

물질의 입자성과 관련된 학생들의 오개념에 대한 중등 교사들의 지식과 인식

박지애 · 한수진 · 노태희*

서울대학교

Secondary Science Teachers' Awareness and Perceptions of Students' Misconceptions about the Particulate Nature of Matter

Park, Jiae · Han, Sujin · Noh, Taehee*

Seoul National University

Abstract: Identifying students' misconceptions by teachers is the primary step in using constructivist teaching strategies. We investigated how secondary science teachers were aware of students' misconceptions about the particulate nature of matter and analyzed the total number of differences of predicted misconceptions by their background variables. We also investigated how they addressed students' misconceptions in their instruction, and how necessary they thought it was to identify students' misconceptions for teaching science concepts. A survey was administered to 87 science teachers at 28 middle schools in Seoul. Teachers' predictions were compared with the misconceptions of 240 seventh-grade students. The teachers, as a group, identified almost all the misconceptions held by the students. However, they were unable to predict which types of misconceptions were more frequent. The total number of misconceptions predicted by the teachers who had careers of less than 10 years, possessed Master's degrees, or majored in chemical education was significantly higher. Although most teachers stated that knowing students' misconceptions was needed for their instruction, they rarely and simply addressed them in their instructions. Many teachers faced misconceptions in classroom activities, and only few teachers found them through publications relating to students' misconceptions, teacher preparation courses and/or in-service training programs. Educational implications are discussed.

Key words: misconception, teacher's awareness, secondary science teacher, particulate nature of matter

I. 서 론

대부분의 화학 개념은 물질의 입자성에 대한 개념 없이는 이해할 수 없다. 입자 개념은 학생들이 직접적으로 감각할 수 없는 원자와 분자 같은 이론적 모델을 기반으로 하고 있다. 그러나 많은 학생들은 직관적이고 경험적인 사고를 하므로 입자 개념을 이해하는 것을 어려워하거나(Adbo & Taber, 2009) 관찰 현상을 입자 개념으로 설명하는 과정에서 오개념을 갖기 쉽다(Herron, 1996). 실제로 여러 학년에 걸쳐 많은 학생들이 물질의 입자성에 대한 오개념을 가지고 있다고 보고되고 있다(윤회정, 우애자, 2007; Adadan *et al.*, 2009).

학습에 영향을 미치는 가장 중요한 요인은 학습자가 이미 알고 있는 것으로(Ausubel, 1968), 오개념을 갖고 있는 학생들은 수업 내용을 교사의 의도와 다르게 이해할 수 있다(Osborne & Freyberg, 1985). 학습에서 선개념의 역할을 중요시하는 구성주의에서는 학습자가 수업 이전에 형성한 지식이 수업에서 배우는 지식과 상호작용하면서 학습이 이루어진다(Pines & West, 1986)고 전제한다. 이러한 구성주의적 관점에서 과학 교수의 핵심적인 목표는 학생들의 오개념을 과학적인 개념으로 변화시키는 것이라고 할 수 있다. 이를 위한 교수 전략으로 학생들의 오개념을 미리 파악하고 이 오개념으로 설명할 수 없는 변칙사례를 제공하여 인지적인 갈등을 일으키는 방법 등이 오개

*교신저자: 노태희(nohth@snu.ac.kr)

**2009.07.27(접수) 2009.10.09(1심통과) 2010.01.11(2심통과) 2010.01.12(최종통과)

***이 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2008-321-B00192).

념을 교정하는 효과가 크다고 보고된 바 있다 (Guzzetti *et al.*, 1993). 따라서 교사들은 수업에서 목표한 과학 개념에 대해 학생들이 가질 만한 오개념을 인지하고 이에 적극적으로 대처할 필요가 있다.

학생들의 오개념은 전통적인 수업에 의해 쉽게 바뀌지 않을 만큼 견고하고, 지역에 관계없이 보편적으로 나타나는 특성이 있다(Driver *et al.*, 1994). 그럼에도 불구하고 많은 교사들은 교과서에 제시된 과학의 기본 개념을 학생들에게 쉽게 이해시킬 수 있다는 생각(Driver & Oldham, 1986; Hesse, 1989)으로 학생들의 오개념이 학습에 미치는 영향을 간과하는 경향이 있다. 그리고 학생들이 어떤 오개념을 얼마나 가지고 있으며, 학생들의 오개념을 과학적인 개념으로 변화시키기 위한 교수 전략이 무엇인지를 잘 알지 못하는 교사들도 많다(Berg & Brouwer, 1991). 그러나 교사들의 학생 오개념에 대한 지식은 학생들이 지닌 오개념이 여러 학년을 대상으로 다양한 영역의 개념에 대해 광범위하게 조사된 것에 비해(Driver *et al.*, 1994), 그동안 주목되지 않은 연구 분야로 이에 대한 체계적인 조사가 거의 이루어지지 않았다(Meyer, 2004). 특히, 교사들이 학생들의 오개념을 예상할 수 있더라도 실제로 많은 학생들이 가지고 있는 오개념 유형과 일치하지 않는다면, 이러한 지식은 실질적으로 학생들의 오개념 변화를 이끌어내는데 유용하지 않을 것이다. 그러므로 교사들이 알고 있는 오개념 유형과 더불어 그 유형이 실제로 많은 학생들에게 나타나는 주요 오개념과 일치하는지에 대한 조사가 필요하다. 또한, 교사가 학생들의 오개념과 오개념을 교정하는 교수 전략에 대해 충분히 이해하고 있더라도, 이를 수업에서 비중 있게 다루려는 의지가 없는 경우 학생들의 오개념을 파악하거나 오개념을 과학적 개념으로 변화시키려는 교수 실행으로 이어지지 않을 수 있다. 따라서 학생 오개념에 대한 지식 뿐 아니라 이러한 지식의 필요성과 학생 오개념을 이용하는 교수 방법에 대한 교사들의 인식을 조사하는 것도 중요

하다.

한편, 경력 교사들이 초임 교사들에 비해 오개념을 학생들의 과학적인 개념 이해에 유익한 방향으로 활용한다는 연구 결과(Meyer, 2004)를 고려할 때, 교사의 교직 경력이나 특정 단원을 가르친 경험 등이 학생 오개념에 대한 지식의 양이나 인식 수준과 관련이 있을 가능성이 있다. 또한, 교사의 과학 배경지식 수준에 따라 특정한 학생 오개념을 알고 있는 정도가 다를 수 있으므로, 교사의 전공이나 학력이 학생 오개념에 대한 지식의 양에 영향을 미칠 수도 있다. 따라서 학생 오개념에 대한 교사들의 이해와 관련된 특징을 파악하기 위해 교사의 배경 변인에 따른 학생 오개념에 대한 지식의 양 및 인식 수준의 차이를 조사할 필요가 있다.

