

뜨고 가라앉는 현상에 대해 중력과 밀도를 연계한 설명방식이 학생의 대안개념에 미치는 영향

김성기 · 김석원[†] · 백성혜^{‡,*}

나주고등학교

[†]봉의고등학교

[‡]한국교원대학교

(접수 2017. 1. 19; 게재확정 2017. 4. 12)

The Effect of Explanation in Conjunction with Gravity and Density on Students' Alternative Conceptions for Floating and Sinking Phenomena

Sung-Ki Kim, Suk-Won Kim[†], and Seung-Hey Paik^{‡,*}

Naju High School, Naju 58258, Korea.

[†]Bongyeui High School, Kangwon 24313, Korea.

[‡]Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk 28173, Korea. *E-mail:shpaik@knue.ac.kr

(Received January 19, 2017; Accepted April 12, 2017)

요 약. 본 연구는 수업 공식을 이용한 설명 대신, 밀도와 중력의 개념을 연결한 설명이 뜨거나 가라앉는 현상에 대한 학생들의 대안 개념에 어떠한 영향을 미치는가를 알아보고자 하였다. 연구 대상은 강원도에 위치한 한 고등학교 2학년 4개반, 140명의 학생들이었으며, 이들을 실험집단과 비교집단의 두 집단으로 나누었다. 실험집단에는 밀도와 중력 개념을 연계한 설명을 도입한 수업을, 비교집단은 교과서에 제시된 수업 공식을 이용한 설명을 도입한 수업을 각각 실시하였다. 사전검사 결과를 공변수로 하여 공변량분석(ANCOVA)을 한 결과, 물질의 특성과 관련된 3 문항 중 2개 문항은 두 집단 간 차이가 통계적으로 유의하지 않았으나, 1개 문항은 수업의 작은 효과크기(Hedges' $g=0.327$)를 보였다. 그리고 대안개념 변화 추이에서도 두 집단 사이에 유의미한 차이가 없었다. 반면, 물과 물체와의 상대적 무게 관계와 관련된 문항에서는 3개 문항 모두 두 집단 간 차이가 통계적으로 유의미한 효과크기(0.286-0.502)를 나타내었다. 뿐만 아니라 사후에 실험집단의 압력과 관련된 대안개념의 빈도수가 비교집단에 비해 상당히 감소하였다. 따라서 이 연구에서 제안한 무게와 밀도를 연계한 설명 방식은 뜨고 가라앉는 현상에 대한 학생들의 대안개념을 제거하고 과학적 개념을 형성하는데 효과적임을 알 수 있다.

주제어: 뜨고 가라앉는 현상, 중력, 밀도, 압력, 대안개념

ABSTRACT. The purpose of the study was to investigate the effect of explanation in conjunction with gravity and density on students' alternative conceptions for floating and sinking phenomena. The subjects were 140 students of 11th grade in 4 classes of a high school located in Gangwon Province. We divided them in two groups; comparison and experiment. The students of experiment group learned explanation in conjunction with gravity and density. The students of comparison group learned explanation of pressure as represented in physics textbook. ANCOVAs (analysis of covariance) were conducted using the pretest as a covariance. In items related to characters of matter, 2 items are not significant and only 1 item has significant small effect size (Hedges' $g=0.327$). In the change of alternative conceptions, there is no meaningful gap between two group. However, in items related to relative weights between object and water, the all items have significant effect sizes (0.286-0.502). In addition, frequency of experiment group's alternative conceptions related to pressure decreases considerably, but comparison group does not. Therefore, the explanation in conjunction with gravity and density suggested in this study can decrease students' alternative conceptions related to floating and sinking phenomena and increase scientific conceptions.

Key words: Floating and sinking phenomena, Gravity, Density, Pressure, Alternative conception

서 론

보편적으로 뜨거나 가라앉는 현상은 부력이라는 개념으로 물리 영역에서 다루지만, 밀도 개념과도 관련되어 있

기 때문에 화학 영역에 속하는 중학교 '물질의 특성' 단원에서도 오랫동안 다루었다.¹ 따라서 부력이라는 개념은 물리와 화학 영역이 중첩되는 부분이라고 볼 수 있다. 전통적으로 화학 영역에서는 뜨거나 가라앉는 현상을 밀도 차로

