Journal of the Korean Chemical Society
2010, *Vol. 54, No. 6*
Printed in the Republic of Korea
DOI 10.5012/jkcs.2010.54.6.799

기체 분자의 운동 방식에 관한 예비 화학 교사들의 오개념: 병진, 진동 그리고 회전 운동

서영진 · 최진권 · 채희권*
서울대학교 화학교육과
(접수 2010. 10. 5; 수정 2010. 10. 21; 게재확정 2010. 11. 11)

Pre-service Chemistry Teachers' Misconceptions about Motions of Molecular Gases: Translational, Vibrational and Rotational Motion

Young Jin Seo, Jin Kwon Choi, and Hee K. Chae*
Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea
(Received October 5, 2010; Revised October 21, 2010; Accepted November 11, 2010)

요약. 이 연구에서는 기체 분자의 운동 방식에 관한 예비 화학 교사들의 오개념을 조사하기 위해 교재 분석 및 개념 검사를 실시하였다. 연구 결과, 일반화학 교재는 간단한 모형과 기본적인 개념 설명을 통해 기체 분자 운동을 다루고 접근 방식에서 차이를 보일 뿐 아니라 회전 운동에서 무게 중심에 대한 언급이 없는 교재가 상당 수 있었다. 이에 비해 물리화학 교재는 주로 분광학적인 측면에서 접근하였고 심화된 내용을 다양한 모형을 통해 제시하였으며 조사한 모든 교재에서 회전 운동의 무게 중심을 언급했다. 한편, 예비 교사들은 기체 분자의 운동 방식에 대한 이해 정도 및 자신감이 상당히 낮았으며, 많은 오개념을 지니고 있었다. 이는 예비 화학 교사들이 자신의 선개념에 근거한 직관 및 교재에서 제시한 시각 자료에 의존하는 경향이 크기 때문으로 생각된다.

주제어: 기체 분자의 운동 방식, 예비 화학 교사, 병진 운동, 진동 운동, 회전 운동, 오개념

ABSTRACT. In this study, we conducted a textbook analysis and a conceptual test in order to investigate misconceptions of pre-service chemistry teachers in understanding motions of molecular gases. As a result, we found out that many of the general chemistry textbooks not only introduce motions of molecular gases by explaining basic conceptions and using simple models, but also omit the explanation on center of mass when dealing with rotational motion. The physical chemistry textbooks, however, mainly approach motions of molecular gases in terms of spectroscopy and use various models to explain more intensified concepts, referring the center of mass in rotational motions. Meanwhile, pre-service chemistry teachers' confidence and understanding in the motions of molecular gases were very low and pre-service teachers also had many misconceptions about them. We believe this is because they had a tendency to depend largely on their intuition based on the pre-conceptions and the visual materials in the textbooks.

Keywords: Motions of molecular gases, Pre-service chemistry teacher, Translational motion, Vibrational motion, Rotational motion, Misconception

서론

화학을 배우는 과정은 개념들의 이해를 향상시키는 것을 뜻하며,[1] 특히 필수적인 요소로 분자에 대한 정신 모형(mental model)을 형성하는 능력을 포함한다. 과학자들이 물질의 성질과 반응에 기반을 두고 창안한 분자에 관한 개념은 눈에 보이는 물질의 아주 작은 축소모형이 아니기 때문에 학생들에게 어려운 주제로서 중등학교는 물론 대학 일반화학 과정에서도 많은 시간이 원자와 분자 구조를 이해시키는데 할애된다.[2] 실제 수업에서는 학생들이 관찰하기 어렵고 단지 상상에 의존하여서만 접근 가능한[3] 분자 및 분자 운동에 관한 개념에 대한 이해를 돕기 위하여 다양한 외적 표상들이 사용되고 있으며 특히 최근에는 분자 수준의 애니메이션을 구현할 수 있는 컴퓨터를 활용하여 분자를 시각화하는 방법이 점차 많이 사용되고 있다.[4-6]

이러한 중요성과 다양한 노력에도 불구하고 학생들은 분자에 대한 정신 모형을 형성하는데 많은 어려움이 있는 것으로 밝혀졌으며, 이는 감각기관으로 확인할 수 없는 분자 개념의 추상성에 기인하는 것으로 밝혀졌다.[4-8] 분자에 대한 분명한 정신 모형이 부족한 학생들은 종종 분자와 관찰된 현상 사이의 관계를 연결 짓지 못하며, 실생활에서 화학의 관련성을 찾거나 현대 사회가 직면한 논쟁거리에 대한 화학의 역할을

이해하는데 어려움이 있다.[4] 또한 미시적 분자 그림을 해석하는 과정에서 분자의 크기, 동적인 성질, 분자들 사이의 상호작용 등과 같은 분자의 성질을 잘못 이해하는 경우 다양한 연계 오류가 유발될 수 있기 때문에,[9] 교사는 분자에 관한 정확한 개념을 전달해야 한다.

하지만, 예비 화학 교사들은 비록 대학 교육과정을 통해 학문적으로 깊이 있는 지식을 습득하더라도 중등학교 교과서에서 배운 내용에 대한 오류의 교정은 이루어지지 못 할 수 있으며,[8,10] 특히 거시세계의 현상을 분자나 원자의 미시 세계로 연결시키는 개념은 학생들뿐만 아니라 교사들에게도 논리적 심리적으로 어려운 주제이다.[11] 실제로 일부 예비 화학 교사들은 물질의 입자성을 불완전하게 이해하고 있으며 이는 학생들이 많이 가지고 있는 입자 수준의 오개념을 수정할 기회를 제공하지 못할 수 있는 심각한 문제점을 지닌다.[12] 이러한 현실은 고등학교에서 화학적 개념이 형성된 이후 대학에서 이루어진 예비 교사 교육과정을 통해 심화된 내용을 학습할 때, 입자에 대한 개념을 교정할 기회를 충분히 가지지 못했을 뿐[13] 아니라 예비 화학 교사들이 중등 교육을 통해 가지고 있었던 오개념이 더욱 고착화 되었을 수 있다는 점에서 심각한 문제이다.

이에 본 연구에서는 기체 분자 운동에 관한 대학 수준의 개념인 기체 분자의 운동 방식에 관한 오개념 조사를 예비 화학 교사들을 대상으로 진행하였다. 중등 교육에서 대학으로 연결되는 화학 개념에 대한 예비 화학 교사의 인식을 살펴보는 것은 대학에서의 심화된 내용 학습이 중등 교육의 좋은 과학 교육을 보장해 주지 못하는 원인이 될 수 있는 예비 화학 교사의 오개념을 확인하고 궁극적으로 학생들에게 기체 분자 운동에 대한 올바른 개념을 가르칠 수 있는 내용학적 측면에서의 개선을 이끌 수 있을 것이다.

