



Learning Progression을 적용한 중·고등학생의 ‘물질의 입자성’에 관한 지식과 미시적 표상에 대한 특성 분석

신남수^{1*}, 고은정², 최취임², 정대홍²
¹미시간대학교, ²서울대학교

Using a Learning Progression to Characterize Korean Secondary Students' Knowledge and Submicroscopic Representations of the Particle Nature of Matter

Namsoo Shin^{1*}, Eun Jung Koh², Chui Im Choi², Dae Hong Jeong²
¹University of Michigan, ²Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 May 2014
 Received in revised form
 22 June 2014
 28 July 2014
 Accepted 31 July 2014

Keywords:

learning progression,
 submicroscopic representations,
 the particle nature of matter

ABSTRACT

Learning progressions (LP), which describe how students may develop more sophisticated understanding over a defined period of time, can inform the design of instructional materials and assessment by providing a coherent, systematic measure of what can be regarded as "level appropriate." We developed LPs for the nature of matter for grades K-16. In order to empirically test Korean students, we revised one of the constructs and associated assessment items based on Korean National Science Standards. The assessment was administered to 124 Korean secondary students to measure their knowledge and submicroscopic representations, and to assign them to a level of learning progression for the particle nature of matter. We characterized the level of students' understanding and models of the particle nature of matter, and described how students interpret various representations of atoms and molecules to explain scientific phenomena. The results revealed that students have difficulties in understanding the relationship between the macroscopic and molecular levels of phenomena, even in high school science. Their difficulties may be attributed to a limited understanding of scientific modeling, a lack of understanding of the models used to represent the particle nature of matter, or limited understanding of the structure of matter. This work will inform assessment and curriculum materials development related to the fundamental relationship between macroscopic, observed phenomena and the behavior of atoms and molecules, and can be used to create individualized learning environments. In addition, the results contribute to scientific research literature on learning progressions on the nature of matter.

1. 서론

미국과 유럽 몇몇 국가들은 학습진행과정(Learning Progression, 이하 LP)을 이용하여 과학의 핵심 아이디어(core ideas) 및 과학 활동(science practices)을 한 교과 내 또는 다른 과학 영역들(물리, 화학, 생물, 지구과학)과 연계하여 교육과정을 구성하려는 노력을 하고 있다(Bamberger & Davis, 2013; College Board, 2009; NRC, 2007; 2012). 이러한 연계적 교육과정(coherent curriculum: 하나의 개념과 관련된 아이디어, 주제, 기술의 집합체를 체계적으로 연결)은 학업 성취도를 증진시키는데 중요한 역할을 한다고 보고되고 있다(Schmidt *et al.*, 2005).

LP는 과학의 핵심 아이디어 또는 과학 활동의 이해 과정을 논리적이고 순차적인 단계로 정교하게 기술한 틀이다(Mohan *et al.*, 2009; NRC, 2007; Smith *et al.*, 2006; Stevens *et al.*, 2010). 여기서 '핵심 아이디어'란 분자운동, 힘, 에너지 등과 같이 많은 다른 개념과 연결되어 한 번의 수업으로 이해하기 어렵고, 지속적인 탐구를 통해 점진적으로 구성되는 복잡한 과학내용이고(Stevens *et al.*, 2009b), '과학 활동'이

란 모델링 및 과학적 설명과 같이 과학자가 새로운 현상을 접했을 때, 과학적 증거 수집, 결과 분석, 소통을 통하여 지식을 구축하는 과정 등이 일어나는 활동이다(Choi, *et al.*, 2011). LP를 기반으로 한 교육과정은 주요 개념 집합체를 학습진행에 따라 이해 가능한 단계로 제공하여 학생들이 복잡한 과학 개념을 순차적으로 이해하도록 도와준다. 또한 LP는 수업 후 단순 성취도 평가를 넘어, 진단평가의 중요한 틀을 제시하므로(Maeng *et al.*, 2013), 학생들의 이해발달 수준을 단계별로 추적, 모니터링하여 개념 이해나 과학 활동 경험에 필요한 피드백, 교수학습 전략, 교수자료 개발에 필요한 정보를 제공한다. 이러한 특성으로 LP는 교과교육내용, 교수학습방법, 평가를 체계적으로 연계한 교육과정을 구성할 수 있도록 이론적 가이드를 제공한다.

LP의 개발은 학습자 개개인의 선지식, 선경험, 교육과정 등의 여러 요소를 고려해야 한다(NRC, 2005). 학생들은 개개인마다 다른 경험을 가지고 있으므로, 어떤 학생들은 한 번의 수업으로 단계 이동이 일어날 수 있고, 어떤 학생들은 다수의 수업을 통해서 다음 단계로 이동할 수 있다(Stevens *et al.*, 2009a). 이러한 학습자의 특성으로, LP 개발은 첫째, 문헌연구 기반의 LP 단계 가설 설정, 둘째, 주요 개념과 과학

* 교신저자 : 신남수 (namsoo@umich.edu)

** This research was supported by a National Science Foundation grant to the University of Michigan (DRL 0822038).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.5.0437

활동을 접목한 단계별 평가 문항 개발, 셋째, 현장 학생 데이터 수집, 분석, 결과 도출, 그리고 넷째, LP 단계 수정의 과정을 반복적으로 수행하면서 이루어진다. 학생과 학습 환경의 특성에 따른 학습경로 서술을 위해서는 다양한 학생 데이터의 수집과 분석이 절대적으로 필요하다. 이러한 과정을 통해서 가설 단계의 LP는 과학적으로 증명되며, 비로소 교육과정 개발의 틀로서 역할을 할 수 있다.

가설 단계의 LP를 구성한 후 다양한 환경의 학생 데이터를 분석하는 측면에서, 본 연구는 '물질의 본성' 주요 개념에서 하위 개념인 '물질의 입자성'과 '입자적 표상'에 대한 우리나라 중·고등학교 학생들의 학습경로를 수집하였다. 미시간 대학 연구팀이 개발한 LP 및 관련 평가지(NGSS Lead States, 2013; NRC, 2013; Stevens *et al.*, 2009b; Stevens & Shin, 2010)를 우리나라 과학과 교육과정과 연계하여 수정·개발하여 서울지역 124명의 중·고등학생의 학습경로 특성을 분석하는데 사용하였다. 학생들의 입자성 개념과 표상의 이해도, 개념과 표상 이해도 사이의 연관성을 중점으로 분석하였다. 이에 대한 자세한 연구문제는 아래와 같다.

첫째, 현 과학과 교육과정에서 학생들의 '물질의 입자성' 개념에 대한 LP가 어떻게 이루어지는가? 중학생과 고등학생들의 LP에 어떤 차이가 있는가?

둘째, 현 과학과 교육과정에서 학생들의 '입자적 표상'에 대한 LP가 어떻게 이루어지는가? 중학생과 고등학생들의 LP에 어떤 차이가 있는가?

셋째, 학생들의 '물질의 입자성'에 관한 개념과 표상의 이해도는 어떤 상관관계가 있는가?

II. 이론적 배경

1. 학습진행과정(Learning progression, 이하 LP)

LP는 과학개념이 발달해가는 이해 경로를 서술하여 학생들의 지식 구축 과정의 단계를 예측하는데 중요한 역할을 한다. 학습은 새로운 개념이 기존 선개념과 유의미하게 연결되는 과정으로, 잘못된 개념을 수정하거나 지워버리는 순환을 거치면서 체계화되고 정교화된다(NRC, 1996). LP는 한 단원 안에서 학생들의 단순한 개념 이해도를 측정하는데 초점을 둘 수도 있지만, 소수의 핵심 아이디어를 오랜 기간 동안 이해해가는 학습진행 경로를 추적하는데 더 큰 중요성을 둔다(e.g., Smith *et al.*, 2006; Stevens *et al.*, 2009a). 예를 들면, Smith와 그의 연구팀(2006)은 '물질의 입자적 모델'에 대해 유치원부터 중학교 2학년 학생들의 LP를 설명하였다. 이러한 연구는 최근 발표된 초, 중, 고등학생들의 과학 핵심 아이디어 이해과정을 설명한 New Science Framework(NRC, 2013), Next Generation Science Standards(NGSS Lead States, 2013), 본 연구팀이 개발하고 분석 중인 물질의 입자성 LP와 밀접상통한다. 모든 LP는 내용의 범위를 명확하게 서술하는 하부 시작점(lower anchor), 상부 도달점(upper anchor), 단계별 내용(level)의 설명을 포함한다(NRC, 2007). 하부 시작점은 학습을 시작하기 전에 습득해야 할 학생들의 선지식 내용을 제공하고, 상부 도달점은 문헌연구에 근거하여, 학생이 성취가 가능하며 사회 공동체에서 요구하는 과학적 소양에 기여할 수 있는 학습목표를 구체적으로 제시한다(Mohan *et al.*, 2009). 마지막으로 단계별 내용에서는, 이해 수준의

질적인 차이점을 전 단계의 수준과 연결하여 설명한다(NRC, 2007). 본 연구의 LP 내용에는 상부 도달점에 도달할 수 있는 과학적 개념만을 포함한다. 단, 내용 이해를 위해 생산적인 오개념 제시가 필요하다고 판단되었을 때에는 LP내용에 첨부하였다.