다루었는데, 교육과정 개정과 관계없이 다루는 범위(scope)는 큰 차이가 없었으며, 다만 계열성에서 중학교 2-3학년 사이의 작은 변화만 있었다. 물리에서는 수압 차로 부력을 제시하는데, 화학과 달리 7차 교육과정에서는 초등학교 6학년, 2007 개정 교육과정에서는 중학교 1학년, 2009 개정 교육과정 고등학교 물리 I에서 다루고 있다. 이처럼 물리 교육과정 변천에서 부력 개념을 도입하는 대상 학년에 대한 변화의 폭이 크에도 불구하고 수압 차로 설명하는 방식에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 단지 학년이 높아지면 파스칼의 법칙 등을 도입하여 정량적 사고를 유도하고, 낮은 학년에서는 사고의 복잡성을 피하기 위하여 유체는 물로 한정하고 물체에 작용하는 부력을 물질의 고유한 성질처럼 다루었다. 유체 속에서 물체에 작용하는 차별적 압력을 계산하기 위해 필요한 파스칼 법칙은 저학년 학생들이 이해하기 어려운 수준의 설명방식이기 때문이다. 즉, 낮은 학년에서는 부력이 큰 물질은 뜨고, 작은 물질은 가라앉는다는 설명으로 범위(scope)를 한정하였다.

이러한 사고가 확장되면 학생들은 뜨거나 가라앉는 현상을 물질의 고유한 성질로 인식할 가능성이 높다.²⁻⁶ 특히 2009 개정 교육과정에서 개발되어 현재 사용하고 있는 초등학교 3학년 ‘물질의 성질’ 단원에서는 뜨거나 가라앉는 현상을 물질의 성질로 제시함으로써 이러한 오류를 강화시키고 있다.⁷ 그리고 이러한 내용은 2015 개정교육과정의 초등학교 3-4학년군 교육 내용에서도 큰 변화 없이 지속될 예정이다.⁸

부력 개념에 관한 많은 선행연구에서 초등학교부터 대학생들까지 대안개념을 가지고 있을 뿐 아니라^{4,9-13} 이를 지도하는 교사들조차도 다양한 대안 개념을 가지고 있다는 것^{14,15}을 밝혔다. 또한 학생들의 밀도 개념 발달에 관한 연구들에서도 개념의 분화가 제대로 일어나지 않거나^{16,17} 형식적 조작기에 도달하거나,¹⁸⁻²⁰ 무게와 부피의 보존 개념이 형성된 후에야 비로소 밀도 개념 형성이 가능함²¹을 밝혔다.

최근에 밀도 개념을 도입함으로써 부력 개념의 이해를 돕는 교수 효과에 대한 연구^{22,23}가 제시되었으나, 주로 초등학교와 중학교 영재 학생들에 초점을 두었으며 중력의 개념과 관련지는 수업은 아니었다.

뜨거나 가라앉는 현상을 설명하는 근본 원리는 지구가 잡아당기는 힘인 중력이다.²⁴ 비록 중력의 개념은 중학교 1학년 물리에서 다루지만, 중학교 뿐 아니라 고등학교 학생들조차도 중력에 대한 과학적 개념 형성에 어려움을 겪는 것으로 나타나고 있다.^{25,26} 뿐만 아니라 대부분의 교과서에서 뜨고 가라앉는 현상을 중력과 관련하여 설명하고 있지 않는다.²⁷⁻²⁹ 중학교 화학에서 뜨고 가라앉는 현상을 밀도 차 개념으로 설명할 때에도 물체의 밀도와 중력을 연결하여 부력을 설명하는 시도는 지금까지 이루어지지 않았다.

고등학교에서는 물리 단원에서 부력의 크기를 계산할 때 중력가속도의 개념을 도입하지만, 이 계산식을 도출하기 위해 사용하는 압력이란 개념은 중력 없이도 존재할 수 있기 때문에 수압 차로 설명하는 방식에서는 중력의 개념이 크게 다루어지지 않는다.

과거에는 특정 학년에 제시된 과학 개념을 학생들이 이해하지 못하는 비율이 높으면, 이를 학습자 수준의 문제로 판단하고 교육과정의 수직적 조직에 해당하는 계열을 바꾸는 방식을 고수하였다. 그 예 중의 하나가 부력 개념이다. 이 개념은 초등학교와 중학교에 제시할 때마다 학습자의 이해에 어려움이 제기되어 다시 고등학교로 올라가기를 반복하였지만, 이러한 변화를 통해 학습자의 이해를 향상시키는 효과를 보지는 못하였다. 학생들의 이해에서 발생하는 어려움을 이유로, 실생활에 가장 친숙한 뜨고 가라앉는 자연 현상의 과학적 설명을 학생들에게 도입하려는 노력을 포기할 수는 없다.

