Journal of the Korean Chemical Society
2010, *Vol. 54, No. 6*
Printed in the Republic of Korea
DOI 10.5012/jkcs.2010.54.6.809

고체와 액체의 밀도에 대한 고등학생들의 개념 조사

조인영 · 강영진[†,*]
서울국제고등학교
[†]강원대학교 과학교육학부
(접수 2010. 7. 12; 수정 2010. 9. 6; 게재확정 2010. 10. 5)

A Study of High School Students' Conceptions for Density

In-Young Cho and Youngjin Kang[†,*]
Seoul Global High School, 1-27 Myeongnyun-dong 1-ga, Jongno-gu, Seoul, 110-521, Korea
[†]Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon, 200-701, Korea
(Received July 12, 2010; Revised September 6, 2010; Accepted October 5, 2010)

요약. 이 연구는 학교과학교육과정에서 밀도에 관한 개념학습을 모두 마친 대도시지역 11학년 학생들의 고체와 액체의 밀도에 관한 개념이해의 정도를 알아보기 위한 것이었다. 이를 위하여 순물질 고체와 액체, 혼합물 상태의 고체와 액체에 관한 밀도개념이 어떻게 형성되었는지 알아보기 위한 탐구적 개념검사 도구를 개발하여 사용하였으며 120명의 인문계 고등학생들을 대상으로 이 검사도구에서 제시하는 문제 상황에 대한 시범실험을 보여주고 지필검사를 실시하였다. 학생들의 응답결과를 문항별로 분석하여 과학적 개념의 형성비율을 알아보았으며 대체적 개념과 잠재 이론의 종류와 양상을 밝혔다. 연구대상자의 절반 정도는 전형적으로 질량-부피-밀도 관계의 미분화로 인하여 밀도개념이 확립되지 않은 경우가 많았으며, 밀도를 물질의 속성으로 파악하는 경향이 있었다. 문제풀이에서 고려할 변인의 수가 증가할수록 이러한 관련 개념과 밀도개념과의 미분화경향이 증가하였으며 학생들은 더욱 많은 수의 다른 개념과 이러한 혼동된 미분화개념들을 혼합 사용함으로 인하여 개념의 미분화는 더욱 심층적으로 되고, 오인의 범위와 개념들 간의 관계에서의 복잡성도 심화되었다. 학생들은 자신의 예측과 맞지 않는 관찰 상황이 주어졌을 때 입자의 크기, 분자간 거리, 표면장력, 용매의 극성 등 문제풀이와 직접적인 관련 없는 개념들로 인지적 갈등을 해결하려는 노력을 하였으며 이에 대한 학교과학교육에의 함의에 관하여 논의하였다.

주제어: 밀도, 대안개념, 잠재이론

ABSTRACT. The primary purpose of this study was to investigate high school students' conceptual understanding of density for solids and liquids in pure and mixed substances who had preceded formal school science instruction on density and related topics. A concept assessment on density was developed and administered by demonstrative experiments accompanied by a written assessment test method to 120 general high school students in a metropolitan city. The scientific conceptions and alternative conceptions from students' responses were identified and the percentages of them were calculated. Then, their alternative conceptions and implicit theories on density were analyzed. About half of the students couldn't differentiate weight-volume-density and regarded density as an innate property of matter. Furthermore, the greater the number of variables involved in an experimental condition of the question, the more complicated and undifferentiated students' density concepts were. Students employed more improper variables such as particle size, intermolecular distance, surface tension, polarity of the solvent, etc. in explaining counter-intuitive observations. The implications for school science instruction were discussed.

Keywords: Density, Alternative conception, Implicit theory

서론

연구의 목적 및 필요성

다양한 영역에서의 수많은 오개념에 관한 연구, 개념변화에 관한 연구들은 공통적으로 어린학생들로부터 성인에 이르기까지 비교적 안정되고 뿌리깊고 직관적으로 자리한 선개념을 가진 경우가 많고 인지갈등 혹은 여러 가지 학습전략이나 모형으로도 이러한 선개념을 쉽게 변화시키기 어렵다고 보고하고 있다.[1-5] 이러한 경향은 발달론[6,7]과 교육[8,9]의 영역을 넘어 문화연구[10,11]의 방면에서도 비교적 일관되게 알려진 바이다. Spelke[7]가 어린 시절에 형성된 지식은 개인의 선천적인 지식의 구성성분이 되어 그 후의 지식생태계를 구성하는 어떤 제한조건이 되고 있다고 한 것과 마찬가지로 Pozo와 Gomez Crespo[12]는 이러한 오인이 학생들에게 있어서 다양한

지식영역에 걸쳐 근본적으로 강하게 뿌리박힌 채 잠재 이론(implicit theory)으로 자리 잡고 있어서 과학적 표상보다는 이러한 잠재 이론에 기초한 직관적인 표상들을 지속적으로 사용하게 되는 것이라고 하여 선개념의 일관성과 지속성의 원인에 대한 설명을 제공하였다. 이렇듯 선지식 혹은 과학학습 후의 지식들에서도 학습자의 오인은 견고하며 하나의 대안적 개념틀을 형성하여 과학적 사고를 억제하기 때문에 학교교육의 중요한 역할은 학생들이 자신의 오인을 과학적 개념으로 확립하도록 돕는데 있다.[13,14] 따라서 효율적인 학습을 위해서는 교사가 학생들의 개념지식과 그것들로 이루어진 인지과정을 이해할 필요가 있으며 학생들의 개념지식이 객관적 실체인가 심리적 실체인가를 논하기에 앞서 학생들이 가진 지식의 형태에 대하여 이해할 필요가 있다.[15]

밀도는 형식적인 사고를 요구하는 추상적인 개념이기 때문에, 교육과정에 어떻게 반영해야 하는가, 그리고 추상적인 개념을 어떻게 학습시켜야 하는가의 관점에서 1970년대 초반부터 꾸준히 많은 연구가 이루어져왔다. 밀도에 대한 선행연구들은 1990년대까지 7~9학년 학생들을 대상으로 한 순물질의 밀도에 대한 연구가 주된 것이었으며. 구체적 조작기와 형식적 조작기가 혼재되어 있는 시기의 7~9학년 학생들은 복합변인이 관여되는 밀도개념을 질량이나 부피의 단일변인만으로 이해하려는 경향이 많다고 보고되었다.[16,17]