2. '물질의 입자성' LP

'물질의 입자성'은 미시적 세계의 원자, 분자로 우리 주변에서 일어나는 다양한 현상을 설명할 수 있는 중요한 개념이다. 미시간 연구팀은 핵심 아이디어인 '물질의 본성' LP를 이론적, 실험적 증거에 근거하여 '물질과 물체', '힘과 상호작용', '분자운동', '보존', '에너지'라는 하위 주요개념으로 나누었으며, 정의한 하위 개념들이 서로 연결되어 전문가 수준의 지식체계까지 구축되는 LP를 개발하였다(Stevens *et al.*, 2013). 이 LP는 Next Generation Science Standards(NGSS Lead States, 2013)와 New Science Framework(NRC, 2013)의 내용을 기반으로 하고 있다. 본 연구를 위해, '물질의 본성' LP에서 하위개념인 '물질의 입자성'과 '입자적 표상'의 LP를 우리나라 교육과정에 반영하여 수정·개발하였다(Table 1). 이때, '분자들 사이의 빈 공간 존재' 등 우리나라 교육과정 내용에는 포함되지 않지만 학생들의 LP 내용 이해도를 조사하기 위해서 본 연구진의 판단에 따라 삭제하지 않고 포함된 개념도 있다.

'물질의 입자성' 개념에 대한 이해 과정에서 레벨 I은 LP의 하부 시작점으로, 물질의 세 가지 상태를 구분하고, 모양과 부피에 대해 거시적으로 이해하는 단계이다. 레벨 II에서 학생들은 '모든 물질은 너무 작아서 눈에 보이지 않는 아주 작은 입자로 이루어져 있다'는 입자적 관점을 이해하고, '원자와 분자가 물질을 이루는 기본 단위'임을 알게된다. 원자와 분자의 본성을 이해한 후, 레벨 III과 IV에서 심층적인 원자구조, 분자구조, 분자결합을 이해하게 된다(Table 1 참조). '물질의 입자적 표상' LP는 관련 문헌(Harrison & Treagust, 2002)과 미국 및 우리나라 과학교과서 및 평가지에서 사용된 표상을 조사하여 LP 단계와 연계하여 개발하였다.

3. 과학 활동: 모델링

과학자들은 다양한 과학 활동을 통하여 지식을 수용하고 소통하는데, 이는 중요한 과학적 소양으로 정의되고 있다(DeBoer, 2000). 물질의 입자성은 현미경으로도 관찰할 수 없는 원자 혹은 분자의 개념을 설명해야 하므로 모델 사용이 필요하다. 모델은 현상을 과학의 특수한 언어인 시각적 표상으로 묘사해서 설명하는 중요한 소통의 매개체 또는 과학의 주요 생산물로 인식되고 있다(Gilbert, 1993, pp. 9-10; Justi & Gilbert, 2002). 또한, 모델은 과학연구 방법으로 중요한 역할을 한다. 언어로 씌어진 연구 내용을 설명, 보완하거나 언어로 설명이 어려운 화학구조나 화학반응의 결과를 효과적으로 표현하기 위해 모델을 이용한다. 마지막으로, 모델은 학교과학교육에서 중요한 교수학습 도구이다. 눈으로 확인할 수 없는 추상적인 과학개념을 친숙한 시각적 모델로 묘사하고 설명하여 학생의 개념 이해를 돕고, 호기심과 상상력을 자극하여, 창의력을 향상시킨다(Hodgson, 1995). 발표된 연구와 미국 교육단체의 리포트는 과학자들의 과학 활동을 과학교육을 통해 학생들이 습득해야 하며(NRC, 2007; 2011), 과학자에 의해 사용된 모델을 이해하는 것이 과학을 이해하는 것으로, 모델은 과학교육에서

Table 1. Learning progression of concepts and representations of the particle nature of matter

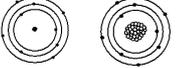
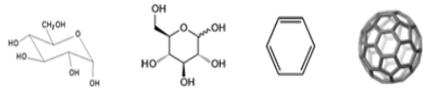
수준	내용 (2009 개정 과학과 교육과정 연계)	
	개념	표상
Level I Macroscopic 거시적 이해	(초등 3~4학년군 물체와 물질, 액체와 기체; 초등 5~6학년군 여러 가지 기체) - 모든 상태의 물질은 공간을 차지하고, 질량을 갖는다. - 우리 주변의 물질은 고체, 액체, 기체의 세 가지 상태로 구분할 수 있다. - 고체는 일정한 모양과 크기를 가진다. - 액체는 부피가 일정하지만 담은 용기에 따라 모양이 달라진다. - 기체는 부피를 차지하지만 모양과 부피가 일정하지 않다.	- 거시적 모델을 지니고 있어, 관찰 가능한 속성과 변화에 의존하여 물질을 묘사하고 현상을 설명한다.
	(중학교 1~3학년군 분자운동과 상태변화) - 모든 물질은 너무 작아서 눈에 보이지 않는 아주 작은 입자로 이루어져 있다. - 물질을 구성하는 입자는 원자와 분자이다. - 입자의 종류와 수, 배열방식이 물질의 속성을 결정한다. - 고체는 분자 사이의 거리가 매우 가깝고, 분자 배열이 규칙적이다. - 액체는 분자 사이의 거리가 고체상태일 때보다 멀고, 분자 배열이 약간 불규칙적이다. - 기체는 분자 사이의 거리가 매우 멀고, 분자 배열이 매우 불규칙적이다, 특히 기체분자는 용기 안에 넓게 분포되어 있다.	- 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용이 물질의 속성과 고유성을 결정한다는 것을 이해하고 표상으로 나타낸다. 예) Particle ball, space filing, ball & stick 
Level II Basic Particle Model 입자적 이해	(중학교 1~3학년군 분자 운동과 상태변화, 물질의 구성; 화학 I 원자의 구조, 주기적 성질) - 원자는 중성자, 양성자, 전자로 이루어져 있다. - 핵의 질량이 원자 질량의 대부분을 차지하고, 원자가 차지하는 공간의 대부분은 전자가 기여한다. - 양성자는 양전하(+1)을 가지며, 전자는 음전하(-1), 중성자는 중성(전하=0)이다. 원자들은 분자, 또는 격자를 형성하기 위해 특정한 배열을 한다. - 분자들 사이에는 빈 공간이 존재한다.	- 비중이 크고, 양성자와 중성자로 구성된, 양전하로 대전된 핵과 그 주위를 감싸고 있는 전자를 포함하고 있는 원자 구조 모델을 나타낸다. - 음전하인 전자와 양전하인 핵과의 정전기적 인력, 음전하를 띠는 전자들 간의 반발력에 대해 이해한다. 이러한 원자 구조에 대한 모델을 가지고, 원자들 사이의 정전기적 인력을 고려하여, 전자의 공유와 같은 결합에 대해 표상으로 나타낸다. 예) 원자: nucleus with electrons around it, electron dot 
	Level III Basic Atomic Structure 원자구조 이해	(화학 I 분자 세계의 건축 예술, 분자의 구조) - 원자핵 주변의 전자들은 ‘전자껍질(shell)’, 또는 ‘에너지 준위(level)’에 따라 구별된다. - 원자가전자는 분자 및 물질의 구조에 큰 영향을 준다. - 원자의 종류와 수로 분자의 구조를 예측할 수 있다. - 분자 구성은 같지만 배열이 다른 분자를 이성질체라고 한다. - 이성질체는 물리적 성질과 화학적 성질이 다르다.
Level IV Basic Bonding 분자의 결합과 구조 이해	(화학 I 원자의 구조, 화학결합; 화학 II; 대학교 과정) - 전자의 확률론적 분포 표상을 이해하고 원자구조는 전자의 양자역학적 상태, 즉 파동함수 또는 오비탈함수로 주어짐을 안다. 예) 원자: Probabilistic model 	- 원자의 에너지 준위 모델로, 결합을 이해하고 주족 원소로 구성된 분자의 기하학적 구조를 예측한다. - 공유결합과 이온결합에 대한 이해를 바탕으로 3차원 분자구조를 이해한다. 예) 원자: Nucleus model (protons, neutrons, electrons) + shell + Energy  예) 분자: structural formula(3D) with symbol of elements(some atoms("C", "H") are not shown), wire, stick 
	Level V Probabilistic Model 전자의 확률론적 분포 이해	