기체 분자 운동 단원은 초등학교의 현상 중심 수업에서 중, 고등학교의 개념 중심 수업으로 인지 발달 수준에 따라 이루어지는 분자에 대한 여러 개념들 중에서도 7학년 과학에서 처음으로 관련 내용을 학습하고, 고등학교 화학I, 화학II, 물리II에서 이에 대해 다시 다루어지는[14] 중등 교육 안에서 학년별, 과목 별 연관성을 지닌 개념이다. 하지만 선행 연구를 통해 학생들은 비가시적이고 통계열역학적인 기체 분자 운동론에 관한 학습을 어려워하며, 이를 하나의 모델이 아닌 현상으로 취급하려고 하는 경향이[15] 있으며, 교과서에서는 기체 분자 운동을 다루면서 일상에서 마주치는 현상으로부터 분자의 움직임, 배열이나 분포 등을 추리하는 입자 수준의 개념 이해를 요구하지만, 학생들은 눈으로 직접 볼 수 없는 미시적인 수준의 입자들을 구체적으로 그려내기가 쉽지 않으므로 입자 개념을 이해하는데 어려움을 겪기도 하고, 자신의 감각적인 경험에 의존하여 과학적인 현상을 해석하려 하기 때문에 많은 오개념을 가지게 되는 것이 밝혀졌다.[16]

이 후, 대학 교육을 통해 예비 화학 교사들이 처음 접하게 되는 분자에 대한 화학적 개념인 기체 분자의 운동 방식은 병진 운동(Translational motion), 진동 운동(Vibrational motion), 회전 운동(Rotational motion)을 다루며, 특히 회전 운동과 진동 운동은 학생들이 분광학의 원리를 이해하고 이를 실제로 확인함으로써 분자 개념을 구체화할 수 있는 기본개념이다. 예비 화학 교사들은 기체 분자의 운동 방식을 통해 추상적이었던 미시적인 입자에 관한 개념들을 구체화하고 입자에 대한 개념을 점검할 수 있는 기회를 가질 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 이러한 기체 분자의 운동 방식이 대학 교재에서 어떠한 방식으로 다루어지고 있으며, 이 개념에 대한 예비 화학 교사들의 오개념을 다룬 선행 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 예비 화학 교사들이 지니고 있는 기체 분자의 운동 방식에 대한 이해 정도를 확인하고 오개념의 원인과 해결 방안을 제언함으로써 예비 화학 교사들이 학생들에게 기체 분자 운동에 대한 정확한 개념을 전달하고 학생들의 오개념을 수정해줄 뿐 아니라 미시적 입자 개념의 이해 전반에 걸친 완전한 개념 이해를 도모하고자 다음의 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 기체 분자의 운동 방식에 대한 대학 교재들의 설명 방법은 어떠한 특징은 무엇인가?

둘째, 예비 교사들의 기체 분자의 운동 방식에 대한 이해 정도 및 분광학과 관련된 심화된 문항에 대한 이해도 및 확신 정도는 어떠한가?

기체 분자의 세 가지 운동 방식

기체 분자에서 일어나는 핵 운동에는 세 가지 형태가 있다. 이들은 분자가 주어진 공간 안에서 위치를 바꾸며 움직이는 병진 운동, 결합 길이 또는 결합각이 변하는 진동 운동 그리고 하나 또는 그 이상의 축에 대한 분자의 회전 운동이 바로 그것이다.

병진 운동은 공간 내에서 분자 전체가 운동하는 것으로 x, y, z축의 세 개의 좌표를 필요로 하며 세 개의 자유도가 필요하다. 이 운동은 분자를 하나의 질점계로 보았을 때, 질점계의 모든 질점이 똑같은 변위를 갖으며 같은 속도로 평행 이동하는 것을 가리킨다. 병진 운동 에너지는 양자화되어 있지 않다.

진동 운동은 분자들 사이의 결합길이 혹은 결합각이 변하는 운동으로 원자 각각이 다른 원자에 대해 상대적인 운동을 하는 것이다. 신축(stretching)진동과 굽힘(bending)진동이 있는데 신축진동은 두 원자 사이의 결합 축에 따라 원자 간의 거리가 연속해서 변화하는 운동으로 대칭진동과 비대칭진동이 있다. 굽힘진동은 두 결합 사이의 각도가 변화하는 운동으로 가위질(scissoring)진동, 좌우 흔듦(rocking)진동, 앞뒤 흔듦(wagging)진동, 꼬임(twisting)진동 등이 있다. 진동 운동 에너지는 슈뢰딩거 방정식에 따라 불연속적인 진동 에너지 준위인 $E_n = (n + 1/2)h\nu$ $(n = 0,1,2,..)$만 허용 된다.

회전 운동은 분자가 무게 중심을 축으로 하여 회전 운동하는 것으로 세 개의 자유도가 필요하다. 회전 운동은 두 단계로

나누어서 취급할 수 있다. 첫 단계는 2차원에서의 운동이고 둘째 단계는 3차원에서의 회전이다. 한 중심점 주위의 알맹이 회전 운동은 그 알맹이의 각운동량 J를 가지고 나타낼 수 있다. 각운동량은 벡터이며, 그 크기는 회전하는 속도로 그리고 그 방향은 회전축을 가지고 표시한다. 각 운동량은 양자화되어 있고 슈뢰딩거 식의 해로부터 얻을 수 있는 회전 운동 에너지 또한 $E_J = h^2J(J + 1)/8\pi^2I$ (J=0,1,2,..)으로 양자화 되어 있다. 회전 운동 에너지의 인접한 준위 사이의 간격은 $E_{n+1} - E_n = 2Bh(J + 1)$이 된다.

연구 내용 및 방법

교재 분석

한국에서 과학교육계열 신입생을 대상으로 사용되는 대표적 일반화학 교재 Atkins, Oxtoby, Chang, Zumdahl의 교재[17] 중 기체 분자의 운동 방식을 언급하지 않은 Zumdahl의 교재를 제외한 3종에 Siska와 Laird의 일반화학을 더한 5종과, 가장 많이 사용되는 물리화학 교재인[17] Atkins와 de Paula가 공저한 물리화학, 다음으로 많이 사용되는 McQuarrie의 교재를 포함하는 물리화학 교재 5종, 총 10권을 대상으로 기체 분자의 운동 방식과 관련된 내용의 기술 방식 및 특징을 연구자가 선정한 준거에 맞추어 분석하였으며 분석 대상 교재들을 *Table* 1에 제시하였다. 일반화학은 제시 단원, 제시 분자 모형, 회전 운동에서 무게 중심 언급 유무를 준거로 분석했으며, 물리화학은 제시 단원, 회전 운동에서의 무게 중심 언급 유무, 각 운동 방식 관련 스펙트럼 제시 유무, 제시 분자 모형, 에너지 전이에 분석 대상이 시중에서 구할 수 있는 모든 일반화학 및 따른 운동 방식의 변화, 실생활의 구체적 적용 예시를 준거로 분석했다. 분석 대상이 시중에서 구할 수 있는 모든 일반화학 및 물리화학 교재를 조사하지 못한 한계가 있지만, 본 연구에 참여한 예비 교사들이 실제로 학습한 모든 교재들을 포함시켰다.

예비 교사의 오개념 조사

서울 소재 한 대학교에서 일반화학과 물리화학을 수강했고, 무기화학을 수강하고 있는 예비 화학 교사 24명을 대상으로 예비검사(2009년 2학기)로써 기체 분자의 세 가지 운동 방식에 관한 개방형 질문을 했다. 이 예비검사에서 상대적으로 높은 수준의 과학적 지식을 가진 것으로 드러난 예비 교사들을 포함하는 9명을 선정하여 기체 분자의 운동 방식에 관한 심층적이고 구체적인 이해 정도를 묻는 설문지를 개발하여 추가 설문(2010년 1학기)을 실시했다.

