

물질의 특성에 대한 중학생의 거시적 개념과 미시적 개념의 비교

이재원 · 이병진 · 노태희*

서울대학교 화학교육과

(접수 2018. 1. 3; 게재확정 2018. 4. 17)

A Comparison of Middle School Students' Macroscopic and Microscopic Conceptions Related to the Properties of Substances

Jaewon Lee, Byoungjin Lee, and Taehee Noh*

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 08826, Korea.

*E-mail: noth@snu.ac.kr

(Received January 3, 2018; Accepted April 17, 2018)

요약. 이 연구에서는 중학교 2학년 학생들의 물질의 특성에 대한 거시적, 미시적 수준의 개념을 비교하였다. 기초 입자 개념 검사와 녹는점, 용해도, 밀도 개념에 대한 거시적, 미시적 수준의 개념 검사를 개발하여 371명의 중학생들을 대상으로 실시하였다. 학생들의 응답을 거시적 수준과 미시적 수준의 개념 이해 여부에 따라 네 가지로 범주화하고 범주별 비율과 특징을 분석하였다. 연구 결과, 거시적 수준의 개념을 이해한 학생들은 미시적 수준에서 다양한 오개념을 가지고 있는 경우가 많았다. 많은 학생들은 물질의 특성과 관련한 미시적 수준의 개념뿐 아니라 거시적 수준의 개념 이해에도 어려움을 겪었다. 거시적 수준의 개념을 이해하지 못한 학생들은 대부분 미시적 수준에서 거시적 수준의 응답과 일치하는 응답을 하지 못하였다. 기초 입자 개념 문항에 옳은 응답을 한 학생들도 물질의 특성 관련 개념을 이해하는 데 어려움을 겪었으나, 거시적 수준의 개념을 이해한 경우 미시적 수준의 개념도 함께 이해한 비율이 높았다. 연구 결과를 바탕으로 물질의 특성 관련 개념의 효과적인 교수학습 및 향후 교육과정의 개선을 위한 교육적 시사점을 논의하였다.

주제어: 물질의 특성, 거시적 개념, 미시적 개념

ABSTRACT. In this study, we compared 8th graders' macroscopic and microscopic conceptions related to the properties of substances. A test for the basic particle concept and a test for the macroscopic and microscopic concepts of melting point, solubility, and density were developed and administered to 371 students. Their responses were classified into 4 categories on the bases of their understanding of the macroscopic and microscopic concepts. The proportions and characteristics of each category were also analyzed. The analyses of the results revealed that the students who understood the macroscopic concepts had various misconceptions at the microscopic level. Many students had difficulty in understanding not only microscopic concepts but macroscopic concepts. The microscopic responses of the students who did not understand the macroscopic concepts hardly corresponded with their macroscopic level responses. The students who responded correctly to the test for the basic particle concept also had difficulty in understanding the concept of the properties of substances. When they understood the macroscopic concepts, the proportions of the students who understood the microscopic concepts were high. On the bases of the results, educational implications for effective teaching and learning of concepts related to the properties of substances and for improving the future national curricular are discussed.

Key words: Properties of substances, Macroscopic concept, Microscopic concept

서론

교육과정은 사회가 지향하는 학교 교육의 기본적인 목표와 교수학습 내용을 제시한다.¹ 교과서를 비롯한 많은 교수학습 매체는 교육과정에 의거해 개발되므로 학생의 인지 수준을 고려한 교육과정의 개발은 중요하다.² 미시 세계를 주로 다루는 화학 교과와 경우 개념을 체계적으로

이해하기 위해서는 다양한 위계에서의 종합적인 사고가 필요하다.^{3,4} 예를 들어, 용해와 용액 개념은 자연적 현상이나 실험을 통해 이해할 수 있는 거시적 수준의 개념, 입자의 보존과 분포 및 입자간 상호작용 등에 관한 미시적 수준의 개념, 화학 반응식이나 엔탈피와 엔트로피 등의 열역학적 기호를 이용한 상징적 수준의 개념으로 설명할 수 있다.⁵ 따라서 화학 교육과정은 화학 개념에 대한 다양

한 위계의 설명이 학생의 수준에 부합하도록 체계적으로 구성되어야 한다.^{6,7}

물질의 입자성은 화학 개념을 미시적 수준에서 이해하기 위해 필요한 핵심 개념 중 하나이다.⁸ 화학 반응식과 기체의 성질 등 많은 화학 개념은 물질의 입자성을 이해해야 과학적 원리를 올바르게 설명할 수 있다. 따라서 화학 학습의 기초 도구 역할을 하는 물질의 입자성은 교육과정 전반에 걸쳐 중요하게 다루어진다.⁹⁻¹² 하지만 물질의 입자성을 이해하기 위해서는 추상적 사고와 가설 연역적 사고 등 형식적 조작 수준의 사고가 필요하므로,^{13,14} 많은 학생들은 화학 개념을 미시적으로 이해하는 데 어려움을 겪고 있다.^{15,16} 이에 과학교육 연구자들은 학생들의 인지 수준을 고려하여 먼저 거시적 수준의 개념을 도입한 후, 이를 미시적 수준의 개념으로 연결하여 지도할 것을 제안하고 있다.^{6,17}

과학 교육과정에서는 물질의 입자성을 중학교 수준에서부터 다루는 경우가 많다. 예를 들어, 미국은 차세대과학표준(NGSS)을 통하여 학생들이 초등 단계(K-5)에서는 거시적 수준의 관찰과 설명 위주로 학습을 하며, 중학교에서 미시적 수준의 개념 설명을 도입하도록 제안하고 있다.^{18,19} 또한 영국에서도 7-9학년 과정(key stage 3)에서부터 물질의 입자성에 대한 학습을 시작하도록 하고 있다.²⁰ 우리나라의 경우, 2009 개정 교육과정에서 물질의 입자성은 초등학교 6학년 ‘여러가지 기체’ 단원에서 입자 그림을 통해 처음으로 다룬다. 이 단원은 물질의 입자성을 정성적으로 다루고 개념 학습보다는 활동 위주로 구성되어 학교급간 내용의 연계성을 위해 도입되었다.²¹ 물질의 입자성에 관한 핵심 개념은 중학교 1~3학년군의 교육과정에서 제시되는데, 중학교 1학년의 ‘물질의 상태’와 ‘분자의 운동’ 단원에서는 물질의 상태, 상태 변화, 확산, 증발, 보일의 법칙 등 주요 개념을 거시적 수준의 실험과 미시적 입자 개념으로 설명한다. 중학교 3학년의 ‘화학 반응’ 단원에서는 산과 염기, 중화 반응 등의 주요 개념을 거시적, 미시적, 상징적 수준에서 모두 다루고 있다. 즉, 중학교 과학에서 물질의 입자성은 대부분 실험이나 화학 반응식 등과 함께 다루어져 학생들이 거시적, 미시적, 상징적 수준의 개념을 연계하여 이해할 수 있도록 구성되어 있다.²²