Table 2. Submicroscopic representations of Models

미시적 표상	Particle ball	Ball and stick	Space-filling	Structural formula	Lewis electron-dot formula
사용 목적	눈에 보이지 않는 입자를 표현하는 기본적인 모형	입자를 원자와 원자 간의 결합을 강조한 모형	분자가 차지하는 공간을 나타내기 위해 사용하는 모형	분자를 구성하는 원소 및 분자 구조와 골격을 강조한 모형	원자가 전자를 원소기호 주위에 점으로 표시하여 전자배치를 강조한 모형
eg. 물					$\text{H}:\ddot{\text{O}}:\text{H}$
eg. 이산화탄소					$:\ddot{\text{O}}::\text{C}::\ddot{\text{O}}:$

다루어야 할 중요 내용으로 제기하고 있다(Harrison & Treagust, 1996; NRC, 2013). 그러므로 학습자는 모델을 과학의 기본이며 과학언어로 이해하고, 모델로 현상을 설명하는 과정을 통해 과학 능력을 증진시키는 과학 활동 경험이 필요하다.

4. 미시적 표상 모델

모델의 중요한 요소 중 하나는 과학적 아이디어, 실제, 현상 등을 여러 시각적 형태로 묘사하고 제시하기 위해 표상을 개발하고 사용하는 것이다(Wu & Puntambekar, 2012). 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 과학자들은 미시적(Submicroscopic) 표상을 이용하여 물질의 입자성을 표현한다(Harrison & Treagust, 2000; Kenyon *et al.*, 2008; Schwarz *et al.*, 2009a, 2009b). 미시적 표상에는 Particle ball, Ball and stick, Space-filling, Structural formula, Lewis electron-dot formula 표상 등이 포함된다(Table 2). 하나의 표상으로 복잡한 현상들을 설명하기엔 한계가 있으므로, 과학자들은 Table 2에서 제시된 복수의 미시적 입자 표상들을 사용하여 실체를 설명하려고 한다(e.g., Kozma *et al.*, 2000; Roth & McGinn, 1998). 즉, 한 현상은 설명하고자 하는 내용에 따라 복수의 표상으로 설명될 수 있으며, 각각의 표상은 같은 대상을 다른 관점으로 강조하거나 묘사하는데 사용된다.

III. 연구 방법

1. 연구 대상

물질의 입자성 개념과 다양한 미시적 표상은 고등학교 화학에서 다루어지는 중요 내용이므로, 본 연구의 주 대상은 고등학교 1, 2학년 학생으로 하였다. 또한, 학습경험에 따른 이해도의 차이점을 분석하기 위해서, 방과 후 과학영재 수업에 참여하는 중학교 학생들을 보조적 비교연구 대상으로 선택했다. 이 학교의 영재수업은 과학교과 성취도가 높기보다는 과학에 흥미가 있는 학생이 자발적으로 신청하여 구성된 방과후 수업이다. 과학 흥미도가 높아서 어려운 과학문제가 제시되어도 성실하게 응답해 줄 수 있는 학생이므로 본 연구 대상으로 선택하였다. 연구에 참여한 학생수는 서울소재의 4개의 고등학교 학생 95명(1학년 70명, 2학년 25명; 남학생 22명, 여학생 73명)과 1개의 남자 중학교 학생 29명(1학년 5명, 2학년 17명, 3학년 7명)으로 총 124명이다.

2. 연구 도구

본 연구에서는 Stevens & Shin(2010)이 개발한 '물질의 입자성' 검사지를 우리나라 교육과정에 맞게 수정하여 사용하였다. 총112개의 문항으로 구성된 영문 검사지는 원자, 분자 개념 문항, 개념을 표상으로 표현하는 모델링 문항, 그리고 타당성이 증명된 기존 표상 문항(Harrison, & Treagust, 2002)으로 구성되었다. LP의 단계들에 포함된 내용들을 효과적으로 평가하기 위해서, O-X 문항, 선다형, 서답형, 모델링형 등 다양한 형태의 문항들을 사용하였다(Scalise & Gifford, 2006). 검사도구의 타당성 확보를 위해 3단계의 검사도구 표준화 작업을 수행하였다(Shawn & Shin, 2011). 간단히 표준화 과정을 설명하면, 먼저 미시간 대학교 교수와 미국 과학교육 연구원 총 10명으로 구성된 전문가 집단의 문항별 검토 의견을 수렴하고, 1차 수정된 문항을 미국 남동부 도시와 도시 근교에 위치한 공, 사립 중·고등학교 학생 550명에게 적용하여 자료를 수집하여 문항반응이론에 근거하여 문항을 검토하였다. 문항 반응이론을 통해 문항의 난이도와 학생의 능력을 고려하여 통계적 모형 적합도를 살펴봄으로써 문항의 통계적 타당성을 확보할 수 있었다. 동시에 문항당 30~35명 학생과의 면담을 통해 문항의 가독성 및 이해도에 대한 정보를 수집하였다. 이를 바탕으로 2차 수정된 문항을 같은 지역에 위치한 4개 중고등학교와 3개 대학교 소속 학생 844명에게 적용하여 연령에 따른 평가도구의 타당성을 확보하였다. 최종 선택된 문항은 모형 적합도 1.0~1.3의 범위에 해당하며, -3.3~2.2사이의 문항 곤란도와 0.30 이상의 문항 변별도, 3.0 이하의 문항 추측도를 가졌다(Shawn & Shin, 2011). 이상의 표준화된 검사 문항 중 20개 문항을 한글로 번역하여 본 연구에 적용하였으며, 번역의 타당성 확보를 위해 2명의 교육 전문가와 2명의 현장 교사가 문항을 검토하였다. 한글 검사지는 원자, 분자 개념을 평가하는 문항으로 O-X형 소문항 15개씩 묶은 2문항(Figures 1, 2)과 주어진 모델을 평가하는 서술형 1문항(Figure 3a)과 모델 그리기 1문항(Figure 3b)을 포함하여 총 4문항을 사용하였다. 미시적 표상을 평가하는 문항은, 여러 표상들 중 적절한 표상을 선택하는 29개의 소문항을 3문항으로 묶어서 제시하였고(Figures 4, 5, 6), 모델 그리기 1문항(Figure 7)이 포함되었다.