문항 구성은 기체 분자의 운동을 분광학적 측면에서 해석할 수 있는지 알아보기 위해 전자기적 스펙트럼의 영역을 구체적으로 제시한 후 각 영역에 해당하는 분자 운동 방식을 물어보는 문항(문항 1), 진동 운동과 회전 운동을 에너지 준위와 관련지어 비교할 수 있는지 물어보는 문항(문항 2), 회전 운동의 기본적인 특성인 관성 모멘트의 개수를 묻는 문항(문항 3), 학생들이 실생활에서 쉽게 접할 수 있는 전자레인지의 원리와 기체 분자의 운동 방식에 대한 문항(문항 4), 환경 문제인 지구 온난화 현상을 분자 운동과 관련지어 설명할 수 있는지 물어보는 문항(문항 5)으로 총 5문항이며 이 문항들은 과학교육 전문가 2인과 과학교육을 전공하는 5명에게 안면 타당도를 검증 받았다. 한편, 5문항 중 객관식 3문항에 대해서는 5단계 리커트 척도를 사용하여 각각의 답변에 대한 자신감 수준을 나타내게 하여 자신감이 높으나 틀린 문항에 대해 자세한 피드백을 주고자 하였다.

또한, 보다 정확한 사고 및 추론 과정을 살피고자 추가 설문에 참여한 예비 교사들 중 3명을 무작위로 선택하여 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰 동안에는 예비 교사의 동의를 얻어 모든 내용을 녹음하였으며 인터뷰는 답변을 선택하게 된 근거에 대해 개방형 질문을 한 후, 각 질문에 대한 본인의 생각을 자유롭게 말하게 하되 되도록 자세히 설명하도록 하였다. 또한, 연구 대상 모두에게 서술형 문항에 대한 세부적인 설명을 요구하고 회전축의 설정 방법, 이론적인 내용에 대한 이해

***Table* 1.** List of Textbooks

Symbol	Title	Author	Edition	Year	Reference
A	Chemical Principles - The Quest for Insight	Atkins & Jones	4th	2008	26
B	Principles of Modern Chemistry	Oxtoby *et al.*	6th	2008	27
C	University Chemistry	Siska	1st	2006	28
D	Chemistry	Chang	9th	2007	29
E	University Chemistry	Laird	1st	2009	30
F	Atkins' Physical Chemistry	Atkins & de Paula	8th	2006	31
G	Physical Chemistry	Engel & Reid		2005	32
H	Physical Chemistry for the Chemical & Biological Sciences	Raymond Chang	3th	2000	33
I	Physical Chemistry	Whittaker *et al*.		2001	34
J	Physical Chemistry - A Molecular Approach	McQuarrie & Simon		1997	35

방법 등을 물어봄으로써 예비 교사의 이해수준과 지식의 구조화 유형을 파악해보았다.

연구 결과 및 논의

기체 분자 운동에 대한 교재 분석

일반화학

분석한 일반화학 교재에서 기체의 분자 운동 모형을 소개하는 단원은 열역학과 분광학 두 단원으로 나누어졌다. 특징적인 것은 열역학의 여러 내용 중에서도 엔트로피와 기체 분자 운동을 연관 짓는 교재가 발견되었다는 점이다. 여러 엔트로피와 관련한 선행 연구에서 엔트로피에 대한 학생들의 이해가 부족할 뿐 아니라 개념이 추상적이어서 과학적으로 이해하는데 어려움이 많다는 결과에 비추어 볼 때,[18-21] 기체의 분자 운동을 기체 분자의 진동, 회전 운동이 많을 경우에 엔트로피가 크다는 식의 설명을 위해 도입한 일반화학 교재로 본 개념을 학습할 때 학생들이 이를 분광학에 연결 짓는 것은 쉽지 않다.

기체 분자의 운동 방식을 설명하는데 있어 대부분의 교재에서는 물 분자 모형이나 같은 원자로 이루어진 이원자 분자 모형을 사용하여 회전 운동을 소개함으로써 학생들이 기체 분자의 회전 운동에 대해서 무게 중심을 고려하지 않은 채, 회전이라는 용어 자체나 중심을 지나는 축에 대한 이미지를 파지하게 하는 결과를 초래할 수 있다. 이러한 이미지의 파지는 학생들이 새로운 개념을 받아들이는데 있어 방해가 되거나, 과학적 현상에 대한 오개념을 낳는 원인이 된다.[22-24] 이에 비해 Oxtoby의 일반화학 교재(B)에서는 무게가 다른 원자를 사용한 선형 이원자 분자 모형을 제시하고 무게 중심을 명확히 제시하는 그림을 제시하였다(*Fig.* 1).

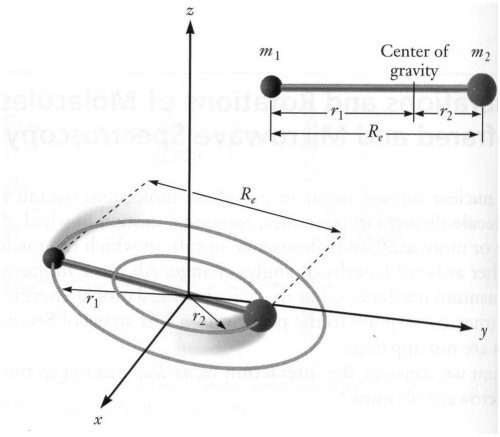

***Fig.* 1.** A diatomic molecule rotates about its center of gravity[27] (p.830).

내용의 설명 방식에 있어 일반화학의 교재 별 차이점은 병진 운동과 진동 운동의 설명 방식에서는 크게 다르지 않았으나, 회전 운동에서 두드러졌으며 특히 회전 운동 시 무게 중심을 언급하였는가의 유무로 살펴볼 수 있다. 분석한 교재 5종 중 단 두 교재(B, C)만이 회전 운동이 무게 중심을 기준으로 일어나는 분자의 운동임을 명시했으며 이는 결과적으로 각 교재에서 기체 분자의 회전 운동을 설명하기 위한 분자 수준의 모형 그림에서도 차이점으로 드러났다.

이러한 교재 분석의 결과(*Table* 2)는 어떠한 일반화학 교재를 선택하느냐에 따라 학생들이 학습하는 기체 분자의 세 가지 운동 방식에 대한 개념의 중요성 뿐 아니라 예시로 제시된 모형 및 내용적인 면에서도 차이가 상당히 발생할 수 있음을 보여준다.