그러나 중학교 2학년의 ‘물질의 특성’과 ‘혼합물의 분리’ 단원에서는 주요 개념에 대한 교육과정 목표를 거시적 수준과 상징적 수준으로 제시할 뿐, 미시적 수준에서는 언급하고 있지 않다.²² 그 결과 대부분의 교과서에서 ‘물질의 특성’과 ‘혼합물의 분리’ 단원의 활동은 주로 물질의 특성을 관찰하거나 혼합물을 분리하는 실험, 물질의 상태 변화와 관련하여 녹는점과 끓는점 및 용해도 관련 그래프의 해석, 밀도나 용해도의 수리적 계산 등으로 이루어져 있다. 실험과 관찰은 거시적 현상의 이해에는 효과적이지만 이를

미시적 수준의 개념 이해로 연결시키는 데는 한계가 있다. 또한 수식을 통한 계산 활동은 입자 개념이 부재한 상태에서도 공식이나 연산을 통해 학습이 이루어질 수 있다.²³ 그러므로 미시적 수준의 접근이 부족한 현행 교육과정을 배우는 학생들은 ‘물질의 특성’ 단원의 개념을 거시적 또는 상징적 수준에서는 올바르게 이해하고 있더라도 미시적 수준에서는 다양한 오개념을 지닐 가능성이 있다.

향후 교육과정의 개선을 위해서는 현행 교육과정을 이수한 학생들의 물질의 특성과 관련한 미시적 수준의 개념 이해를 조사할 필요가 있다. 하지만 화학 개념에 대한 학생들의 이해나 오개념을 특정 수준에서만 조사하는 경우 학생들이 화학 개념을 여러 수준에서 통합적으로 이해하고 있는지 여부는 파악하기 어렵다. 즉, 향후 교육과정에 물질의 특성 관련 개념에 대한 거시적 수준과 미시적 수준의 설명이 체계적으로 구성되기 위해서는 학생들의 특정 개념에 대한 거시적, 미시적 수준의 이해를 통합적으로 비교해야 한다. 그러나 지금까지 물질의 입자성에 관한 연구는 학생들의 이해나 오개념을 미시적 수준에서만 단편적으로 조사한 연구가 대부분이었다.^{10,12,24-28} 화학의 핵심 개념에 대한 학생들의 이해를 여러 수준에서 통합적으로 조사하는 연구는 최근 들어 학습 발달과정(learning progression)의 관점에서 이루어지기 시작하는 추세이다.^{6,29,30} 하지만 ‘물질의 특성’ 단원에서 다루는 녹는점과 끓는점, 용해도, 밀도 개념을 대상으로 거시적 수준과 미시적 수준의 이해를 비교한 연구는 이루어지지 않았다. 현행 교육과정의 ‘물질의 특성’ 단원에서 미시적 수준의 접근이 미흡하다는 점을 고려하면 관련 개념에 대한 학생들의 거시적, 미시적 수준에서의 이해를 비교 조사하는 것은 향후 교육과정 및 교과서 개발에 필요한 시사점을 제공할 수 있으므로 중요하다.

이에 이 연구에서는 2009 개정 교육과정의 중학교 2학년 물질의 특성 단원에 제시된 녹는점, 용해도, 밀도 개념에 대한 학생들의 거시적, 미시적 개념 이해 수준을 조사하고 비교 분석하였다.

연구 방법

연구 참여자와 연구 절차

경기도 남부 지역의 2개 시에 소재한 중학교 세 곳의 2학년 학생 371명이 연구에 참여하였다. 각 학교에서 같은 과학 교사가 담당하는 3개의 학급을 무선표집하였다. 연구 참여 학교가 사용 중인 과학 교과서를 수집하여 분석한 결과, 각 학교는 모두 다른 출판사의 과학 교과서를 사용하고 있었다. 세 교과서 모두 ‘물질의 특성’ 단원에서는 공통적으로 사진, 그래프, 수식 계산 등을 활용하여 녹는

점, 끓는점, 용해도, 밀도에 관한 개념을 설명하고 있었으나 입자 그림 등 물질의 입자성을 이용하여 해당 개념을 설명하지는 않았다. 과학 담당 교사들도 ‘물질의 특성’ 수업 시간에 별도로 입자 개념을 다루지는 않았다고 하였다. 즉, 모든 연구 참여 학교의 학생들은 거시적 수준과 상징적 수준에서 물질의 특성 개념을 학습하였지만, 미시적 수준에서의 학습은 미흡한 상태였다.

모든 연구 참여 학교에서 ‘물질의 특성’ 단원의 학습이 완료된 후 같은 시기에 중학교 1학년의 ‘물질의 상태’ 단원에서 다루는 수준의 입자 개념에 대한 이해를 묻는 1문항의 기초 입자 개념 검사와 중학교 2학년의 ‘물질의 특성’ 관련 개념에 대한 3문항의 거시적, 미시적 개념 검사를 1차시 동안 실시하였다. 371명 중 무응답 등으로 채점이 불가능한 문항의 비율이 과반 이상인 경우를 제외하고 317명의 응답을 분석하였다.

검사 도구

먼저 기초 입자 개념에 대한 학생들의 이해 수준을 조사하기 위해 중학교 1학년의 ‘물질의 상태’ 단원 내용을 기초로 1문항의 기초 입자 개념 검사를 개발하였다. 이 검사에서는 일정량의 고체 상태 물질의 입자 그림을 제시한 후 같은 물질이 액체 및 기체 상태일 때의 입자 그림을 그리고 자세히 설명하도록 하였다.

