

## 과학3 물질의 구성 관련 학생들의 개념 분석

박인숙\* · 강순희\*\*

### ■ 요 약 ■

구성주의 심리학에 의하면 학습은 학습자가 선행 경험에 바탕을 두어 능동적으로 의미를 구성해 나가는 과정이다. 그러므로 학생들의 선행 지식은 수업의 진행에 있어서 매우 중요하다. 따라서 교사는 수업을 설계하는 단계에서 수업내용과 관련된 학생들의 사전 개념을 반드시 고려해야 한다. 본 연구에서는 제 7차 교육과정의 과학 3 물질의 구성 단원에 초점을 맞추어 단원내용과 관련된 학생들의 개념 유형과 그 특성을 분석하였다. 이를 통하여 현장 교사들이 편리하게 활용하여 효과적으로 수업을 설계하는데 직접적인 도움을 주고자 하였다. 이를 위하여 해당 단원의 필수 학습요소를 선정하고 이와 관련된 학생들의 생각을 알아볼 수 있는 검사지를 개발하여 수업 전과 수업 후에 투입해 보았다. 학생들의 응답 내용을 분석해 본 결과 학생들은 일상생활에서의 구체적인 경험과 직관적인 사고로 인하여 물질의 구성 단원과 관련된 물질, 입자, 입자 모형에 대해 비과학적 개념을 형성하고 있었다. 물질과 비물질을 바르게 분류하는 학생은 많지 않았으며 물질을 정의할 때 감각적 지각에 의존하는 학생들이 많았다. 학생들에게는 물질을 구성하는 입자의 배치를 표현할 때 물질의 거시적 성질을 원자라는 미시적 세계에 그대로 적용하려는 경향이 높게 나타났다. 그리고 연소와 같은 화학변화가 일어날 때 반응물을 구성하고 있던 원자들이 열로 변하거나 없어지거나, 다른 원자로 변한다는 오개념을 갖고 있는 학생들이 연구 대상의 과반수를 차지했다. 또한 분자 모형이 의미하는 바를 제대로 파악하지 못한 채, 분자를 설명할 때 돌턴의 원자설을 그대로 적용하거나 질량 보존의 법칙과 원자론을 혼용하기도 하였다. 그리고 학생들의 개념유형을 수업 전과 후의 빈도수로 비교해 본 결과, 학생들의 오개념은 쉽게 전환되지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로 교사들이 수업을 설계할 때는 반드시 학생들의 개념유형을 미리 파악하고 있어야 의미 있는 수업을 구성할 수 있을 것이다.

주제어 : 물질의 구성 관련 사전 개념 유형, 물질 관련 오개념, 입자 배열 관련 오개념, 연소 시 입자 관련 오개념, 수소와 산소 입자 오개념

\* 이화여자대학교 일반대학원 과학교육과 박사과정

\*\* 이화여자대학교 과학교육과 교수(교신저자, shkang@ewha.ac.kr)

논문접수(08. 08. 13), 수정본접수(08. 10. 15), 게재승인(08. 10. 17)

## I. 서론

1980년대 이후 과학교육 연구에 상당한 영향을 미치고 있는 이론적 배경은 구성주의심리학이다. 구성주의심리학에 의하면 학습이란 학습자 스스로 의미를 구성하는 과정이다. 즉, 학습자가 물리적·사회적 환경과 능동적·적극적 상호작용을 통해 의미를 구성해가는 것이다. 이 과정에서 학습자는 기존의 인지구조에 새로운 정보를 더하거나, 새로운 정보를 통해 기존의 인지구조를 조정하여 스스로 자신의 지식을 재구성해 나간다(조희형과 최경희, 2002; 조희형 등, 2009; Appleton, 1997; Fosnot, 1996; Lersbach & Tobin, 2002). 그러므로 구성주의심리학에서 학습자는 학습의 주체가 되며, 학습상황에서 학습자의 선행지식은 새로운 학습과정에 큰 영향을 주게 된다. 이와 같이 구성주의심리학에 의하여 학습자와 학습에 대한 인식이 재고되면서 과학교육자들은 학생들의 선행지식에 관심을 갖게 되었으며, 과학수업에 있어서 학생들이 가지고 있는 선행지식의 중요성을 강조하게 되었다(Chiappetta & Koballa, 2006; Osborne, 1996). 이러한 연구들은 학생들이 일상생활 및 기타 교과과정에서 얻은 지식과 경험을 통하여 과학사회에서 보편적으로 받아들여지는 것과는 다른 오개념을 많이 가지고 있음을 밝혀냈으며, 그들이 가지고 있는 오개념들이 그와 관련된 과학수업에 어떠한 영향을 미치는지 알게 되었다(Gabel, 1993). 그러므로 구성주의적 관점에서 볼 때 교사가 해야 할 일은 학생들에게 지식을 나누어 주는 것이 아니라 학생들 스스로 지식을 구성해 갈 수 있도록 기회와 동기를 부여하는 것이다(Von Glasersfeld, 1996). 이를 위하여 교사는 수업을 계획하는 단계에서 수업내용과 관련된 학생들의 선행개념을 먼저 확인하고, 이에 맞추어 적절한 수업전략을 마련해야 한다. 학생들의 사전개념 중에서 특히 학습주제와 관련된 학생들의 오개념은 교사가 수업을 구성하는데 많은 정보를 제공해 줄 것이다.

다행히도 학생들의 오개념에 대한 연구는 1980년대부터 꾸준히 진행되어왔다. 학습자가 지니고 있는 오개념의 유형과 특성의 이해로부터 시작하여 이러한 오개념이 형성되는 원인과 과정의 설명, 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 바꾸어 줄 수 있는 교수-학습 모형의 개발 등으로 그 폭과 깊이를 더해가고 있다. 그 동안의 많은 연구를 통하여 화학분야에서는 열, 온도, 물질의 입자성, 화학결합, 전기화학, 물질의 상태변화, 화학반응, 화학평형, 화학양론 등에 관한 학생들의 오개념이 보고되었다(Gabel, 1993). 국내에도 학생의 물리 개념(서울대학교 물리학습연구실, 1991), 과학 오개념의 한·영(韓·英) 비교연구(최병순 등, 1993), 역학편-과학 오개념 편람(한국교원대학교 물리교육연구실, 1993), 잘못 알기 쉬운 과학 개념(조희형, 1994), 화학 오인 모음집(한국교원대학교 화학교육연구실, 1998), 전기에 관한 학생들의 개념(한국교원대학교 물리교육연구실, 1998), 중등학교 학생들의 화학 관련 오개념 모음집(이화여자대학교 화학교재연구실, 2001), 학생의 물리 오개념 지도(송진웅 등, 2007), 화학 관련 오개념 모음집(이화여자대학교 화학교재 연구실, 2009) 등에 다양한 과학 개념들과 관련된 학생들의 오개념이 정리되어 있다.

그러나 지금까지의 연구들은 대부분 그 초점이 특정 과학개념에 대한 오개념 유형에 맞추어져 왔

다. 그러므로 현장 교사들이 주제 중심적 교과서를 이용하여 차시 별로 수업지도를 하기 위해서는 해당 단원에 포함되어 있는 주요개념들을 선별하고 각 개념들과 관련된 학생들의 사전개념이 보고된 선행 연구들을 일일이 찾아봐야 하는 번거로움이 있다. 다시 말하면 현장 교사들에게는 학생들의 사전개념들 중에서도 특정 단원에 대한 해당 학생들의 사전개념과 관련된 자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 현재 시행되고 있는 제7차 교육과정의 과학3 물질의 구성 단원에 초점을 맞춰 해당 학년의 학생들이 가지고 있는 개념유형과 그 특성을 분석함으로 현장 교사들이 본 단원을 지도할 때 보다 편리하게 사용할 수 있는 실질적인 도움을 주고자 하였다.

## II. 연구 방법 및 절차

### 1. 연구 대상

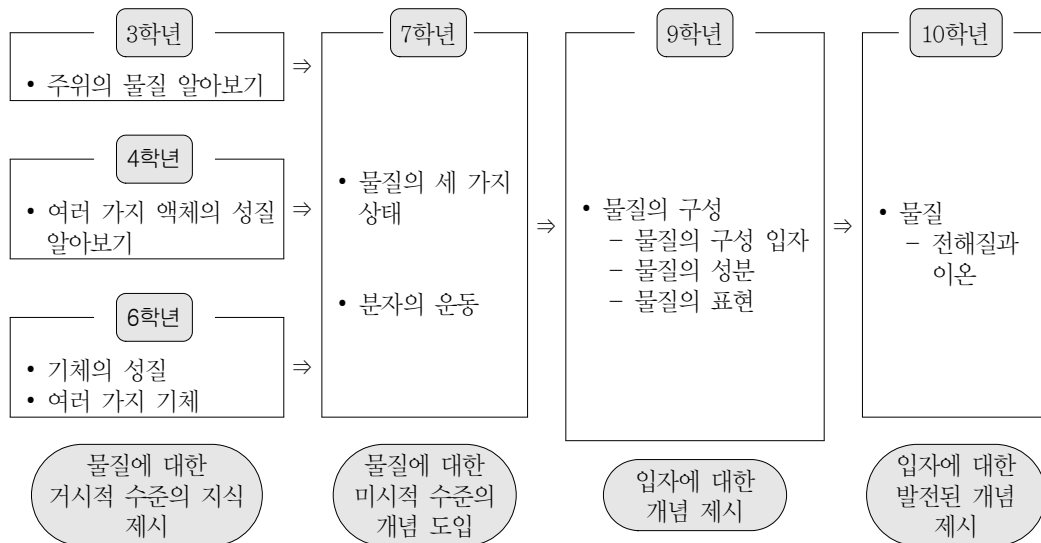
본 연구의 표집 대상은 인천시에 소재한 남녀공학 중학교 3학년 7개 학급의 남학생 124명, 여학생 136명으로 총 260명이다.