3. 데이터 분석

대상 학생들에게 위에 제시된 문항들로 평가를 실시하였다. 평가지에 답하기 전, 본 연구팀은 평가지의 목적과 의도, 질문에 답하는 방법

Table 3. The result of Learning progression of the particle nature of matter

수준	학생수			
	개념		표상	
	고등(%)	중등(%)	고등(%)	중등(%)
Level I Macroscopic (거시적 이해)	62(65.26)	10(34.48)	3(3.16)	0(0.00)
Level II Basic Particle Model (입자적 이해)	20(21.05)	11(37.93)	64(67.37)	17(58.62)
Level III Basic Atomic Structur (원자 구조 이해)	13(13.68)	7(24.14)	25(26.32)	6(20.69)
Level IV Basic Bonding (분자의 결합과 구조 이해)	0(0.00)	1(3.45)	3(3.16)	6(20.69)
Level V Probabilistic Model (전자의 확률론적 분포 이해)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)

을 설명했다. 특히, 문항에 답할 때 정확히 모르는 경우엔 O-X문항은 '확실하지 않음'을 선택하고 복수의 표상을 선택하는 문항에서는 확실하지 않은 표상을 선택에서 제외하라고 강조했다. 대부분의 학생들은 30분 내외에 평가지 응답을 끝냈다. 학생들의 LP 단계 분석이 주목적이므로, 정답수로 분석을 하지 않고 개발된 LP를 참고로 학생들의 응답지를 단계별로 코딩하였다(Figures 1-8). O-X 문항은 각 레벨에 해당하는 여러 문항들에서 모두 정답을 선택했을 때 해당 단계로 지정해 주었다. 예를 들면, 레벨 II 문항을 모두 맞고 레벨 III의 문항을 다 맞지 못한 경우 LP의 단계를 레벨 II로 지정하였다. 나머지 레벨 III, IV도 동일한 방법으로 단계를 지정해 주었다. 학생들의 응답에 따라 개별 4문항의 단계를 지정한 후, 총 문항 중 75% 이상이 속해있는 단계를 학생들의 LP 단계로 했다. 즉, 총 4문항의 개념 문항 중, 3문항 이상이 속한 단계를 LP의 레벨로 결정했다. 정확한 구분이 어려운 경우는 모델 평가형 문항과 모델 그리기형 문항을 자세히 분석하여 진행 단계를 결정했다. 코딩된 데이터는 기술통계분석을 사용하여 각각의 레벨에 몇 퍼센트의 학생들이 속했는지를 구분하여 중·고등학생별로 분석하였다. 문항별 분석은 중·고등학생과 고등학교 학년별, 학교별, 성별로 나누어서 *t*-test로 차이점을 조사하였다. 표상과 개념의 LP 이해도의 관련성은 비모수적 상관 분석인 Spearman 등위 상관계수로 두 변수 간 등위 사이의 일치도를 검정하였다.

IV. 결과 및 논의

1. 물질의 입자성 개념에 대한 LP 특성 분석

네 개의 문항에서 얻은 레벨을 조합하여 얻은 학생들의 레벨 분포는 Table 3과 같다. 대부분의 학생들은 레벨 I에서 III에 분포하고 있으며, 고등학생들은 레벨 I 65%, 레벨 II 21%, 레벨 III 14%로 거시적 개념 이해에 많이 분포(65%)하고 있으며, 중학생들은 레벨 I 34%, 레벨 II 38%, 레벨 III 24%로 거시적 이해, 입자적 이해에 골고루 분포하고 있다. 이는 대부분의 고등학생이 물질의 입자성에 관한 오개념을

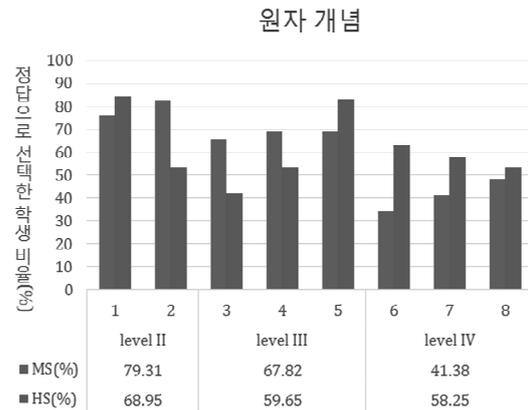


Figure 1. Concept of atoms

(Note. MS: middle school students, HS: high school students, level II: understanding of particle, level III: understanding of nucleus and electrons, level IV: understanding of energy of electrons)

가지고 있어 초등학교 수준의 거시적 물질 개념에 머물고 있음을 보여준다. 또한 높은 레벨로 갈수록 학생들의 숫자가 점진적으로 낮아지는 결과는 학생들이 단순개념에서 복잡한 개념으로 이해 과정이 쉽지 않음을 나타낸다. 특히, 거시적 관점에서 입자적 관점으로 개념 이해 과정에 많은 어려움이 있음을 나타낸다. 중·고등학생들의 입자성 개념 LP의 특성을 이해하기 위해 원자개념과 분자개념 문항들을 개별로 자세히 분석하였다.

원자개념: 원자개념 문항 분석 결과를 종합해 보면, 중학생들은 높은 레벨로 갈수록 점진적으로 정답률(레벨 I: 79%, 레벨 II: 68%, 레벨 III: 41%) 낮아지는 LP의 경로로 이동하는 경향을 보인다(Figure 1). 이와 반대로 고등학생은 레벨과 상관없는 불규칙한 정답률을 보인다. 모든 레벨 IV 문항에서 고등학생들이 중학생보다 정답률이 높다. 하지만 몇몇 레벨 II와 III 문항에서 중학생들보다 정답률이 낮으며, 레벨 IV에 해당하는 문항들보다도 정답률이 낮게 나타난다. 예를 들면 레벨 II 문항인 '금속판을 구성하는 원자가 움직일 수 있다' (중: $M=0.83$ [$SD=0.38$] 고: $M=0.54$ [$SD=0.50$], $t=3.31$, $p=0.002^{**}$), 레벨 III 문항인 '원자 내에서 전자들 사이에 공기가 존재한다' (중: $M=0.66$ [$SD=0.48$] 고: $M=0.42$ [$SD=0.50$], $t=2.27$, $p=0.028^{*}$)와 '원자핵이 원자의 부피 중 약 반을 차지한다' (중: $M=0.69$ [$SD=0.47$] 고: $M=0.54$ [$SD=0.50$], $t=1.50$, $p=0.138$, [NS])에서 이러한 경향이 나타난다. 이는 고등학생들이 레벨 IV에 해당하는 문항엔 정답률이 높으나 낮은 단계의 원자에 대한 정교하지 못한 개념을 갖고 있고, 이로 인해 65% 이상의 고등학생들이 레벨 I 단계의 LP에 속하게 된 것이다. 학년별, 학교별, 성별 분석 결과, 일반적인 모든 고등학생들이 비슷한 경향을 보였다. 종합해 보면, 본 연구에 참여한 중학생들은 단순한 원자개념을 이해하고 오개념 없이 학습경로로 이동하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 참여한 고등학생들은 고등학교 교과내용은 외우고 있으나, 필요한 선개념을 확인하고 새로운 개념과의 연결하는 과정 없이 불완전한 학습경로로 단계를 이동하고 있으며, 원자개념 지식체계로 정교하게 학습을 진행시키지 못하고 있음을 추측할 수 있다. 현 교육과정에서 물질의 입자적 개념과 원자구조 개념의 교육방법 문제점을 알아보고 효과적인 교수학습 연구가 필요함을 시사한다. 이러한 불완전한 학습진행은 높은 단계의 복잡한 개념 습득을 어렵게 하고, 학생들을 전문가적인 지식체계를 가진 과학자로 교육하는데 대학교육 및 대학졸업 후 교육

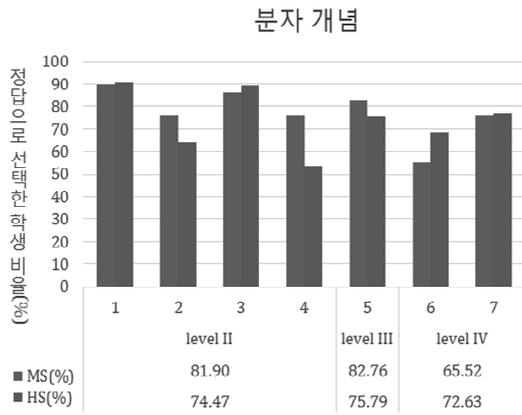


Figure 2. Concept of molecules (Note. MS: middle school students, HS: high school students, level II: understanding of particle, level III: understanding of molecules, level IV: understanding of molecule structure)

에 많은 노력을 요하게 한다.