물질의 특성 관련 거시적, 미시적 개념 검사는 중학생의 입자 개념을 조사한 선행 연구^{12,26,31}를 참고하여 중학교 2학년 ‘물질의 특성’ 단원에서 다루는 녹는점, 용해도, 밀도 개념에 대해 각각 1문항씩 총 3문항으로 구성하였다. 각 문항에서는 목표 개념에 관한 상황이나 그래프를 제시한 후, 거시적으로 관찰할 수 있는 현상을 글로 기술함과 동시에 이를 입자 그림으로 표현하고 자세히 설명하도록 하였다. 모든 검사지 문항은 학생들이 자신의 생각을 자유롭게 표현할 수 있도록 서술형 문항을 사용하였다. 각 문항별 목표 개념과 내용을 Table 1에 요약하였고, 2개 문항의 예시를 Appendix 1에 제시하였다. 연구 참여 학교가 아닌 중학교의 2학년 1개 학급을 선정하여 예비 연구를 실시하였다. 예비 연구 분석 결과를 반영하여 검사지의 문항과 지문 등을 수정 보완한 후, 과학교육 전문가 3인과 현직

Table 1. The content of test items

Target concept	Content
Melting Point	Drawing particles and explaining it when a solid is heated and reaches the melting point.
Solubility	Drawing particles and explaining it when the temperature of the saturated potassium nitrate solution is lowered.
Density	Drawing particles and explaining it for the same solid with different volumes.

Table 2. The number of subjects on the bases of basic particle concept

	Gas	Correct answer	Wrong answer	Total
Liquid				
Correct answer		177 (55.8)	59 (18.6)	236 (74.4)
Wrong answer		42 (13.2)	39 (12.3)	81 (25.6)
Total		219 (69.1)	98 (30.9)	317 (100.0)

과학교사 3인으로부터 문항의 구성 및 내용타당도를 점검받았다.

분석 방법

기초 입자 개념 검사에서는 액체와 기체 상태에 대한 입자 그림의 유형을 분석하였고, 물질의 특성 관련 거시적, 미시적 개념 검사에서는 각 문항의 거시적, 미시적 수준의 응답을 각각 분석하였다. 먼저 2인의 연구자가 각 학교당 10부씩 총 30부의 검사지를 무작위로 추출하여 예비 분석을 실시하였다. 각 검사에 대한 학생들의 응답을 옳은 응답과 옳지 않은 응답으로 나누고, 옳지 않은 응답은 오류 유형을 세분하여 귀납적으로 초기 분석틀을 개발하였다. 학생이 입자의 개수를 지나치게 적게 그리거나 설명이 불충분하여 입자 그림의 유형을 특정할 수 없는 경우는 ‘기타 및 무응답’으로 분류하였다. 이상과 같이 2인의 연구자가 검사지 일부를 각자 분석한 뒤 의견이 일치하지 않거나 분류가 모호한 응답에 대해서는 논의를 통하여 분류 기준을 수정 및 보완하였다. 이 과정을 반복하여 분석기간 일치도가 .90에 도달한 뒤, 최종 분석틀을 바탕으로 모든 응답을 2인의 연구자가 나누어 분석하였다. 그 과정에서 합의가 필요한 일부 응답에 대해서는 추가 논의를 통해 유형을 최종적으로 분류하였다.

기초 입자 개념 분석 결과, 317명 중 액체와 기체 상태 모두 올바른 입자 그림을 그려 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생은 177명(55.8%)이었다(Table 2). 기초 입자 개념 문항을 맞추지 못한 학생들은 입자의 보존은 올바르게 고려하였지만 입자의 분포를 올바르게 고려하지 못한 경우가 대부분이었다.

물질의 특성 관련 거시적, 미시적 개념 검사 결과는 각 문항에 대한 학생들의 응답을 다음과 같은 네 가지 범주로 나누어 각 범주별 빈도와 백분율(%)을 분석하였다. 범주 1은 거시적, 미시적 수준의 응답이 모두 올바른 경우이다. 범주 2는 미시적 수준의 응답만 올바르게 한 경우이다. 범주 3은 반대로 거시적 수준의 응답만 올바르게 한 경우이다. 범주 4는 거시적, 미시적 수준의 응답이 모두 올바르지 않은 경우이다. 네 가지 범주 중에서 범주 1이 가장 바람직한 유형이며 거시적 수준의 응답만 올바른 범주 3은 현행 교육과정과 같이 거시적 또는 상징적 수준으로만 개

념을 다루었을 때 주로 발생할 수 있는 유형이므로 중요하다. 이에 범주 3에서 나타난 미시적 수준에서의 오류 유형과 유형별 비율을 중점적으로 분석하였다. 범주 4에서는 먼저 거시적 수준에서 나타난 주요 오류 유형을 분석하고 거시적 수준의 응답과 미시적 수준의 응답 유형이 일치하는지 여부를 비교하였다.

한편, 평균적으로 약 4%의 학생들은 미시적 수준에서만 옳은 응답을 한 범주 2에 속하였다. 범주 2는 동일한 현상을 상황에 따라 다르게 설명하는 상황 의존성(context dependency)이나 관찰된 특징에 비추어 감각적으로 사고하는 지각 편향적 사고(perceptually dominated thinking) 등의 오개념 유형과 관련이 있는 것으로 볼 수 있다.³² 즉, 일부 학생들은 문항에서 제시한 상황을 입자 그림으로 나타낼 때 일상적 경험에 기초하여 감각적으로 표현하였기 때문에 거시적 개념의 이해 여부와 무관하게 올바른 입자 그림을 그릴 수 있었던 것으로 보인다. 따라서 범주 2는 별도로 논의하지 않았다.

마지막으로 문항별 비교를 통해 학생들의 범주별 분포와 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생이 각 범주에서 차지하는 비율을 비교하였다. 모든 기술 통계 분석에는 SPSS statistics 22 패키지를 사용하였다. 과학교육 전문가 2인과 현직 과학교사 2인, 과학교육 전공 대학원생이 참석한 수 차례의 세미나를 실시하여 결과 해석의 타당성을 점검받았다.

연구 결과 및 논의

녹는점

녹는점 문항에서는 고체 상태의 물질을 비커에 넣고 가열하는 상황에서 시간에 따른 온도 변화 그래프를 제시하

였다. 학생들은 녹는점을 의미하는 그래프의 수평 구간 가운데서 물질의 상태를 설명하였다(Appendix 1). 녹는점 문항에 대한 응답을 분석한 결과를 Table 3에 제시하였다.