2000년대에 국내에서주로 인지갈등이나 개념변화에 영향을 주는 요인과 관련한 밀도학습에 대한 연구들이 진행되었는데,[18,19,20] 이 연구 결과들에서 주목할 점은 오인의 견고성이 연령에 상관없이 나타나며, 밀도개념에서 가장 빈번한 오인은 밀도를 무게와 혼동한다는 것, 그리고 인식론적 신념이 인지갈등을 매개로 개념이해를 촉진하지 못하며, 오히려 정의적 · 동기적 변인이 밀도학습에서 개념변화에 더 크게 영향을 미칠 수 있다는 것이었다. 416명의 중학교 남학생을 대상으로 한 밀도학습에 관한 연구[18]에서 인지갈등은 개념변화와 다르게 논리적 사고력에 따라 유의하지 않았다. 27명의 5학년 학생들과 33명의 중학교 1학년 학생들을 대상으로 한 밀도과제의 과학적 추론에 미치는 영향을 조사한 연구[19]에서 학생들의 가장 빈번한 오인은 밀도개념을 무게와 혼동하는 것이었으며 (weight bias), 과학적 추론 과정에서 선지식의 견고성은 학년별로 유의하지 않았고 마찬가지로 선지식이 과학적 추론 양식에 미치는 영향도 유사하였다. 또한 밀도에 대한 특정 오개념을 가진 218명의 중학교 1학년들을 대상으로 한 밀도학습에 관한 연구에서[20] 인식론적 신념의 구성요소 중에서는 확실한 지식만이, 그리고 인식론적 신념보다는 정의적 · 동기적 변인이 개념변화에 더 크게 영향을 미친다는 사실이 보고되었다. 이러한 선행연구결과를 토대로 본 연구에서는 형식적 조작기에 도달한 학생의 비율이 훨씬 높다고 판단되는 11학년 학생들을 대상으로 순물질의 고체와 액체상에서의 밀도에 대한 개념이 어떻게 형성되어 있는지, 그리고 혼합물의 비중에 대한 개념은 어떤 형태로 구성되어있는지 알아보고자 하였다.

밀도란 순물질만의 특성이 되기 때문에 혼합물에서는 사용할 수 없고, 비중이라는 개념으로 사용되어야 하지만 현행 초 · 중등 과학교과서 내용이나 과학과 교육과정[13]에 따르면 혼합물에서의 비중에 대한 내용은 없고 비중이라는 용어도 언급되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 비중 대신 학생들이 보편적으로 사용하는 밀도개념으로 분석하였다. 또한 지필검사 시 학생들이 문제 상황을 직접 관찰하며 탐구적 사고과정을 통하여 응답하도록 문제에서 제시된 상황을 직접 실험적으로 관찰하게 하는 탐구적 밀도개념 검사도구를 개발하여 사용하였다.

연구 문제

- 순물질과 혼합물에서 고체와 액체의 밀도에 대한 고등학생들의 과학적 개념의 형성비율은 어떠한가?
- 순물질과 혼합물에서 고체와 액체의 밀도에 대한 고등학생들의 오개념과 잠재이론은 어떤 것들이 있는가?

선행연구 고찰

많은 연구자들이 밀도개념을 가르치기가 지극히 어렵고 9학년에서조차 밀도개념은 완전하게 확립되지 않는다는 사실을 보고하였으며[21,22] 그 이유로 밀도개념이 비율과 비례관계에 대한 개념을 요구하기 때문이라는 연구들이 있었다.[23,24] 또 다른 일련의 연구에서는 학생들이 질량-밀도 관계를 혼동하는 선개념 혹은 대안적 개념틀로 인해서 밀도개념 학습이 어렵다고도 하였다.[25,26] 만약 후자의 가정이 옳다면 학생들은 밀도의 산술적 계산 뿐 아니라 밀도개념에 대한 개념적인 차원에서의 정성적 이해까지 부족한 것으로 해석된다. 따라서 밀도개념을 이해한다는 것은 학생들이 자신의 선개념 혹은 대안적 개념틀을 수정하거나 이탈하여 새로운 과학적 개념을 형성해야하는 심리적 부하가 상당한 일이 될 수 있다.

질량, 밀도, 무게, 부피 등은 거시적 관점의 물질이론에 관한 과학적 개념틀에서 서로 분명하게 구별되는 개념들이다. 질량, 무게, 부피는 크기성질이며 물체의 양에 따라 그 크기가 달라지지만, 밀도는 물질의 양이 달라진다고 해서 변화하지 않는 세기 성질이다. 열을 가하면 부피와 밀도는 변화하지만 질량이나 무게는 열에 의해서 변화되는 성질이 아니다. 물체가 가열되면 에너지를 얻게 되는 것이지 질량이나 무게가 증가하는 것은 아니며 같은 질량의 물질이 더 넓은 공간을 차지하게 되는 변화를 일으킬 뿐이다. 미시적 관점에서는 좀 더 정교하게 물질이 공간적으로 구별되는 각각의 질량을 가진 원자나 분자 수준에서의 입자들로 구성되어있다는 사실과 밀도에 관하여 기본적으로 거시적 수준에서 설명한 내용이 이러한 입자들로 이루어진 물질에 적용된다. 초등이나 중등 수준의 학생들이 공통적으로 질량- 부피-밀도 관계를 혼동하

