를 배울 때 많은 교과서에서 혼합물의 사례를 제시하는 경향이 있으며, 수업에서도 과학교사들이 주변의 소재를 중심으로 물질의 상태를 분류하는 활동을 제시하는 경향이 있다. 이에 따라 발생하는 혼란을 방지하기 위해서는 초등학교에서 도입하는 물질의 상태에 대한 거시적 관점을 중학교 이상에서는 미시적 관점으로 변화시키면서 입자 관점에서 혼합물의 문제를 다룰 필요가 있다고 본다. 이를 통해 물질의 세 가지 상태를 명확하게 구분하기 위해서는 순물질들을 대상으로 하여야 함을 인식시키는 것이 중요하다.

분류 기준의 선택은 임의적일 수 있으나, 선택된 기준을 일관성 있게 도입하여 분류 활동을 하여야 함에도 불구하고, 이 연구 결과를 통해 학생들과 교사들이 분류 기준에 대한 일관성을 유지하지 못하고 있음도 밝혔다. 이는 물질의 상태에 대한 학습에서 분류 기준에 근거한 분류 활동보다는 지식에 더 초점을 두었기 때문일 가능성이 높다. 우리는 ‘액체다’, 혹은 ‘고체다’라는 논의를 하기 전에 우선 미시적 입자 관점에서 유리의 특성을 살펴보고, 어떤 기준을 이용하여 유리의 상태를 구분하는 것이 유용한지에 대해 논의하는 과정을 과학수업에 포함시킬 필요가 있다.

유리를 거시적 특성으로 분류한다면 단단함을 기준으로 고체라고 주장할 수도 있고, 흐르는 성질을 기준으로 액체라고 주장할 수도 있으며, 이러한 주장들 간에 합의가 이루어지지 않는다면 어느 주장이 옳고 그르다고 판단하기 어렵기 때문이다. 그러나 유리를 미시적 관점에서 본다면, 순수한 SiO_2 결정으로 이루어진 수정(Crystal)은 고체이지만, 우리가 일상에서 사용하는 유리는 규사와 소다, 석회, 무수규산, 무수붕산, 무수인산 등 산성 산화물 뿐 아니라 나트륨, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 알칼리금속이나 알칼리토금속의 산화물 및 납, 알루미늄 등 다양한 물질들이 포함된 혼합

물이다. 따라서 우리는 녹는점도 일정하지 않다는 특징이 있다. 이러한 특성을 고려한다면, 유리도 고체나 액체로 구분하기 보다는 혼합물로 보아 분류가 가능하지 않다고 보는 것이 타당할 수 있다. 따라서 물질의 상태를 분류하는 활동은 우선적으로 분류 기준에 대한 고려를 하는 것으로부터 시작되어야 할 것이다.

화학분야에서 물질의 상태를 분류하는 내용은 초등학교 3학년부터 제시되며, 초등학교에서는 거시적 관점으로, 그리고 중학교 1학년 과정에서는 거시적 관점과 분자의 배열과 운동이라는 미시적 관점을 같이 제시하고 있다. 그럼에도 불구하고 이 연구를 통해 많은 학생들과 과학교사들이 물질의 상태를 구분할 때 미시적 관점과 거시적 관점을 혼용하면서 물질의 상태 분류에 많은 혼란을 가지고 있음을 확인하였다. 이는 중등 교육 및 대학 예비교사 교육에서 이러한 내용의 교육이 효과적으로 이루어지지 못하였음을 의미한다.

과학교과의 학습에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 바로 과학 교과서와 과학 교사이기 때문에 교사들의 옳은 개념이 학생들의 올바른 개념 정립을 위해 필요한 요소이며,¹⁸ 만약 과학교사가 혼란스럽게 생각한다면, 이는 가르치는 교사와 교과서의 내용체계가 정확한 개념 정립을 못한 상태이기 때문일 수 있다.¹⁹ 따라서 과학교사의 다양한 선개념은 현장에서 직접 학생들을 가르치는 입장에서 매우 중요한 문제이며, 시급히 해결해야 할 중요한 과제이다.

중고등학생과 과학교사들이 다양한 물질의 상태를 정의함에 있어 많은 혼란을 가지고 있다는 이 연구를 통해 앞으로 이러한 혼란을 해결하기 위한 제언을 하고자 한다. 중학교에서 미시적 관점으로 물질의 세 가지 상태를 분류할 때 혼합물과 순물질의 구분을 선행하여야 한다. 이를 통해 물질의 상태는 순물질을 기준으로 한다는 점을 인식하고, 입자의 수준에서 도입하는 미시적 관점을 일관성 있게 도입하여, 물질의 세 가지 상태에 대한 분류 기준을 형성할 수 있도록 사교의 전환을 돕는 과정에 초점을 두어야 할 것이다.

인용 문헌

1. Charly, R. *Research in Science & Technological Education* **1990**, 8(2), 171-183.
2. Johnson, P. *International Journal of Science Education* **1998**, 20(5), 567-583.
3. Krnel, D., Watson, R. *International Journal of Science Education* **2005**, 27(3), 367-383.
4. Shepherd, D. L., Renner, J. W. *School Science and Mathematics* **1982**, 82(8), 650-665.
5. Stavry, R. *International Journal of Science Education* **1988**, 10(5), 553-560.
6. Stavry, R.; Stachel, D. *European Journal of Science Education* **1985**, 7(4), 407-421.
7. Tsai, C. C. (1998). *Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Diego.* (Eric Document Reproduction Service No. Ed 420510).
8. 강태정 *물질의 상태와 상태변화에 대한 초등학생의 개념 조사*, 한국교원대학교 대학원 석사학위논문. 2000.
9. 김선경; 김영미; 백성혜 *한국과학교육학회지* **2007**, 27(4), 337-345.
10. 이을수; 박종호 *교과교육연구* **2008**, 12(11), 183-200.
11. 최경숙 *물질의 상태와 상태변화에 대한 중학교 1학년 학생들의 개념 조사*, 한국교원대학교 대학원 석사학위논문. 2003.
12. 최후남 *물질의 상태변화 현상에 대한 학생들의 개념 연구*, 서울대학교 대학원 석사학위논문. 1991.
13. 교육인적자원부 *실험관찰 3-1*. 2003.
14. Stavry, R. *Journal of Research in Science Teaching* **1990**, 27(3), 247-266.
15. 최돈형; 김동영; 김봉래; 김재영; 노석구; 신영준; 이기영; 이대형; 이면우; 이명재; 이상인; 전영석 *중학교 과학 1*; 도서출판 대일도서: 서울, 2002.
16. 장영기 외 26인 역 *일반화학* 교보문고: 서울, 1996.
17. Gómez Crespo, M. A., & Pozo, J. I. *International Journal of Science Education* **2004**, 26(11), 1325-1343.
18. 강대훈; 백성혜; 박국태 *화학교육* **1998**, 25(4), 207-220.
19. 백성혜 *화학교육* **2000**, 27(1), 78-80.