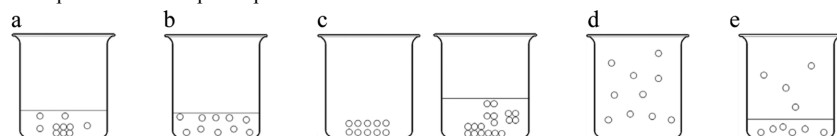
이 문항에서 거시적 수준의 정답은 ‘고체와 액체가 공존한다.’이며, 미시적 수준의 정답은 고체와 액체 상태의 입자가 공존하는 입자 그림을 그리는 것이다(그림 a). Table 3에서 좌상단의 54명(17.0%)이 거시적 수준과 미시적 수준에 대한 응답을 모두 옳게 한 범주 1에 속하고, 우상단의 14명(4.4%)은 미시적 수준에서만 옳게 응답한 범주 2에 속한다. 좌하단의 61명(19.2%)은 거시적 수준에서만 옳게 응답한 범주 3에 속하고, 우하단의 188명(59.3%)은 거시적 수준과 미시적 수준에서 모두 옳지 않게 응답한 범주 4에 속한다. 즉, 거시적 수준에서 옳은 응답을 한 학생 115명(36.3%) 중 절반 정도인 54명(17.0%)만이 미시적 수준에서도 옳은 응답을 하였다.

범주 3에서 나타난 미시적 수준에서의 오류 유형을 살펴보면, 15명(4.7%)은 액체 상태의 입자 그림을 그렸는데(그림 b) 이중에는 고체가 존재하던 위치에 액체 상태의 입자를 좀 더 조밀하게 그려 물질이 녹고 있는 상태를 표현한 경우도 있었다. 17명(5.4%)은 입자들이 규칙적으로 모여 있는 고체 상태의 입자 그림을 그렸다. 이때 고체 물질이 녹고 있는 상태를 표현하기 위해 입자 사이의 간격을 처음보다 조금 떨어지게 그리거나 큰 고체 입자 덩어리가 더 작은 고체 입자 덩어리로 분리되고 있는 상태의 그림을 그린 경우가 있었다(그림 c). 후자의 경우 모든 학생이 처음보다 많은 수의 입자를 그렸기 때문에 입자의 보존이 이루어지지 않았다. 21명(6.6%)은 거시적 수준의 응답과 무관하게 기체 상태 또는 기체와 액체 상태의 입자가 공존하는 그림을 그렸다(그림 d, e). 기타 유형으로는 입자가

Table 3. Student responses to test item on melting point

		Macroscopic response	Correct answer		Wrong answer		Sub-total	Total
			Solid and liquid coexist	Liquid exists only	Liquid and gas coexist	Others and no answer		
Correct answer	Solid and liquid coexist ^a		54 (17.0)	2 (0.6)	-	12 (3.8)	14 (4.4)	68 (21.5)
	Liquid exists only ^b		15 (4.7)	89 (28.1)	-	18 (5.7)	107 (33.8)	122 (38.5)
	Solid exists only ^c		17 (5.4)	14 (4.4)	-	10 (3.2)	24 (7.6)	41 (12.9)
Wrong answer	Gas exists only ^d		17 (5.4)	8 (2.5)	2 (0.6)	6 (1.9)	16 (5.0)	33 (10.4)
	Liquid and gas coexist ^e		4 (1.3)	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.6)	4 (1.3)	8 (2.5)
	Others and no answer		8 (2.5)	18 (5.7)	-	19 (6.0)	37 (11.7)	45 (14.2)
	Sub-total		61 (19.2)	130 (41.0)	3 (0.9)	55 (17.4)	188 (59.3)	249 (78.5)
Total			115 (36.3)	132 (41.6)	3 (0.9)	67 (21.1)	202 (63.7)	317 (100.0)

Examples of microscopic responses



두 개씩 붙어있거나 고체 덩어리를 거시적으로 그린 경우 등이 있었다. 이와 같이 거시적 수준에서 고체와 액체가 공존함을 인식한 학생들도 미시적 수준에서는 이를 나름의 다양한 방식으로 이해하고 있었다.

한편, 범주 4에서 나타난 거시적 수준의 오류 유형으로는 액체만 존재한다고 응답한 경우가 188명 중 130명(41.0%)으로 가장 많았고, 그 외에 ‘액체와 기체가 공존한다, 기체만 존재한다, 고체만 존재한다, 고체가 녹으면 다른 물질로 변화한다.’ 등 다양한 응답이 있었다. 이중 거시적, 미시적 수준의 응답이 일치한 학생은 90명(28.4%)으로, 액체만 존재한다고 응답한 89명(28.1%)과 액체와 기체가 공존한다고 응답한 1명(0.3%)이었다. 액체만 존재한다고 응답한 학생 중 거시적, 미시적 수준의 응답이 일치하는 학생의 비율이 높은 것은 이들이 액체와 고체의 혼합물 대신 액체만 존재하는 기초 입자 개념 수준의 입자 그림을 그렸기 때문으로 보인다. 하지만 범주 4의 나머지 98명(30.9%)은 거시적, 미시적 수준의 응답이 일치하지 않아, 거시적 수준의 이해를 미시적으로 올바르게 표현하지 못한 경우가 더 많았다.

용해도

용해도 문항에서는 질산 칼륨의 용해도 곡선을 제시한 후, 60°C의 질산 칼륨 포화 용액의 온도를 20°C로 낮출 때의 상태를 설명하게 하였다(Appendix 1). 용해도 문항에 대한 분석 결과를 Table 4에 제시하였다.

거시적 수준의 정답은 ‘질산 칼륨 또는 용질이 석출된다.’이며, ‘재결정된다.’는 응답도 정답으로 간주하였다.

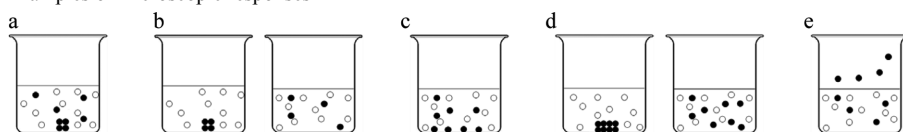
미시적 수준의 정답은 석출된 용질 입자와 용해되어 있는 용질 입자를 그리는 것이다(그림 a). 분석 결과, 범주 1에는 45명(14.2%), 범주 2에는 2명(0.6%), 범주 3에는 114명(36.0%), 범주 4에는 156명(49.2%)의 학생이 속해 있었다. 즉, 전체 학생의 절반인 159명(50.2%)이 거시적 수준에서 질산 칼륨이 석출된다는 옳은 응답을 하였으나 이를 미시적 수준에서 옳게 표현한 학생은 그 중 28.3%인 45명(14.2%)에 불과하였다.