물리화학

물리화학 교재들은 일반화학 교재들과 달리 분자운동에 대한 세부적이고 심화된 내용을 다루고 있었으며, 모든 교재에서 분광학을 다룬 단원에 배치되어있었다(*Table* 3). 이는 분광학의 원리 및 실제 분자를 익히기 위한다는 기체 분자 운동 단원 학습의 목표에 적절하며 일반화학에서 본 개념이 열역학 단원에서 소개된 것과는 뚜렷한 차이가 있다. 내용적으로 기체 분자회전 운동의 경우에 일반화학 교재는 단 2종만이 무게 중심에 대한 언급을 하고 있었으나, 물리화학 교재는 조사된 모든 교재에 회전 운동의 무게 중심에 대해 언급이 있었다. 또한 분자 운동의 종류에 따른 스펙트럼 모형(*Fig.* 2)을 전 교재에서 제시함으로써 기체 분장의 운동 방식에 대해 학

***Table* 2.** Contents Analysis in General Chemistry

Symbol	Chapter	Model	Referring the center of mass in rotational motion
A	Thermodynamics: The First Law	H_2O	×
B	Vibrations and Rotations of Molecules: Infrared and Microwave Spectroscopy	Homo diatomic molecule	O
C	Molecular Motion and Spectroscopy	Hetero diatomic molecule	O
D	Entropy	H_2O	×
E	Entropy	H_2O	×

***Table* 3.** Contents Analysis in Physical Chemistry

Symbol	Chapter	The center of mass in rotational motion	Spectrum	Model	The change of molecular motion by energy transition	Application to real situation
F	Spectroscopy 1: Rotational and vibrational Spectra	O	O	polyatomic molecule	O	O
G	A quantum mechanical model for the vibration and rotation of molecules The vibrational and rotational spectroscopy of diatomic molecules	O	O	diatomic molecule (hetero)	O	O
H	Spectroscopy	O	O	diatomic molecule (hetero)	×	×
I	Spectroscopy	O	O	polyatomic molecule	×	×
J	The harmonic oscillator and the rigid rotator: Two spectroscopic models	O	O	polyatomic molecule	×	×

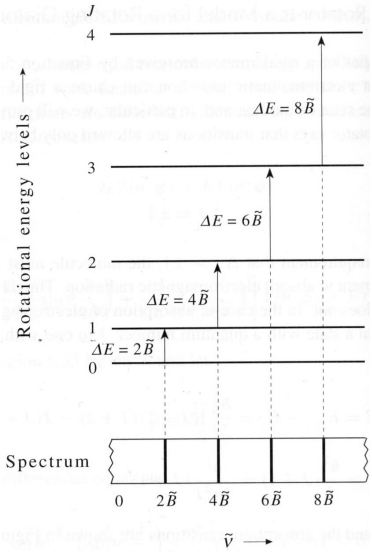

***Fig.* 2.** The energy levels and allowed transitions for rotational motion of rigid diatomic molecule[35] (p.174).

생들이 구체적으로 다가갈 수 있도록 하였다.

조사된 물리화학 교재 중 관성 모멘트에 대한 자세한 설명과 함께 다원자 분자의 회전에 대해 다루고 있는 교재는 3종(F, I, J)이었다. 조사된 모든 물리화학 교재에서 논의의 편의를 위해 우선적으로 이원자 분자의 회전 운동을 다루고 있었는데, 교재 G와 H에서는 이원자 분자에 대해서만 다루고 있었고, 다원자 분자에 대해서는 전혀 다루고 있지 않았다. 이러한 교재들은 학생들에게 이원자 분자에 적용됐던 내용을 그대로 다원자 분자에도 적용할 수 있을 것이란 오개념을 유발할 가능성이 있다.

에너지 변화에 따른 실제적인 분자의 움직임에 대해서는 교재 F와 G만 다루고 있었다. 학생들이 오감으로 체험할 수 없는 미시적인 부분을 배울 경우 경험에 근거하여 판단할 수도 없으므로 새로운 개념을 습득하기에 어려움을 겪을 수도 있고, 자신의 선지식에 근거하거나 이미지의 파지를 통해 기체 분자의 운동 방식에 대한 오개념을 형성할 수도 있다. 세부적인 언급이 없는 경우 학생들은 다원자 분자의 운동 방식에 대한 생각해 볼 기회를 가지지 않아 결과적으로 실제분자들의 운동에 대해 오개념을 형성할 가능성이 높다. 이에 교수자는 플라스틱 분자 모형이나 컴퓨터 그래픽의 3차원 동영상을 적극 활용하여 실제적인 분자의 움직임을 보여주는 것이 도움이 될 것이다.[25]

한편, 교재 F, G에서는 특징적으로 분자 운동에 대해 다룬 이론적 내용뿐 아니라 CO_2가 지구 온난화의 주범으로 지목받는 이유, 분자의 운동 방식과 천체 물리학과의 관련성 등 실생활과 관련된 문제와 다른 학문과의 연계적인 내용을 다룸으로써 학생들의 이해를 돕고 있었다. 이러한 교재들로 기체 분자의 운동 방식을 학습할 경우 학생들은 높은 흥미를 가지고 해당 단원을 학습할 수 있을 뿐 아니라 교재를 통해 가졌던 기체 분자의 운동 방식에 대한 자신의 개념을 비판적으로 검토할 수 있는 기회를 가질 수 있을 것으로 기대된다.

예비 교사들의 기체 분자 운동에 대한 오개념 조사 결과

예비검사 결과

모든 문항이 주관식이기 때문에 각 문항 별로 정답 유형(S_S, S_1~S_i)과 오답 유형(M_1~M_i)을 나누어 분석하였다. 높은 수준의 올바른 과학적 지식은 S_S로, 낮은 수준의 과학적 지식은 S_i로 나타냈으며, 오개념은 M_i로 나타냈다. 구체적 분류 기준으로써, 문항에서 연구자가 요구하는 필요한 개념이 모두 포함 된 것을 S_S로 분류하였으며 핵심적인 개념을 기술한 순으로 S_1~S_i로 나열하였다. 오개념을 나타내는 M은 가장 잦은 빈도로 응답한 순으로 M_1~M_i로 분류하였다.

병진운동(translational motion)에 관한 정의

병진운동에 관하여 정확한 과학적 개념을 갖는 학생은 7명으로 29.2%에 불과하였다. 하지만 병진 운동에 관하여 개략

***Table* 4.** The Results of the Definition of Translational Motion

Type	Statement of definition on rotational motion	Response (N = 24)
S_S	All points of molecules move with same velocity and speed.	7(29.2)[a]
S_1	The whole molecules of gases move to one direction in space.	5(20.8)
S_2	Molecules move freely.	3(12.5)
M	The molecular bonding lengths or angle changes.	9(37.5)

[a]frequency (percent).

***Table* 5.** The Results of the Definition of Vibrational Motion

Type	Statement of definition on rotational motion	Response (N = 24)
S_S	The motion of change on bonding length or angle which is relative to each atom within molecules.	7(29.2)[a]
S_1	Response either the change on bonding length or bonding angle.	11(45.8)
M	Molecules vibrate.	5(20.8)
No response		1(4.2)

[a]frequency (percent).

***Table* 6.** The Results of the Definition of Rotational Motion

Type	Statement of definition on rotational motion	Response (N = 24)
S_1	Molecules rotate on the basis of axis within molecules.	11(45.8)[a]
S_2	Molecules rotate within molecules.	3(12.5)
M_1	Molecules rotate on the bonding axis.	3(12.5)
M_2	Electrons rotate, Each atom within molecules rotates.	7(29.2)

[a]frequency (percent).