이에 이 연구에서는 물질의 입자성과 관련된 오개념 유형과 그 유형이 실제 학생들의 오개념에서 차지하는 비중을 예상한 교사의 응답을 바탕으로, 학생 오개념에 대한 교사의 지식을 조사하였다. 또한, 교사의 경력, 학력, 전공 등과 같은 배경 변인에 따라 학생 오개념 지식의 양에 차이가 있는지를 분석하고, 교사의 학생 오개념을 이용하는 실태와 오개념을 파악해야 할 필요성에 대한 인식을 조사하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상 및 절차

이 연구에서는 서울특별시에서 지역적으로 편재되지 않도록 28개 중학교를 선정하고, 해당 학교의 과학 교사 94명을 대상으로 설문지를 우편으로 발송하여 한 달 동안 87부(92.6%)를 회수하였다. 검사 후에 연구 대상 중 15명의 교사들에게 전화 인터뷰를 실시하여 설문 진행 과정에 대해 간단히 조사하였다. 연구에 참여한 교사들의 전공과 성별에 따른 분포는 표 1과 같다. 교사들이 제시한 학생 오개념 응답을 실제 학생

표 1 연구 대상 교사들의 전공과 성별에 따른 사례 수(%)

성별 \ 전공	화학	물리	생물	지구과학	공통과학	기타	계
남자	4(4.6)	10(11.5)	3(3.4)	3(3.4)	-	1(1.1)	21(24.1)
여자	29(33.3)	16(18.4)	12(13.8)	3(3.4)	4(4.6)	2(2.3)	66(75.9)
계	33(37.9)	26(29.9)	15(17.2)	6(6.9)	4(4.6)	3(3.4)	87(100.0)

들의 오개념과 비교하기 위해 선행 연구를 분석한 결과, 오개념 유형을 분류하는 기준이 일관성이 없었다. 이에 표집된 28개 중학교에서 지역 분포를 고려하여 3개의 대표 학교를 선정하여 중학생들의 물질의 입자성과 관련된 오개념을 조사하였다. 학생들은 특정한 시기나 지역에 관계없이 공통적인 오개념을 갖는 경향이 있다고 보고되었으므로(Driver *et al.*, 1994), 이 연구에서는 연구 대상 교사들이 가르치는 모든 학생들의 개념을 조사하는 대신에 연구에 참여한 교사 일부가 가르치는 중학교 1학년 학생 240명을 대상으로 개념 검사를 실시하였다. 학생들은 이미 중학교 1학년 물질 영역의 내용(물질의 세 가지 상태, 분자의 운동, 상태 변화와 열에너지)을 모두 학습한 상태였다.

2. 검사 도구

이 연구에서 사용한 검사지는 교사들이 중학생들의 과학 오개념을 예상하는 부분과 오개념의 이용 실태 및 필요성 인식 정도를 보고하는 부분으로 구성되어 있다. 오개념을 예상하는 부분은 물질의 입자성과 관련된 중등학생들의 오개념이 많이 보고되었던 물질의 세 가지 상태, 기체의 압력과 부피의 관계, 기체의 온도와 부피의 관계에서 각 1문항씩 총 3문항으로 구성하였다. 이 검사 문항은 물질의 입자성에 대한 오개념을 표출하기 쉽도록 노태희 등(1998)의 문항에 분자 배열과 상태를 자세히 설명하도록 지시문을 추가하는 등 수정하여 사용하였으며, 교사들이 자신의 지식이나 예상에 기초하여 그 문항에서 나타날 만한 학생들의 오개념을 가능한 많이 그림 또는 글로 작성하고 그 중에서 학생들에게 가장 많이 나타날 오개념 유형을 순서대로 3가지를 선택하도록 되어 있다. 실태 및 인식 부분은 선행 연구(Pine *et al.*, 2001)를 참고하여 총 4문항을 개발하여 구성하였다. 이 중에 학생 오개념을 알게 된 경로와 수업에 이용하는 예에 대한 문항은 단답형으로 제작하였으며, 오개념을 수업에 이용하는 빈도와 학생 오개념의 파악이 과학 개념 학습 정도에 필요하다고 생각하는 정도에 대한 문항은 각각 4단계와 5단계 리커트 척도로 구성하였다. 검사지는 연구 대상이 아닌 중등 과학교사 5인을 대상으로 예비 검사를 실시하여 수정·보완하였고, 화학교육 전문가 3인의 검토를 거쳐 최종적으로 완성하였다. 중학생의 개념 검사에 사용한 검사지는 교사용 검사지의 오개

념 부분과 동일한 3문항에 대하여 각 문항의 답을 입자 수준의 그림으로 표현하고 그에 대한 설명을 쓰도록 구성되어 있다.

3. 자료 분석

교사들이 제시한 학생들의 오개념 유형을 분류하기 위한 분석틀은 연구 대상 중학생들이 작성한 개념 검사지 답안에서 나타난 오개념 유형과 중학생들의 개념을 조사한 선행 연구(김경순, 2005; 노태희 등, 1998; 최경숙, 2003)의 결과를 참고하여 구성하였다. 분석틀에서 오개념 유형은 각 문항별 하위 목표 개념(노태희 등, 1998)을 기준으로 분포, 보존, 운동의 세 가지 범주로 구분하여 정리하였다. 구체적으로 분포 범주는 입자 배열의 규칙성과 입자 간 거리에 대한 오개념 유형들로, 보존 범주는 입자의 크기와 수, 모양, 질량에 대한 오개념 유형들로, 운동 범주는 입자의 충돌 횟수와 운동 속도에 대한 오개념 유형들로 구성하였다. 분석의 신뢰도를 높이기 위해 연구자 2인의 분석자 간 일치도가 90% 이상임을 확인한 후, 연구자 중 1인이 모든 검사지의 응답을 분류하였다. 한편, 각 문항에서 학생들에게 가장 많이 나타날 오개념 유형의 평균적인 순위는 교사들이 예상한 순위의 빈도에 가중치를 부여하여 산출된 가중치 값으로 결정하였다(우수명, 2007). 즉, 교사들이 1순위로 예상한 오개념 유형의 빈도수에는 300%의 가중치를, 2순위로 예상한 유형의 빈도수에는 200%의 가중치를, 3순위에는 100%의 가중치를 부여하여 가중치 값을 얻고 이를 결과 분석에 사용하였다.