는 것은 이들이 확연하게 구별되는 물리적 특성이란 사실을 이해하기 어려운 데서 비롯된 것으로 보인다. 예를 들어 같은 물질로 된 물체라도 그 외양이 다르면 밀도가 다르다고 해석하던가,[26] 뜨는 물체는 가라앉는 물체에 비해 밀도가 작다고 생각하는 경우,[22] 열팽창 후 물체의 밀도가 증가한다고 생각하는 경우[27]들을 그 예로 들 수 있다. 이들 연구에서 학생들은 전형적으로 물체가 뜨거나 가라앉는 현상에 대하여 무게, 물체를 이루는 물질의 종류, 물체의 크기가 영향을 미친다고 생각하는 경우가 많았다. 최병순과 김충호[16] 연구에서 학습 전 중학교 1학년 학생들은 물체의 뜨고 가라앉는 현상을 질량 또는 무게에 의해서, 자체성질, 공기의 유무, 입자의 촘촘한 정도 등으로 설명하였고, 문제 상황에 따라서도 다른 오인이 나타나는 등 학생들은 주로 양과 무게 혹은 부피에 대한 생각을 밀도와 연관지으려는 경향이 많았다.[17] 한편, Berkheimer, Anderson, Lee와 Blakeslee 의 연구[28]에서 학생들은 물질을 구분하는 기준으로 접촉가능성과 불투과성을 질량이나 무게보다도 더 확실한 기준으로 간주하는 경향이 있었으며, Smith 등[26]의 연구에서 매우 작은 곡식의 낟알이나 스티로폼처럼 크지만 매우 가벼운 물체의 경우에는 무게가 없는 것으로 간주하는 등, 물체의 무게에 대한 개념이 물질의 기본적인 성질로 인식되고 있지 않는 경향이 강하게 나타났다. Hewson과 Hewson[23]의 10학년을 대상으로 한 연구에서도 많은 학생들이 질량, 무게, 밀도를 무거움으로 생각하고 있으며 부피의 개념이 잘 형성되지 않았다. 질량과 부피에 관한 대안개념으로는 핀이나 머리카락 같은 것은 질량이 없는 것, 부피는 크기 또는 양, 컵은 부피가 없으나 컵 안의 물은 부피가 있는 것, 모양이 변하면 부피도 변한다고 생각하는 것 등이 있었으며 밀도는 촘촘함 혹은 입자가 꽉 차 있는 것으로 간주하였다. 연구자들은 이를 학생들이 물체의 무게에 대하여 성분분석적인 개념을 가진 것이라고 해석하였는데, 성분 분석적 무게개념이란 무게를 모든 물질의 성질로 보고 물체는 각각의 경우에 물질을 구성하는 성분으로 보는 방식이다. 또한 일반적으로 밀도개념과 무게 개념이 분화되는 시기는 8~10세이나 이때에도 학생들은 물질은 근본적으로 연속적이라는 사고방식을 고수하였다고 하였다. 그러나 과학사에서 과학자들은 현대적 원자론 이전부터도 무게와 밀도 개념을 확립하였다는 사실에 비추어보면 무게와 밀도 개념의 분화에 반드시 원자수준의 사고를 필요로 하는 것은 아니지만, 이러한 개념의 미분화는 7~9학년 학생들을 대상으로 한 여러 연구들에서 지속적으로 정량적인 측면 뿐만 아니라 정성적, 개념적 측면에서도 나타난다고 보고되었다. 예를 들어 Hewson[25]은 평균연령 18세인 학생들에게서 Smith 등[26] 이 밝힌 무게-밀도 개념의 미분화가 상당한 비율로 존재한다고 하였다. Duckworth[29]의 여덟 명의 교사를 대상으로 한 연구에 따르면 어느 한 사람도 물체가 뜨고 가라앉는 현상을 명확하게 밀도개념을 사용하여 설명하지 못했다. 이 여덟 사람의 교사집단이 물체가 뜨고 가라앉는 현상에서 과학자적인 밀도개념을 직관적 수준에서 사용하기 시작한 것은 이러한 현상에 대해 밀도 개념을 집중적으로 학습 한 지 8주 만의 일이었다. Cole과 Raven[30]은 과학 전공이 아닌 대학 2학년과 3학년 학생들을 대상으로 물체가 뜨는 원리에 대하여 밀도 개념을 사용한 개념화의 안정성에 관한 실험을 하였다. 결과는 '놀랍게도 중고등학교에서 같은 내용으로 학습한 경험에도 불구하고 과학비전공 대학 2-3학년들은 안정되게 밀도개념이 확립되어있지 않았다' 고 하였다. 같은 연구자들은 그 후속연구로 자연과학과정 강의를 수강하는 61명의 대학생들을 대상으로 같은 내용의 밀도개념을 검사하였는데 결국 앞서의 연구와 같은 수준의 낮은 안정성을 확인할 수 있을 뿐이었다. Hewson[23]은 평균연령 18세의 고등학생을 대상으로 뜨기와 가라앉기에서 밀도개념에 대한 연구를 하였다. 학생들은 이미 선수학습으로 질량, 무게, 부

***Table* 1.** The attainments related to density in the science curriculum

Grade	Unit	Attainments in the science curriculum
3rd	Liquids and Gases	• Comparing volumes of liquids • Measuring the volume of liquids and representing with units • weights of gases
	Separation of Mixtures	• Separation of a solid-solid mixture • Separation of unmixable liquids • Separation of a solid-liquid mixture
4th	Phase change of water	• Comparing weights and volume of water and ice
5th	Dissolution and Solution	• Weights before and after dissolution
6th	Gases	• Volume change of gases by temperature
7th	Three phases of matter	• Phase change • The molecular arrangements in different phases of matter
9th	Properties of matter	• Intensive and extensive properties • Properties of matter • Separation of mixtures

피, 밀도 개념을 최소한 두 번 이상 학습 한 후였지만 연구자는 "......밀도에 관한 정통적인 과학적 정의를 제시한 학생은 거의 없었으며 대부분의 학생들이 질량, 부피, 밀도, 힘 등의 대안적 개념을 사용하여 설명하였다. 이러한 결과는 정통적인 새로운 과학개념이 학생들이 이미 가진 선개념을 바꾸기 어렵고, 혼동스러운 상태에서 두 가지 개념이 공존하기도 한다는 사실을 알려주었다......(pp. 168-169)" 라고 적었다. 이들은 대부분 질량, 부피, 모양, 밀도의 대체적인 개념들을 중복하여 사용하였으며 특히, 밀도의 대체적 개념으로 물질의 분자가 쌓이는 것으로 보는 오인 유형도 있었다. 마찬가지로 Cole과 Raven[30]은 8학년 학생들과 성인들을 대상으로 한 뜨는 현상과 밀도에 관한 그들의 세 번째 연구에서 단지 정확한 과학적 개념에 대해 가르치는 것보다 적극적으로 연구대상자들이 가진 선개념을 이루는 원리가 정확하지 않고 따라서 버려야할 내용이라는 사실이라는 학습활동을 한 경우에 훨씬 더 안정적인 개념을 확립한다는 것을 발견하였다.

과학교육과정에서 밀도 관련 내용

본 연구에서의 주제인 밀도와 관련된 내용이 과학교육과정에서의 교수목표와 관련하여 어떻게 제시되어있는지 조사하여 *Table* 1에 나타내었다.

연구 방법 및 내용

연구 대상 및 검사

강원도 내 한 대도시 지역의 일반계 고등학교 11학년 5개 학급 150명의 학생에 대하여 밀도개념검사를 실시하였으며, 이 중 두 문항 이상 미응답자들을 제외한 120명을 연구대상으로 하였다. 이는 과학과 교육과정에서 밀도개념학습을 모두 마친 일반적인 과학적 소양을 지니고, 형식적 조작기의 도달비율이 초 · 중학생에 비해 훨씬 높을 것으로 판단되는 일반 고등학생들의 밀도에 관한 개념이해 정도를 판단하기 위한 것이었다. 여섯 개의 밀도 개념검사 문항에 나타난 각각의 문제 상황에서의 실험들을 시연한 후에 선다형과 서술형으로 구성된 밀도 개념검사를 지필검사로 실시하였다.