범주 3에서 28명(8.8%)의 학생은 입자의 보존을 고려하지 못하고 석출된 입자만 그리고 남아있는 용질 입자를 그리지 않거나, 반대로 남아있는 용질 입자만 그렸다(그림 b). 다음으로 석출된 용질을 표현하는 입자의 개수를 한 개로 그린 경우가 있었다(39명, 12.3%; 그림 c). 이는 용질 입자가 석출될 때 고체 상태가 되는 것을 고려하지 못하고 석출된 용질 입자를 액체 상태에서 단지 가라앉아 있게 표현한 것으로, 이 유형은 범주 4보다 범주 3에서 더 높은 비율로 나타났다. 다음으로 12명(3.8%)은 모든 용질 입자가 석출되어 바닥에 가라앉아있거나 모두 녹아있는 입자 그림을 그렸다(그림 d). 그림 d는 용질 입자의 보존이 이루어졌다는 측면에서 입자의 보존을 고려하지 못한 그림 b와는 다른 경우이다. 그 외의 미시적 응답 유형으로는 용질을 용액의 바깥에 기체 입자처럼 그린 경우(그림 e), 녹는점 문항에서와 같이 석출된 고체 결정을 거시적인 덩어리 형태로 표현한 경우 등이 있었다. 용액 속 고체 물질을 거시적 형태로 표현한 경우가 꾸준히 나타나는 것은 거시적인 실험을 통해 학습한 용질의 석출 현상이 미시적 수준의 입자 그림에 영향을 미치고 있기 때문으로 해석할 수 있다.

Table 4. Student responses to test item on solubility

		Macroscopic response	Correct answer				Wrong answer		Total
			Some solute is precipitated	Solute is frozen or hardened	More solutes can dissolve	Others and no answer	Sub-total		
Correct answer	Some solute is precipitated ^a		45 (14.2)	1 (0.3)	-	1 (0.3)	2 (0.6)	47 (14.8)	
	Precipitated or dissolved particles are omitted ^b		28 (8.8)	16 (5.0)	1 (0.3)	2 (0.6)	19 (6.0)	47 (14.8)	
Wrong answer	Precipitated particles are same as dissolved particles ^c		39 (12.3)	4 (1.3)	2 (0.6)	1 (0.3)	7 (2.2)	46 (14.5)	
	All particles are precipitated or dissolved ^d		12 (3.8)	2 (0.6)	10 (3.2)	16 (5.0)	28 (8.8)	40 (12.6)	
	Some particles are existed in gas state ^e		5 (1.6)	10 (3.2)	6 (1.9)	2 (0.6)	18 (5.7)	23 (7.3)	
	Others and no answer		30 (9.5)	20 (6.3)	24 (7.6)	40 (12.6)	84 (26.5)	114 (36.0)	
	Sub-total		114 (36.0)	52 (16.4)	43 (13.6)	61 (19.2)	156 (49.2)	270 (85.2)	
Total			159 (50.2)	53 (16.7)	43 (13.6)	62 (19.6)	158 (49.8)	317 (100.0)	

Examples of microscopic responses



이와 같이 용질의 석출 현상을 거시적 수준에서 이해한 학생들도 미시적 수준에서는 석출된 용질의 입자 그림을 다양한 방식으로 표현하였고, 그림 b와 같이 입자의 보존을 고려하지 못한 경우가 많았다. 용해와 용액 개념에 대한 학습 발달과정 연구에서 입자의 보존을 인식하는 것이 입자간 인력 개념을 이해하는 것 다음의 높은 수준의 개념으로 나타난 점을 고려할 때,⁶ 용질의 석출 현상에서 입자의 보존을 고려하는 것 또한 학생들에게 상당히 어려운 개념이었음을 알 수 있다.

범주 4에서는 용질의 석출을 거시적 수준에서 질산 칼륨이 ‘언다, 굳는다, 응고된다.’ 등으로 표현하여 다른 종류의 상태 변화로 이해한 경우가 가장 많았다(52명, 16.4%). 이들의 미시적 응답 유형에서는 상태 변화가 일어난 용질을 그리지 않은 경우가 가장 많았고, 그 외에도 다양한 입자 그림이 나타나 거시적, 미시적 수준의 응답이 일치하는 학생은 거의 없었다. 43명(13.6%)은 문항에 제시한 그래프를 올바르게 해석하지 못하고 낮은 온도에서 더 많은 용질이 녹을 수 있다거나 불포화 상태의 용액이 된다고 응답하였다. 이 중에서 미시적 수준에서 모든 용질이 용해되어 있는 입자 그림을 그린 학생은 5명(1.6%)으로 매우 적었다.

밀도

밀도 문항에서는 한 덩어리의 비누를 잘라 한 변의 길이가 각각 10 cm, 5 cm인 정육면체로 만들었을 때 큰 비누와 작은 비누의 밀도를 비교하도록 하였다. 학생들은 두 비누의 밀도를 비교한 후, 큰 비누의 입자 배열을 보고 같은 면적에 대한 작은 비누의 입자 배열을 그렸다. 밀도 문항

에 대한 분석 결과를 Table 5에 제시하였다.

거시적 수준의 정답은 ‘두 비누의 밀도는 같다.’이며, 미시적 수준의 정답은 문항에 제시한 큰 비누의 입자 그림과 동일한 입자 그림을 그리는 것이다(그림 a). 분석 결과, 범주 1은 195명(61.5%), 범주 2는 21명(6.6%), 범주 3은 50명(15.8%), 범주 4는 51명(16.1%)이었다. 즉, 245명(77.3%)이 거시적 수준에서 옳은 응답을 하였으며, 이중 79.6%인 195명(61.5%)이 미시적 수준에서도 타당한 입자 그림을 그린 것으로 나타났다. 이는 물질의 상태 변화와 석출 등 동적인 상황을 제시했던 다른 문항에 비해 밀도 문항에서는 크기가 다른 두 비누의 밀도를 비교하는 정적인 상황을 제시하여 학생들이 상대적으로 쉽게 이해할 수 있었기 때문으로 생각된다.

범주 3에서 12명(3.8%)은 입자를 작게 그려 단위 부피당 입자의 개수를 많게 그렸고(그림 b), 반대로 8명(2.5%)은 입자를 크게 그려 단위 부피당 입자의 개수를 적게 그렸다(그림 c). 7명(2.2%)은 입자 사이의 간격을 띄운 입자 그림을 그렸으며 이때 입자의 크기나 간격은 다양하게 나타났다(그림 d). 이들은 두 비누의 밀도가 같다고 응답하였으나 비누의 크기가 다르다는 점을 잘못 고려하여 입자의 크기, 수, 간격 등을 조절함으로써 거시적 수준의 이해를 미시적으로 올바르게 표현하지 못했다고 볼 수 있다.