교사의 배경 변인에 따른 학생 오개념에 대한 지식의 양의 차이를 조사하기 위해 모든 오개념 예상 문항에서 교사가 작성한 오개념 수를 합하여 '교사가 제시한 오개념의 총 수'로 정의하고, 교사가 제시한 오개념의 총 수에 대해 배경 변인에 따라 독립 표본 t-검증, 또는 일원 변량 분석(one-way ANOVA)를 실시하여 집단 간 평균 개수의 차이를 검증하였다. 집단 간 차이의 주 효과가 있는 경우에는 Sheffe 사후 검증을 실시하였다. 교사의 화학 전공 여부에 따른 집단 간 차이는 등분산성 가정을 만족하지 못하여 Mann-Whitney U test를 실시하였다. 교사들의 오개념의 이용 실태와 필요성 인식에 관한 검사는 빈도 분석을 실시하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 교사의 학생 오개념에 대한 지식

1) 물질의 세 가지 상태

물질의 세 가지 상태에 대해 학생들이 갖고 있을 오개념으로 교사들이 제시한 유형은 표 2와 같다. 교사들은 1인당 평균 4.1개의 오개념을 제시하였으며, 교사들이 제시한 유형을 모두 합하면 학생들의 오개념 유형을 거의 포괄하였다. 즉, 교사 집단이 예상한 유형은 학생들의 오개념 유형과 그 종류가 유사하였다. 그러나 교사 개개인은 학생들에게 나타나는 여러 가지 오개념 유형 중 일부만 알고 있었다. 교사들이 가

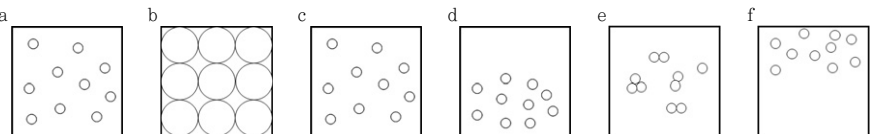
장 많이 제시한 학생들의 오개념은 ‘기체로 상태가 변할 때 분자 수가 줄어든다’이다. 이 밖에 ‘기체로 상태가 변할 때 분자 크기가 커지거나 작아진다’, ‘액체 상태에서 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 중간 정도이다’, ‘액체 상태의 분자 배열이 불규칙하고 분자 간 거리가 매우 멀다’는 등의 오개념에 대한 응답도 있었다. 표 2에 제시되지 않은 기타 오개념으로는 ‘액체 상태의 분자 배열이 규칙적이고 분자 간 거리가 멀다’, ‘상태와 관계없이 분자 크기가 다양하다’ 등이 있었다. 전반적으로 분포와 보존 범주의 오개념을 제시하는 교사들이 많았다. 특히, 분포 범주의 오개념 유형의 종류가 다양하게 예상되었는데, 대부분 중학교 1학년 교육과정(교육부, 1997)에 명시되어 있는

표 2
물질의 세 가지 상태에 대해 교사들이 생각하는 학생들의 오개념 및 실제 학생들의 응답(%)

범주	오개념 유형	교사 (N=87)	학생 (N=240)
분포	세 가지 상태에서 모두 분자 배열이 불규칙적이고 분자 간 거리가 매우 멀다. ^a	13(14.9)	2(0.8)
	고체 상태에서 분자들은 가득 차 있다. ^b	9(10.3)	10(4.2)
	액체 상태에서 분자 배열이 불규칙하고 분자 간 거리가 매우 멀다. ^c	26(29.9)	39(16.3)
	액체 상태에서 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 중간 정도이다. ^d	29(33.3)	100(41.7)
	액체 상태에서 분자들은 2~3개씩 붙어서 서로 멀리 떨어져 있다. ^e	6(6.9)	65(27.1)
	기체 상태에서 분자들은 상자의 위에 분포한다. ^f	16(18.3)	3(1.3)
기타	48(55.2)	37(15.4)	
보존	기체로 상태가 변할 때 분자 수가 늘어난다.	10(11.5)	6(2.5)
	기체로 상태가 변할 때 분자 수가 줄어든다.	39(44.8)	53(22.1)
	기체로 상태가 변할 때 분자 크기가 커진다.	30(34.5)	24(10.0)
	기체로 상태가 변할 때 분자 크기가 작아진다.	27(31.0)	18(7.5)
	기체로 상태가 변할 때 분자들이 가벼워진다.	7(8.0)	-
기타	32(36.8)	20(8.3)	
운동	고체 상태에서 분자들은 운동하지 않는다.	14(16.1)	12(5.0)
	액체 또는 기체 상태에서 분자들은 한쪽 방향으로만 이동한다.	9(10.3)	-
	기타	20(23.0)	12(5.0)
기타	분자들은 그 상태의 거시적 특징을 그대로 나타낸다.	8(9.2)	10(4.2)
	물질은 연속적이다.	4(4.6)	3(1.2)
	기타	6(6.9)	2(0.8)
무응답		-	2(0.8)
전체응답 [†]		353	418

[†]중복 응답으로 인해 응답 수의 총합이 사례수보다 많음.

Note. 응답 유형의 예



‘물질의 상태에 따른 분자 배열의 차이를 비교한다’는 내용과 관련된 것이었다. 교사들은 교육과정 상에 제시된 학습 목표가 적절하다고 판단하여 교과서나 교사용 지도서에 제시된 수업 목표를 그대로 제시하거나, 또는 이를 재구성하여 수업을 진행하는 경향이 있으므로(정은영, 2006), 학생들의 오개념을 예상할 때에도 학습 목표를 중요하게 고려하는 것으로 생각할 수 있다.