밀도 개념검사도구의 개발

순물질과 혼합물의 고체상과 액체상에서의 밀도에 관한 탐구적 개념검사를 위하여 선행연구 등을 바탕으로 먼저 중학교 3학년 학생 30명과 고등학교 1학년 학생 10명을 대상으로 반구조화된 심층면담형식의 예비조사연구를 실시하였다. 김충호[31]의 연구에서 순물질의 밀도에 관한 문항 2개를 사용하고 예비연구조사를 바탕으로 혼합물의 밀도에 관한 세 문항과 순물질의 밀도 관련 문항 중 순수한 용매의 밀도에 관한 문항을 포함하여 4문항을 개발하여 결과적으로 총 6개의 실험 상황에서의 밀도 개념검사 도구를 완성하였다. 최종 개념검사지는 순물질과 혼합물의 밀도에 관하여 각각 3문항씩, 그리고 이들 문항은 고체와 액체의 밀도에 관한 문항을 각각 포함하도록 구성되었으며(*Table* 2) 검사시간은 30분으로 제한하였다. 지필검사의 각 문항은 여러 단계의 하위문항들을 포함하고 있으며, 이는 주로 밀도에 관한 학생들의 개념체계를 알아보기 위한 설명을 요구하는 서술형 문항으로 구성되었다. 특히 변칙사례에 해당하는 관찰사실에 대한 설명을 요구하는 문항들은 Piaget에 의하면 외부자극의 변화에 따른 인지구조의 변화를 유발하게 되고 따라서 학생들로 하여금 기존의 심리적 구인이나 오인에 대한 반성적 비판을 하는 동기를 제공하게 된다.[32]

***Table* 2.** Items of the density concept assessment

Target Concept	Item Number	Contents
Density of a pure solid	1	Explain the reason why a block of wood floats in the water.
Density of a solid mixture	2-1	Infer what could happen when a block of wood which contains two steel balls is put into water.
	2-2	Explain the reason why you think it will float.
	2-3	Explain the reason why you think it will sink.
Counter-intuitive observation of density of a pure solid	3	Compare density of the two blocks of wood with the same weights; one includes two steel balls but not the other. Explain why one floats in water and the other does not (The masses, widths, lengths, and heights of the two blocks of wood are given in a table.).
Density of three pure liquids	4	Infer the reason why solvent A sink while solvent C float in solvent B (Order of density: solvent A > solvent B > solvent C, solvents: A = dichloromethane, B = water, C = hexane).
Density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture	5	Infer the reason why the mixture of solvent A and solvent C sink in solvent B (Order of density: solvent A > solvent B > solvent C, solvents: A = dichloromethane, B = water, C = hexane).
Discrepant event of density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture	6	Infer the reason why the order of the solvent B and the mixture of solvent A and C inversed when more of solvent C has been added to the mixture of solvent A and C (Order of density: solvent A > solvent B > solvent C, solvents: A = dichloromethane, B = water, C = hexane).

분석방법

일차적으로 각 문항별 분석이 이루어지고, 이차적으로는 학생들의 밀도에 대한 대안 개념 중 대표적인 대안 이론들을 그 특성별로 구분하였다. 일차 분석과정에서는 과학적 개념부터 가장 정교하지 못한 개념 순으로, 질적으로 서로 다른 대안개념 유형들을 나누었다. 이 루브릭을 작성하기 위하여 40개의 검사결과를 무작위로 선택하여 1차 연구자간 신뢰도를 측정한 결과 모든 문항에서 70~100% 일치도 범위 내에 들었다. 신뢰도가 낮은 문항에 대한 연구자간 보정을 한 후에 2차 연구자간 신뢰도를 측정한 결과 100% 일치하였다. 다음으로 1, 2차 루브릭 작성과정에서 참조한 응답지와 전혀 다른 30개의 응답지를 임의로 선택하여 90%에 이르는 3차 연구자간 신뢰도를 얻을 수 있었다. 이 루브릭을 사용하여 각 문항별로 위 *Table* 2에 나타난 목표 개념에 대한 대안 개념들을 그 이유의 항과 연관 지어 교차분석하고, 각 문항분석에서 나타난 오인들 중에서 높은 응답률을 보이는 대안개념의 유형과 분포상황을 고찰하였으며, 이로부터 밀도에 관한 고등학생들의 대표적인 잠재 이론[12]들을 추출하였다.

연구결과 및 논의

과학적 밀도 개념

과학과 교육과정에 나오는 밀도에 대한 개념 학습을 모두 마친 11학년 학생들의 전체문항에 대한 과학자적 개념은 평균 35.4%이었다. 이 평균값을 기준으로 순물질 고체(B), 순물질 액체(A), 혼합물 고체C), 혼합물 액체(E), 반직관적 변칙사례의 순물질 고체(D), 변칙적인 혼합물 액체(F)의 여섯 가지 범주에서 얻은 과학적 응답의 결과를 그 비율이 높은 것부터 낮은 것 순으로 평균값과의 차이는 *Figure* 1 과 같다. 학생들의 순물질에 대한 밀도개념은 혼합물에 대한 밀도 개념보다 더 정확하였으며, 전체 여섯 개의 범주에 대한 평균보다 더 높은 과학적 개념이해 정도를 나타내는 경우는 액체와 고체의 순물질에 대한 경우뿐이었다. 또한, 액체순물질에 대한 과학적 밀도개념을 가진 학생의 비율(A)은 고체순물질에 대한 과학적 밀도개념을 가진 학생의 비율(B)보다 12.5%만큼 더 많았다. 그러나 혼합물의 밀도에서 이 현상은 역전되었는데 혼합물의 경우에는 고체에 대한 과학적 밀도 개념을 가진 학생의 비율(C)이 액체에 대한 과학적 밀도 개념을 가진 학생의 비율(E)보다 6.7% 더 많았지만, 순물질에서 고체와 액체의 밀도에 대한 과학적 개념을 가진 학생비율의 차이의 절반 정도에 해당하는 것으로 나타났다. 변칙사례에 해당하는 경우에는 고체의 밀도에 대한 이해(D)가 액체의 밀도에 대한 이해(F)보다 5.0% 앞섰다(*Table* 3). 학생들은 일반적으로 순물질일때 밀도개념을 더 잘 이해하며, 혼합물이나 변칙사례 등 고려할 변인이 증가할수록 밀도에 대한 과학적 개념을 확립하기 어려운 것을 알 수 있었다.