### 2. 검사 도구의 개발

먼저 과학3 물질의 구성 단원을 학습하는 9학년 학생들이 가지고 있는 관련 개념유형을 알아보기 위하여 제7차 교육과정에서 제시하는 과학과 교육과정의 내용(교육부, 1998)과 교과서 내용(강만식 외, 2003; 김정률 외, 2003; 김찬중 외, 2003; 박봉상 외, 2004; 소현수 외, 2004; 이광만 외, 2003; 이성묵 외, 2003; 정완호 외, 2004; 최돈형 외, 2003)을 분석하여 단원의 필수 학습개념을 추출하였다. 9학년 물질의 구성 단원의 지도내용은 입자론적 물질관이 형성되는 과정을 과학사적으로 도입하여 학습함으로써, 자연스럽게 물질이 입자로 이루어져 있다는 것을 이해하게 하고, 물질을 원소기호로 나타냄으로써 상징적 표현에 의해서 물질을 간단히 나타낼 수 있음을 인식하게 하는 것이다(교육부, 1999). 이를 바탕으로 연구자는 물질의 구성 단원의 주요개념을 물질, 입자, 원소 기호, 입자 모형으로 정하였다.

그리고 학습이 이루어지기 이전에 이 필수 학습개념들과 관련된 학생들의 선행 학습내용을 살펴보기 위하여 과학과 교육 과정(교육부, 1998)을 기초로 제7차 교육과정에서 물질의 구성 단원과 관련된 교과내용의 학년별 연계성을 살펴보았다(그림 1).

[그림 1]에서 보는 바와 같이 학생들은 정규 교육과정을 통하여 본 단원의 주요개념인 물질, 입자, 원소 기호, 입자 모형 중에서 물질과 입자, 입자 모형에 대한 사전개념을 가지고 있을 것이다. 그래서 이와 관련된 학생들의 사전개념이 어떻게 형성되어 있는지 알아볼 수 있는 검사지를 개발하였다.



[그림 1] 제7차 교육과정에서 ‘물질의 구성’ 단원과 관련된 교과 내용의 학년별 연계성

물질의 구성 단원에 관련된 학생들의 개념을 알아보기 위한 검사지는 4개의 문항으로 구성되었다. 검사지에 사용한 각 문항의 내용 구성은 <표 1>과 같다.

&lt;표 1&gt; 검사도구의 문항 구성

문 항	평가 내용	문 항 내 용	관련 개념
문항 1	물질과 비물질의 분류	다음 중 물질과 물질이 아닌 것(비물질)을 찾아 쓰고, 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.	물질
문항 2	고체에서 구성입자의 배열	다음 빈 칸은 고체 알루미늄의 한 부분을 확대한 것이다. 알루미늄 입자가 어떻게 배치되어 있을지 그리고, 그렇게 그린 이유를 쓰시오.	입자
문항 3	연소 시 입자의 상태	우리가 연료로 사용하는 LPG는 프로판 가스(분자)가 액화된 것이다. 프로판 가스를 태웠을 때 프로판 가스(분자)를 구성하고 있던 입자들은 어떻게 될지 고르고, 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.	입자
문항 4	물의 전기분해로 얻어진 수소와 산소의 입자 모형	물 분자들이 여러 개 모여 있는 물을 전기분해하여 얻은 수소 분자와 산소 분자의 모형을 고르고, 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.	입자 모형

문항 1은 학생들이 물질에 대하여 어떻게 생각하고 있는지를 알아보기 위한 것으로 Lee 등(1993)의 연구에서 사용되었던 문항을 수정하여 제작하였다. 문항 2와 문항 3은 입자에 대한 학생들의 개념을 밝히기 위해 개발되었다. 이 중 문항 2는 연구자가 개발한 것이고, 문항 3은 고등학교 2학년을 대상으로 한 고숙영(1994)의 연구에서 사용한 문항을 수정하여 사용하였다. 문항 2에서는 고체에서

구성입자의 배치를 그려보도록 하여 입자론적 물질관과 관련된 학생들의 개념을 조사해 보았다. 이 문항을 통하여 입자 모형에 대한 학생들의 생각도 함께 알아볼 수 있을 것으로 기대하였다. 문항 3에서는 연소 시 물질을 구성하는 입자들이 어떻게 되는지를 물어 입자의 보존에 대한 학생들의 생각을 살펴보았다. 문항 4는 입자 모형에 대한 학생들의 개념을 알아보기 위한 것으로 이 문항 또한 고숙영(1994)이 사용한 문항을 수정하여 사용하였다. 모든 문항은 1단계에서 단답형이나 선택형으로 답하고, 2단계에서 그 응답에 대한 이유를 설명하도록 구성하였다. 실제 연구에 사용된 검사지는 <부록>에 수록되어있다.

### 3. 연구 절차

개발된 검사지는 과학교육 전문가 9인으로부터 내용 타당도를 검증 받았으며, 본 단원을 학습하기 이전인 8학년 200명과 이미 학습한 9학년 200명을 대상으로 예비검사를 실시하여 용어와 문항 제시 방법의 일부를 수정하였다. 수정된 검사지는 다시 과학교육 전문가들의 검토를 거쳐 최종적으로 수정·보완한 후 본 연구에 투입하였다.

Shayer와 Adey(1981)의 연구에 따르면 원자, 분자, 이온 등 물질의 입자성을 이해할 수 있는 인지 수준은 초기 형식적 조작기 수준이며, 우리나라 중학생들의 인지 수준은 대부분 구체적 조작기와 과도기인 것으로 보고되고 있다(강순희, 2002). 따라서 본 연구에서는 GALT 축소본으로 연구 대상이 되는 학생들의 인지 수준을 함께 조사하여 인지 수준과 개념유형의 관계도 분석해 보기로 했다.

또한 현재 우리나라 교육 현장에서 흔히 행해지고 있는 교과서 중심의 강의식 수업 활동을 통하여 수업 전 학생들의 개념이 학습과정에서 어떠한 영향을 받는지 살펴보는 것도 현장 교사들에게 유익한 정보를 제공해 줄 것으로 생각하여 수업 전과 수업 후에 동일한 검사지를 사용하여 학생들의 개념 변화를 알아보았다.

## III. 연구 결과 및 논의

### 1. 연구 대상의 인지 수준

GALT 축소본 검사 결과에 따른 연구 대상의 인지 수준을 살펴보면 전체 표집 대상 260명 중 107명(41.2%)이 구체적 조작기이고, 91명(35%)이 과도기이며, 62명(23.8%)이 형식적 조작기인 것으로 나타났다. 이는 고재걸과 이경희(1996)의 연구에서 중학교 3학년의 인지 수준 분포가 구체적 조작기 37.5%, 과도기 39.2%, 형식적 조작기 23.3%로 나타났던 것과 비슷한 결과이며, 중학교 3학년 학생들의 인지 수준 분포는 매우 다양하다는 것을 알 수 있다(강순희, 2002).

## 2. 물질에 대한 학생들의 개념

문항 1은 학생들의 물질에 대한 개념을 알아보기 위한 것으로 9개의 보기(흙, 물, 공기, 소금, 빛, 열, 세포, 먼지, 세균) 중에서 물질과 물질이 아닌 것(비물질)을 구분하고, 그렇게 생각한 이유를 설명하는 것이다. 학생들의 응답 내용과 해석, 응답 유형별 빈도수는 <표 2>와 같다.

학생들의 응답은 과학적 개념(Scientific Concept)을 바르게 표현한 것을 SS, 낮은 수준의 과학적 개념을 나타낸 것을 S, 오개념(Misconcept)을 나타낸 것을 M으로 분류했으며, 올바른 과학적 개념을 유형별로 SS1과 SS2로 표시하였고 오개념들도 그 유형별로 M1 ~ M7로 나타내었다.