교사들에게 자신이 제시한 오개념 유형 중에서 학생들이 많이 가지고 있는 오개념이 무엇인지 그 순위를 예상하도록 하였을 때 44%의 교사만이 응답을 하였다. 순위를 응답한 교사들은 ‘기체로 상태가 변할 때 분자 수가 줄어든다’, ‘액체 상태에서 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 중간 정도이다’, ‘액체 상태에서 분자 배열이 불규칙하고 분자 간 거리가 매우 멀다’의 순으로 학생들이 많이 가지고 있을 오개념을 예상하였다. 교사들이 학생들에게 많이 나타날 오개념으로 예상한 유형은 교사들이 많이 제시한 학생 오개념과 완전히 일치하지 않았다. 이는 교사들이 쉽게 예상할 수 있는 오개념 유형과 실제 학생들이 많이 가지고 있는 오개념 유형을 구분하여 인식하고 있음을 의미한다. 특히, 학생들의 주요 오개념에 대해 아는 것은 실제로 수업에서 집중적으로 변화시켜야 할 오개념에 대한 지식이 있는 것으로 볼 수 있는데, 연구에 참여한 교사들의 과반수가 주요 오개념을 예상하도록 하는 질문에 응답하지 않았다. 사후 전화 인터뷰에 응한 거의 모든 교사들이 학생들에게 많이 나타날 오개념 순위를 예상하는 것이 익숙하지 않았고 매우 어렵다고 응답하였으므로, 다수의 교사들이 학생 오개념의 순위에 의도적으로 응답하지 않았거나 응답했다 해도 확신이 부족하였을 것으로 해석된다.

한편, 실제로 학생들은 전체의 97.9%가 오개념을 지니고 있었는데, 교사들의 예상과 달리 ‘액체 상태에서 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 중간 정도이다’라는 오개념을 가장 많이 가지고 있었다. 다음으로 학생들에게 많이 나타날 오개념은 ‘액체 상태에서 분자들은 2~3개씩 붙어서 서로 멀리 떨어져 있다’, ‘기체로 상태가 변할 때 분자 수가 줄어든다’이었다. 이 유형을 포함하여 실제 학생들에게 나타날 오개념 유형들은 노태희 등(1998), 최경숙(2003)등의 연구에서도 공통적으로 나타났다. 학생들의 주요 오개념을 평균적인 순위로 산출한 교사들의 대표 오개념 유형과

비교했을 때, 액체 상태에서의 상대적인 분자 간 거리와 기체로의 상태 변화에서 분자 수에 대한 오개념은 교사들이 비중있게 파악하고 있으나, 액체 상태에서의 분자 배열에 대한 오개념은 대다수가 예상하지 못함을 알 수 있었다. 그러나 실제 학생들에게 가장 많이 나타난 오개념은 ‘액체 상태에서 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 중간 정도’라는 유형으로, 연구에 참여한 교사의 과반수가 예상하지 못하였다. 이 오개념은 교과서 삽화에 액체 상태의 분자 간 거리가 고체와 기체 상태의 분자 간 거리의 중간 정도로 표현되어 있기 때문에 쉽게 형성될 수 있다는 주장이 최근 제기된 바 있다(Adadan *et al.*, 2009; Adbo & Taber, 2009). 많은 학생들이 이 오개념을 지니고 있음에도 교사들이 예상하지 못한 원인으로는 학생들에게 분자 간 거리를 정성적인 수준에서 ‘고체<액체<기체’로만 지도해도 된다는 교사의 판단, 교사들도 학생들과 같은 오개념을 갖고 있을 가능성(Halim & Meerah, 2002), 또는 이 오개념이 직관적으로 쉽게 예측하기 어려울 가능성 등을 생각할 수 있다. 보다 명확한 원인을 밝히기 위해서는 추가적인 심층 연구가 필요하다.

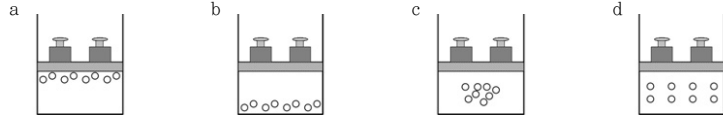
2) 기체의 압력과 부피의 관계

기체의 압력과 부피의 관계 문항에 대하여 학생들이 지니고 있을 오개념으로 교사들이 제시한 유형은 표 3에 정리하였다. 교사들은 평균 2.9개의 오개념을 제시하였으며, 교사 개개인이 제시한 유형을 모두 합하면 학생들의 오개념 유형을 거의 포괄하였다. 물질의 세 가지 상태에 비해 교사들이 제시한 오개념의 평균 개수가 적었는데, 이는 물질의 상태에 대해서는 고체, 액체, 기체의 3가지 조건에서 입자들의 분포, 보존, 운동의 3가지 범주의 오개념을 조합하여 여러 가지 유형들을 예상할 수 있지만, 기체의 압력과 부피의 관계에 대해서는 압력에 의해 기체의 부피가 줄어든 1가지 조건에서만 나타날 오개념 유형을 예상하기 때문일 수 있다. 기체의 압력과 부피의 관계와 관련된 오개념으로 과반수의 교사들은 학생들이 ‘분자 수가 줄어든다’ 또는 ‘분자 크기가 작아진다’는 오개념을 가지고 있을 것으로 응답하였고, 1/3정도의 교사들은 추를 올려놓으면 ‘분자들이 아래로 가라앉는다’는 오개념을 예상하였다. 전반적으로 보존 범주와 분포 범주의 오개념이 많았다. 기타 오개념으로는 ‘분자 수가 늘어난다’, ‘분자 크기가 커진다’, ‘분자들이 제자리

표 3
기체의 압력과 부피의 관계에 대해 교사들이 생각하는 학생들의 오개념 및 실제 학생들의 응답(%)

범주	오개념 유형	교사 (N=87)	학생 (N=240)
분포	분자들이 위로 떠있다. ^a	11(12.6)	9(3.8)
	분자들이 아래로 가라앉는다. ^b	29(33.3)	4(1.7)
	분자들이 모이거나 붙는다. ^c	10(11.5)	16(6.7)
	분자들이 용기 가운데 규칙적으로 배열된다. ^d	18(20.7)	27(11.3)
	기타	10(11.5)	4(1.7)
보존	분자 수가 줄어든다.	48(55.2)	4(1.7)
	분자 크기가 작아진다.	47(54.0)	22(9.2)
	분자 모양이 납작해진다.	18(20.7)	5(2.1)
	기타	13(14.9)	31(12.9)
운동	분자 운동이 빨라진다.	7(8.0)	43(17.9)
	분자 운동이 느려진다.	13(14.9)	100(41.7)
	기타	5(5.7)	14(5.8)
기타	액체나 고체로 상태가 변한다.	8(9.2)	4(1.7)
	물질은 연속적이다.	1(1.1)	2(0.8)
	분자들끼리 결합한다.	9(10.3)	1(0.4)
	기타	4(4.6)	4(1.7)
무응답		2(2.3)	11(4.6)
전체응답 [†]		253	301

[†]중복 응답으로 인해 응답 수의 총합이 사례수보다 많음.
Note. 응답 유형의 예



에서 진동한다' 등이 있었다.