이 연구에서는 부력의 개념을 파스칼 법칙을 통해 압력을 도입하는 고등학교 물리 교과과정의 전통적인 수업이 학생들에게 어려운 이유는 중력에 대한 개념 부재와 관련이 있다고 보았다. 따라서 학생들이 자연 현상의 근본 원인에 대한 이해 없이 현상을 정량적인 수식으로만 배우는 기존의 고등학교 설명방식의 문제점을 해결하기 위하여, 중학교 화학 영역에서 접근하는 설명 방식인 밀도 개념과 중학교 물리 영역에서 도입하는 중력 개념을 연결한 새로운 설명 방식의 교육적 효과를 알아보려고 하였다.

이러한 설명방식의 변화를 통해 뜨고 가라앉는 현상에 대한 학생들의 이해가 높아진다면, 지금까지 교육과정 개정에서 암묵적으로 전제해 온 바와 같이 학생들이 어려워하면 수직적 계열을 높이는 방식의 시도를 버리고, 학생들이 보다 깊이 있게 자연 현상을 이해할 수 있는 적절한 설명 방식의 변화를 위해 노력을 기울이는 계기를 제공해 줄 것이다.

연구방법

연구대상

본 연구의 실험대상은 강원도 춘천시에 소재한 한 남녀 공학인 A고등학교 2학년 자연계열 4개 학급(N=140명)이다. 연구를 위해 2개 학급씩 나누어 실험집단과 비교집단을 선정하였으며, 압력을 도입하는 설명방식은 2009 개정 과학과 교육과정 물리 I에서 제시되기 때문에 물리 I수업 시간을 활용하였다. 이때 압력의 차이로 설명하는 수업을 비교집단 학생들에게는 제시하였으며, 밀도와 중력을 연결한 수업을 실험집단 학생들에게 제시하였다. 두 집단의 연구대상자는 Table 1과 같다.

Table 1. Participants

	Experimental group	Comparative group
Number of classes	2	2
Number of male	40	40
Students female	30	30
Total students	70	70

실험설계


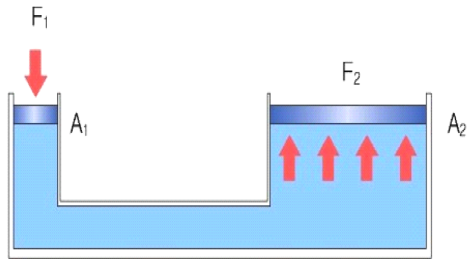

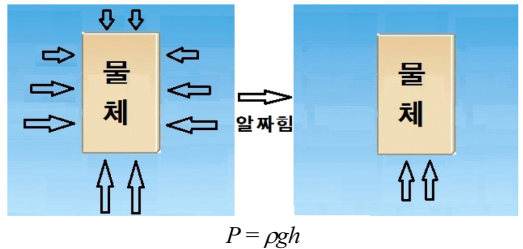
본 연구는 학급을 기준으로 두 개의 집단을 구분하는 준 실험설계(quasi experiment)로 구성하였다. 또한 준실험설계에서 가장 최선의 대안으로 고려되는 비동등 비교집단 전후검사 설계(nonequivalent comparison group design with pretest and posttest)를 설계하였다.³⁰

물리 I 수업에서 부력에 관련된 내용은 'IV. 에너지' 단원의 '2. 힘과 에너지의 이용' 중단원 중 '03. 유체의 법칙과 이용' 소단원 내용에 해당한다. 이 소단원에서는 '유체 속에서의 압력', '아르키메데스 법칙', '물질의 비중과 부력', '파스칼 법칙' 등을 다룬다. 이 소단원에 해당하는 고등학교 수업은

평균적으로 2시간이므로, 실험집단과 비교집단의 수업도 총 2차시로 진행하였다.