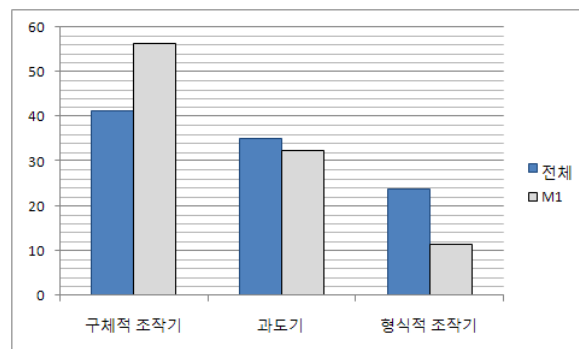
<표 2> 물질에 대한 학생들의 응답 내용과 빈도수

분류	응답 내용	응답 해석	응답자 수, 명(%)	
			수업 전	수업 후
SS1	물질은 기본입자(원자, 분자)로 이루어져 있다.	미시적 관점에서 물질의 정의를 바르게 이해하고 있다.	9 ( 3.5)	13 ( 5)
SS2	물질은 질량과 부피를 가지고 있다.	거시적 관점에서 물질의 정의를 바르게 이해하고 있다.	2 ( 0.8)	15 ( 5.8)
S1	에너지는 물질이 아니다.	물질을 정확히 정의하지는 못하나 물질과 비물질을 바르게 구분할 수 있다.	2 ( 0.8)	4 ( 1.5)
M1	물질은 볼 수 있거나 만질 수 있다.	감각적 지각에 기초하여 물질을 정의한다.	158 (60.8)	102 (49.5)
M2	생명체는 물질이 아니다.	생명체를 이루는 기본단위들이 물질이라는 것을 이해하지 못한다.	19 ( 7.3)	11 ( 4.2)
M3	물질은 쪼갤 수 있다.	입자론적 물질관을 가지고 있으나 물질과 비물질을 바르게 구분하지 못한다.	12 ( 4.6)	24 ( 9.2)
M4	사람에게 유용한 것은 물질이고, 불 필요하거나 해로운 것은 비물질이다.	인간 중심적인 개념을 가지고 있다.	11 ( 4.2)	6 ( 2.3)
M5	물질은 자연적인 것이고, 비물질은 인위적인 것이다.	인간의 작용을 기준으로 물질과 비물질을 구분하고 있다. 근본적으로 M4와 비슷한 개념이다.	6 ( 2.3)	5 ( 1.9)
M6	존재하는 것은 모두 물질이다.	물질과 비물질을 전혀 구분하지 못하고 있다.	3 ( 1.2)	9 ( 3.5)
M7	고유한 성질이 있으면 물질이다.	물질이 고유한 성질을 가지고 있다는 개념은 가지고 있으나 물질과 비물질을 바르게 구분하지 못한다.	2 ( 0.8)	2 ( 0.8)
기 타			11 ( 4.2)	15 ( 5.8)
무 응 답			25 ( 9.1)	54 (20.8)
전 체			260	260

물질은 거시적 관점에서 질량과 부피를 가지는 것으로 정의되며, 미시적 관점에서 원자나 분자로 이루어진 것으로 정의할 수 있다(Lee *et al.*, 1993). 이러한 정의를 기준으로 할 때, 과학적 개념(SS1, SS2)을 바르게 나타낸 학생들은 수업 전 4.3%, 수업 후 10.8%에 불과했다.

물질에 대하여 학생들이 가지고 있는 오개념의 유형은 매우 다양하게 나타났는데 크게 7가지로 분류해 볼 수 있었다. 그 중 물질은 볼 수 있거나 만질 수 있다(M1)라는 오개념을 가지고 있는 학생들이 가장 많았는데, 이는 고등학교 2학년을 대상으로 한 고숙영(1994)의 연구에서 보고된 오개념 유형과 유사하다. 즉, 물질을 감각적 지각에 기초하여 정의하는 학생들의 비율이 두드러지게 높았다. 이를 거꾸로 해석해 보면, 원자나 분자 개념은 감각적으로 지각할 수 없기 때문에 학생들이 입자에 대해 학습 할 때 다른 개념들에 비해 더욱 어려움을 느낄 수 있다. 이와 같이 감각적 지각에 기초하여 물질을 설명하려고 했던 학생들 중에서 수업 전과 수업 후의 응답 내용이 동일한 학생들은 모두 71명이었다. 이는 전체 표집 대상의 27.3%에 해당하는 것으로 그 개념이 상당히 확고하다는 것을 보여준다. 71명의 학생 중에서 구체적 조작기에 해당하는 학생이 56.3%, 과도기에 해당하는 학생이 32.4%이며 형식적 조작기에 해당하는 학생이 11.3%로 나타났다. 전체 표집대상에서 각 수준의 학생이 41.2%, 35%, 23.8%였던 것과 비교하면 구체적 조작기에 있는 학생들일수록 과학용어나 현상을 감각적 지각에 의존하여 해석하는 경향이 높음을 확인할 수 있다. 즉, M1의 개념유형은 전체 인지 수준 분포보다 구체적 조작 수준에 더 많이 분포되어 있음을 알 수 있었다(그림 2).

그 외에 생명체는 물질이 아니다(M2)라고 생각하여 세포나 세균은 물질이 아니라고 분류하는 학생들도 있었다. 물질은 사람에게 유용한 것이고 비물질은 사람에게 불필요하거나 해로운 것이라는 인간 중심적인 개념(M4)을 가지고 있는 학생들도 있었으며, 존재하는 것은 모두 물질이다(M6)라고 생각하는 학생들도 있었다. 또한 물질과 비물질은 바르게 구분하지는 못하였으나 물질은 고유한 성질을 가지고 있다(M8)라고 정의하는 학생들도 있었다. 이는 8학년의 물질의 특성 단원에서 여러 가지 물질의 특성을 학습하고, 혼합물의 분리 단원에서 이러한 물질의 특성을 이용하여 혼합물들을 분리했던 선행학습을 통하여 형성된 개념이라고 생각된다.



[그림 2] 전체 학생들의 인지수준 분포와 M1 유형의 오개념을 갖고 있는 학생들의 인지수준 분포 비교

학생들의 응답 내용을 분석해 본 결과 학생들은 물질이라는 개념을 과학적으로 바르게 정의하지 못하는 상태에서 물질의 상태와 특성 그리고 구성과 변화 등을 학습하고 있었다. 그러므로 교사들은 물질과 관련된 단원의 수업을 계획할 때 미리 학생들이 물질의 정의에 대하여 생각해 볼 수 있는 기회를 마련해 주는 것이 필요하다고 본다.

또한 학생들의 응답 내용을 살펴보면 많은 학생들이 기체(문항 중에서는 공기)와 에너지 형태(문항 중에서는 빛과 열)를 물질과 비물질로 분류하는데 어려움을 겪고 있었다. 이는 많은 학생들이 열을 물질로 분류한다는 Nakhleh 등(2005)의 연구 결과와 비슷하다. 특히 수업 전 오개념을 가지고 있던 222명 중 161명(72.5%)과, 수업 후 오개념을 가지고 있던 174명 중 94명(54.0%)이 공기를 비물질로 분류하였다. 이는 학생들이 세상을 고체와 액체 그리고 기체와 에너지를 포함하는 여러 가지 다른 재료들의 구성으로 생각한다는 Lee 등(1993)의 연구결과와 유사하다. 학생들은 직접 그 존재를 감각적으로 느끼기 어려운 공기는 비물질로 생각하고 일상생활에서 그 존재를 감각할 수 있는 빛과 열은 물질로 생각하는 경향이 있었다. 이와 같은 오개념을 과학적 개념으로 전환시키기 위해서는 모형 및 정량적 실험을 통해 기체의 존재를 구체화할 필요가 있다.

### 3. 입자들의 배열에 대한 학생들의 개념

9학년 학생들은 물질의 구성 단원에서 입자론적 물질관을 학습하기 전에 7학년 물질의 세 가지 상태 단원을 통해 상태변화에 따른 입자배열을 학습하였다. 문항 2는 ‘물질이 입자로 이루어졌다.’는 내용을 학습할 학생들의 인지구조에 사전에 학습한 ‘상태에 따른 입자의 배열’에 대한 개념이 어떤 형태로 구성되어 있는지 알아보기 위한 것이다. 그래서 고체인 알루미늄의 한 부분을 확대하여 이를 구성하는 입자들의 분포를 그려보고 그렇게 그린 이유를 설명하도록 하였다. 학생들의 응답 내용과 그에 해당하는 대표적인 응답 그림, 해석, 응답 유형별 빈도수를 <표 3>에 정리하였다.

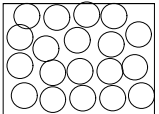
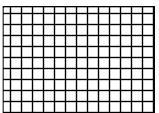
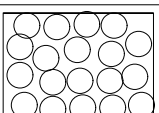
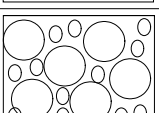


입자들의 배열에 대한 과학적인 개념을 가지고 일정한 모양의 입자를 질서 있게 그리고, 그 이유를 고체는 제자리에서 진동운동만 하기 때문에 입자의 간격이 좁고 규칙적이다(SS)라고 설명한 학생들은 수업 전에 60%, 수업 후에 60%로 나타났다.