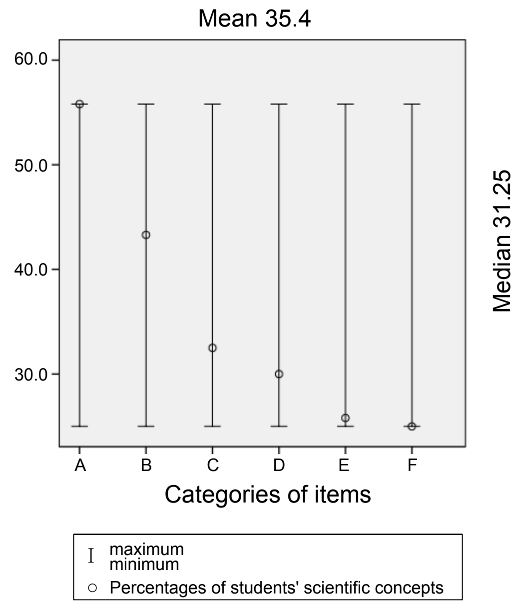

***Fig.* 1.** The distribution of the percentages of students' scientific concept on density by categories (A = pure liquid; B = pure solid; C = solid mixture; D = pure solid, counter-intuitive; E = liquid mixture; F = liquid mixture, discrepant).

***Table* 3.** The percentages of students' scientific conceptions on density and descriptive statistics (n = 6)

Categories of Density Concepts		Percentages of Scientific Concept (%)
Density of pure liquids		55.8
Density of a pure solid		43.3
Density of a solid mixture		32.5
Counter-intuitive observation of density of a pure solid		30.0
Density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture		25.8
Discrepant event of density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture		25.0
	Mean	35.4
	Standard deviation	11.97
	Median	31.25
	Range	30.8

***Table* 4.** Students' conceptions about density of solids in pure and mixed substances (frequency)

	Item	1	2	3
	Category	Pure	Mixed	Pure but Counter-intuitive
11th graders' density concepts	Scientific concept	52 (43.3)[a]	39 (32.5)	36 (30.0)
	Mass/Weight	30 (25.0)	24 (20.0)	8 (6.7)
	Innate property of matter	13 (10.8)	12 (10.0)	12 (10.0)
	Volume	9 (7.5)	0 (0.0)	23 (19.2)
	Buoyancy	5 (4.2)	6 (5.0)	14 (11.7)
	Surface tension	4 (3.3)	0 (0.0)	1 (0.8)
	Intermolecular distance	1 (0.8)	29 (24.1)	3 (2.5)
	Surface area	0 (0.0)	3 (2.5)	16 (13.3)
	Unintelligible/No answer	6 (5.0)	7 (5.8)	7 (5.9)
	Total	120 (100)	120 (100)	120 (100)

[a]The numbers in the parenthesis are the percentages for each case.

***Table* 5.** Students' conceptions about density of liquids in pure and mixed substances (frequency)

	Item	4	5	6
	Category	Pure	Mixed	Pure but Counter-intuitive
11th graders' density concepts	Scientific concept	67 (55.8)[a]	31 (25.8)	30 (20.5)
	Mass/Weight	18 (15.0)	11 (9.2)	0 (0.0)
	Innate property of matter	4 (3.3)	0 (0.0)	12 (10.0)
	Volume	2 (1.7)	0 (0.0)	9 (7.5)
	Intermolecular distance	9 (7.5)	18 (15.0)	19 (15.8)
	Water	7 (5.9)	0 (0.0)	0 (0.0)
	Concentration	4 (3.3)	8 (6.7)	7 (5.9)
	Polarity	0 (0.0)	21 (17.5)	8 (6.7)
	Molecular size	0 (0.0)	10 (8.3)	9 (7.5)
	Chemical reaction	0 (0.0)	5 (4.2)	6 (5.0)
	Unintelligible/No answer	9 (7.5)	16 (13.4)	29 (24.2)
	Total	120 (100)	120 (100)	120 (100)

[a]The numbers in the parenthesis are the percentages for each case.

고체의 밀도 개념

[문항 1]은 나무토막이 물에 뜨는 이유를 설명할 때 고체순물질의 밀도 개념이 어떻게 나타나는지 알아보기 위한 것이며 [문항2]는 나무토막에 홈을 파서 쇠구슬을 2개 집어넣어 [문항1]과 비교하여 부피는 같고 질량을 변화시킨 고체혼합물의 비중에 대해 알아보는 문제이다. [문항 3]은 문항 1의 물체가 뜨는 현상에 대해 선행연구와 예비조사연구에서 밝혀진 주된 오인 유형인 밀도-질량 개념의 미분화 현상이 반직관적인 관찰사실에 부딪쳤을 때, 학생들이 자신의 오인에 대한 변칙사례에 대한 해석을 통해 어떻게 변화되는가를 알아보기 위한 문항이다.

과학적 개념을 가진 학생은 문항 1에서 43.3%, 문항 2에서 32.5%로 학생들은 고체물질의 밀도에 대하여 순물질보다 혼합물 상태의 경우에 더 크게 혼동을 느끼고 있었다(*Table* 4). 대표적인 대안개념으로는 문항1에서는 25%의 학생이 질량이 작으면 밀도도 작다고 생각하여 질량-밀도 개념의 미분화 현상을 나타내었고, 문항2에서는 혼합된 고체의 한 성분인 "쇠구슬 분자 사이의 간격이 더 빽빽하기 때문에 가라앉게 된다"는 학생이 24.1%로 Hewson과 Hewson[21]의 연구에서처럼 학생들이 불균일 혼합물 상태의 고체물질의 밀도에 대하여 성분분석적으로 개념을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 순수한 고체 물질(나무토막)의 밀도 개념에 대한 오인은 질량(25.0%), 물질 자체의 속성(10.8%), 부피(7.5%) 등으로 답하였다. 이 결과는 최병순과 김충호[16]의 연구에서 학습전 학생들의 밀도에 대한 오인에서 밀도를 질량 또는 무게(42.5%), 물질의 속성(12.9%)으로 인식하는 것으로 나타난 것과 흡사하였다. 문항 2에서 사용한 쇠구슬과 나무의 혼합고체와 같은 질량을 가지는 순수한 나무토막이 물 위에 뜨는 현상에 대한 질문인 문항 3에서 학생들은 30%의 비율로 과학적 개념으로 언급하였으며, 19.2%의 학생이 부피-밀도 개념의 분화가 이루어지지 않은 결과를 보였다. 문항 2의 결과와 비교할 때 문제가 주어지는 맥락에 따라서 학생들은 밀도 개념을 질량과 혼동하

거나 부피개념과 혼돈해서 사용하는 것을 알 수 있었다.