적으로 이해하고 있는 학생은 약 62.5%로 병진 운동이 어떤 운동인지는 알지만 병진운동에 포함되어야 할 조건을 정확히 알지 못하는 경우가 많았다(*Table* 4). 오개념 유형을 살펴보면 병진운동 자체를 진동운동과 착각하여 분자의 결합 길이나 결합각이 달라지는 운동으로 생각하는 학생도 있었다. 이러한 오개념을 갖는 학생들은 인터뷰에서 진동운동과 회전운동은 이름 자체에 포함된 의미대로 개념을 유추할 수 있으나 병진운동은 '병진'이라는 단어가 생소하기 때문에 두 운동보다 쉽게 생각할 수 있는 분자 운동의 종류임에도 불구하고 정확한 정의를 생각하기 어렵다고 답하였다. 또한 일반화학 및 물리화학 수업시간에 분자의 진동운동과 회전운동에 관련된 내용은 많이 다루기 때문에 그러한 단어가 익숙한 반면에 병진운동에 관련된 내용은 적기 때문에 쉬운 개념임에도 불구하고 갑자기 접하면 생소하게 느껴진다고 하였다. 더불어 책에 그림으로 제시되는 자료에서 진동운동과 회전운동에 관한 자료는 많이 접할 수 있으나 병진운동에 관한 자료는 거의 접하기 힘들기 때문에 병진운동에 관한 개념이 기체 분자의 다른 운동 방식에 비해 정확히 이해되지 않는다고 하였다.

진동운동(vibrational motion)에 관한 정의

진동운동은 크게 신축진동과 굽힘진동으로 나뉘는데 이 두 가지를 정확히 알고 있는 학습자는 29.2%였다. 반면에 둘 중 하나로만 알고 있는 학습자는 절반가량인 45.8%나 되었다(*Table* 5). 이 중 1명을 제외한 나머지는 결합길이가 변하는 것만을 진동운동으로 보았다. 이러한 경향을 보인 이유는 굽힘 운동을 하는 것은 분자 모양이 많이 변한다고 생각하여 병진 운동으로 착각한 학생들이 많기 때문으로 보였다. 이 외에 오개념으로는 분자 전체가 같은 방향으로 진동하는 운동을 진동운동으로 착각한 경우가 있었다. 진동운동에 관해서 정답 유형으로 대답한 학생들은 약 75%로 병진운동 보다는 높은 정답률을 보였다. 몇몇 학생들을 인터뷰해 본 결과 진동운동과 관련된 그림 자료가 많은 책에 제시되어 있어 시각 자료에 반복적으로 노출되어 유의미한 개념이 형성되었다고 하였다. 하지만 여러 시각 자료들 중 가장 대표적인 신축진동에 관해서만 기억이 나는 경우가 대부분이기 때문에 굽힘진동은 잘 떠오르지 않는다고 하였다. 이는 굽힘진동은 3차원적인 경우가 대부분인데 지면에 2차원을 표기하는 데에 한계가 존재하기 때문에 정확히 이해되지 않는 부분이 있다고 하였다.

회전운동(rotational motion)에 관한 정의

회전운동은 분자가 무게 중심을 축으로 하여 회전하는 것으로 응답자 중 무게 중심을 언급한 학생은 한 명도 없었다. 약 45.8%의 학생들이 분자 내 축을 기준으로 회전한다는 것

Region	Microwave	Far infrared	Infrared	Visible and ultraviolet
진동수(Hz)	10^{9}~10^{11}	10^{11}~10^{13}	10^{13}~10^{14}	10^{14}~10^{16}
파장(m)	3 X 10^{-1}~3 X 10^{-3}	3 X 10^{-3}~3 X 10^{-5}	3 X 10^{-5}~6.9 X 10^{-7}	6.9 X 10^{-7}~2 X 10^{-7}
에너지 (J/molecule)	6.6 X 10^{-25}~6.6 X 10^{-23}	6.6 X 10^{-23}~6.6 X 10^{-21}	6.6 X 10^{-21}~2.9 X 10^{-19}	2.9 X 10^{-19}~1.0 X 10^{-18}
Molecular process	(1)		(2)	Electronic transitions

***Fig.* 3.** The table of spectrum region in question 1.

***Table* 7.** The Results of Conceptual Test

Question	Correct rate	Number	Confidence
1	44.4%	4	2.7
2	77.8%	7	2.9
3	0%	0	1.8
4	11.1%	1	3.6
5	0%	0	1.9

은 알았으나 회전축이 무게 중심을 지난다는 것을 언급하지 않았다(*Table* 6). 이는 학생들이 회전운동에 대하여 배울 때 그림 자료에서 회전축이 어느 부분에 그어졌는지 집중하기보다는 분자가 돈다는 표시인 화살표에 집중하기 때문에 정확한 개념을 갖지 못하는 것으로 볼 수 있다. 또한 가장 많은 오개념을 차지한 것은 분자의 결합축을 기준으로 회전 한다고 생각하는 것이다. 인터뷰 결과 이는 회전축에 대한 잘못된 개념으로 인해 회전운동에 대해서도 오개념이 생긴 것이었다. 특징적인 오개념으로는 회전운동을 분자 내 원자 개개인이 회전하는 것으로 생각하는 경우, 전자가 회전하는 것으로 생각하는 경우 등이 존재하였다. 이는 단지 '회전'이라는 용어를 통해 분자 내에서 회전할 수 있는 것들을 직관적으로 유추한 것이었다.

분광학과 관련된 심화문항 설문 및 인터뷰 결과

분광학과 관련된 심화문항에 대한 예비 교사의 이해도 및 확신정도는 *Table* 7에 제시하였다.

9명의 예비 교사들 중 기체 분자의 운동을 분광학적 측면에서 해석할 수 있는지 알아보기 위해 전자기적 스펙트럼의 영역(*Fig.* 3)을 구체적으로 제시한 후 각 영역에 해당하는 분자 운동 방식을 물어보는 문항 1에서 전자기적 스펙트럼의 영역과 그에 해당하는 분자의 운동을 적절하게 연결시킨 예비 교사는 4명뿐이었다. 병진 운동이 마이크로파 영역이나 적외선 영역의 스펙트럼과 연관이 있다고 생각한 3명의 예비 교사가 있었는데, 그 이유를 살펴보니 에너지 준위의 크기가 병진, 진동, 회전 운동 순서이기 때문에 에너지가 더 큰 영역부터 순서대로 병진, 진동 운동을 택한 경우가 있었고, IR 스펙트럼이 분자의 진동과 관계되어 있다는 사실만을 알아서 나머지 칸에 두 가지 분자 운동을 적은 경우가 있었다. 나머지

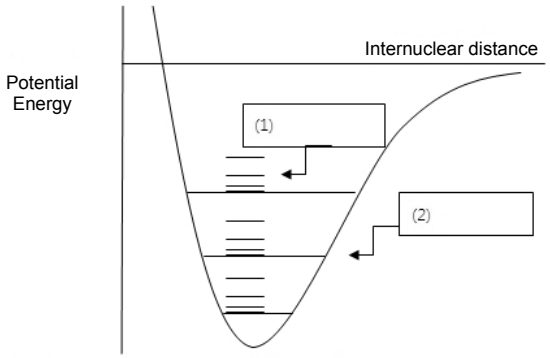

***Fig.* 4.** The diagram of spectrum in question 2.

2명은 순서를 바꿔서 적거나 임의로 답을 택한 경우였는데, 이들은 해당 내용에 대한 확실한 이해가 되어있지 않아서 임의로 답을 택하였다고 답변하였다. 답을 맞힌 경우에도 자신감 수준이 상당히 낮은 경우가 있었으며 전체적으로도 보통 이하의 자신감을 가지고 있는 것으로 나타났다.