수업 전 보다 수업 후에 무응답으로 분류된 학생들의 비율이 높게 나타난 이유는 입자의 배치는 과학적 개념을 갖고 있는 것처럼 그렸으나, 그 이유를 서술하지 못하고 ‘그냥’, 또는 ‘고체이기 때문에’라고 응답하여 무응답으로 분류된 학생들이 증가했기 때문이다. 이는 학생들이 수업을 통해 원자의 배치에 관한 그림은 많이 접했기 때문에 그림으로 표현할 수는 있으나, 그 의미는 제대로 내면화하지 못한 것으로 판단된다.

학생들이 가지고 있는 오개념의 유형은 크게 5가지(M1 ~ M5)로 분류할 수 있었다. 이 중에서 가장 높은 비율로 나타난 응답 내용은 입자 간에 빈 공간이 없이 뽁뽁하게 채워서 그린 것(M1)이었다. 이는 학생들이 자신이 이해하지 못하는 현상을 설명하기 위하여 새로운 화학체계를 만들어 낸다는



<표 3> 물질(알루미늄)을 구성하는 입자들의 배열에 대한 학생들의 응답 내용과 빈도수

분류	응답 그림	응답 내용의 예	응답 해석	응답자 수, 명(%)	
				수업 전	수업 후
SS		고체는 제자리에서 진동 운동만 하기 때문에 입자의 간격이 좁고 규칙적이다.	물질의 상태에 따른 입자의 배열을 바르게 이해하고 있다.	156 (60)	156 (60)
M1		입자와 입자사이에는 빈 공간이 없다.	자신이 이해하지 못하는 현상(진공의 존재)을 설명하기 위하여 새로운 화학체계를 만들어 내었다.	38 (14.6)	17 (6.5)
M2		고체는 추워서 입자들이 붙어있다.	비유와 은유를 잘못 이해하여 오개념이 형성되었다.	19 (7.3)	10 (3.8)
M3		알루미늄은 단단하지 않기 때문에 크기가 다른 입자들이 고루 섞여 빈틈을 만든다.	미시적 원자 세계와 거시적 물질의 성질을 구분하지 못하고 있다.	4 (1.5)	9 (3.5)
M4		알루미늄은 모양이 쉽게 변하기 때문에 알루미늄 입자는 잘 휘어지는 용수철과 비슷한 모양일 것이다.	입자적 개념이 없으며, 미시적 원자 세계와 거시적 물질의 성질을 구분하지 못하고 있다.	4 (1.5)	0 (0)
M5		구성 입자는 항상 2개가 한 쌍을 이룬다.	2원자성 분자와 원자를 구분하지 못한다.	0 (0)	4 (1.5)
기 타				2 (0.8)	5 (1.9)
무 응답				37 (14.2)	59 (22.7)
전 체				260	260

Andersson(1990)의 연구결과를 입증하는 것으로 학생들은 진공의 개념을 도입하지 않기 위해 입자 사이를 빈틈없이 뽁뽁하게 채워져 있는 입자로 그리거나 전체를 색칠하여 표현하고 있었다. 그렇게 그린 이유 중 ‘알루미늄 캔에 물을 넣으면 새지 않기 때문’이라고 응답한 학생들도 있었는데 이는 미시적 세계와 거시적 성질을 구분하지 못하고 있다는 의미로 해석된다.

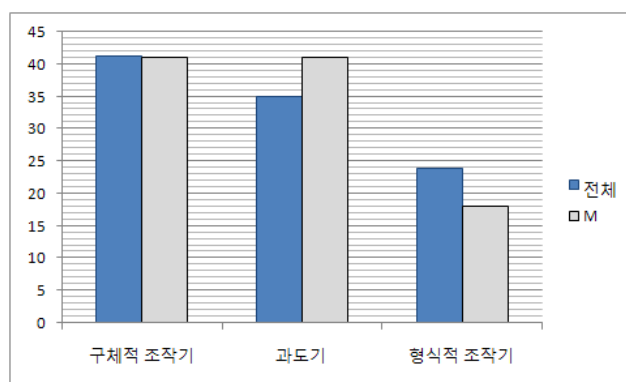
학생들의 응답 내용 중에는 알루미늄 입자의 배치는 과학적으로 그렸으나 그렇게 그린 이유를 비과학적으로 서술한 경우(M2)가 있었는데, 이러한 학생들의 비과학적인 서술 내용들을 살펴보면 알루미늄이라는 물질의 거시적 성질을 원자라는 미시적 세계에 그대로 적용한 것들이 많았다. ‘알루미늄은 무른 금속이기 때문에 입자 간에 빈 공간이 있다.’, ‘알루미늄은 잘 찢어지기 때문에 입자 간에 간격이 있다.’, ‘알루미늄 호일은 잘 구겨지기 때문에 입자가 흩어져 있다.’ 등이 비과학적인 서술의 대

표적인 예이다. 그 중에는 ‘추워서 입자들이 붙어있다.’라고 서술한 응답도 포함되어 있는데, 이는 7학년에서 상태변화와 에너지의 관계를 학습하는 과정에서 교사가 비과학적인 용어를 사용하였기 때문에 형성된 오개념이라고 추정된다. 이와 같이 학생들에게 오개념이 형성되는 원인 중에 하나가 교사의 수업이라는 것(Bodner, 1986; Nakhleh, Samarapungavan & Saglam, 2005)을 고려하여 교사의 수업의 계획에서 진행에 이르기까지 소재나 단어의 선택에 더욱 신중을 기해야 할 것이다.

그 외에 알루미늄 입자의 크기나 모양을 제각기 다른 모양으로 그린 학생들(M3)이 있었는데, 이 학생들은 알루미늄 입자를 정사각형, 직사각형, 육각형, 마름모 등을 혼용하여 표현하고 있었다. 그렇게 표현한 이유를 살펴보면 ‘알루미늄은 단단하지 않기 때문에 큰 입자 사이에 작은 입자가 끼어 있을 것이다.’, ‘알루미늄은 충격에 강하기 때문이다.’ 등으로 역시 미시적 세계와 거시적 세계를 혼동하고 있는 응답들이었다.

문항 2에서 거시적인 물질의 성질과 미시적인 입자의 세계를 구분하지 못하여 오개념을 형성하고 있는 학생(M1, M2, M3로 분류된 학생들 중 일부)은 수업 전 55명, 수업 후 23명이었고 수업 전과 수업 후의 응답 내용이 동일한 학생은 17명이었다. 그러므로 수업 전이나 후에 거시적 세계와 미시적 세계를 구분하는데 어려움을 겪었던 학생은 61명(23.5%)이다. 이 학생들의 인지 수준 분포를 살펴보면 구체적 조작기는 41.0%, 과도기는 41.0%, 형식적 조작기는 18.0%이었다. 연구대상 전체의 인지 수준 분포와 수업 전이나 후에 거시적 물질의 성질과 미시적 입자의 세계를 구분하지 못했던 학생들(M)의 인지 수준 분포를 비교하면([그림 3]) 구체적 조작기 학생들의 비율은 거의 비슷하나, 과도기 학생들의 비율이 높음을 알 수 있다. 형식적 조작기 학생들의 경우 거시적 세계와 미시적 세계를 혼동하는 경우가 비교적 적었다. 그러나 연구대상 전체의 인지 수준 분포에서 과반수 이상이 구체적 조작기와 과도기에 속한다는 것을 고려한다면 학습목표가 미시적 세계를 다루는 것일지라도 교사는 학생들에게 거시적 물질의 성질과 미시적 입자의 세계가 다름을 설명할 필요가 있다.

특이한 것은 수업 후에 사라지거나 새로 형성된 오개념들인데, 원자를 입자적 개념 없이 나선이나



[그림 3] 전체 학생들의 인지수준 분포와 거시적 세계와 미시적 세계를 구분하지 못하는 학생들의 인지수준 분포

큰 덩어리로 표현했던 응답(M4)은 수업 후에 사라졌지만 구성 입자는 2개가 한 쌍이다(M5)라는 오개념은 수업 후에 새롭게 나타났다. 수업 후에 새로운 오개념을 나타낸 1.5%의 학생들은 모두 수업 전에 각기 다른 유형의 오개념을 갖고 있던 학생들이었는데 수업을 통해 새로 배우게 된 수소, 산소, 질소 등과 같은 2원자 분자와 원자를 혼동하면서 이러한 오개념을 형성하게 된 것 같다. 이를 통하여 교사는 용어를 처음 도입할 때 신중을 기해야하며, 이전에 학습한 내용들과 확실하게 변별할 수 있는 기회를 학생들에게 충분히 제공하지 않는다면 수업을 통해서 새로운 오개념이 형성될 수 있다는 것을 알 수 있다.