액체의 밀도 개념

[문항 4]는 세 가지 용매를 순서대로 메스실린더에 같은 양(10 mL)씩 넣었을 때 세 개의 층으로 나누어지는 현상을 관찰하고 그 이유를 설명하는 것이었다. 세 가지 용매는 아래부터 순서대로 디클로로메탄(밀도: 1.33 g/cm^3), 물(밀도: 1.33 g/cm^3), 헥산(밀도: 0.65 g/cm^3)을 사용하였다. [문항 5]는 균일혼합물인 액체의 밀도에 관한 문항으로 문항 4의 실험에서 사용한 디클로로메탄과 헥산을 혼합물로 하여 이 두 가지 용매를 섞은 후의 밀도 변화에 관하여 질문하였다. 단, 여기서 두 가지 용매가 10 mL 씩 섞인 후의 부피는 20 mL 가 된다. [문항 6]은 균일혼합물 액체의 밀도에 관한 변칙적인 관찰사실을 보고 그 이유에 대한 설명을 하는 문항이다. 문항 5에서 메스실린더의 아래쪽에는 혼합용액이 위쪽에는 순물질 용매가 층을 이루고 있었는데, 이 메스실린더에 위층의 순물질 용매를 더 넣어주면 위 아래층이 역전되는 현상이 일어난다. 이 때 학생들은 첨가해 준 용매가 그러한 현상에 대해 어떤 영향을 미쳤는지 설명하게 하였다(*Table* 5).

첫째, 순물질 액체의 밀도에 대한 과학적 개념은 55.8%로 고체에서보다 12.5% 높게 나타났다. 혼합물 액체의 경우는 25.8%로, 변칙사례에 해당하는 혼합물 액체의 경우는 20.5%로 각각 그에 상응하는 혼합물 고체의 밀도와 반직관적이고 변칙사례적인 혼합물 고체의 밀도에서보다 과학적 개념이 형성되는 정도가 낮았다. 가장 대표적인 오인으로는 순물질 액체에서 고체순물질의 경우와 마찬가지로 질량-밀도 개념의 미분화 현상이 나타났고 그 외에 고체의 경우와 다르게 물의 표면장력이 나무를 뜨게 한다던가, 물의 부력에 의해서 나무토막이 뜨게 된다고 설명하는 경우들이 있었다. 문제의 맥락적 상황에 의해 밀도와 부력, 또는 표면장력과 같은 다른 개념들이 서로 혼용되고 있었다.

둘째, 균일혼합물 액체의 밀도에 관해서는 극성 용매분자끼리 섞여서 가라앉고 무극성 용매는 위층을 이룬 것이라고 설명하는 오인이 가장 많았다(17.5%). 이때에도 극성용매들

***Table* 6.** Senior secondary students' implicit theories on density

Representative Implicit Theories on Density by Categories	Percentage (%)[a]
[Item 1] Density of a pure solid	
• Density of a solid differs by weight or mass. (Weight or Mass)	25
• Wood is lighter than water and therefore it floats. (Properties of matter)	10.8
[Item 2] Density of three pure liquids	
• Density differs by molecular weight or the mass of the molecule.	15.8
[Item 3] Counter-intuitive observation of density of a pure solid	
• Density decreases as the volume of objects increases.(Volume)	19.2
• As the square measure of an object increases, density decreases.(Square measure)	13.3
• As the buoyance increases, density decreases. (Buoyancy)	11.7
• A block of wood floats in water. (Properties of matter)	10.0
[Item 4] Density of a solid mixture	
• Intermolecular distances in steel ball is very close and therefore a block of wood containing steel balls sinks in water.	20.8
• As the weight of an object increases it sink in water.	16.7
• In spite of the presence of the steel balls, the block of wood floats because it is made of wood. (Properties of matter)	10.0
[Item 5] Density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture	
• The two liquids are all polar solvents and therefore they mixed together and sank. (Polarity of solvents: like dissolves like.)	17.5
• When two different kinds of liquid molecules in their molecular size mixed together, the intermolecular distances become smaller and therefore density of the mixture increases. (Intermolecular distances)	15.0
[Item 6] Discrepant event of density(specific gravity) of a homogeneous liquid mixture	
• Because of the unbalance between the different liquid molecules in a mixture, the intermolecular distances increases and therefore density decreases. (Intermolecular distances)	15.8
• Because of the floating property of a liquid, density of the liquid mixture decreases. (Properties of matter)	10.0

[a]The sum of the percentages in each item is not 100 because only intelligible responses that can be categorized into the alternative concepts with 10 percentages and over are listed in the table.

은 혼합물이고 무극성 용매에 비해 부피가 2배인 점을 고려할 때, 학생들은 용매의 극성·무극성, 부피, 밀도 개념이 각각의 개념으로서도 확립되지 않고 개념들 간의 분화도 제대로 이루어지지 않은 상태에서 서로 확실한 구분 없이 연관지어 사용하는 것을 알 수 있다. 또한, 혼합되어진 액체에서 큰 액체 분자 사이로 작은 액체분자가 끼어들어서 액체 분자들 사이의 거리가 줄어들어서 밀도가 커졌기 때문에 아래층을 이루었다고 설명하는 오인이 15% 로 두 번째, 그리고 질량과 혼동한 경우(9.2%)와 분자의 크기차이를 밀도 차이로 보는 경우(8.3%)가 그 뒤를 따랐다. 이 외에도 혼합물 액체에 특이하게 나타나는 오인들로는 액체가 혼합되면 밀도가 커진다거나, 혼합된 액체들끼리 화학반응을 하여 밀도가 작은 액체는 밀도가 더 큰 액체의 밀도를 닮는다거나, 혼합된 액체는 농도가 진해져서 밀도가 더 커진다거나 하는 것들이 있었다. 특히, 액체의 극성 여부(17.5%), 혼합되는 액체분자의 크기(8.3%), 화학반응을 통해 밀도가 더 큰 액체의 밀도로 되기(4.2%)의 세 가지 오인은 고체의 밀도는 물론 순물질 액체의 밀도에 관한 오인에서도 찾아보기 힘든 종류였다.