한편, 전체 교사 중 순위에 응답한 교사들(41%)의 응답을 분석한 결과, 학생들에게 가장 많이 나타날 것으로 예상되는 오개념은 '분자 크기가 작아진다', '분자 수가 줄어든다', '분자들이 아래로 가라앉는다'의 순이었다. 그러나 실제로 오개념을 가지고 있는 학생들(85.0%)은 추를 하나 더 올려 두면 '분자 운동이 느려진다' 또는 '분자 운동이 빨라진다'와 같은 운동 범주의 오개념을 많이 가지고 있었다. 또한, '분자들이 용기 가운데 규칙적으로 배열된다'는 오개념도 가지고 있었다. 이 연구에서 나타난 학생들의 주요 오개념 유형은 김정순(2005) 등의 연구 결과와 유사하였다.

실제 학생들에게 많이 나타난 주요 오개념은 교사들이 비중있게 예상한 오개념과 비교했을 때 어느 유형도 일치하지 않았다. 이는 교사들이 학생들이 오개념을 가지고 있다는 것은 알고 있지만 구체적으로 어

떤 오개념을 얼마나 가지고 있는지는 정확히 알지 못하는 것으로 해석할 수 있다. 특히, 대다수의 교사들은 학생들이 운동 범주의 오개념을 가지고 있는 것을 모르고 있었는데, 이것은 교육 현장에서 기체의 압력과 관련된 입자의 운동 개념을 이해시키기 위한 노력이 크지 않을 가능성을 암시한다.

3) 기체의 온도와 부피의 관계

기체의 온도와 부피의 관계 문항의 결과는 표 4에 정리하였다. 교사들은 1인당 평균 2.5개의 오개념 유형을 제시하였으며, 다른 문항에서와 마찬가지로 교사들이 제시한 유형을 모두 합하면 학생들의 실제 오개념 유형을 거의 포괄하였다. 72.4%의 교사들은 학생들이 '분자들이 모두 풍선으로 이동하여 퍼져있다'는 오개념을 가지고 있다고 응답하였으며, '분자 크기가 커진다', '분자 수가 늘어난다'는 오개념을 제시한

교사들도 전체의 40% 정도였다. 기타 오개념으로는 ‘분자들이 플라스크에만 퍼져있다’, ‘분자 수가 줄어 든다’ 등이 있었다. 교사들은 특히 분포 범주에 대한 오개념을 다양하게 제시하였는데, 이것은 물질의 세 가지 상태에 대한 연구 결과와도 일치한다.

이 문항에서는 전체 학생의 87.1%가 오개념을 가지고 있었는데, 실제 학생들에게 가장 많이 나타난 유형은 ‘분자들이 모두 풍선으로 이동하여 퍼져있다’는 것이었다. 이 밖에 ‘분자들이 플라스크의 위쪽과 풍선에 퍼져있다’, ‘분자의 크기가 커진다’는 오개념도 나타났다. 이 오개념 유형들은 선행 연구(노태희 등, 1998)에서도 보고된 것으로, 학생들의 오개념이 보편적임(Driver *et al.*, 1994)을 보여준다. 순위에 응답한 36%의 교사들은 실제 학생들에게 가장 많이 나타

나는 오개념 유형 중 일부는 잘 예상하였으나, ‘분자들이 플라스크의 위쪽과 풍선에 퍼져있다’는 주요 오개념은 거의 예상하지 못하였다. ‘기체 상태의 분자들이 위쪽에 분포한다’는 오개념은 기체 분자들이 가볍거나 거의 무게가 없다는 학생들의 직관적인 생각이 반영된 것으로, 초등학생으로부터 중등학생에게까지 많이 나타난다고 보고되고 있다(Stavy, 1990). 즉, 이 오개념은 매우 안정적이어서 전통적인 수업으로는 쉽게 바뀌지 않는 특성이 있다. 그럼에도 불구하고 많은 교사들이 이를 인지하고 있지 못하였으므로 효과적인 과학 개념 교육을 위해서는 이러한 실태를 개선해야 할 것이다.

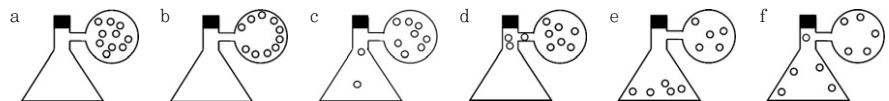
학생들의 오개념에 대한 지식에 대한 검사 결과를 종합하면, 교사들의 전체 응답은 학생들의 오개념 유

표 4
기체의 온도와 부피의 관계에 대해 교사들이 생각하는 학생들의 오개념 및 실제 학생들의 응답(%)

범주	오개념 유형	교사 (N=87)	학생 (N=240)
분포	분자들이 모두 풍선으로 이동하여 퍼져있다. ^a	63(72.4)	60(25.1)
	분자들이 풍선 벽에만 붙어있다. ^b	5(5.7)	5(2.1)
	거의 모든 분자들이 풍선으로 이동하여 퍼져있다. ^c	15(17.2)	16(6.7)
	분자들이 플라스크 위쪽과 풍선에 퍼져있다. ^d	18(20.7)	41(17.1)
	분자들의 일부는 풍선으로 이동하고, 나머지는 플라스크 바닥에 가라앉아 있다. ^e	7(8.0)	2(0.8)
	분자들이 플라스크 벽과 풍선 벽에 붙어있다. ^f	7(8.0)	7(2.9)
	기타	13(14.9)	20(8.3)
보존	분자 수가 늘어난다.	37(42.5)	16(6.7)
	분자 크기가 커진다.	38(43.7)	20(8.3)
	풍선 안 분자가 플라스크 안 분자보다 더 크다.	1(1.1)	6(2.5)
	기타	6(6.9)	16(6.7)
운동	가열해도 분자 운동 빠르기는 변함없다.	3(3.4)	6(2.5)
	열을 가해야 분자들이 움직이기 시작한다.	-	4(1.7)
	기타	2(2.3)	5(2.1)
기타	물질은 연속적이다.	-	3(1.3)
	풍선 속 분자들이 다른 종류의 분자로 변한다.	2(2.3)	-
	기타	-	5(2.1)
무응답		2(2.3)	22(9.2)
전체응답 [†]		219	254

[†] 중복 응답으로 인해 응답 수의 총합이 사례수보다 많음.