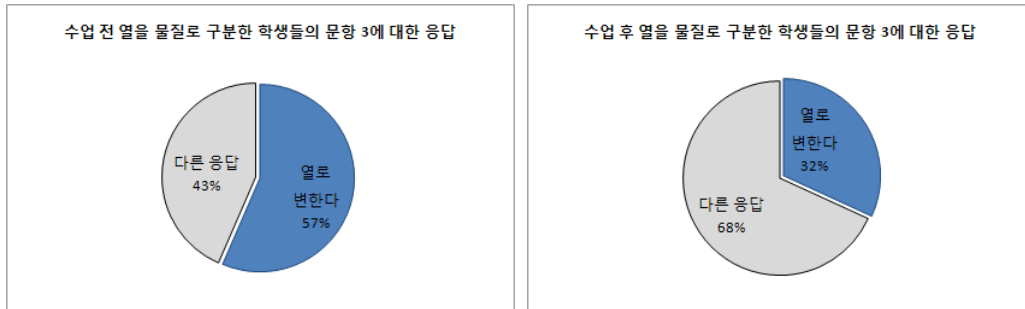
#### 4. 연소 시 입자에 대한 학생들의 개념

물질의 구성을 입자론적 물질관을 통해 화학식으로 나타내기 위해서는 ‘입자의 보존’이라는 개념이 필요하다. 그래서 문항 3에서는 프로판 가스가 연소될 때 프로판 가스를 구성하고 있던 입자는 어떻게 되는지를 물어 입자의 보존에 대한 학생들의 생각을 살펴보았다. 그 결과는 <표 4>와 같다.

프로판 가스가 연소하면 구성입자의 재배열이 일어나 프로판 가스의 구성입자가 산소와 결합하여 다른 물질을 구성한다(SS)는 과학적 개념을 갖고 있는 학생들의 비율은 수업 전 20.8%에서 수업 후 46.2%로 증가하였다. 특히 수업 전 과학적 개념을 갖고 있던 학생들의 응답 내용은 단순히 ‘구성입자는 없어지지 않을 것 같다.’와 같이 모호한 응답이 다수였던 것에 반해, 수업 후의 응답 내용은 ‘원자는 없어지거나 새로 생기지 않는다.’, ‘원자는 화학변화가 일어나도 보존된다.’, ‘프로판 가스를 이루는 원자가 산소와 결합하여 재배열된다.’ 등 정교성이 높은 응답들이 많았다.

<표 4> 연소 시 물질을 구성하는 입자에 대한 학생들의 응답 내용과 빈도수

분류	응답 내용	응답 해석	응답자 수, 명(%)	
			수업 전	수업 후
SS	구성입자는 연소 시 재배열되어 다른 물질을 구성한다.	화학변화가 일어나더라도 원자는 보존되며 재배열될 뿐이라는 것을 바르게 이해하고 있다.	54 (20.8)	120 (46.2)
M1	구성입자는 연소되어 열로 변한다.	연소 반응 시 열이 발생한다는 현상에 초점을 맞추고, 열을 하나의 물질로 보는 열소설(Phlogiston)과 같은 개념을 가지고 있다.	93 (35.8)	43 (16.5)
M2	구성입자는 연소되어 다른 입자로 변한다.	화학변화가 일어날 때 원자가 보존된다는 것을 이해하지 못하고 있다.	41 (15.8)	23 (8.8)
M3	구성입자는 연소되어 없어진다.	프로판 가스가 연소되고 나면 가스통이 비는 일상생활에서의 경험을 통해 비과학적인 개념이 형성되어있다.	34 (13.1)	31 (11.9)
무응답			38 (14.6)	43 (16.5)
전체			260	260



[그림 4] 문항 1에서 열을 물질로 분류했던 학생들의 문항 3에 대한 응답

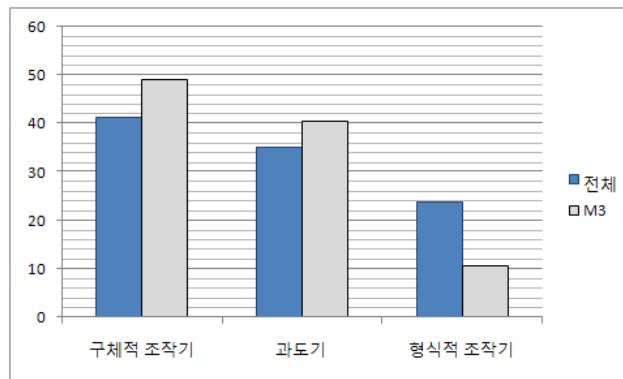
그러나 수업 후에도 많은 학생들이 연소 시 구성입자에 대한 오개념을 버리지 않았는데, 그 중에서도 구성입자는 연소되어 열로 변한다(M1)는 생각이 가장 높은 비율을 차지하여 고등학교 2학년을 대상으로 했던 고숙영(1994)의 연구결과와 비슷하였다. 이렇게 응답한 학생들은 반응물이 생성물로 변하면서 열을 방출하는 경우, 열을 생성물로 취급하여 반응물이 열로 변화했다고 생각했다. 이러한 결과는 문항 1에서 에너지 형태(빛과 열)를 물질로 분류했던 것과 관련이 있는 것으로 추리해 볼 수 있다. 에너지 형태를 물질로 생각한 학생들에게는 연소반응이 일어날 때 구성입자가 열로 변한다는 생각이 자연스러울 수 있다. 그래서 문항 1에서 열을 물질로 분류했던 학생들이 문항 3에 어떻게 응답하였는지 분석해 보았다. 그 결과는 [그림 4]와 같다.

[그림 4]에서 보는 것과 같이 수업 전 열을 물질로 분류했던 46명의 학생들 중 26명(57%)과 수업 후 열을 물질로 분류했던 44명의 학생들 중 14명(32%)이 구성입자가 열로 변한다고 생각했다. 이 결과를 해석해 보면, 18C초 주장된 열소설(Phlogiston)과 같은 개념을 가지고 있는 학생들이 있으며, 학생들의 이러한 생각은 입자의 보존에 대해 학습하는데 장애가 될 수도 있음을 알 수 있다. 이와 관련 된 교과서의 서술내용들을 살펴보면 화학반응이 일어날 때 원자가 재배열된다는 측면은 강조하는 반면 출입하는 열의 원천에 대해서는 매우 간략하게 언급하고 있다. 이것도 학생들이 비과학적인 개념을 형성하는 원인이 될 수 있다. 그러므로 교사는 원자설과 같은 입자설을 수업내용으로 도입하기 전에 물질과 비물질을 구분하는 기준을 먼저 제시해야 하며, 일상적인 수업상황에서 열을 물질과 같이 표현하는 것에 스스로 주의를 기울여야 할 것이다.

수업을 통해서 그 응답 비율이 상당히 낮아진 학생들의 오개념은 구성입자가 연소되어 다른 입자로 변한다(M2)는 것이었다. 이는 교과서에 원자는 새로 생기거나 없어지지 않는다는 돌턴의 원자설이 명확히 서술되어 있기 때문에 교과서 중심의 강의식 수업을 받은 학생들은 수업 후에 입자가 변한다는 응답을 기피하게 된 것으로 해석된다. 구성입자가 연소되어 다른 입자로 변한다고 응답한 학생들이 그렇게 응답한 이유를 살펴보면 ‘열로 인해 입자가 변질된다.’, ‘가열하면 변형된다.’, ‘입자가 변해서 인체에 해로운 오염물질로 바뀐다.’, ‘입자가 변해서 성질이 다른 물질이 생긴다.’, ‘기화했기 때문이다.’ 등이었다. 학생들은 원자설이나 입자설을 학습하기 전에 이전의 일상생활에서 가열로 인해

음식물이 상하거나, 물체의 형태가 변형되는 것을 경험하였거나, 연소를 통해서 오염물질이 생성되는 것을 관찰했던 경험을 가지고 있기 때문에 이러한 오개념이 형성된 것 같다. 또한 ‘가열하면 액체가 기체로 상태변화하면서 성질이 변하기 때문에 다른 물질이 된다.’고 응답한 학생들도 있었는데, 이는 물질의 상태변화를 물리적인 변화라고 생각하지 않고 화학적인 변화라고 생각하기 때문이다. 이와 같이 상태변화로 물질 자체가 변한다는 오개념을 과학적 개념으로 전환시키기 위해서는 모형과 탐구 실험을 이용할 수 있을 것이다. 간단한 입자 모형을 이용하여 물질의 상태를 표현하고, 물질의 상태에 따른 입자 배열의 차이를 비교하도록 하는 것이다. 또한 미시적인 수준에서 이해를 돕기 위해 ‘나만의 초콜릿 만들기’와 같은 탐구 실험(교육인적자원부·서울대학교 과학교육 연구소, 2003)을 학년 수준에 맞추어 재설계한 후 사용할 수 있다. 이렇게 특정 수업 처치를 통해서 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 전환시킬 수도 있지만 해당 단원의 수업을 설계하기 이전에 교사가 학생들의 이러한 오개념을 미리 파악하고 있었다면 동일 학년의 단원 제시 순서를 조정함으로써 특별한 수업 처리 없이도 학생들의 개념 전환을 유도할 수 있을 것이다. 9학년의 과학과 교육 과정 중 물질 변화에서의 규칙성 단원은 물질의 구성 단원과 관련이 깊은 단원이다. 이 단원의 학습내용 중에는 ‘대표적인 화학반응 실험을 통하여 반응 물질과 생성 물질을 알아보고, 이를 분자 모형으로 나타내어 확산, 증발, 용해, 상태변화 등의 물리 변화와 차이를 안다.’가 포함되어 있다(교육부, 1998). 물질의 구성 단원의 입자설이나 원자설을 학습할 때 학생들이 물리 변화와 화학 변화를 변별하지 못하여 원자가 보존된다는 내용을 학습하는데 방해받을 수 있다면 이를 구분하는 것이 물질 변화에서의 규칙성 단원의 내용일지라도 그 학습 내용의 일부분을 교사의 재량으로 물질의 구성 단원의 도입에 배치하여 수업을 설계할 수 있을 것이다. 이와 같이 유연한 수업운영은 제한된 수업시수 내에서 학생들에게 과학적 개념을 효과적으로 형성시킬 수 있는 방안이 될 것이다. 수업 후에 M2의 오개념을 나타낸 학생들의 응답 내용 중 수업 전에는 없었으나 수업 후에 새롭게 등장한 것이 있었는데, ‘원자는 사라지거나 없어지지 않기 때문에 변한다.’는 응답이 그것이다. 원자설을 학습하면서 원자는 새로 생성되거나 사라지지 않는다는 내용을 수업시간에 여러 번 들었으나 말 그대로 들었을 뿐 그 내용을 정확히 이해하지 못하였거나 확실히 내면화하지 못했기 때문에 형성된 새로운 오개념으로 해석된다. 이러한 오개념이 형성되는 것을 막기 위해서는 단원 후반부에 원자 모형을 이용하여 간단한 화합물을 나타내는 활동에서 각 원자마다 각기 정해져 있는 특정 모양이나 특정 색상의 모형을 이용할 것을 강조해야 하며, 도중에 이들이 서로 바뀌면 안 된다는 것을 설명하면서 원자는 생성되거나 없어지지 않을 뿐만 아니라 보통 상황에서는 다른 원자로 변하지도 않는다는 것을 인지할 수 있도록 도와야 할 것이다.