범주 4에서 37명(11.7%)은 큰 비누의 밀도가 더 크다고 응답하였고, 10명(3.2%)은 반대로 큰 비누의 밀도가 더 작다고 응답하였다. 이와 같이 밀도가 다르다고 응답한 학생들은 두 물질의 밀도가 다른 이유로 표면적, 부피, 질량 등이 다르기 때문이라고 하였다. 거시적 수준에서 큰 비누의 밀도가 더 크다고 응답한 학생 중 입자를 더 조밀하게

Table 5. Student responses to test item on density

Microscopic response		Macroscopic response	Correct answer		Wrong answer		Sub-total	Total
			Two soaps have the same density	Bigger soap has the greater density	Bigger soap has the lower density	Others and no answer		
Correct answer	Same size and same number of particles ^a		195 (61.5)	15 (4.7)	4 (1.3)	2 (0.6)	21 (6.6)	216 (68.1)
	Small size and large number of particles ^b		12 (3.8)	13 (4.1)	3 (0.9)	-	16 (5.0)	28 (8.8)
Wrong answer	Large size and small number of particles ^c		8 (2.5)	8 (2.5)	4 (1.3)	-	12 (3.8)	20 (6.3)
	Gap between particles ^d		7 (2.2)	7 (2.2)	1 (0.3)	1 (0.3)	9 (2.8)	16 (5.0)
	Others and no answer		23 (7.3)	9 (2.8)	2 (0.6)	3 (0.9)	14 (4.4)	37 (11.7)
	Sub-total		50 (15.8)	37 (11.7)	10 (3.2)	4 (1.3)	51 (16.1)	101 (31.9)
Total			245 (77.3)	52 (16.4)	14 (4.4)	6 (1.9)	72 (22.7)	317 (100.0)

Examples of microscopic responses

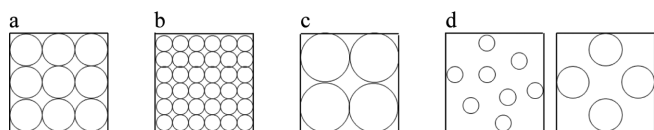


Table 6. The number of students of each category based on their responding to the test for the basic particle concept

Target concept	Category (%)							
	Category 1		Category 2		Category 3		Category 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Melting point	54 (17.0)		14 (4.4)		61 (19.2)		188 (59.3)	
	48 (15.1)	6 (1.9)	1 (0.3)	13 (4.1)	26 (8.2)	35 (11.0)	102 (32.2)	86 (27.1)
Solubility	45 (14.2)		2 (0.6)		114 (36.0)		156 (49.2)	
	34 (10.7)	11 (3.5)	2 (0.6)	-	73 (23.0)	41 (12.9)	68 (21.5)	88 (27.8)
Density	195 (61.5)		21 (6.6)		50 (15.8)		51 (16.1)	
	125 (39.4)	70 (22.1)	13 (4.1)	8 (2.5)	15 (4.7)	35 (11.0)	24 (7.6)	27 (8.5)

A: The students who responded correctly to the test for the basic particle concept
 B: The students who responded incorrectly to the test for the basic particle concept

그러 밀도가 더 큰 입자 그림을 그린 학생은 13명(4.1%) 이었고, 큰 비누의 밀도가 더 작다고 응답한 학생 중 입자 사이의 간격을 띄워 밀도가 더 작은 입자 그림을 그린 학생은 5명(1.6%)이었다. 즉, 47명(14.8%) 중 38.3%인 18명(5.7%)만 거시적 수준의 이해와 부합하는 입자 그림을 그린 것으로 나타났다. 거시적 수준에서 옳은 응답을 한 학생 중 약 80%가 미시적 수준에서 옳은 응답을 한 점을 고려하면, 거시적 수준에서 밀도 개념을 이해하지 못한 학생들은 미시적 수준의 이해도 옳게 이해하지 못하는 경우가 많다고 볼 수 있다.

문항별 비교

각 문항의 범주별 비율과 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생 177명과 맞추지 못한 학생 140명의 범주별 분포를 분석한 결과를 Table 6에 정리하였다.

먼저 각 범주별 비율을 비교하면 범주 1의 비율이 가장 높았던 밀도 문항을 제외하고 녹는점과 용해도 문항에서는 공통적으로 범주 1보다 범주 3에 속하는 학생들의 비율이 높은 것으로 나타났다. 이는 거시적 수준의 개념을 이해한 학생 중 과반수가 미시적 수준에서 다양한 오개념을 갖고 있음을 의미하며, 현행 교육과정에서 거시적 또는 상징적 수준으로만 개념을 다룬 것이 이러한 결과에 영향을 미쳤을 가능성이 있다.

또한 밀도 문항을 제외하고 범주 4가 가장 높은 비율을 차지하여 많은 학생들이 물질의 특성과 관련한 미시적 수준의 개념뿐 아니라 거시적 수준의 개념 이해에도 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다. 중학교 1, 2학년에서 다루는 주요 과학 개념은 대부분 초기 형식적 조작 수준의 사고를 요구하나 우리나라 중학교 2학년 학생 중 교과서가 요구하는 사고력에 도달한 학생들의 비율은 낮은 것을 고려할 때,^{14,33,34} 이는 학생들의 인지 수준에 비해 교과서에서 다루는 개념의 수준이 다소 높기 때문일 수 있다.

한편, 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생 177명의 경우, 녹는점 문항에서는 범주 4, 용해도 문항에서는 범주 3, 밀도 문항에서는 범주 1에 가장 많이 속해있었다. 즉, 밀도 문항을 제외하고 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생들도 범주 3이나 4에 속한 비율이 높은 것은 기초 입자 개념을 이해하는 것만으로는 물질의 특성과 관련한 개념을 거시적 수준과 미시적 수준 모두에서 올바르게 이해하는 데 한계가 있음을 시사한다.

하지만 거시적으로 옳은 응답을 한 범주 1과 3을 중심으로 보면, 기초 입자 개념 문항을 맞춘 학생들은 범주 1에 더 많이 속해있었다. 예를 들어, 녹는점 문항에서 기초 입자 문항을 맞춘 학생들은 74명이 거시적으로 옳은 응답을 하였고, 이중 48명이 미시적 수준에서도 옳은 응답을 하였다. 그러나 기초 입자 개념 문항을 맞추지 못한 학생들은 거시적으로 옳은 응답을 한 41명 중 6명만이 미시적 수준에서도 옳은 응답을 하였다. 따라서 기초 입자 개념을 이해한 학생들은 거시적 수준에서 옳은 응답을 할 경우 미시적 수준에서도 옳은 응답을 할 가능성이 더 높다고 볼 수 있다.