Note. 응답 유형의 예



형을 거의 모두 포괄하였지만 개별 응답은 보편적으로 학생들이 갖고 있는 오개념 유형과 차이가 있었다. 즉, 각 교사들은 물질의 입자성과 관련된 학생들의 주요 오개념을 모두 인지하지 못하고 있었다. 이는 과학 교육에서 학습을 방해하는 한 가지 요인이 될 수 있다 (Taber, 2001). 교사의 기대와 학습자의 인지 구조 사이의 불일치는 학습자가 충분히 동기화되고 교사가 내용 및 교수법적 지식이 충분하고 학습 환경이 적절하더라도 의도한 학습 결과가 나타나지 않도록 방해할 수 있다. 따라서 교사들의 학생 오개념에 대한 지식 수준을 향상시킬 수 있는 방안을 모색할 필요가 있다.

2. 교사가 제시한 학생 오개념 총 수의 집단간 차이

교사의 경력, 학력, 최근 5년간 중학교 1학년 물질 영역을 가르친 횟수, 화학 전공 여부에 따라 교사가 제시한 학생 오개념 총 수의 차이를 분석하였다(표 5 와 6). 그 결과, 교직 경력, 학력, 화학 전공 여부에 따라서는 교사가 제시한 학생 오개념 총 수의 차이가 있었지만, 관련 주제를 가르친 횟수에 따라서는 차이가 없었다. 즉, 경력이 적고 학력이 높은 교사가 제시한 학생 오개념의 개수가 상대적으로 많았다. 또한, 전공

이 화학인 교사가 그렇지 않은 교사보다 학생 오개념을 더 많이 제시하였다. 경력에 따른 차이를 사후 검증한 결과, 경력이 10년 미만의 교사들이 제시한 학생 오개념 개수가 나머지 교사들보다 많았다($p < .01$). 이는 학생들을 지도한 경험이 많을수록 학생 오개념에 대한 이해 수준이 높았다는 선행 연구 결과(Meyer, 2004; Morrison & Lederman, 2003)와 상반되는 것으로, 단순히 관련 주제를 가르친 경험만으로는 그 주제에 대한 학생들의 오개념을 많이 예상할 수 없음을 의미한다. 최근 5년간 관련 주제를 가르친 횟수에 따라 교사가 제시한 오개념 개수에 유의미한 차이가 없었던 결과도 이를 뒷받침한다. 이와 같이 교사들이 제시한 학생들의 오개념 개수가 교직 경력이나 관련된 내용을 가르쳐 본 경험의 양과 비례하지 않는다는 사실은 교사의 학생 오개념에 대한 지식이 교수 경험에서 비롯되기보다는 오개념을 수집하려는 교사 개인의 특별한 노력이나 관심, 혹은 보편적인 학생 오개념 정보의 활용 정도에 기인할 수 있음을 시사한다. 한편, 교사의 학력이 높을수록 오개념의 형성을 이해할 수 있는 구성주의 교수-학습 이론에 노출되었을 가능성이 크고, 전공이 화학인 경우 내용을 다양한 측면에서 분석하여 더 많은 오개념 유형을 예상할 수 있었을

표 5
교사가 제시한 학생 오개념 총 수의 집단 간 차이 분석 결과[†]

	변 인	평균	표준편차	통계값	p
경력	10년 미만(n=32)	10.31	3.685	F=12.089	.000**
	10년 이상 ~ 20년 미만(n=30)	7.03	3.034		
	20년 이상 ~ 30년 미만(n=24)	6.50	2.782		
최근 5년간 중학교 1학년 화학 단원을 가르친 횟수	1회 미만(n=31)	7.42	3.914	F= 1.045	.356
	2회(n=32)	8.31	3.487		
	3회 이상(n=24)	8.79	3.349		
학력	학사 이하(n=39)	7.13	3.205	t=-2.387	.019*
	석사 이상(n=48)	8.94	3.750		

[†]경력(N=86)을 제외한 총 사례수 N=87, * $p < .05$, ** $p < .01$

표 6
화학 전공 여부에 따른 교사가 제시한 학생 오개념 총 수의 집단 간 차이 분석 결과[†]

	변 인	평균 순위	U	Z	p
전공	화학(n=33)	53.70	571.000	-2.815	.005**
	화학 이외의 전공(n=54) (물리, 생물, 지구과학, 공통과학, 농화학)	38.07			

[†]N=87, ** $p < .01$

것으로 추측되지만, 이를 확인하기 알기 위해서는 각 집단을 대표하는 교사들을 면담하는 등의 추후 연구가 필요하다.

3. 교사의 학생 오개념 이용 실태 및 필요성 인식

교사가 학생 오개념을 이용하는 실태를 파악하기 위해 학생들의 오개념을 알게 된 경로와 이를 수업에서 이용하는 방법을 조사하였다(표 7). 과반수의 교사들이 학생들이 작성한 학습 활동지, 평가 결과, 수업 중과 같이 일상적인 교수-학습 및 평가 활동을 통해 학생의 오개념에 대해 알게 되었다고 응답하였다. 이에 비해 지도서, 교수-학습 자료 등의 안내 자료나 대학의 교과교육학 수업, 교사 연수를 통한 교사 재교육 과정을 통해 알게 되었다는 교사의 비율은 낮았다. 이는 학생 오개념에 대한 정보가 수록된 자료를 얻을 수 있는 방법이 교사들에게 알려지지 않았거나 교사 연수 등에서 학생 오개념과 관련된 내용이 거의 다루어지고 있지 않음을 의미한다. 반면에, 대학의 교과교육

학 수업에서 알게 되었다고 응답한 교사들의 교직 경력의 대부분이 10년 미만이었는데, 이는 최근의 중등 교사 양성 교육 과정에서 학습을 학습자의 능동적인 의미 구성 과정으로 보는 구성주의적 관점이 강조되는 추세(윤지현 등, 2009)이기 때문으로 해석된다.