물리 수업은 매주 1차시씩 2회로 구성되었으므로, 본 연구는 3주에 걸쳐 수행되었다. 첫째 주에는 1차시 동안 두 집단에 대해 사전검사를 실시하였다. 두 번째 주에서는 1차시씩 나누어 실험집단과 비교집단의 수업을 진행하였다. 첫째 차시에 비교집단은 물리 I 교과서에서 제시한 방식에 따라서 파스칼 법칙을 이용하여 압력으로 설명하는 수업을 진행하였다. 실험집단은 밀도와 중력을 연계한 설명 방식으로 수업을 진행하였다. 또한 유체의 밀도와 물체의 밀도를 비교하여 부력의 상대적 크기를 이해하는 수업을 진행하였다. 이때 실험집단에서는 압력의 개념 없이 부력 개념을 도입하기 위해 관련된 실험 영상을 활용하였다. 직접 실험을 하는 대신 영상을 활용한 이유는 짧은 시간 안에 다루고자 하는 내용을 모두 포함하기 위해서였다. 둘째 차시에는 두 집단 모두 동일하게 배운 개념을 적용하는 수업을 진행하였다. 이후 셋째 주의 한 차시동안 두 집단 모두 사전검사와 동일한 사후 검사를 실시하였다. 두 집단에

Table 2. Classes in the experimental group and the comparative group

Step	Experimental group	Comparative group
	① Comparison of masses by the same volume (density concept) using video 	① Exploring the Pascal's Law 
Concept exploration	② Comparison of phenomena on earth and in space (gravity concept) ③ Comparison of densities between fluid and an object using video 	② Water pressure calculation using Pascal's law 
	④ Introduction of buoyancy equation $F_b = \rho g V$	③ Introduction of buoyancy equation $F_b = PA = \rho g h A = \rho g V$
Concept application	① Archimedes's Law ② Helium balloon movement in the air ③ The different buoyancies between pure water and seawater ④ Cartesian diver	






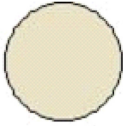
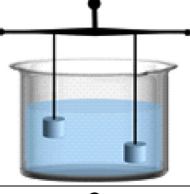
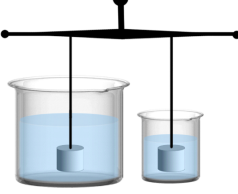
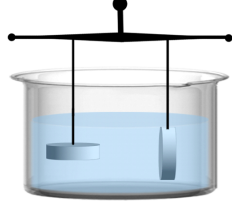
투입된 수업은 Table 2에 비교하여 제시하였다.

비교집단에서 이루어진 설명 방식은 단순히 물체에 작용하는 수압을 고려하여 물체가 뜨는지 또는 가라앉는지에 대한 결과 판정에 초점을 두었다. 예를 들어 위에서 누르는 수압보다 아래서 작용하는 수압이 더 커서 물체가 뜬다고 설명하거나, 아래에서 작용하는 수압 때문에 물체가 뜬다고 설명하는 방식이다. 그리고 물체 아래에서 작용하는 수압과 부력을 연결하여 이해하도록 제시하고 있다. 이

러한 설명을 통해서 물속에 있는 물체가 물 위에 떠 있는 물체보다 더 큰 부력을 받는다는 것을 이해하지 못할 수 있다. 물 위에 떠 있는 물체는 잠긴 부피가 더 작기 때문에 물속에 잠긴 물체보다 더 작은 부력을 받지만, 떠있는 현상만으로 더 큰 부력을 받아서 떠 있다고 생각할 가능성이 높기 때문이다.

따라서 새로운 설명방식은 이러한 결과 중심의 단편적인 사고의 오류를 방지하기 위하여 뜨거나 가라앉는 전체

Table 3. Items of the questionnaire

Factor	Item No.	Content	Logist
	1	<p>What happens when you put a metal ball and a wooden ball of the same weight in water? Write the reason why you think so.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A metal ball</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>A wooden ball</p> </div> </div>	-0.49
Characteristics of matter	2	<p>What happens when you put a bottle filled with water and an empty bottle of the same size in water? Write the reason why you think so.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>A bottle filled with water</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>An empty bottle</p> </div> </div>	-0.24
	3	<p>What happens when you put a boat and a ball made by aluminum foil with 5 small stones in water? Write the reason why you think so.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>	0.20
Relationship between object and water	4	<p>The lever is horizontal in the air when we hang the same weights with different lengths. What happen when we put it in water?</p> <p>Write the reason why you think so.</p> <div style="text-align: center;">  </div>	0.38
	5	<p>The lever is horizontal in the air when we hang the same weights with same lengths. What happens when we put it in the water of two different size beakers? Write the reason why you think so.</p> <div style="text-align: center;">  </div>	0.26
	6	<p>The lever is horizontal in the air when we hang the same weights with different shapes. What happen when we put it in water?</p> <p>Write the reason why you think so.</p> <div style="text-align: center;">  </div>	0.29