진동 운동과 회전 운동을 에너지 준위와 관련지어 비교할 수 있는지 물어보는 문항 2의 정답률과 확신 정도는 문항1에 비해 상대적으로 더 높았는데 이는 문항 1과는 달리 병진운동을 제외하고 진동운동과 회전운동의 에너지 준위 간격을 비교하는 문항이었고, 문항 1에서 제시한 표에 비해 문항 2의 스펙트럼 그림(*Fig.* 4)이 예비 교사들에게 익숙하기 때문으로 볼 수 있다. 관련 인터뷰에서 예비 교사들은 단순히 에너지 준위에 관련된 공식이나 도표를 외우는 수준의 기계적 수용학습을 통해 관련 내용을 습득했다는 것을 확인할 수 있었다.

면담자 : 그럼 에너지 준위의 간격이 넓은 것이 진동운동, 좁은 것이 회전운동이라고 했는데 이건 왜 그렇게 택한 거야?

예비 교사 A : 이건 그냥 책에 나와 있는 것을 외우고 있었어요.

면담자 : 그럼 이렇게 되는 이유는 잘 모르고 단순히 암기하고 있다는 거야?

예비 교사 A : 네, 예전에 수업 시간에 회전운동의 에너지

간격이 왠지 더 간격이 클 것 같았는데 진동운동 에너지가 더 커서 의아해 했었거든요. 근데 이유는 잘 모르겠고, 그냥 외워버렸 어요.

문항 3은 관성 모멘트 즉, 다원자 분자의 회전 형태와 회전축의 설정에 대한 문항이었다. 이 문항에 제대로 답변한 예비 교사는 아무도 없었다. 이러한 결과는 설문에서 제시한 관성 모멘트를 기체 분자의 운동 방식 중 회전 운동과 관련짓지 못했기 때문으로 볼 수 있으나 설문지에서 발견된 풀이 과정과 인터뷰를 통해 대다수의 예비 교사들이 문항 3을 진동 자유도와 연관 지어서 선형 분자의 경우 3N-5, 비선형 분자의 경우 3N-6을 적용하여 답변을 한 것을 알 수 있었다. 올바른 개념을 가지고 자유도와 연관 짓는다면 회전 자유도가 3임을 고려한 후 무게중심을 지나는 x, y, z 축을 설정한 뒤 축퇴된 경우를 생각해야 할 것이다. 그러나 이러한 풀이를 한 경우는 전혀 없었고, 예비 교사들에게 풀이 방법에 대해 물어보았을 때 회전축을 분자들을 관통하도록 설정하거나 일관성 없이 설정하는 등 분자의 회전에 대한 기본적인 이해가 부족한 것으로 나타났다. 그리고 일부 예비 교사들이 진동 운동과 회전 운동의 특성을 명확하게 구분 짓지 못하고 있다는 것을 알 수 있었다.

면담자 : 3번 문제를 풀 때 3N-5, 3N-6을 쓰는 것 같았는데 이건 왜 그렇게 한 것이니?
예비 교사 A : 자유도의 개수가 회전 형태의 개수를 의미한다고 생각해서요.
면담자 : 그런데 그것은 진동 자유도 아닌가?
예비 교사 A : 아 맞다! 회전 자유도는 2개 아니면 3개였죠.
면담자 : 응. 혹시 그렇다면 이 H_2O 분자의 회전 축을 한번 설정해 볼 수 있겠니?
예비 교사 A : (분자의 위쪽에서 가로지르는 것 하나, 수소와 산소를 통과하는 축 두 개를 그린 다.)

면담자 : 3번은 자유도를 생각해서 이렇게 답을 한 거야?
예비 교사 B : 응, HF는 선형구조이니까 3N-5, 다른 건 3N-6 이라서 그렇게 생각했어.
면담자 : 그런데 그건 진동 자유도 아니야? 회전 자유도는 다른 것으로 알고 있는데
예비 교사 B : 아..그렇구나 잘 기억이 안나. 헷갈려.
면담자 : 만약에 여기에 x,y,z로 회전축을 설정한다면 어떻게 할 수 있을 것 같아?
예비 교사 B : 글쎄, 잘 모르겠는데 (HF의 경우에는 제대로 그렸으나 나머지 문항들은 포기함)

한편 문항 4는 전자레인지가 사용하는 빛의 영역을 토대로 그와 관련된 분자의 운동을 찾아낼 수 있는지 물어보는 문항이었다. 이 경우 전자레인지가 마이크로파를 사용한다는 것은 명시해두지 않았음에도 불구하고 모든 예비 교사들이 바르게 알고 있었지만, 한 명을 제외하고는 이를 회전 운동과 관련 있는 것이라고 생각하지 못하였다. 오답 유형을 살펴보면 7명이 진동운동을 답변으로 선택하였는데, 대부분 전자레인지로 인해 열이 발생한다는 사실에서 직관적으로 진동 운동을 떠올려 진동 운동을 답으로 택했다는 것을 부가적인 질문과 답변을 통해 알 수 있었다. 문항들 간의 연계성을 생각해 볼 때, 문항 1의 답변을 통해서 예비 교사가 문항 4의 답을 택할 수 있는 이론적 배경을 가지고 있는지 파악해 볼 수 있다. 그런데 문항 1에서 회전 운동을 마이크로파 영역의 빛의 영역과 제대로 연결시켜서 마이크로파가 분자의 회전과 연관되어 있다는 생각을 가지고 있다고 생각되는 예비 교사들 모두가 문항 4에서 진동 운동을 택하였다. 이 문항에 대한 확신 정도가 5문항 중 가장 큰 것으로 볼 때, 예비 교사들이 자연 현상이나 일상생활을 해석할 때 과학적 개념이나 이론을 사용하려 하기 보다는 직관에 의존하는 경향이 강하다는 것을 알 수 있다.

면담자 : 전자레인지가 어떤 영역의 빛을 사용하는 것인지 혹시 알고 있니?
예비 교사 A : 네, 마이크로파 아닌가요?
면담자 : 맞어, 그렇다면 혹시 앞의 문제들을 떠올려 보고 이 문제를 풀어보면 어떨까?
예비 교사 A : 아! 그럼 회전이겠네요! 왠지 진동을 해야 열이 나는 것 같아서 저도 모르게 진 동 운동을 택해버렸어요.
면담자 : 1번과 2번 답을 택하게 된 이유를 자세하게 설명해 줄 수 있어?
예비 교사 B : 그냥 외우고 있었던 거라서, 특별히 이유는 설명하기 어렵네. 지난번에 테스트 해 봤을 때 유사한 문제를 푼 적이 있어서 기억하고 있어.