한편, 수업 중 학생 오개념을 이용하는 빈도에 관한 문항에서는 ‘가끔 이용한다’는 응답이 64.4%로 가장 많았으며, ‘별로 이용하지 않는다’는 응답도 25.3% 있었다. 대부분 학생 오개념을 수업에서 예시로 사용하여 오개념을 갖지 않도록 주의를 주거나, 질문을 통해 오개념을 가지고 있는지 확인하는 방식으로 수업에 이용하고 있었다. 선행 연구(Osborne & Freyberg, 1985)에서 제안된 학생들의 오개념을 극복하기 위한 방안인 선개념 검사와 전체 토의 등을 통한 진단 검사 또는 개념변화 수업 모형을 사용하는 경우는 거의 없었다. 오개념을 수업에 별로 이용하지 않는 이유로는 ‘오개념을 수업에 이용할 경우 학생들이 목표 개념과 헷갈려서 오히려 혼동을 줄 수 있다’, ‘모든 개념에 대해 오개념 자료가 있지 않으므로 몇몇 경우에만 적

표 7
교사가 학생 오개념을 알게 된 경로와 이를 수업에서 이용하는 방법¹

문항	내용	응답 수 ² (%)
학생들의 오개념을 알게 된 경로	학생들이 작성한 학습 활동지	45(51.7)
	정기교사 및 쪽지시험 결과	42(48.3)
	수업 중	33(37.9)
	교사용 지도서	18(20.7)
	학교로 제공된 교수-학습 자료	11(12.6)
	대학이나 대학원 재학 중 교과교육학 수업	11(12.6)
	동료 교사의 조언	5(5.7)
	교사 연수	4(4.6)
	인터넷	3(3.4)
	중학교 교과서	1(1.1)
	기타	4(4.6)
수업에 이용하는 방법	개념을 설명할 때 주의를 주기 위해 예시로 든다.	64(73.6)
	질문을 통해 학생들의 개념을 확인하고 정정해준다.	21(24.1)
	수업 결과물(활동지, 실험보고서 등)에 나타난 학생들의 오개념을 정정해준다.	10(11.5)
	쪽지시험이나 형성평가 등의 오답지로 사용한다.	4(4.6)
	수업 도입에서 사용한다.	4(4.6)
	매 시간 정리 단계에서 활용한다.	1(1.1)
	무응답	2(2.3)

¹N=87, ²중복 응답으로 인해 응답 수의 총합이 사례수보다 많음.

용한다' 등이 있었다.

학생 오개념의 파악이 과학 개념 학습 지도에 필요하다고 생각하는 정도에 대한 문항에서는 65.5%의 교사가 '필요하다', 27.6%의 교사는 '매우 필요하다'고 응답하였다. 즉, 대부분의 교사들이 과학 개념을 가르칠 때 학생들의 오개념을 파악하는 것이 필요하다고 인식하고 있었다. 그러나 이 연구 결과에서 교사 대부분의 학생 오개념 활용 방법이 단순히 오개념을 틀렸다고 지적하는 수준에 그쳤으므로, 오개념을 활용한다고 응답한 교사들도 오개념을 학생들이 외부 환경과의 상호작용을 통해 구성된 복잡한 사고틀로 이해하기보다 오답 정도로만 여기고 있을 가능성이 크다(Morrison & Lederman, 2003). 교사들이 학생들의 오개념을 수업에 적절히 활용하도록 하여 과학 개념 학습의 효과를 높이기 위해서는, 교사 개인의 교수 경험에 의존하기보다 구성주의적 관점에서 학생들의 오개념의 의미나 형성 원인 등을 소개하는 체계적인 교사 연수 등이 필요하다고 생각된다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 교사들을 대상으로 물질의 입자성과 관련된 중학생들의 오개념에 대한 지식과 오개념을 수업에서 이용하는 실태 및 오개념 파악의 필요성에 대한 인식을 조사하였다. 지식 검사에서 교사들이 제시한 오개념 유형을 모두 종합한 결과는 실제 학생들의 유형을 거의 포괄하였다. 그러나 교사들이 학생들에게 가장 많이 나타날 것으로 예상한 오개념 유형은 실제 학생들의 주요 오개념과 차이가 있었다. 주요 오개념을 인지하지 못하는 교사들은 수업에서 학생들이 이러한 오개념을 표출하고 변화시킬 기회를 제공하지 않거나 오개념이 수업 중에 노출되더라도 단순한 오답으로 간주하고 중요하게 다루지 않을 가능성이 크다. 결과적으로 학생들은 오개념을 계속 유지한 상태로 후속 학습에 임하게 되어 잘못된 선개념을 토대로 새로운 오개념을 형성할 수 있다. 많은 교사들이 주요 오개념을 제시하지 못한 원인으로 학생들의 사고에 대한 이해 부족, 교사 자신의 오개념 등을 고려할 수 있지만, 정확한 원인을 밝혀내기 위해서는 교사를 대상으로 심층적인 면담 연구를 실시할 필요가 있다.

인식 검사에서 대부분의 교사들은 수업에서 학생들의 오개념을 파악해야 할 필요성이 있다고 응답하였

으나, 실태 조사 결과에서 수업에서 과학적 개념의 이해를 위해 오개념을 효과적으로 사용하는 경우는 적었다. 개념 교수-학습 과정에서 오개념의 활용도를 높이는 한 가지 방안으로 교사 재교육을 들 수 있다. 그러나 오개념을 알게 된 경로로 교사 연수를 언급한 교사의 응답 비율이 낮았으므로 기존의 교사 연수에서 학생들의 오개념에 대처하는 효과적인 방안이 강조되도록 개선할 필요가 있다. 예를 들어, 주요 과학 개념에 대한 학생들의 대표적인 오개념 유형, 순환학습이나 발생학습 등의 여러 가지 개념 변화 교수 모형, 학생 오개념이 개념 변화 과정에 미치는 영향 등을 안내할 수 있다. 이 때, 연구 결과에서 화학을 전공하지 않은 교사들이 상대적으로 물질 영역과 관련된 학생들의 오개념을 많이 제시하지 못했으므로 전공에 따라 내용 및 수준을 조정할 필요가 있다.