수업 전과 후에 응답 비율에 거의 변화가 없는 것은 구성입자는 연소되어 없어진다(M3)였다. 그렇게 응답한 이유를 살펴보면 ‘가스는 쓰고 나면 없어지기 때문이다.’, ‘찌꺼기가 남지 않기 때문이다.’, ‘연료로 사용했으니까 역할을 다 하고 타서 없어진다.’, ‘가스는 날아가기 때문에 위로 올라가서 없어진다.’, ‘에너지를 내고 분자는 없어진다.’ 등이었다. 기화하여 기체가 되면 눈에 보이지 않고, 부탄가스가 다 타고나면 부탄가스 통이 비는 것으로 보아 가스는 쓰고 나면 없어지는 것 같다는 직관적인



[그림 5] 전체 학생들의 인지수준 분포와 M3 유형의 오개념을 갖고 있는 학생들의 인지수준 분포 비교

사고는 감각기관에만 의존하여 세상을 관찰하고 판단하려고 하는 학생들의 구체적 조작기 수준의 사고를 나타내는 것으로 해석된다. 그래서 수업 전과 수업 후에 M3의 오개념을 나타낸 학생들의 인지 수준 분포를 조사해 보았다. M3 유형의 오개념을 나타낸 학생은 수업 전 34명, 수업 후 31명이었고, 수업 전과 수업 후의 응답 내용이 동일한 학생은 8명이었다. 그러므로 수업 전이나 후에 M3의 오개념을 가지고 있었던 학생은 모두 57명(21.9%)이다. 이 학생들의 인지 수준의 분포를 살펴보면 구체적 조작기에 해당하는 학생이 49.1%, 과도기에 해당하는 학생이 40.4%, 형식적 조작기에 해당하는 학생이 10.5%이었다. 연구대상 전체의 인지 수준 분포와 수업 전이나 후에 M3의 개념유형을 가지고 있는 학생들의 인지 수준 분포를 비교하면([그림 5]), 구체적 조작기와 과도기 학생들의 비율이 높고 형식적 조작기 학생들의 비율이 눈에 띄게 적음을 알 수 있다. 형식적 조작기 학생들의 경우 거시적 세계와 미시적 세계를 혼동하는 경우가 비교적 적었다. 앞에서 언급했던 것과 같이 구체적 조작기와 과도기의 학생들이일수록 일상생활에서 관찰된 현상을 바탕으로 사고하려는 경향이 높음을 확인할 수 있다.

## 5. 수소와 산소의 입자 모형에 대한 학생들의 개념









문항 4는 입자 모형에 대한 학생들의 개념을 알아보기 위하여 물 분자 모형을 제시하고 이를 전기 분해하여 얻은 수소 분자와 산소 분자의 모형을 보기 중에서 고르고, 그렇게 생각한 이유를 설명하도록 하였다. 9학년 학생들은 7학년 물질의 세 가지 상태 단원에서 입자 모형을 이용하여 물질의 상태를 표현해 보았고, 상태 변화와 에너지 단원에서 모형을 이용하여 물질의 상태변화 과정을 분자 운동과 관련지어 보았을 것이다. 그러므로 물 분자를 수소 원자와 산소 원자를 나타내는 구로 연결하여 표현한 분자 모형이 학생들에게 낯설지만은 않을 것이다. 그러나 물질을 구성하는 입자로서 두 개 이상의 원자가 일정한 조성으로 결합되어 있는 분자(Oxtoby, Nachtrieb & Freeman, 1997)를 모형으로 표현하는 것은 9학년 물질의 구성 단원을 통해 처음 접하게 되므로 수업 전 학생들의 개념은

사전 개념이라기보다 무개념에 가까울 것이다. 그러나 수업 후 학생들의 개념유형은 수업을 통해 분자 모형에 대한 개념이 어떻게 형성될 수 있는지를 보여주는 좋은 자료가 될 것이다. 문항 4에 대한 학생들의 응답 내용과 해석은 <표 5>에 요약하였다.

예상대로 수소와 산소 분자에 대한 과학적 개념(SS)을 가지고 수소 원자 2개가 수소 1분자, 산소 원자 2개가 산소 1분자를 이루는 모형을 선택한 학생은 수업 전 6.9% 밖에 되지 않았다. 수업 후에 과학적 개념을 갖는 학생들이 22.3%로 증가하기는 하였으나 그 비율이 그리 높지는 않았다.

학생들이 가지고 있는 오개념 중 가장 높은 비율을 차지하는 것은 수소 원자 2개가 수소 1분자, 산소 원자 1개가 산소 1분자를 이루는 모형(M1)이었다. 이는 고숙영(1994)의 연구에서도 가장 높은 비율로 나타났던 학생들의 오개념 유형이었다. <표 5>에서 그 비율의 변화를 살펴보면 수업을 받은 이후에 이러한 오개념이 더 높은 비율로 나타남을 알 수 있다. 학생들의 응답 내용을 분석해 본 결과 많은 학생들이 분자 모형이 의미하는 바를 제대로 파악하지 못한 채, 원자는 생성되거나 소멸되지 않고 쪼개지지 않는다는 돌턴의 원자설을 단순히 적용하는 것으로 나타났다. 분자 모형의 의미를 제대로 파악하지 못한다는 것은 아직 분자 개념이 확립되지 않았음을 의미한다. 같은 모형(M1)을 선택한 학생들의 또 다른 이유에는 ‘처음의 양이 보존되어야 한다.’, ‘고유의 개수는 유지되어야 한다.’, ‘크기와 개수는 변하지 않는다.’ 등 질량 보존의 법칙과 원자론이 뒤섞여 있는 응답들도 있었다. 이는 물질의 구성 단위의 앞부분에서 배운 선행 학습의 내용들이 분자라는 개념의 후행 학습에 부정적인 영향을 끼쳤던 것으로 해석된다. 그러므로 교사는 이러한 부정적인 전이를 최소화하기 위해서 정확한 용어 사용에 각별히 유의해야 하고 개념들 간의 변별학습에도 비중을 두어야 한다.