결론 및 제언

이 연구에서는 2009 개정 교육과정의 중학교 2학년 ‘물질의 특성’ 단원에 제시된 개념에 대한 중학생들의 거시적 이해 수준과 미시적 이해 수준을 조사하였다. 녹는점, 용해도, 밀도 개념의 거시적 수준과 미시적 수준의 이해 여부에 따라 학생들의 응답을 네 가지로 범주화하고 범주별 하위 유형을 분석하였으며, 각 범주별 기초 입자 개념 검사에서 옳은 응답을 한 학생들의 비율을 분석하였다.

연구 결과, 거시적 수준의 개념을 옳게 이해한 학생 중 상당수가 미시적 수준에서 다양한 유형의 오개념을 가지고 있었다. 거시적 수준에서 옳지 않은 응답을 한 학생들은

대부분 미시적 수준에서 거시적 수준의 응답과 일치하는 응답을 하지 못하였다. 기초 입자 개념을 이해한 학생들 또한 물질의 특성 관련 개념을 미시적 수준에서 표현하고 이해하는 데 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 이는 중학교 1학년의 ‘물질의 상태’ 단원에서 기초적인 입자 개념을 다루는 것 만으로는 입자 개념의 형성이 충분히 이루어지지 않으며, ‘물질의 특성’ 단원에서 다루는 개념을 미시적 수준에서 이해하는 데 한계가 있음을 의미한다. 따라서 ‘물질의 특성’ 단원에서도 미시적 수준의 입자 개념을 충분히 다루어야 할 것이다.

물질의 입자성에 대한 이해는 미시적 수준의 개념 이해뿐 아니라 거시적 수준과 상징적 수준의 개념 이해에도 도움이 될 수 있다.³⁵ 또한 외국의 과학 교육과정에 물질의 입자성을 도입하는 시기가 우리나라와 거의 유사하다는 점을 고려할 때,¹⁸⁻²⁰ 물질의 입자성에 대한 도입 시기의 조정보다는 학생들의 이해에 도움을 줄 수 있는 교과서 구성에 대한 고민이 우선될 필요가 있다. 예를 들어, ‘물질의 특성’ 단원에 화학 개념을 미시적 수준에서 도입할 때, 거시적 또는 상징적 수준의 개념과의 연계를 고려하여 개념을 설명하거나 활동을 구성할 수 있다. 구체적으로 용해도 개념을 다룰 때, 실험을 통해 거시적 수준에서 관찰한 석출 현상을 입자 그림으로 표현하게 하면 석출된 입자가 단순히 바닥에 가라앉는 것이 아닌, 고체 상태로 가라앉는다는 것을 자연스럽게 인식하도록 할 수 있다. 또한 그래프를 통해 용질의 석출량을 계산하고 이를 입자 그림에서 입자의 개수를 통해 표현하도록 하는 것도 가능하다. 이를 통해 학생들은 석출 개념을 여러 가지 수준에서 심도 있게 이해할 수 있을 것이다.

한편, 이 연구에서 나타난 미시적 수준에서의 오류 유형을 살펴보면 주어진 상황에 따라 입자의 보존과 분포에 관한 오류의 비율이 다르게 나타났음을 알 수 있다. 예를 들면, 기초 입자 개념 문항의 경우 학생들은 주로 입자의 분포에 관한 오개념을 가지고 있었으나 용질의 석출 현상과 같이 물질의 상태 변화가 포함된 경우에는 상태 변화가 일어난 입자를 그리지 않는 등 입자의 보존을 고려하지 못한 비율이 증가하였다. 따라서 학생들에게 입자 개념을 지도할 때 이러한 측면을 고려하여 순물질이나 단순 혼합물 등에서는 물질의 상태에 따른 입자의 분포를 강조하고, 이후 물질의 상태 변화와 용질의 석출 등 좀 더 복잡한 상황을 다룰 때에는 입자의 보존을 강조하여 지도하면 효과적일 것이다.

또한 이 연구에서는 상황에 따라 다양한 미시적 수준의 오개념이 존재하거나 복잡한 개념 사이의 위계가 존재할 수 있는 가능성이 나타났다. 그러므로 ‘물질의 특성’ 단원에서 다루는 여러 가지 개념의 위계를 정리한 후, 학생들이

어려워하는 핵심 개념과 문제 상황을 다루기 전에 학생들이 쉽게 이해할 수 있는 디딤돌 성격의 개념과 상황을 먼저 제시하는 방식으로 교과서를 구성하면 학생들의 개념 이해에 도움이 될 수 있다. 이에 추후 연구에서는 물질의 특성과 관련된 여러 개념을 대상으로 문항 반응 이론에 기초한 Wilson³⁶의 구인 모델링 방식 등 다양한 양적, 질적 연구 방법론을 이용한 심층 조사가 이루어진 필요가 있다. 이와 더불어 과학 교과에서 다루는 다양한 개념을 대상으로 학생들의 거시적, 미시적, 상징적 수준에서의 이해를 비교하는 연구 결과를 축적하여 향후 교육과정의 개선을 위한 주요 자료로 활용해야 할 것이다.