분자개념: 분자개념 문항 결과에서, 중학생과 고등학생들은 유사한 학습진행 경향을 보였다. 레벨 II와 III 문항에 비슷한 정답률을 보였고, 이온화 에너지, 에너지 준위 등이 연관된 레벨 IV 분자의 구조 문항에서는 고등학생들이 중학생보다 정답률이 높았다(중: $M=0.34$ [$SD=0.48$], 고: $M=0.63$ [$SD=0.49$], $t=2.79$, $p=0.006^{**}$). 하지만, 레벨 II(입자적 개념)와 레벨 III(분자적 개념) 문항의 정답률은 중학생이 높은 경향을 보인다(Figure 2). 예를 들면, '아이스크림은 분자도 차갑다' (중: $M=0.76$ [$SD=0.44$], 고: $M=0.64$ [$SD=0.48$], $t=1.23$, $p=0.23$ [NS])와 '바위를 구성하는 분자는 움직이지 않는다' (중: $M=0.76$ [$SD=0.44$], 고: $M=0.54$ [$SD=0.50$], $t=2.31$, $p=0.03^{*}$)는 문항에서 고등학생들이 중학생보다 정답률이 낮았다. 또한, 밀폐용기에 물을 넣어두었을 경우, 공간에 아무것도 없을 것이라고 잘못된 개념을 가진 학생들이 많아 대부분 학생들이 거시적 개념 이해에 머물고 있다고 분석되었다(Figure 3a). 물의 증발을 생각하지 못하며, 공간 안에 기체 분자는 없다고 생각한다. 주사기를 잡아당기기 전과 후의 산소 기체 분자를 그리는 문항에서 입자의 개수가 변하거나, 크기와 모양 변화, 한쪽으로만 몰리는 입자 분포 등을 그리는 등, 정확하지 못하거나 정교하지 못한 개념을 가지고 있는 것으로 나타났는데, 특히 고등학생에게서 이러한 현상이 많이 나타났다(Figure 3b). 학년별, 학교별, 성별 차이 없이 모든 고등학생들이 비슷한 경향을 보였다.

결과를 종합해 보면, 학생들은 분자개념의 이해가 원자보다 높았으며, 복잡한 원자와 분자 개념에 대해 배우지 않은 중학생이 고등학생들보다 오개념이 적은 것으로 분석되었다. 이는 참여 고등학생들은 하위의 물질의 입자성 이해도가 부족한 채, 고난위의 분자구조를 배우고 있으며 이로 인해 체계적인 이해단계로 진행을 못하는 불완전한 물질의 입자적 개념 학습경로로 진행하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는, 현 교육과정의 학생들이 LP III단계에 관련된 원자, 분자 입자성과 원자구조 내용 학습을 깊이 있게 다루지 못하는 것으로 추측할 수 있다. 학생들의 유의미한 물질의 입자성 개념 이해를 위해 현 교육과정의 원자, 분자 입자성 개념 제시 순서를 분석하고 학생들의 이해도에 따라 다양한 경험을 제시하였는지 살펴볼 필요성이 있다.

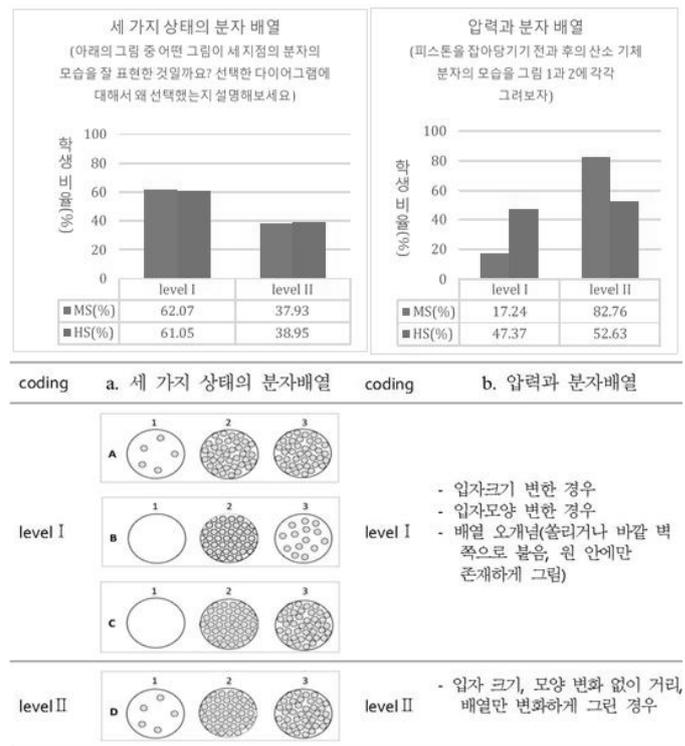


Figure 3. Concept of molecule arrangement (Note. level I: macroscopic understanding (오답), level II: understanding of particle)

2. 물질의 입자성 표상에 대한 LP 특성 분석

4개의 문항에서 얻은 레벨을 조합하여 얻은 학생들의 표상 레벨분포는 Table 3 오른쪽 열에 나타내었다. 레벨 I에 해당하는 학생은 거의 없으나 레벨 II에서 레벨 IV로 이동하는 단계에서 학생 수가 점진적으로 줄어드는 결과를 보이는데, 이는 학생들이 거시적인 표상 이해보다는 높은 수준에 있지만 대체로 입자적 표상 수준의 LP에 머물고 있음을 나타낸다. 대부분 학생들의 표상 이해는 레벨 II(입자적 이해) 수준이며(고: 67%, 중: 59%), 레벨 III(원자구조)와 레벨 IV(분자결합 구조 이해)에 분포하는 비율은 중학생(41%)이 고등학생(29%)보다 높다. 중고등학생들의 물질의 입자성 표상의 특성을 이해하기 위해 아래와 같이 원자 표상, 원자구조 표상, 분자 표상 문항별로 자세히 분석하였다.

원자 표상: 원자 표상 문항에서 4개의 입자형 표상을 선택한 학생의 비율은 고등학생과 중학생 모두 높게 나타났는데(고: 60%, 중: 66%), 학생들은 원자를 레벨 II의 입자형이라고 생각하는 경향이 높다(Figure 4). 전체적인 고등학생의 결과는 문항18을 제외하면, 레벨이 높을수록 정답률이 낮아지는 경향을 보이는(레벨II: 60%, 레벨III: 42%, 레벨IV: 42%) LP의 경로로 이해과정이 진행됨을 보여준다. 대부분의 학생들은 문항18 '원자가전자를 원소기호 주변에 배치한 루이스전자점식 표상은 원자를 나타낸다'에서 낮은 빈도를 보였다. 하지만 중학생들의 원자 표상 정답률이 고등학생들보다 높았으며, 특히 레벨 III와 IV 문항에서 고등학생보다 높은 선택률을 보인다(레벨 IV, 중: $M=0.62$ [$SD=0.49$] 고: $M=0.42$ [$SD=0.50$], $t=1.90$, $p=0.060^{*}$. 레벨 III, 중: $M=0.79$ [$SD=0.41$] 고: $M=0.45$ [$SD=0.50$], $t=3.69$, $p=0.001^{**}$). 두 문항은 원자핵과 전자의 에너지 준위를 함께 표시한 표상이다. 중학생들

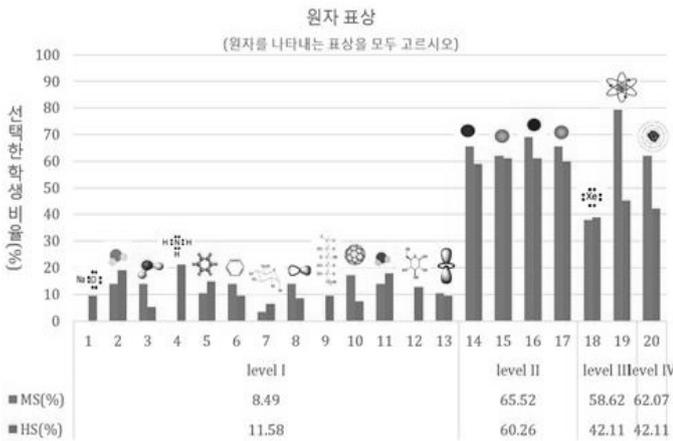


Figure 4. Students' response on representations of atoms. (Note. level I: macroscopic model(오답), level II: particle model, level III: nucleus model, level IV: energy level model)

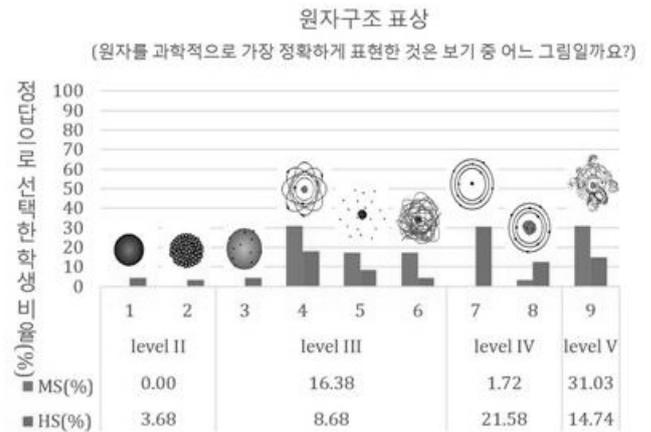


Figure 5. Representation of atom structure (Note. level II: particle model, level III: nucleus model, level IV: energy level model, level V: Probabilistic mode)