학생들의 오개념에 대한 지식의 양을 비교한 결과에서 교사들의 교직 경력이나 관련 주제를 가르쳐 본 경험은 지식의 양적 향상에 도움을 주지 않는 것으로 나타났다. 그러나 선행 연구 결과(Meyer, 2004; Morrison & Lederman, 2003)를 고려했을 때 교사의 교수 경험은 지식의 질적 향상에 영향을 미칠 수 있으므로, 수업 관찰이나 면담 등을 실시하여 그 결과를 정성적으로 분석할 필요성이 있다. 한편, 학생들의 오개념에 대한 지식의 수준은 교사의 교수-학습관이나 교수효능감 등의 특성과 관련이 있을 수 있다. 예를 들어, 구성주의적 교수-학습관을 가진 교사는 수업에서 과학자의 지식을 전달하기보다 학습자가 사고를 통해 지식을 만들어가는 과정을 촉진하려고 할 수 있으므로 학생들의 오개념에 대한 지식의 수준이 높을 가능성이 있다. 그러나 실제로 이러한 신념과 지식의 관계에 대해서는 확인된 바가 없다. 학생들의 과학 내용 이해에 대한 교사의 지식이 과학 교수 효능감과 상관성이 높았던 점에 비추어 볼 때(임청환, 2003), 교사의 학생 오개념에 대한 지식이 과학 교수 효능감과 관계있을 가능성이 있으므로 두 변인 간의 관계도 조사할 필요가 있다.

국문 요약

교사들이 학생들의 오개념을 아는 것은 구성주의적인 수업 전략을 행하기 위한 가장 기본적인 단계이다. 이 연구에서는 중등 교사들이 물질의 입자성과 관련

된 학생들의 오개념을 인지하는 정도를 조사하고, 교사가 제시한 오개념 총 수의 차이를 배경 변인에 따라 분석하였다. 또한, 수업에서 어떻게 오개념을 사용하는지, 그리고 과학 개념을 지도하기 위해 오개념 파악이 필요하다고 생각하는지에 대한 인식도 조사하였다. 서울특별시 28개 중학교의 과학교사 87명을 대상으로 검사를 실시하였으며, 교사들이 제시한 오개념을 중학교 1학년 240명에게서 나타난 오개념과 비교하였다. 연구 결과, 교사들은 집단적으로는 학생들이 가지고 있는 오개념의 유형을 대부분 알고 있었으나 실제로 학생들에게 많이 나타나는 오개념이 무엇인지는 잘 예상하지 못하였다. 교사가 제시한 오개념 총 수는 교육 경력이 10년 미만이거나 학력이 높거나 전공이 화학인 교사 집단에서 더 많았다. 비록 대부분의 교사들이 학생들의 오개념을 아는 것이 필요하다고 응답하였지만 실제 수업에서는 오개념을 자주 사용하지 않거나 단순한 방식으로 사용하고 있었다. 수업 활동을 통해 학생들의 오개념을 알게 된 교사들이 많았으며 오개념에 관한 자료나 교사 양성 과정, 교사 재교육을 통해 학생들의 오개념에 대해 알게 되었다고 응답한 교사는 드물었다. 이에 대한 교육적 함의를 논의하였다.

참고 문헌

교육부 (1997). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 1997-15호 [별책 9]. 서울: 교육부.

김경순 (2005). 화학 개념 학습에서 협동적 CAI와 상호동료 교수적 CAI의 효과: 개념 이해와 언어적 상호작용. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.

노태희, 차정호, 김창민, 최용남 (1998). 중학교 과학수업에서 입자 수준의 애니메이션을 이용한 컴퓨터 보조수업의 효과. 한국과학교육학회지, 18(2), 161-171.

우수명 (2007). 마우스로 잡는 SPSS 14.0. 서울: 인간과 복지.

윤지현, 한재영, 노태희 (2009). 구성주의 교사양성교육을 지원하는 방안으로서 웹 기반 교육 체제의 유용성. 한국과학교육학회지, 29(2), 240-252.

윤희정, 우애자 (2007). 고등학생과 대학생의 기체의 성질에 관한 오개념 비교. 교과교육학 연구, 11(2), 567-582.

임정환 (2003). 초등교사의 과학 교과교육학 지식의 발달이 과학 교수 실제와 교수 효능감에 미치는 영향. 한국지구과학학회지, 24(4), 258-272.

정은영 (2006). 제7차 중등학교 과학과 교육과정 운영 실태 분석. 한국생물교육학회지, 34(2), 155-173.

최경숙 (2003). 물질의 상태와 상태변화에 대한 중학교 1학년 학생들의 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위 논문.

Adadan, E., Irving, K., & Trundle, K. C. (2009). Impacts of multi-representational instruction on high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter. *International Journal of Science Education*, 31(13), 1743-1775.

Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16-year-old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757-786.

Ausubel, D. (1968). *Educational psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.

Berg, T., & Brouwer, W. (1991). Teacher awareness of student alternate conceptions about rotational motion and gravity. *Journal of Science Teacher Education*, 28(1), 3-18.

Driver, R., & Oldham, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13(1), 105-122.

Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: Research into children's ideas*. London: Routledge.

Guzzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V., & Gamas, W. S. (1993). Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28(2), 116-159.

Halim, L., & Meerah, S. M. (2002). Science trainee teachers' pedagogical content

knowledge and its influence on physics teaching. *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 215-225.

Herron, J. D. (1996). *The chemistry classroom: Formulas for successful teaching*. American chemical society, Washington, DC.

Hesse, J. (1989). From naive to knowledgeable. *The Science Teacher*, 56(6), 55-58.

Meyer, H. (2004). Novice and expert teachers' conceptions of learners' prior knowledge. *Science Education*, 88(6), 970-983.

Morrison, J., & Lederman, N. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science Education*, 87(6), 849-867.

Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland, New Zealand: Heinemann.

Pine, K., Messer, D., & St. John, K. (2001). Children's misconceptions in primary science: A survey of teachers' views. *Research in Science and Technological Education*, 19(1), 79-96.

Pines, A. L., & West, L. T. (1986). Conceptual understanding and learning: An interpretation of research within a source-of-knowledge framework. *Science Education*, 70(5), 583-604.

Stavy, R. (1990). Children's conception of changes in the state of matter: from liquid (or solid) to gas. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(3), 247-266.

Taber, K. S. (2001). The mismatch between assumed prior knowledge and the learner's conceptions: A typology of learning impediments. *Educational Studies*, 27(2), 159-171.