추가적으로 진동 운동을 택한 예비 교사들에게 유기화학 수업에서 IR은 분자의 어떤 운동을 이용하는 것이었는지 떠올려보라는 등의 이론적인 내용을 떠올릴 수 있는 힌트를 주었을 때 생각을 바꿔서 정답을 선택하는 경향을 발견하였다. 이처럼 간단한 힌트나 사례 제시를 통해서 예비 교사들의 오개념을 기존 지식을 바탕으로 수정해 나가는 것이 가능했다.

면담자 : 적외선 영역은 병진운동, 마이크로파 영역은 진동운동과 연관이 있다고 생각한 것이 야?
예비 교사 A : 네.
면담자 : 왜 그렇게 생각했어?
예비 교사 A : 사실 확신은 없는데, 에너지 준위 크기의 순서가 병진, 진동, 회전운동 순서니까 에너지

가 큰 영역부터 차례대로 적어놓았어요.

면담자 : 유기화학 시간에 IR에 대해서 배운 적이 있지?

예비 교사 A : 네

면담자 : 그 때 IR이 분자의 운동 중에 어떤 것을 이용했는지 혹시 기억나?

예비 교사 A : 네. 진동... 아! 적외선 영역이 진동운동이구나. 그럼 마이크로파는 회전운동이겠네!

문항 5는 실제 중·고등학교에서 중요시 다루고 있는 환경문제인 온실효과에 대한 내용임에도 불구하고 모든 예비 교사들이 현상의 원인을 정확하게 파악하지 못하고 있었다. 분자 구조와 관련지어서 설명하라는 요구에 대해 단순히 가시적인 차이점(구성 원자 개수의 차이, 자유도 개수의 차이)을 지적하거나, CO_2는 적외선 영역의 빛을 잘 흡수한다는 문제를 반복하는 수준의 답변을 하는 경우가 많았다. 답변 중에 CO_2는 N_2나 O_2와 달리 Polarity가 있다는 답변이 있었는데, 이에 대해 구체적인 설명을 요구하자 CO_2가 선형이 아닌 것으로 착각했다고 하며 생각해보니 잘 모르겠다고 대답하였다. 진동 모드나 쌍극자 모멘트와 관련하여 답변을 한 예비 교사들에게 구체적인 설명을 요구하면 대부분 '진동 모드가 '우연히' 적외선 영역의 빛을 흡수할 정도의 에너지를 가지고 있어서 그렇다', 'CO_2의 분자 크기가 커서 편극이 잘 되어서 것이다'와 같은 설명을 하였다. 그리고 쌍극자 모멘트와 관련 있다는 힌트를 주어도 똑같은 선형 분자인데 왜 N_2나 O_2와 차이를 보이는지 이해하지 못하거나 CO_2에 쌍극자모멘트가 존재하는 것 의문을 가지는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과가 나온 원인은 예비 교사들이 진동 스펙트럼의 총괄 선택규칙과 동적 쌍극자 모멘트에 대한 이해가 부족하기 때문이라고 생각된다. 설문에 참여한 예비 교사들에게 30초가량 동적 쌍극자 모멘트의 정의와 CO_2가 적외선 영역의 빛을 흡수하는 이유에 대해서 설명을 해주었더니 모두들 쉽게 이해가 된다는 반응을 보였고, 이러한 내용에 대해서 배운 적은 없는 것 같다는 대답을 하였다. 그리고 몇몇 예비 교사는 대학교 교재에서 이러한 부분에 대한 설명이 있다면 더욱 흥미롭게 학습을 해 나갈 수 있을 것 같다고 대답하기도 하였다.

결론 및 제언

이번 연구에서는 기체 분자 운동 방식에 대한 예비 화학 교사의 오개념을 확인하고 궁극적으로 학생들에게 기체 분자 운동에 대한 올바른 개념을 교수하고 학생들의 오개념을 수정할 수 있을 내용학적 측면에서의 개선을 이끌어 내기 위해 일반화학 및 물리화학에서 기체 분자의 운동을 다루는 내용을 분석하고 화학교육을 전공하는 예비 교사들을 대상으로 기체 분자 운동에 대한 오개념을 조사해 보았다.

교재 분석의 결과, 일반화학 교재에서는 주로 간단한 모형과 기본적인 개념 설명을 통해 기체 분자 운동을 다루고 있었다. 분광학적 측면에서 접근을 하는 교재와 열역학적인 측면에서 접근을 하는 등 접근 방식에 차이를 보이기도 하였고, 회전 운동의 모형에서 사용한 분자의 구조가 차이를 보이기도 하였다. 또한 특징적으로 회전 운동에서 무게 중심에 대한 언급이 포함되어 있는 교재가 그리 많지 않다는 것도 알 수 있었다. 한편, 물리화학 교재에서는 주로 분광학적인 측면에서 기체 분자 운동을 다루었고, 복잡한 수식과 함께 다양한 모형을 제시하며 일반화학 교재들보다 심화된 내용을 다루고 있었다. 그리고 교재에 따라 서술하는 내용의 수준이나 범위가 상당히 많은 차이를 보였다. 일부 교재들의 경우는 단순한 모델만을 보여주기도 하였고, 다른 교재에서는 보다 심화된 모델을 제시하고, 심화 내용 파트를 따로 두어 이해를 돕기도 하였다. 한편 기체 분자 운동을 실생활 문제에 적용해보는 내용이나, 다른 학문과의 연계성을 다룬 내용을 해당 단원 중간에 삽입해 둔 교재도 있었다. 이처럼 기체 분자의 운동 방식에 관련하여 대학에서 사용되는 일반화학과 물리화학 교재들이 다루고 있는 내용의 수준과 서술 방식이 상당한 차이를 보인다는 것을 알 수 있었다. 다양한 그림과 모형을 통해 직관적인 이해를 돕는 교재가 있는 반면, 수식을 통한 설명에 주력하는 교재도 있었다. 또한 대부분의 교재에서 해당 내용의 도입 부분에서는 논의의 편의를 위해 단순한 모델을 사용하여 설명을 하고 있었는데, 이후 복잡한 모델에 대한 설명을 해주지 않았을 때 학습자들이 모든 상황에 단순한 모델을 그대로 적용할 수 있을 것이라 오류를 범할 수 있다.

두 차례에 걸쳐 약 10개월의 간격을 두고 실시된 예비 교사들의 개념 검사 결과를 살펴보면, 예비 검사를 실시 한 후 그 결과를 보고 상대적으로 높은 수준의 과학적 지식을 가지고 있는 대상들을 상대로 설문을 실시하였음에도 불구하고, 예비 교사들의 기체 분자의 운동 방식에 대한 이해 수준이 상당히 낮았으며 많은 오개념을 가지고 있었다. 인터뷰의 결과 예비 교사들은 기체 분자의 운동 방식을 학습할 때 자신의 선개념이나 직관 및 교재에서 제시한 그림에 의존하는 경향이 큰 것으로 나타났으며, 원리 이해보다는 단순한 암기를 통한 기계적 수용학습을 통해 학습을 하는 경향이 크다는 것도 알 수 있었다. 그리고 같은 단원에서 다루어지고 있는 부분에 대해서 그 특징을 세밀하게 구분 짓지 못하는 것을 알 수 있었다.