과정에 대한 이해를 보여주었다. 이를 위하여 물체에 작용하는 중력의 크기와 물과 물체의 상대적 무게인 밀도 차의 개념을 연계하는 것이 중요하다고 판단하였다. 이러한 연계를 통해 부력이 큰 경우는 물체가 유체 한가운데에 있는 상황이며, 이미 뜬 상황은 오히려 상대적으로 부력이 작아진다는 것을 인식할 수 있게 하였다. 이를 위하여 처음에 물체의 무게 변화는 물에 잠긴 정도와 관련된다는 것을 보여주고, 그 다음에 같은 물체라도 매질의 밀도가 달라지면 뜨고 가라앉는 현상이 달라짐을 보여주어서 매질의 밀도와 물체의 밀도의 상대적 크기에 따라 뜨고 가라앉는 현상이 달라진다는 것을 이해하도록 구성하였다.

본 연구는 사전검사와 사후검사로 동일한 검사도구를 사용하였지만, 실험집단과 비교집단의 수업과 관련되지 않은 내용으로 구성하여, 실험 집단의 수업에 따른 사후검사 결과의 영향을 배제하고자 노력하였다. Table 2의 수업내용과 Table 3의 검사도구를 비교하면 이를 확인할 수 있다. 또한 동일한 검사지를 실험집단과 비교집단에 모두 제시하여 두 집단의 차이를 비교함으로써 사전검사의 간섭효과를 통제하고자 하였다.

검사도구

이 연구에서는 뜨고 가라앉는 현상에 대해 학생들의 학습발달과정을 알아보기 위해 제작된 검사지³¹를 수정하여 사용하였다. 이 검사지는 총 15문항으로 구성되어 있으며, 모두 개방형 질문이다. Rasch모형을 이용하여 1,017명의 초등학교 학생부터 대학생까지를 대상으로 실시한 연구에서 각 문항의 난이도에 해당하는 문항별 로지스트는 $-0.83 \sim 0.59$ 이었다.

선행연구³¹에 의해 개발된 15개 문항에 대한 요인을 알아보기 위해 원 데이터를 이용하여 분석한 결과, 2개의 요인으로 문항이 구성되었음을 확인하였다. 2개의 요인은 지레를 제시하지 않고 현상을 예측하는 문항과 지레를 제

시하고 지레의 움직임을 예측하는 문항으로 구분되었다. 선행 논문³¹에서 ‘지레를 제시하지 않고 현상을 예측하는 문항’에 대한 학생 응답의 키워드를 분석한 결과, 학생들의 대안개념^{14,15,32-37}인 ‘공기가 있어서’, ‘재질로 인해서’ 등 물질의 특성에 초점을 둔 답변이 많았다. 반대로 ‘지레를 제시하고 지레의 움직임을 예측하는 문항’에서 나타난 학생의 대안 개념은 ‘더 깊은 물에 담긴 물체가 더 무겁다.’, ‘물체의 모양이 달라지면 물속에서 뜨는 현상이 달라진다.’, ‘물의 양이 많아지면 부력이 달라진다.’ 등과 같이 물체와 물체를 둘러싼 유체를 동시에 고려하는 답변이 많았다. 따라서 본 연구에서는 ‘지레를 제시하지 않고 현상을 예측하는 문항’을 ‘물질의 특성’과 관련된 문항으로, ‘지레를 제시하고 지레의 움직임을 예측하는 문항’을 ‘물과 물체의 관계’에 대한 문항으로 명명하였으며, 이 두 요인으로 나누어 문항에 대한 두 집단의 차이를 분석하였다.