<표 5> 수소와 산소의 입자 모형에 대한 학생들의 응답 내용과 빈도수

분류	응답 그림		응답 내용의 예	응답 해석	응답자 수, 명(%)	
	수소	산소			수업 전	수업 후
SS			수소 1분자는 수소 원자 2개, 산소 1분자는 산소 원자 2개가 결합하여 형성된다.	원자와 분자의 개념을 정확히 이해하고 있다.	12 ( 6.9)	58 (22.3)
M1			원자는 새로 생겨나거나 없어지지 않고 보존된다.	분자 모형의 의미와 분자의 개념을 제대로 파악하지 못한 채, 돌턴의 원자설을 단순히 적용하고 있다.	158 (60.8)	168 (64.6)
M2			원자는 쪼개지지 않는다.		35 (13.5)	6 ( 2.3)
M3			모형에 있는 전체 개수대로 나누어져야 한다.	질량보존의 법칙과 원자론이 뒤섞여있는 분자 개념을 가지고 있다.	27 (10.4)	12 ( 4.6)
기 타					0	6 ( 2.3)
무 응 답					22 ( 8.5)	10 ( 3.8)
전 체					260	260

또한 이러한 부정적 전이의 원인은 교과서의 서술 내용에서도 찾아볼 수 있다. 검·인정된 9종의 과학3 교과서의 내용을 살펴보면 돌턴의 원자설은 모두 한 소단원의 분량을 할애하고, 삽화 등을 이용하여 자세하게 서술하고 있다. 이에 반해, 아보가드로의 분자설은 기체 반응의 법칙과 함께 한 소단원으로 묶여 있거나(김찬중 외, 2003; 박봉상 외, 2004; 소현수 외, 2004; 이광만 외, 2003; 이성묵 외, 2003; 정완호 외, 2004), 화학식이나(김정률 외, 2003) 분자 모형(강만식 외, 2003)과 함께 짝막하게 소개되고 있다. 그 중 한 종의 교과서(최돈형 외, 2003)만이 원자설과 분자설을 비교하여 보다 자세하게 서술하고 있다. 물론 이러한 교과서의 서술내용은 원자 간 결합을 설명하지 않고 분자 개념을 소개해야 하는 교육과정 상의 문제점이라고도 할 수 있다. 이러한 문제점 때문에 분자 개념을 정의하는데도 많은 제약이 따르는 것 같다. 엄밀히 정의하면 몇 개의 원자가 결합하여 생성된 새로운 입자는 화합물이며, 이는 원자들의 결합 방법에 따라 이온 결합에 의해 생성된 이온 화합물과 공유 결합에 의해 생성된 분자로 분류할 수 있다. 그러나 이러한 원자들 간의 결합에 대한 내용을 학습하지 않은 9학년에게 분자의 정의를 공유 결합에 의해 생성된 화합물이라고 소개할 수는 없는 노릇이다. 이 때문에 현행 교과서에서는 분자를 몇 개의 원자가 결합하여 생성된 새로운 기본 입자로서 물질의 성질을 나타내는 가장 작은 입자라고 정의하고 있다. 다행히도 2007년 개정 과학과 교육과정에서는 8학년에 여러 가지 화합물이라는 단원을 신설하여 원자와 이온 개념을 도입하고, 이온 결합과 공유 결합에 의해 화합물을 설명하고 있다. 개정 교육과정으로 학습할 학생들은 원자와 분자를 보다 더 잘 변별하고 이 두 개념을 혼동하는 경우가 줄어들 것으로 기대해 본다.

수업 후 M2와 M3 유형의 오개념은 많이 감소하는 것으로 나타났다. 수업 후에도 M2를 선택한 학생들의 응답 내용을 살펴보면 ‘수소 분자가 1개의 원자로 되어 있으므로 산소 분자도 1개의 원자로 되어있다.’, ‘원자는 나누어질 수 없다.’ 등이 대부분이었다. M3를 선택한 학생들의 이유에는 ‘모형에 있는 전체 개수대로 나누어져야 한다.’, ‘물이 전기 분해 되었으므로 산소도 반으로 쪼개져야 한다.’ 등이 있었다. 이러한 응답들도 M1을 선택한 학생들과 마찬가지로 원자와 분자를 혼동하고 있거나 분해라는 단어를 정확히 이해하지 못하고 있기 때문에 나타나는 것으로 해석된다.

이와 같이 원자와 분자를 변별하지 못하여 형성된 학생들의 오개념은 기타 의견에서도 여실히 드러났는데, 제시된 모형을 선택하지 않고 보기 중에는 답이 없다고 답한 학생들(기타)이 수업 전에는 없었으나 수업 후에는 2.3%로 나타났다. 이렇게 응답한 학생들이 그렇게 생각한 이유를 살펴보면 ‘분자는 쪼개지지 않는다.’, ‘분자는 생성되거나 소멸되지 않는다.’, ‘분자는 보존된다.’ 등의 표현을 사용하고 있었다. 이를 보면 이 학생들 역시 분자와 원자를 구분하지 못하고 있음을 알 수 있다. 앞에서 언급했던 바와 같이 교사는 수업을 통해서 원자나 분자의 개념만을 가르칠 것이 아니라 개념들 간의 부정적인 간섭이 일어나지 않도록 지속적으로 변별학습의 기회를 계획하고 제공해야 할 것이다.



#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 현장 교사들의 효과적인 수업전략 개발에 실질적인 도움을 주고자 현행 교육과정에 있는 9학년 학생들을 대상으로 중학교 과학3 물질의 구성 단원과 관련된 학생들의 개념유형을 조사하고 분석하였다. 또한 학생들의 오개념 유형들을 살펴보고 이러한 오개념이 형성된 원인에 대해서 분석하였다.

첫째, 많은 학생들이 물질과 비물질을 제대로 분류하지 못하고 있었다. 공기와 같이 감각기관을 통해 지각할 수 없는 것은 비물질로 분류하고, 빛이나 열과 같이 그 존재를 느낄 수 있는 것은 물질로 분류하는 경우가 많았다. 둘째, 학생들은 고체에서 원자의 배열을 그럴 때 진공의 개념을 도입하지 않기 위해 입자 사이를 빈틈없이 뽁뽁하게 채워져 있는 모습으로 표현하거나, 물질의 거시적 성질을 원자라는 미시적 세계에 그대로 적용하여 사고하는 경향을 나타내었다. 셋째, 학생들은 연소와 같은 화학변화가 일어날 때 반응물을 구성하고 있던 원자들이 열로 변하거나, 없어지거나, 다른 원자로 변한다는 비과학적 개념을 갖고 있었다. 돌턴의 원자설을 학습한 후 원자는 소멸되거나 생성되지 않고 재배열되어 다른 분자를 구성한다는 과학적 개념으로 개념 전환을 한 학생들도 있었으나 여전히 적지 않은 학생들이 자신의 비과학적 개념을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 그 원인은 열과 같은 에너지를 물질이라고 생각하거나, 물질의 상태변화를 화학변화라고 생각하는 데 있는 것으로 분석되었다. 넷째, 분자 모형에 대한 학생들의 응답 내용을 통해 학생들은 분자에 대해 비과학적 개념을 형성하고 있다는 것을 알 수 있었다. 학생들은 분자 모형이 의미하는 바를 제대로 파악하지 못한 채, 분자라는 개념을 설명할 때 ‘돌턴의 원자설’을 그대로 적용하는 경향을 나타내었다.

결론적으로 많은 학생들은 물질과 비물질을 구분하거나, 물질을 구성하는 입자들의 배열을 그려보거나, 연소 시 입자의 상태에 대하여 설명할 때 주로 감각기관을 통한 지각에 의존하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 구체적 조작기의 학생들에게서 더 높게 관찰되었다. 물질의 거시적 성질을 입자라는 미시적 세계에 그대로 적용하여 사고하는 경향도 이와 같은 맥락이라고 생각할 수 있다. 그리고 단위 전반부에서 학습했던 원자 개념은 후반부에서 학습한 분자 개념에 부정적인 영향을 미치기도 했다. 학생들의 개념유형의 빈도수를 수업 전·후로 비교해 볼 때 학생들의 오개념은 수업 후에도 계속 남아있었다. 이러한 결과는 학생들의 오개념은 쉽게 전환되지 않는다는 것을 의미한다. 그러므로 수업을 계획하고 진행할 때 교사는 반드시 학습내용과 관련된 학생들의 사전 개념 유형을 파악해야 한다. 교사들이 수업을 설계할 때 본 연구에서 밝혀진 학생들의 관련개념의 내용과 수업을 통한 그 변화 양상을 충분히 고려한다면 보다 효과적인 교수-학습 전략을 세울 수 있을 것이며, 수업을 통해 새로운 오개념이 형성되는 것을 최소화할 수 있을 것이다. 더 나아가 다양한 학년의 여러 단원들에 관련된 학생들의 개념 유형이 조사되고 분석된다면 현장 교사들의 효과적인 수업 준비에 많은 도움이 될 것이다.