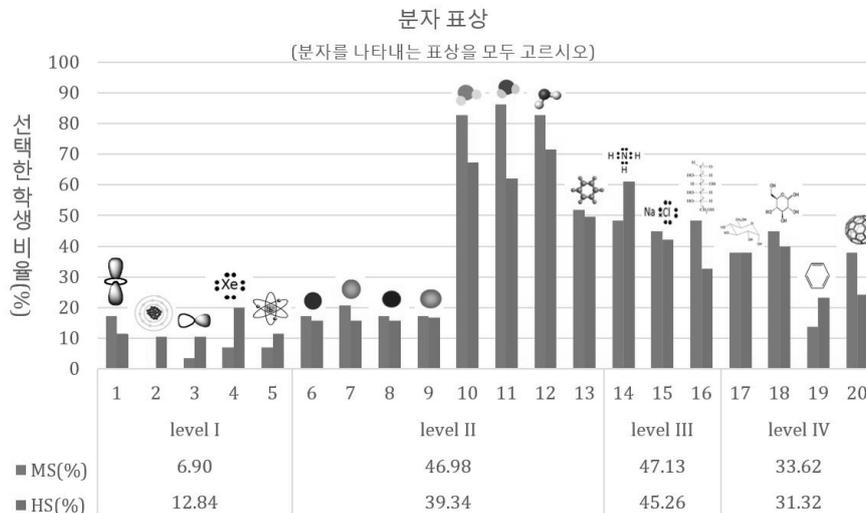


Figure 6. Representation of molecules (Note. level I: macroscopic model(오답), level II: particle model, level III: structural formula(2D) with symbol of elements, level IV: structural formula(3D) with symbol of elements(some atoms are not shown, wire and stick)

은 원소기호와 전자점이라는 symbol보다는, 핵과 전자를 구형으로 표현한 표상을 더 원자표상에 가깝다고 여기는 것으로 해석된다. 또한 고등학생들이 레벨 I의 표상(오답)을 중학생들보다 많이 선택한 결과는 입자형 분자나 오비탈 표상을 원자로 인식한 불완전한 개념을 가지고 있음을 나타낸다. 이러한 결과의 원인을 알아보기 위해서는 대상 중고등학교 학생들의 학교과학수업 및 과학교과서 내용을 분석하여 레벨 III와 IV 모형에 대한 학습경험이 어떻게 이루어졌는지에 대한 분석이 필요하다. 하지만, 이분석은 본 연구의 주목적이 아니므로 향후 추진할 연구 내용으로 제안한다.

원자의 구조를 구체적으로 나타낸 표상 문항에서(Figure 5), 고등학생들은 전자들이 에너지 준위를 가지고 핵 주위를 돌고 있는 레벨 IV 표상을 주로 선택했다(43%). 하지만 중학생들은 레벨 III와 레벨 V의 표상을 주로 선택하여 고등학생들과 다른 양상을 보였다. 특히, 원자핵 주변에 전자가 돌고 있는 것을 나타내는 문항 4와 9에 각각 31% 학생들이 응답하였다. 이러한 결과의 자세한 분석을 위해서는 현 교과서, 문항지, 그리고 교사의 표상의 사용도 현황 연구가 수행되어야 하므로, 이에 대한 후속 연구가 필요하다.

분자 표상: 분자 표상 문항 분석에서 학생들의 정답률은 레벨이 높아지면서 낮아지는 경향을 보이는 LP 경로 이동을 보여준다(중, 레벨 II: 47%, 레벨 III: 47%, 레벨 IV: 34%)(Figure 6). 문항별 결과를 보면, 같은 레벨 II이지만, 입자형 모형(문항6-9) 선택률이 다른 표상들의 선택률보다 현저히 낮음을 확인할 수 있다. 이는 학생들이 입자형 표상을 원자의 표상이라고는 생각하지만 분자 표상으로는 연결짓지 못함을 나타낸다. 또한, 모든 레벨 II의 정답률이 중학생이 높은 경향을 보이는 결과는 고등학생이 입자형 표상으로 분자를 표현할 수 있다는 생각을 하지 못하고 다원자 형태의 표상만을 분자의 표상으로 생각하는 제한된 개념을 가지고 있음을 나타낸다.

또한, 주사기를 잡아당기기 전과 후의 산소 기체 분자를 그리는 문항에서, 대부분의 학생들이 입자형과 Space filling을 이용하여 산소 기체 분자를 나타내었지만, 일부 학생들, 특히 고등학생(중: 3%, 고: 23%)은 산소 분자를 입자형으로 표현하지 못하거나, 산소 분자를 물 분자 모형(미키마우스 모양)으로 표현하였다(Figure 7, 8).

표상 결과를 종합하면, 학생들은 원자 표상 이해도가 분자 표상보다 높지만 원자 구조 표상 이해에 어려움을 가지고 있음을 알 수 있다.

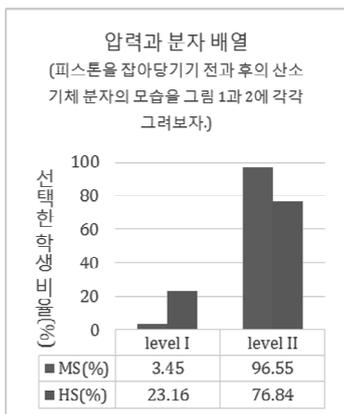


Figure 7. Representation of molecule arrangement (Note. level I: macroscopic model, level II: particle model)

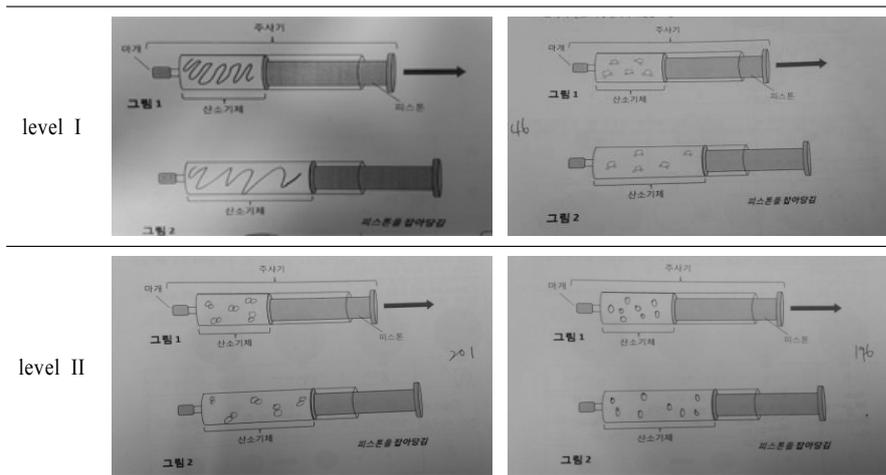


Figure 8. Students' answers of representation of molecule arrangement

또한 학생들이 표상을 정답이 있는 개념으로 숙지하여 교과서에서 제시된 표상을 외워서 적용하는 경향을 보였으며, 분자표상 질문에서 입자형 표상들을 선택하지 않은 결과로 유추할 때, 상황에 맞추어 다양한 표상 중에서 단순하고 효과적인 표상을 선택하는 모델링 과학활동 경험이 부족함을 알 수 있다. 이러한 결과는 과학교육에 과학적 미립자 표상, 표상의 정의 및 이용목적에 대한 정립이 필요하며 교과서 집필, 평가지 개발, 교사교육에 실질적으로 적용이 가능한 문헌이 필요함을 시사한다.