이처럼 예비 교사들이 중등 화학교육에 있어 교육과정은 물론이고 대학 교육에 있어도 핵심적인 분자의 정신모형에 대해 정확한 개념을 형성하지 못하고 있다는 것은 예비 화학 교사들에게 대학 교육에서 교수되는 심화된 개념 학습이 실질적으로 중등 교육 기관에서의 정확한 개념 전달을 보장하지 못한다는 측면과 기제 분자 운동을 포함하는 중등 교육과 연계되는 화학 개념들에 대한 예비 화학 교사들의 오개념이 고착화된 채 학생들을 가르치게 될 수 있다는 측면에서 심각

한 문제이다. 이러한 문제들을 개선하기 위해선 예비 교사들이 직관에 의존해서 판단하는 경향이 크므로 미시적인 입자의 개념들은 좀 더 구체적이고 실질적인 모형 또는 3차원 동영상을 통하여 교수-학습이 이루어지게 하는 것이 필요하다. 분자의 시각화는 화학교육에서 매우 중요하다. 특히 대칭성에 대한 학습은 분자를 3차원적으로 바라보고 공간에서 회전과 반사를 상상할 수 있는 능력에 기초를 두고 있다.[25] 따라서 플라스틱 모델이나 컴퓨터의 분자 시각화 자료가 수식이나 내용 서술보다 쉽게 기억된다는 장점을 적극적으로 활용할 수 있기 때문에 기체 분자의 운동 방식에 대해 예비 교사들이 보다 효과적으로 학습할 수 있게 도울 수 있을 것이다.[4] 또한 오개념을 가진 예비 교사들을 인터뷰해 본 결과 기체 분자 운동 방식의 각 개념의 세부적인 내용에 대해 세 가지 방식을 정확히 구분 짓지 못하고 혼동하는 경우가 많으므로 병진운동, 진동운동, 회전운동 각각에 대해 필요한 조건, 특징들을 정확히 언급하고 비교시키는 과정을 추가함으로써 교재에 기술된 개념이나 관련 공식들의 구분을 확실히 해주는 것이 필요하다. 많은 전공과목을 짧은 시간에 배워야 하는 현 사범대학의 교육과정에서 다양한 일반화학 및 물리화학 교재를 접하는 것이 현실적으로 어려운 예비 교사들의 오개념을 올바른 개념으로 전환하기 위해서는 무엇보다도 교수자의 역할이 중요하다. 교수자는 학생의 인지구조와 선지식을 파악하고, 개념 형성 과정을 수시로 재검토 하여 그 결과에 대한 피드백을 제공함으로써 올바른 개념형성을 도울 수 있을 것이다.

감사의 글. 이 논문은 서울대학교 정대홍 교수의 조언과 2010년도 서울대학교 발전기금 일반학술연구비 지원을 받아 수행된 연구임.

REFERENCES

1. Schmidt, H. J.; Kaufmann, B.; Treagust D. F. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, *10*, 265.
2. (a) Barke, H.-D.; Hazari, A.; Yitbarek, S. *Misconceptions in Chemistry*; Springer: Milton Keyes, UK, 2009 (b) Hurst, O. M. *J. Chem. Edu.* **2002**, *79*, 763.
3. Gilbert, J. K.; Treagust D. (Eds), *Multiple Representations in Chemical Education*; Springer: Milton Keyes, UK, 2009.
4. Venkataraman, B. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, *10*, 62.
5. Ardac, D.; Akaygun, S. *J. Res. Sci. Teach.* **2004**, *41*, 317.
6. Roh, H. K.; Kong, Y. S.; Park, C. Y.; Chung, K. S. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **2005**, *25*, 547.
7. Cho, I. Y.; Park, H. J.; Choi, B. S. *J. Kor. Chem. Soc.* **1999**, *43*, 89.
8. Hur, M. H.; Jeon, H. S.; Paik, S. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2008**, *52*, 73.
9. Kang, H. S.; Shin, S. J.; Noh, T. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2008**, *52*, 550.
10. (a) Kim, S. H.; Lee, E. S.; Paik, S. H. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **2008**, *28*, 291. (b) Han, Y. H.; Heo, Y. H.; Paik, S. H. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **2008**, *28*, 15. (c) Ha, S. J.; Kim, B. G.; Paik, S. H. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **2005**, *25*, 88.
11. Johnstone, A. H. *Chem. Edu. Res. Pract. in Europe* **2000**, *1*, 9.
12. Han, S. J.; Park, Y. O.; Park, J. A.; Noh, T. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2010**, *54*, 142.
13. Ryoo, J. J.; Ryoo, J. E.; Paik, S. H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2010**, *54*, 240.
14. Ministry of Education *Science Curriculum*; Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 1998.
15. Cho, I. Y.; Park, H. J.; Choi, B. S. *J. Kor. Chem. Soc.* **1999**, *43*, 89.
16. Pallant, A.; Tinker, R. *J. Sci. Edu. Tech.* **2004**, *13*, 51.
17. Korean Chemical Society, *Research and Development of Assessment Standards for Chemistry Teachers, Details of Assessment Categories and Evaluation of Teaching Competence*; Korea Institute for Curriculum and Evaluation: Seoul, 2008.
18. Seo, Y. J.; Chae, H. K. *J. Kor. Chem. Soc.* **2009**, *53*, 62.
19. Leff, H. *Found. Phys.* **2007**, *37*, 1744.
20. Sozbilir, M. A.; Bennett, J. M. *J. Chem. Edu.* **2007**, *84*, 1204.
21. Lambert, F. L. *J. Chem. Edu.* **2007**, *84*, 1548.
22. Venkataraman, B. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2009**, *10*, 62.
23. Wu, H. K.; Shah, P. *Sci. Edu.* **2004**, *88*, 465.
24. Cook, M. P. *Sci. Edu.* **2006**, *90*, 1073.
25. Tuvi-Arad, I.; Blonder, R. *Chem. Educ. Res. Pract.* **2010**, *11*, 48.
26. Atkins, P.; Jones, L. *Chemical Principles- The Quest for Insight*; W. H. Freeman and Company: New York, USA, 2008.
27. Oxtoby, D. W. Gillis, H. P.; Campion, A. *Principles of Modern Chemistry*; Brooks/Cole: Belmont, California, USA, 2008.
28. Siska, P. *University Chemistry*; Pearson-Benjamin Cummings: Boston, Massachusetts, USA, 2006.
29. Chang, R. *Chemistry*; McGraw-Hill Higher Education: New York, USA, 2007.
30. Laird, B. B. *University Chemistry*; McGraw-Hill Higher Education: New York, USA, 2009.
31. Atkins, P.; de Paula, J. *Atkins' Physical Chemistry*; W. H. Freeman and Company: New York, USA, 2006.
32. Engel, T.; Reid, P. *Physical Chemistry*; Prentice Hall: New Jersey, USA, 2005.
33. Chang, R. *Physical Chemistry for the Chemical & Biological Sciences*; University Science Books: Sausalito, California, USA, 2000.
34. Whittaker, G.; Mount, A.; Heal, M. *Physical Chemistry*; Taylor &Francis: Oxford, U.K., 2001.
35. McQuarrie, D. A.; Simon, J. D. *Physical Chemistry - A Molecular Approach*; University Science Books: Sausalito, California, USA, 1997.