## ■ 참고문헌

- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 박은호, 이창진, 김일회, 장병기, 정병훈, 윤 용, 이태욱, 한천옥(2003). **중학교 과학 3**. 서울: (주) 교학사.
- 강순희(2002). **과학 교수 전략에서 학생의 인지 수준과 교과 내용의 인지 요구 수준**, 이화교육총서. 서울: 이화여자대학교 사범대학.
- 고숙영(1994). **학생들의 학습 접근방식과 개념의 이해도와의 관계성 연구**. 석사학위논문. 서울대학교.
- 고재걸, 이경희(1996). 논리적 사고 수준에 따른 전류 개념에 대한 직관적 관념 분석. **물리교육**, 10(2), 106-113.
- 교육부(1998). **과학과 교육 과정 [별책 9]**. 서울: 대한 교과서 주식회사.
- 교육부(1999). **중학교 교육 과정 해설(III)-수학, 과학, 기술·가정-**. 서울: 대한 교과서 주식회사.
- 교육인적자원부·서울대 과학교육 연구소(2003). **중학교 1학년 과학 '물질의 세 가지 상태' 탐구 수업 지도 자료**. 서울: (주)서울 멀티넷.
- 김정률, 고현덕, 김재현, 김남일, 임용우, 동효관, 김선주, 남천주, 김영순, 이준용(2003). **중학교 과학 3**. 서울: (주)블랙박스.
- 김찬중, 박시진, 조현수, 김희백, 정진문, 양재철, 현종오, 한송희, 최후남, 오차환, 장홍식, 홍경희(2003). **중학교 과학 3**. 서울: (주)도서출판 디딤돌.
- 박봉상, 김운우, 홍달식, 박문수, 정대영, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 최병수, 진만식(2004). **중학교 과학 3**. 서울: (주)동화사.
- 서울대학교 물리학습연구실(1991). **학생의 물리 개념**. 서울: 서울대학교 사범대학.
- 소현수, 안태인, 최승언, 박진식, 목창수, 김종권, 김득호, 구수길, 박완규, 김완섭, 김영산, 이미하(2004). **중학교 과학 3**. 서울: (주)두산.
- 송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, 박종원(2007). **학생의 물리 오개념 지도**. 서울: (주) 북스힐.
- 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방태철, 이기성, 안태근, 정상운, 복완근, 정익현, 박정일, 박명훈, 이천기, 송양호, 박지극, 정수도, 김경수(2003). **중학교 과학 3**. 서울: (주)지학사.
- 이성묵, 채광표, 김기대, 김영수, 김윤택, 이세영, 이문원, 권석민, 손영운, 노태희, 정지오, 서인호(2003). **중학교 과학 3**. 서울: (주)금성출판사.
- 이화여자대학교 화학교재연구실(2001). **중등학교 학생들의 화학 관련 오개념 모음집**. 서울: 이화여자대학교.
- 이화여자대학교 화학교재연구실(2009). **화학관련 오개념 모음집**. 서울: 이화여자대학교.
- 정완호, 권재술, 김범기, 김성하, 백성혜, 우종옥, 이봉호, 이석형, 정진우, 최병순(2004). **중학교 과학 3**. 서울: (주)교학사.
- 조희형(1994). **잘못 알기 쉬운 과학 개념**. 서울: 전파과학사.

- 조희형, 최경희(2002). 구성주의와 과학교육. *한국과학교육학회지*, 22(4), 820-836.
- 조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영(2009). *과학교육의 이론과 실제*. 서울: 교육과학사.
- 최돈형, 김동영, 김봉래, 김재영, 노석구, 신영준, 이기영, 이대현, 이면우, 이명제, 이상인, 전영석(2003). *중학교 과학 3*. 서울: 도서출판 대일도서.
- 최병순, 김범기, 김효남, 우종옥, 정완호, 정진우, 김대식, 이화국, 강순희, 허 명(1993). *과학 오개념의 한·영(韓·英) 비교연구 : 한국학술진흥재단 학술연구보고서*. 충북: 한국교원대학교.
- 한국교원대학교 물리교육연구실(1993). *역학편-과학 오개념 편람*. 충북: 한국교원대학교.
- 한국교원대학교 물리교육연구실(1998). *전기에 관한 학생들의 개념*. 충북: 한국교원대학교.
- 한국교원대학교 화학교육연구실(1998). *화학 오인 모음집*. 충북: 한국교원대학교.
- Andersson, B.(1990). Pupil's conceptions of matter and its transformations, *Studies in Science Education*, 18, 53-85.
- Appleton, K.(1997). Analysis and description of students' learning during science classes using a constructivist-based model, *Journal of Research in Science Teaching*, 34(3), 303-318.
- Bodner, G. M.(1986). Constructivism: A theory of knowledge, *Journal of Chemical Education*, 63(10), 873-878.
- Chiappetta, E. L. & Koballa, T. R.(2006). *Science instruction in the middle and secondary school: developing fundamental knowledge and skills for teaching, 6th ed*. Upper saddle River, New Jersey: Pearson/Merrill Prentice Hall.
- Fosnot, C. T.(ed.)(1996). *Constructivism: Theory, perspectives, and practice*. New York: Teachers College Press.
- Gabel, D. L.(ed.)(1993). *Handbook of research teaching and learning*. 177-210, 301-326. New York: Macmillan Publishing Company.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blakeslee, T. D.(1993). Changing Middle School Students' Conceptions of Matter and Molecules, *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249-270.
- Lorsbach, A. & Tobin, K.(2002). Constructivism as referent for science teaching. Home Page: <http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/research/constructivism.html>.
- Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A. & Saglam, Y.(2005). Middle School Students' Beliefs About Matter, *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 581-612.
- Osborne, J. F.(1996). Beyond constructivism, *Science Education*, 80(1), 53-82.
- Oxtoby, Nachtrieb & Freeman.(1997). *일반화학(일반화학교재편찬위원회역)*. 서울: 청문각.(원서 1994년 출판)
- Shayer, M. & Adey, D.(1981). *Towards a science of science teaching: Cognitive*

*Development and Curriculum Demand*. London: Heinemann Educational Book.  
von Glasersfeld, E.(1996). Introduction: Aspects of constructivism. In C. T. Fosnot(ed.),  
*Constructivism: Theory, perspectives, and practice*. New York: Teachers College Press.

K C I

## Abstract

# **An Analysis of Students' Conceptions on the Chapter "Construction of Matter" in the 3rd Grade Middle School Science Textbook**

Park, Insuk (Doctoral Student, Ewha Womans University)

Kang, Soonhee (Professor, Ewha Womans University)

In this study, the patterns and features of pupils' conceptions are analyzed by focusing on the chapter "Construction of Matter" in the 3rd-grade science textbook of middle school.

Pupils have developed a misconception of a scientific thesis from the chapter, which is further embodied in their daily lives. Only a few pupils can distinguish the material from immateriality. Mostly, they define the word "matter" with the five senses. They sketch the arrangement of particles in matter as they see it in the textbook without understanding how it works. Some of them apply macroscopic properties to microscopic objects such as an atom. They have the misconception that atoms in a reagent or reactant have come out or have been changed into other forms by heat when they are burned. The pupils even explain molecules with "Dalton's atomic theory," without understanding what a molecular model is.

In conclusion, many middle school pupils have misconceptions of material, atoms, chemical changes, and molecules, which are fundamental conceptions in studying "Construction of Matter." That is why teachers have to consider the pupils' conceptions from this study before setting up teaching strategies. Teachers should develop appropriate instruction based on this result, and study it more to prove its effectiveness. Furthermore, they should analyze the patterns and features of their pupils' conceptions in various grades and chapters when they plan and design a lesson.

Key words: Pupils' conceptions about the construction of matter, misconceptions about matter, misconceptions about arrangement of particles, misconceptions about the relocation of atoms, misconception of the molecular model

## 〈부 록〉

이 문항지는 9학년 과학 중에서 '물질의 구성' 단원과 관련된 여러분의 생각을 알아보고자 하는 것입니다. 주어진 문제에 대하여 충분히 생각하셔서 답해 주시고, 그렇게 생각한 이유에 대하여 구체적으로 설명해 주시기 바랍니다.

학년      반      이름 :

성별:(남, 여)

문항 1) 다음 보기에서 물질과 물질이 아닌 것(비물질)을 찾아 쓰고, 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.

보기 : 흙, 물, 공기, 소금, 빛, 열, 세포, 먼지, 세균

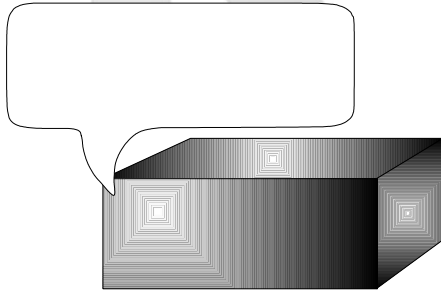
물 질 : \_\_\_\_\_

비물질 : \_\_\_\_\_

이렇게 생각한 이유는?

\_\_\_\_\_

문항 2) 다음 빈 칸은 고체 알루미늄의 한 부분을 확대한 것이다. 알루미늄 입자(원자)가 어떻게 배열되어 있을지 그리시오.



이렇게 그린 이유는?

\_\_\_\_\_

문항 3) 우리가 연료로 사용하는 LPG는 프로판 가스(분자)가 액화된 것이다. 프로판 가스를 태웠을 때 프로판 가스(분자)를 구성하고 있던 입자(원자)들은 어떻게 될까?

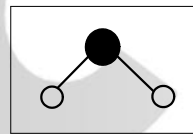
프로판 가스(분자)를 구성하고 있던 입자(원자)는

- ① 연소되어 없어진다.
- ② 연소되어 열로 변한다.
- ③ 연소되어 다른 입자(원자)로 변한다.
- ④ 연소 시 재배열되어 다른 물질을 구성한다.

이렇게 생각한 이유는?

\_\_\_\_\_

문항 4) 물 분자 한 개는 아래 그림과 같은 모형으로 나타낼 수 있다.



물 분자의 모형



수소 원자 1개의 모형

산소 원자 1개의 모형

물 분자들이 여러 개 모여 있는 물을 전기 분해하여 얻은 한 분자의 수소와 한 분자의 산소 모형으로 옳은 것은?

①			②		
	수소	산소		수소	산소
③			④		
	수소	산소		수소	산소

이렇게 생각한 이유는?

\_\_\_\_\_