3. 물질의 입자성에 관한 개념과 표상의 이해도 관계 분석

개념과 표상의 LP 수준 간의 등위상관계수는 $Corr.=0.142$ ($p=0.116$ [NS])으로, 개념과 표상 이해도는 관련성이 없으므로 나타났다. 학생들의 표상 이해도가 개념 이해도보다 높았지만, 표상과 개념 LP 수준은 서로 영향력 없이 별개의 단위로 이루어지고 있음이 보여진다. 이러한 결과로 유추해 볼 때, 본 연구에 참여한 학생들은 입자성 개념을 시각화하기 위한 도구로서의 표상이 아닌 단순 암기를 해야 하는 개념으로 표상을 인식하고 있음을 알 수 있다. 각각의 학습단계의 입자성 개념을 제시할 때 선택된 표상과 제시된 개념의 연관성을 구체적으로 설명하여 표상은 개념을 설명하기 위해 사용된 그림임을 강조하는 효과적인 교수방법이 필요하다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 중·고등학생을 대상으로 물질의 입자성과 표상 이해도를 LP와 연결하여 이해과정 경로를 분석하였고 고등학생과 중학생의 결과를 비교하여 오개념을 알아보았다. 연구에 참가한 대부분의 중고등학생들이 높은 레벨 문항의 정답을 고른 빈도수는, 낮은 레벨 문항을 모두 정답으로 고른 경우에 높았으며 이는 대부분의 학생들이 본 연구팀의 LP 경로로 이해과정을 정교화시킴을 알 수 있다. 하지만 참여한 고등학생들은 제시된 LP 단계보다 낮은 이해 수준이며, 입자적 개념과 표상 이해과정이 불완전하게 진행되고 있다는 것으로 나타났다. 학생들의 '물질의 입자성' 개념은 '거시적 물질' LP 단계에 머물고 있으며, 표상에 대해서는 '미시적 입자 표상' LP에 도달해있다. 또한 고등학생

들은 높은 레벨 문항의 정답률이, 낮은 레벨의 문항 정답률보다 높았고, 몇몇의 낮은 레벨 문항의 정답률은 중학생보다 낮았다. 이러한 경향은 개념과 표상 이해도에 비슷하게 나타났다.

본 연구대상 표본 집단과 참여 학생 수는 결과를 일반화시키는데 제한점이 있으나, 결과의 원인을 두 측면, 오개념과 학습경험 부재로 설명할 수 있다. 첫째, 중학교에서 습득된 개념이 고등학교 과정의 학습을 거치면서 체계화되어 발전하지 못하고 학습을 방해하는 오개념으로 진행되었음을 추측할 수 있다. 둘째, 2013년 미국교육과정과 우리나라 2009년도 개정 교육과정의 내용 진행단계에 차이점이 있음을 알 수 있다. 미국 중학교 내용이 우리나라 고등학교 3학년 교과과정 내용으로 개발되어, 참여한 고등학생들이 필요한 개념을 아직 배우지 않아 낮은 이해 수준에 머문 가능성이 있다. 학생 이해 수준에 맞는 내용 진행단계를 결정하기 위해서는 관련 연구가 수반되어야 하며, 다양한 표본 집단의 데이터 결과를 바탕으로 중학교 혹은 고등학교 수준의 개념인지 결정하여 본 LP의 진행단계를 수정할 필요가 있다.

또한 개념과 표상 간의 상관관계가 없는 결과는 과학과 교육과정과 현장교육에 물질의 입자적 개념과 표상을 연관지어 교수하는 방법에 문제점이 있음을 제시한다. 다시 말하면, 현 우리나라 교육현장에서는 교과서, 교수학습자료, 평가지 개발 시 다양한 유형의 미립자 표상을 사용하여 입자적 개념을 설명하고 있다. 하지만 학생들이 다양한 표상들을 사용하여, 거시적 현상과 관련지어 입자적 관점을 쉽게 해석할 수 있으리라 추측 하에, 필요한 교수학습이 지원되지 않고 있음을 알 수 있다(Noh *et al.*, 2009). 이러한 교수학습의 부재는 참여 고등학생들의 불완전한 물질의 입자적 개념 이해와 오개념의 원인으로 추측할 수 있다. 눈으로 볼 수 없는 입자적 물질의 개념을 이해하기 위해, 학생들은 시각화된 복수의 미립자 표상에 대한 이해, 미립자 표상과 텍스트로 제시된 내용의 연관성 이해, 일상생활에서 경험한 거시적 현상을 미립자 표상으로 연계해서 해석하는 '모델링' 능력이 필요하다 (e.g., Harrison & Treagust, 2002; Treagust *et al.*, 2003). 이러한 '모델링' 역량은 중요한 과학적 소양이지만 학생들에게는 쉽지 않은 도전과제이다. 많은 연구 결과들은 교수학습 자료에서 제시된 복수의 표상들로 표현된 모델을 학생들이 이해하는 과정에서 의도하지 않은 오개념을 생성하고, 학습을 방해하는 요소가 될 수 있다고 제시한 바 있다 (Cobern & Aikenhead, 1998; Noh, *et al.*, 2007).

참여 학생들의 데이터와 선행된 문헌연구 분석을 바탕으로 입자적 개념과 표상모델 이해 실패의 주요 원인은 첫째 과학적 모델의 본질, 둘째 관련 선지식, 셋째 미립자 표상의 이해부족(Duit, 1991; Gentner, 1983; Glynn, 1991)으로 정리된다. 첫째로 과학적 모델에 대한 부족한 이해도를 가지고 있다. 학생은 모델을 과정, 지식, 이론의 발달 단계를 거쳐 수정, 보완될 수 있는 과학적 언어로서 이해하는 대신 고정된 과학지식으로 인지하는 경향이 있다(예를 들면, 모든 분자는 미키마우스 모양을 하고 있다). 더 나아가, 현상의 한 측면을 설명하기 위해 표현된 모델로부터 학생이 가지고 있는 선지식과 경험을 모두 이해하려고 일반화하는 경향 때문에 오개념을 형성한다(Chi *et al.*, 1994). 둘째는, 필요한 선지식의 부재로 미시적 관점의 표상을 의도와 다르게 해석하여 오개념을 형성할 수가 있다. 예를 들면, 입자의 의미가 무엇인지 알아야, 거시적 세계의 물질을 미시적 관점의 입자인 표상과 연계하여 모델을 이해할 수 있다. 만약, 학생들이 필요한 선지식인, 언어적 입자성에 대한 이해 없이, 물질은 연속적인 덩어리로 구성되어 있다는 개념을 가지고, 미립자 표상의 실체를 이해하기에는 많은 난관이 있다. 또한 설명하고자 하는 현상의 선경험이 없을 시, 예를 들면, 온도의 변화로 비에서 눈이 되는 상태 변화를 설명하고자 할 때, 눈을 경험하지 못한 더운 지역의 학생들에게는 표상과 제시된 현상을 연계하여 이해하는데 어려움이 있다. 이러한 일상의 현상 경험과 관련 선지식의 부족은 학생들이 미립자 표상에서 무엇을 학습하고 이해해야 하는지에 명확하지 않은 상황을 초래한다. 셋째는 모델에서 사용된 다양한 미립자 표상 유형에 대한 경험 부족이다. 이러한 경험의 부재는 미립자로 제시된 실체(entity)를 시각적으로 이해하는 능력 부족(Tuckey & Selvaratnam, 1993)으로 연결되며, 미립자로 표현된 물질의 본성에 대한 혼동(Harrison & Treagust, 2002)을 초래한다. 학습자는 미립자 표상 간의 차이점과 복수의 미립자 표상을 사용하는 목적과 의도를 이해해야 한다. 예를 들면, 설명하려는 현상의 관점에 따라 물 분자는 space-filling 표상으로 표현할 수 있으며, ball and stick 표상으로도 모델 제시가 가능하다는 것을 알아야 한다. 하지만, 학생들은 space-filling과 ball and stick으로 표현된 분자를 같은 물이 아닌 서로 다른 물질로 이해하는 경향이 있다.