마지막으로, 변칙사례에 해당하는 혼합물 액체의 밀도에 대해서는 고체를 포함한 다른 모든 경우를 통틀어 이해불가능하거나 무응답인 경우가 24.2% 나 되어서 다른 어떤 오인들보다 높은 비율을 나타내었다. 이는 학생들이 변칙사례에 직면하여 심각한 인지갈등을 겪으면서 테스트 시간 내에 자신들의 대안이론을 발전시키거나 새로운 개념을 고안해내기가 힘들었던 것으로 추측된다. 가장 많은 오인은 크기가 더 작은 많은 양의 액체 분자가 크기가 더 큰, 혼합된 상대편 액체분자 사이로 끼어들어가서 그 액체분자 사이의 간격을 넓히고 이로 인하여 분자 사이의 거리가 멀어져서 밀도가 작아졌기 때문에 두 층이 역전되었다는 설명이었다.

고체와 액체의 밀도에 관한 잠재적 대안 이론

문항 별 응답 분석 결과, 밀도 개념학습을 모두 마친 고등학생들이라도 거의 절반의 학생들에게서 선개념이 과학적 개념으로 변화되지 않고 많은 대안이론들을 가지고 있으며 실험상황에 관여하는 변인의 종류가 많고 변칙사례가 포함된 경우 더 많은 상황특이적인 오인유형들이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 각 문항 범주에서 10% 이상의 응답률을 보인 대표적 잠재적 대안이론들을 *Table* 6에 열거하였다. 순수한 고체나 액체의 밀도에 관하여는 질량-밀도 미분화라는 잠재이론에 의한 오인들이 주된 것이었으며(각각 25%, 15.8%), 혼합물에서는 고체의 경우 고체들이 촘촘히 쌓여 분자사이의 거리가 가까워지면 밀도가 증가한다는 잠제이론이(20.8%), 액체의 경우는 용매의 극성 · 무극성 성질로 인해 혼합물이 된 액체는 더 무거워진다는 논리적 타당성이 결여된 대안이론과 밀도-질량-부피 미분화적 잠재 이론이 혼재된 오인(17.5%)과 분자간 거리가 작은 액체분자가 분자간 거리가 더 큰 액체입자 사이로 섞여 들어가므로 밀도가 커진다는 분자간 거리-공극 미분화와 부피-밀도 미분화에 관한 잠재이론(15%)이 주된 오인을 이루는 요인이었다.

변칙사례가 제시된 경우 고체에서는 부피나 면적과 밀도의 미분화에 의한 오인이 주된 것으로 나타났으며(19.2%, 13.3% each), 액체에서는 혼합물을 이루는 서로 다른 액체들 사이의 비평형을 극복하기 위해 혼합된 액체분자들 사이의 거리가 멀어져서 밀도가 작아졌다거나(15.8%), 액체는 뜨는 성질이 있어서 액체혼합물이 되면 더 잘 뜨게 되고 밀도는 작아진다(10%)고 하여 분자간 거리-밀도 미분화와 밀도를 뜨고 가라앉는 성질로 파악하려는 경향이 있는 것으로 나타났다.

결론 및 제언

과학과 교육과정에서 밀도개념에 대한 학습을 모두 마친 11학년 학생들의 밀도개념의 특성은 다음과 같았다.

첫째, 이 연구에서 사용한 여섯 가지 범주 중에 오직 고체 순물질의 밀도에 대해서만 약 절반 정도의 학생이 과학적 개념을 가지고 있었으며, 혼합물이나 변칙사례 등이 포함되는 등 여러 변인을 고려해야 하는 상황에서는 밀도에 대한 이해가 훨씬 감소하는 것으로 나타났다.

둘째, 고체의 밀도에 대한 개념에서 순물질, 혼합물 모두 여러 선행연구에서 드러난 질량-밀도 관계의 개념의 미분화가 가장 특징적인 오인유형이었으며, 반직관적 관찰 사실을 포함하는 고체물질의 밀도에 대하여는 부피-밀도 개념의 미분화현상이 가장 두드러졌다. 결과적으로 문제 혹은 상황맥락적인 변인 또한 학생들의 오인을 유발하는 중요한 요인인 것을 알 수 있었다.

셋째, 액체의 밀도에 대한 개념에서 여전히 질량-밀도 개념의 미분화 현상이 나타나지만, 혼합물 액체의 경우에는 용매의 극성, 분자간 거리, 분자의 크기 등 미시적 입자적 성질과 연관지어 혼돈하는 경향이 상당한 비율로 나타났다. 이는 액체의 유동성에 따른 입자적인 성질과 아직 확립되지 않은 밀도 개념이 복합적으로 작용하여 학생들의 기존 개념구조나 대안이론의 개념틀 등에 새로운 갈등상황을 제공한 것으로 보인다.

또한, 각 문항의 범주별로 가장 높은 오인의 특성을 종합하여 보면 다음과 같다.

첫째, 순물질인 경우 고체나 액체의 밀도는 질량개념과 분화되지 않은 상태로 혼용되고 있었다.

둘째, 고체 혼합물의 밀도에서는 성분분석적인 접근을 하며, 성분별로 고체를 이루는 물질에 따라 밀도가 달라진다고 생각하는 경향이 있었다. 쇠구슬은 나무보다 물질을 이루는 입자 사이의 간격이 촘촘하므로 더 밀도가 크다고 생각하는 것이 그 예이다. 이러한 예는 순물질에서 나무는 본래적인 속성이 물 위에 뜨는 것이라고 설명하는 직관적인 거시적 사고

와 다르게, 미시적으로 물질의 구성입자를 고려한 것이다. 11학년 학생들은 물질의 미시적 · 입자적 성질에 관한 학습과 여러 가지 새로운 과학 개념에 대한 학습에 의해 (예: 표면장력, 농도, 극성 등) 나이 어린 학생들에 비해 훨씬 더 분화되고 복잡한 그렇지만 정교하지 않은 밀도 개념을 가지게 되는 것을 알 수 있다.

셋째, 혼합물 고체에 대한 분화되고 복잡한 오인과 달리 반직관적인 변칙사례에 해당하는 혼합물 고체의 밀도에 대하여는 겉으로 보이는 면적이 커져서 부피가 커졌기 때문에 물위에 뜨게 된다는 한 가지 변인만을 고려하는 단순한 오인이 가장 많았다. 이는 인지갈등을 유발하는 변칙적 사례에 대한 대안이론을 자신이 납득할 정도로 충분히 발전시키기 어려웠던 것으로 파악되며, 따라서 비율로서의 밀도를 고려할 때 필요한 다른 요인을 고려하지 못한 채 오히려 간단하게 관찰 가능한 사실에서 답을 찾으려 한 것으로 보인다.