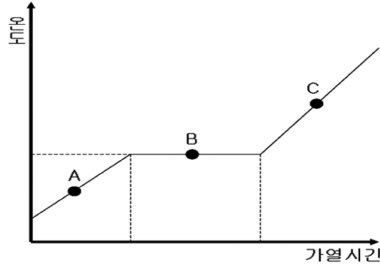
REFERENCES

1. Park, H.; Son, Y.-A. *Journal of Education & Culture* **2017**, *23*, 281.
2. Koh, Y.-S.; Kim, H.-N. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2016**, *36*, 203.
3. Ainsworth, S. In *Visualization: Theory and Practice in Science Education*; Gilbert, J. K., Reimer, M., Nakhleh, M., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2008.
4. Yoon, H.; Lee, Y. *Journal of the Korean Chemical Society* **2014**, *58*, 580.
5. Johnstone, A. H. *Education in Chemistry* **1999**, *36*, 45.
6. Noh, T.; Lee, J.; Yang, C.; Kang, S.; Kang, H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2016**, *36*, 295.
7. Stevens, S. Y.; Delgado, C.; Krajcik, J. *Journal of Research in Science Teaching* **2010**, *47*, 687.
8. Merritt, J.; Krajcik, J. In *Concepts of Matter in Science Education*; Tsapalis, G., Sevan, H., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2013.
9. Bunce, D. M.; Gabel, D. L. *Journal of Research in Science Teaching* **2002**, *39*, 911.
10. Harrison, A. G.; Treagust, D. F. In *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., Van Driel, J. H., Eds.; Kluwer Academic Press: Dordrecht, The Netherlands, 2002.
11. Sanger, M. J. *Journal of Chemical Education* **2000**, *77*, 762.
12. Singer, J. E.; Tal, R. T.; Wu, H.-K. *School Science and Mathematics* **2003**, *103*, 28.
13. Lee, S. K.; Kim, S.-Y. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2011**, *35*, 68.
14. Park, J.; Park, Y.; Kang, S. *Journal of the Korean Chemical Society* **2013**, *57*, 640.
15. Ebenezer, J. V.; Erickson, G. L. *Science Education* **1996**, *80*, 181.
16. Taber, K. S. *Chemistry Education Research and Practice* **2001**, *2*, 123.
17. Duschl, R.; Maeng, S.; Sezen, A. *Studies in Science Education* **2011**, *47*, 123.
18. NGSS Lead States. In *Next Generation Science Standards*:

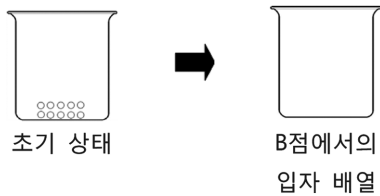
- For States, by States*; The National Academies Press: Washington D.C., US, 2013.
19. Cole, M. L. Spatial reasoning and understanding the particulate nature of matter: A middle school perspective, Doctoral dissertation. University of Kentucky, Kentucky, US, 2017.
 20. Department of Education. In *Science Programmes of Study: Key Stage 3. National Curriculum in England*; Department of Education: London, England, 2013.
 21. Kim, D.; Kim, H. *Journal of Korean Elementary Science Education* **2012**, *31*, 164.
 22. Ministry of Education, Science and Technology. In *2009 Revised National Curriculum of Science*; Ministry of Education, Science and Technology: Seoul, 2011.
 23. Cachapuz, A.; Paixão, F. In *Rethinking Science and Technology Education to Meet the Demands for Future Generations in a Changing World*; Proceedings of the International Organization for Science and Technology Education (IOSTE) Xth symposium, Bizzo, N., Kawasaky, C. S., Ferracioli, L., Rosa, V. L., Eds.; Parana, Brazil, 2002.
 24. Hur, M.-Y.; Jeon, H.-S.; Paik, S.-H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2008**, *52*, 73.
 25. Kang, D.-H.; Paik, S.-H.; Park, K.-T. *Journal of the Korean Chemical Society* **2004**, *48*, 399.
 26. Park, J.; Han, S.; Noh, T. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2010**, *30*, 42.
 27. Yoo, S. A.; Koo, I. S.; Kim, B. G.; Kang, D. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **1999**, *43*, 564.
 28. Yoon, H.; Woo, A. J. *Journal of Research in Curriculum Instruction* **2007**, *11*, 567.
 29. Maeng, S.; Seong, Y.; Jang, S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2013**, *33*, 161.
 30. Shin, N.; Koh, E. J.; Choi, C. I.; Jeong, D. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2014**, *34*, 437.
 31. Lee, O.; Eichinger, D. C.; Anderson, C. W.; Berkheimer, G. D.; Blakeslee, T. D. *Journal of Research in Science Teaching* **1993**, *30*, 249.
 32. Driver, R. In *Children's Ideas in Science*; Driver, R., Guesne, E., Tiberghien, A., Eds.; Open University Press: Milton Keynes, England, 1985.
 33. Kang, S.; Bang, D.; Kim, S.-J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2012**, *56*, 518.
 34. Kang, S.; Bang, D.; Kim, S.-J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2012**, *56*, 739.
 35. Gabel, D. L. *Journal of Chemical Education* **1993**, *70*, 193.
 36. Wilson, M. *Constructing Measures: An Item Responses Modeling Approach*; Routledge: New Jersey, US, 2004.
-

Appendix 1. Examples of test items on melting point and solubility

녹는점 문항. 다음 그림은 비커 상태에 고체 상태의 어떤 물질을 넣고 가열할 때, 시간에 따른 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 다음 그래프를 보고 물음에 답하세요.

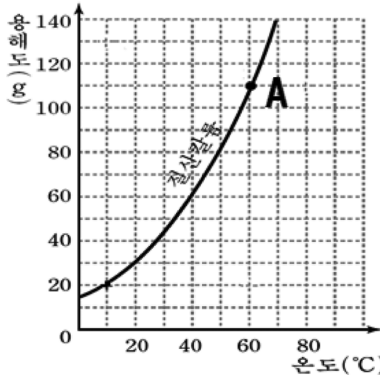


- (1) B점에서 이 물질은 어떤 상태인가요?
- (2) 이 물질의 입자를 ○로 나타낼 때, B점에서의 입자 배열을 아래 비커에 그리세요.

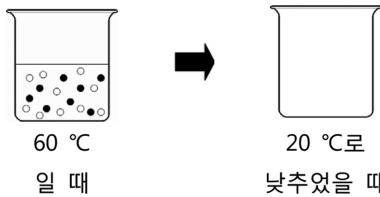


- (3) 위와 같이 그린 이유를 입자의 배열과 상태(모양, 크기, 수, 분포, 운동 등)를 고려하여 자세히 설명하세요.

용해도 문항. 다음은 질산 칼륨의 용해도를 나타낸 그래프이다. 다음 물음에 답하세요.



- (1) 60°C에서 A점에 도달할 때까지 질산 칼륨을 물에 녹였습니다. 이 용액의 온도를 60°C에서 20°C로 낮추면 질산 칼륨은 어떻게 될까요?
- (2) 온도가 60°C 일 때, A점에서의 물(○)과 질산 칼륨(●) 입자의 배열은 아래 왼쪽 그림과 같습니다. 20°C로 낮추었을 때의 물(○)과 질산 칼륨(●)의 입자 배열을 오른쪽에 그리세요.



- (3) 위와 같이 그린 이유를 입자의 배열과 상태(모양, 크기, 수, 분포, 운동 등)를 고려하여 자세히 설명하세요.