과학 주요개념, '물질의 본성'의 전문가적인 지식체계 구축을 위해서는, 하위개념인 물질의 입자적 개념 및 모델 이해가 필요하다. 표상을 이용한 모델링은 눈으로 볼 수 없는 미립자를 가시화할 수 있는 중요한 과학 활동으로 입자적 개념 이해에 도움을 준다. 그러므로 현장 교육은 모델링 과학 활동 과정과 복수의 표상을 사용하는 학습 환경을 구축하여 학생들의 '물질의 본성', 입자적 개념에 대한 질적인 경험을 제공해야 한다. 이러한 경험을 통해서 학생들은 체계적인 학습진행으로 이해과정을 정교화하며, 더 나아가 전문가적인 지식체계를 형성할 수 있다. 본 연구는 현 교육과정에서 입자 개념에 대한 이해 증진을 위해 올바른 교수학습이 이루어지고 있는지, 학생들에게 필요한 모델링 활동이 제공되고 있는지, 현장수업에서 복수의 표상에 대한 이해, 구현, 적용을 위해 필요한 교수학습이 이루어지고 있는지에 대한 문제점과 시사점을 알아보았다. 본 연구결과는 물질의 입자성과 관련된 개념, 과학 활동을 증진시키고 개개인 특성에 맞는 맞춤형 학습환경 제공을 위한 학습, 교수, 평가자료 개발에 기여할 것이다. 더 나아가 물질의 본성 LP 연구와 과학적 소양 증진에 긍정적 역할을 할 것으로 기대한다.

국문요약

Learning Progressions(학습진행과정, 이하 LP)은 "과학의 핵심 아이디어(core idea) 혹은 과학 활동(scientific practices) 이해 과정을 상대적으로 단순한 체계에서 전문가의 지식체계로 논리적이고 순차적인 단계로 정교하게 설명한 틀"로서, 한 교과 내 및 다른 과학영역들(물리, 지구과학, 생물, 화학)과 연결하여 연계적 교육과정을 구성하는 이론적 기반을 제공한다. 학습은 개개인의 선지식, 선경험, 교과교육과정, 교육과정 등의 여러 요소에 영향을 받는 복잡한 이해 과정으로, LP 단계를 모든 학생들이 동일하게 이동하지 않는다. 학생과 학습환경의 특성에 따른 이동 가능한 학습경로의 서술을 위해서는 다양한 학생 데이터의 수집과 분석이 필요하다. 이러한 과정을 통해서 가설의 LP는 과학적으로 증명된 LP로 규명되며, 비로소 교과과정 개발의 틀/framework)로 역할을 할 수 있다. 본 연구는 미시간 대학 연구팀이 개발한 "물질의 본성(nature of matter)" 주요 개념에서, 하위개념인 "물질의 입자성(particulate nature of matter)과 입자적 표상(sub-microscopic representation)"의 LP와 관련 평가지를 우리나라 과학교육과정과 연계, 수정하여 개발하였다. 수정된 평가지와 LP는 124명의 중고등학생의 LP 경로 특성을 분석하는데 사용되었다. 학생들의 입자적 개념과 표상의 이해도, 개념과 표상 이해도 연관성을 중점으로 분석하여 관련 과학교육과정과 현장 수업의 문제점과 시사점을 도출하였다. 본 연구결과를 종합해 보면, 높은 레벨 문항의 정답을 고른 빈도수는 낮은 레벨 문항을 모두 정답으로 고른 경우에 높았으며 이는 학생들이 본 연구팀이 개발한 LP 경로로 이해과정을 정교화시킴을 알 수 있다. 하지만, 대부분의 학생들, 특히 고등학생들은 초등학교 수준의 거시적 물질의 본성 개념 LP 단계에 머물고 있으며, 중학교 수준인 미시적 표상 LP 단계에 있다. 입자적 개념과 표상 이해 실패의 주요 원인은 1) 과학적 모델의 본질, 2) 관련 선지식, 3) 미립자 표상의 이해 부족으로 정리된다. 본 연구결과는 물질의 입자성과 관련된 개념, 과학 활동(특히 모델링)을 증진시키고 개개인 특성에 맞는 맞춤형 학습환경 제공을 위한 학습, 교수, 평가자료 개발에 기여하는 바가 크다. 더 나아가 '물질의 본성'에 대한 LP연구와 과학적 소양 증진에 긍정적 역할을 할 것으로 기대한다.

주제어: 학습진행과정, 물질의 입자성, 미시적 표상

감사의 글

We would like to express our deep appreciation to Dr. Shawn Y. Stevens, who has been an essential role for the development of theoretical and conceptual framework, learning progressions, and associated assessment in this study.

References

- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.
- Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. (1994). From things to processes:

- A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S. W., & Krajcik, J. (2011). Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea for the 21st century. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6), 670-697.
- Coburn, W. W., & Aikenhead, G. S. (1998). Cultural aspects of learning science. In B. Fraser & K. Tobin (Eds.), *International handbook of science education part 1* (pp. 39-52). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.
- College Board (2009). *Science college board standards for college success*. New York, NY: The college board.
- Deboer, G. E. (2000). Scientific literacy: Another look at its historical and contemporary meanings and its relationship to science education reform. *Journal of Research Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7(2), 155-170.
- Gilbert, J. (1993). *Models & modelling in science education*. Hatfield, UK: The Association for Science Education.
- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Faranco, C. (2000). Science and education: Notion of reality, theory and model. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 19-40). Netherlands: Springer.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of molecules: Implication for teaching chemistry. *Studies in Science Education*, 80, 509-534.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84, 352-381.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justi, D. F. Treagust, & J. H. Van Driel, (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 189-212). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Hodgson, T. (1995). Secondary mathematics modeling: Issues and challenges. *School Science and Mathematics*, 95, 351-358.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kenyon, L., Schwarz, C., & Hug, B. (2008). The benefits of scientific modelling. *Science and Children*, 46(2), 40-44.
- Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. *Journal of the Learning Sciences*, 9(2), 105-143.
- Maeng, S. H., Seong, Y. S., & Jang, S. H. (2013). Present states methodological features and an exemplar study of the research on learning progressions. *Journal of Korean Association for Science Education*, 33(1), 161-180.
- Ministry of Education. (2011). *The science curriculum of the republic of Korea 2009 revised version. Proclamation of the ministry of education, science and technology #2011-361*.
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: The National Academy Press.
- National Research Council. (2005). *How students learn: Science in the classroom*. In M. S. Donovan & J. D. Bransford (Eds.), *Committee on how people learn, a targeted report for teachers*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on conceptual framework for the new K-12 science education standards. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2013). *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century*. In Pellegrino, J. W., & Hilton, M. L. (Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Noh, T., Yoon, M., Kang, H., & Han, J. (2007). Semiotic analysis of the inscriptions representing concept of atom and molecule in the 9th grade science textbooks. *Journal of the Korean Chemical Society*, 51(5), 423-432.
- Noh, T., Yoon, M., & Han, J. (2009). Students' comprehension and interpretation process of inscriptions representing the concept of atom and molecule. *Journal of the Korean Chemical Society*, 53(3), 355-367.
- Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. *Review of Educational Research*, 68(1), 35-59.
- Scalise, K., & Gifford, B. (2006). Computer-based assessment in e-learning: A framework for constructing "intermediate constraint" questions and tasks for technology platforms. *The Journal of Technology, Learning, and Assessment*, 4(6), 1-45.
- Schmidt, W. H., Wang, H. C., & McKnight, C. C. (2005). Curriculum coherence: An examination of US mathematics and science content standards from an international perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 37(5), 525-559.
- Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. S. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. *Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives*, 14(1-2), 1-98.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a theoretical learning progression for atomic structure and inter-atomic interactions. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715.
- Stevens, S. Y., & Shin, N. (2010). An investigation into students' interpretations of submicroscopic representations. Poster presented at the International Conferences of the Learning Sciences, Chicago, IL, USA.
- Stevens, S. Y., Shin, N., & Krajcik, J. S. (2009a). Towards a model for the development of an empirically tested learning progression. Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, Iowa City, IA, USA.
- Stevens, S. Y., Shin, N., & Peek-Brown, D. (2013). Learning progressions as a guide for developing meaningful science learning: A new framework for old ideas. *Journal of Education Quimica*, 24(4), 381-390.
- Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009b). *The big ideas of nanoscale science and engineering*. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009a). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Schwarz, C., Reiser, B., Fortus, D., Shwartz, Y., Acher, A., Davis, B., Krajcik, J., & Hug, B. (2009b). *Models: Defining a learning progression for*

- scientific modeling. Paper presented at the Learning Progression in Science (LeaPS) conference, Iowa City, IA, USA.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1369.
- Tuckey, H., & Selvaratnam, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualisation skills in chemistry: A review. *Studies in Science Education*, 21(1), 99-121.
- Wu, H. K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754-767.