넷째, 고체 혼합물의 밀도를 설명할 때는 어느 한 성분 고체에서 분자간의 간격이 좁고 촘촘하여 밀도가 커진다고 한 반면에 액체 혼합물의 밀도에 관해서는 액체의 극성·무극성에 따라 서로 잘 섞이는 액체끼리의 혼합물이 밀도가 커진다고 생각하는 경향이 있었다.

다섯째, 변칙사례의 경우 고체의 밀도에서는 질량에 대한 비율 개념을 생략한 채 부피가 크거나 면적이 크다는 등 관찰 가능한 단편적 사실로부터 밀도를 설명하는 경향이 강했고, 액체의 경우는 액체의 고유한 성질, 즉, 같은 종류의 용매끼리 잘 섞인다는 사실을 액체 혼합물에 적용하고. 혼합되면서 증가한 부피를 마치 질량의 증가와 동일시하여 더 무거워졌다고 생각하는 경향이 있었으며 이는 질량-부피-밀도 개념의 미분화 상태가 11학년에 이르러서도 지속되고 있음을 나타낸다.

이 연구의 대상자들은 대부분의 선행연구에서 나타난 것과 같은 종류의 오인유형을 가지고 있었으며, 이는 Pozo와 Gometz Crespo[12]가 말한 잠재이론(implicit theory)이 학생들의 인지구조 혹은 개념망의 기저를 이루는 이론으로 자리 잡고 매우 정교화 되어 있어서, 새로운 자극이 제공되어도 쉽게 변화하기는 힘들다는 연구결과를 뒷받침해 주었다. 따라서 과학개념의 학습에 있어서 목표개념에 대한 집중적인 질적·양적인 시간 투자, 구성주의적 교수학습 원리의 적용, 목표개념이 확립되기 전까지 일정한 상황적 맥락에서 학습하기와 그 후에 다른 맥락에 적용하기, 이를 위하여 너무 많은 수의 개념을 가르치려고 하지 않기와 같은 요인들이 과학학습 지도와 실행에 있어서 중요하게 고려될 필요가 있다.

감사의 글. 이 논문은 2009년도 강원대학교 과학교육연구소 지원을 받아 수행된 연구임.

REFERENCES

1. Carey, S. In *Causal cognition: A multidisciplinary debate*; Sperber, D.; Premack, D.; Premack, A. J., Ed.; Clarendon Press: Oxford, U.K., 1995; p 268.
2. Gopnik, A.; Meltzoff, A. N. *Words, thoughts, and theories*; MIT Press: Cambridge, MA, 1997.
3. Strike, K. A.; Posner, F. J. In *Cognitive structure and conceptual change*; West, L. & Pines, L., Ed.; Academic Press: New York, 1985; p 211.
4. Strike, K. A.; Posner, F. J. In *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*; Duschl, R. A. & Hamilton, R. J., Ed.; State University of New York Press: NY, 1992; p 147.
5. Posner, F. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. S*ci. Ed.* **1982**, *66*, 211.
6. Carey, S. *Conceptual Change in Childhood*; MIT Press: Cambridge, MA, 1985.
7. Spelke, E. *Cog.* **1994**, *30*, 431.
8. Reiner, M.; Slotta, J.; Chi, M. T.; Resnick, L. *Cog. Ins.* **2000**, *18*, 1.
9. Schnots, W.; Vosniadou, S.; Carretero, M. *New perspectives on conceptual change*; Pergamon Press; Oxford, U.K., 1999.
10. Attran, S. *Cognitive foundations of natural history: Towards an anthropology of science*; Cambridge University Press: Cambridge, U.K., 1990.
11. Sperber, D. *Explaining culture: A naturalistic approach*; Blackwell: Oxford, U.K., 1996.
12. Pozo, J. I.; Gomez Crespo, C. M. A. *Cog. Ins.* **2005**, *23*(3), 351.
13. Proclamation of the Ministry of Education 2007-79. Seoul, Korea: 2007.
14. Park, J.; Park, H. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *46*, 265.
15. Cho, I.; Park, H.; Choi, B. *J. Kor. Chem. Soc.* **1999**, *43*, 699.
16. Choi, B.; Kim, C. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Edu.* **1992**, *12*, 31.
17. Hong, S; Choi, B. *J. Kor. Asso. Sci. Ed.* **1991**, *11*, 15.
18. Noh, T.; Kim, S.; Kang, S.; Kim, J. *Kor. Asso. Sci. Ed.* **2002**, *22*, 595.
19. Kang, H.; Kim, M.; Noh, T. *Kor. Asso. Sci. Ed.* **2007**, *27*, 412.
20. Yang I.; Kwon, Y.; Kim, Y.; Jang, M.; Jeong, J.; Park, K. *Kor. Asso. Sci. Ed.* **2002**, *22*, 314.
21. Hart, K. In *Number concepts and operations in the middle grades.*; Hiebert, J.; Behr, M., Ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, 1988; p 198.
22. Lesh, R.; Post, T.; Behr, M. In *Number concepts and operations in the middle grades*; Hiebert, J.; Behr, M., Ed.; Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale, NJ, 1988; p 93.
23. Hewson, M.; Hewson, P. *J. Res. Sci. Teach.* **1983**, *20*, 731.
24. Rowell, J. A.; Dawson, C. *Sci. Ed.* **1977**, *61*, 243.
25. Hewson, M. G. *Sci. Ed.* **1986**, *70*, 159.
26. Smith, C.; Carey, S.; Wiser, M. *Cognition* **1985**, *21*, 177.
27. Strauss, S.; Globerson, T.; Mintz, R. *J. App. Dev. Psych.* **1983**, *4*, 125.
28. Berkheimer, G. D.; Anderson, C. W.; Lee, O.; Blakeslee, T. D. *Matter and molecules teacher's guide: Science book* (Occasional paper No. 121); Michigan State University Institute for Research on Teaching: Lansing, MI, 1988.
29. Duckworth, E. *Inventing Density*; Center for Teaching and Learning, North Dakota Study Group on Evaluation: Grand Forks, ND, 1986.
30. Cole, H.; Raven, R. *J. Res. Sci. Teach.* **1969**, *6*, 234.
31. Kim, C. The Effectiveness of Learning Cycle Approach to the Construction of the Concept of Density and Development of the Transformation Ability of INRC Group Related to the Concept of Density. Master's Thesis. Korea National University of Education. 1991.
32. Martin, D. J. *Elementary science methods: A constructivist approach*; Delmar Publishing: Aalbany, NY, 2000.