본 검사도구가 초등학교부터 대학생까지의 학습발달과정을 연구하기 위한 목적으로 제작된 점을 고려하여 고등학교 수준에 지나치게 쉬운 문항과 묻는 성격이 유사한 문항을 삭제하여 각 요인별로 3개 문항씩 총 6개 문항을 선정하였다. 이러한 선정의 타당성을 확인하기 위하여 과학교육 박사 1인과 현직교사 2인의 검토를 받았다. 선정된 문항의 로지스트(Logist) 값과 문항에 대한 내용은 Table 3에 제시하였다. 문항에 대한 Cronbach α 는 .755이었으며, Rasch를 이용하여 계산된 문항신뢰도는 .95이었다. 각 문항별 Infit MNSQ값과 Outfit MNSQ값은 .92~1.08로, 사용하기 적합한 문항으로 판정하였다.

자료수집 및 분석

수집된 사전, 사후검사의 응답은 학습발달단계에 맞게 0~4점의 부분 점수 평정법(Partial credit model)으로 채점되었다.³¹ Table 4에 채점 기준과 사례를 제시하였다. 이렇게 채점된 원점수는 서열척도이므로 통계적 분석이 가

Table 4. Scoring by partial credit model

Score	Category	Key word	Example
0	No answer	-	-
1	Characteristics of matter	Material/shape	Because of wood/ Because of the shape
	Simple mention of basic concepts Incomplete understanding of basic concepts	Weight/volume/surface Volume/weight/water pressure	Because wood is light./ Because wood is large. Because larger thing is heavier. / The water pressure of upside is larger than downside.
2	Understanding of basic concept	Volume/weight	Iron sinks and wood floats because the weight of iron is heavier than that of wood.
	Simple mention of upper concept	Density/buoyancy	It sinks because the density is large.
3	Combination of basic concepts	Weight/volume	Because iron is heavier than wood of the same volume.
	Incomplete understanding of upper concept	Density/buoyancy	Iron sinks because the density is larger than that of wood.
4	Scientific concept	Difference of density/comparison of gravity and buoyancy	Iron sinks because the density is larger than that of water. / Iron sinks because the gravity is larger than buoyancy of iron

능한 비율적으로 환산하기 위해 Rasch모형이 적용되는 Winstep 프로그램을 활용하였다. 본 연구의 독립변수는 수업유형(실험집단과 비교집단)이며, 종속변수는 사후검사 점수이다. 본 연구는 준실험설계이기 때문에 두 집단에 대한 동질성을 확보하지 못한다³⁰는 문제를 해결하기 위해서 사전검사 점수를 공변수로 하여 종속변수인 사후검사 점수를 통계적으로 조정하여 효과를 검증하는 공변량분석(ANCOVA)을 실시하였으며, 통계처리는 IBM SPSS Statistics 20 프로그램을 활용하였다.

공변량분석에 요구되는 통계적 가정은 독립성, 정규성, 등분산, 기울기 동일성 등이다. 각 집단의 표집수가 30명이상인 경우, 중심극한정리를 적용할 수 있기 때문에 정규성 가정을 충족하였다고 판단하여 별도의 가정 체크를 실시하지 않았다. 등분산 가정은 Levene의 등분산 가정 검정을 이용하였으며, 기울기의 동일성 가정은 공변수와 독립변수 간의 상호작용 여부로 확인하였다. 두 집단의 통계적 검증과 별도로 각 문항에 대표적인 대안개념의 빈도 변화 추이도 함께 분석하였다.

독립변수의 통계적 유의성을 확인한 후, 통계적으로 유의미하다고 판단되는 문항에 대해 효과 크기를 산출하였다. 통계적 유의성은 사례수가 커짐에 따라 통계적으로 유의할 확률이 높기 때문에, 사례가 많은 경우 단순히 통계적 유의성만 분석하기 보다는 효과 크기를 구하여 연구 결과가 실제로도 의미가 있는지를 알아볼 필요가 있다. 본 연구에서는 효과 크기를 산출하기 위해 다음과 같은 Hedges의 g값을 구하는 공식을 이용하였으며, 효과 크기는 Cohen³⁸에 따라 0.20 정도는 작은 효과, 0.50 정도는 중간 크기 효과, 0.80 정도는 큰 효과로 해석하였다.

$$g = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s^*}$$

$$s^* = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

\bar{x}_1, \bar{x}_2 : 집단 1, 집단2의 평균

s_1^2, s_2^2 : 집단 1, 집단 2의 조정 전 분산

연구 결과 및 논의

물질의 특성과 관련된 문항에서 두 집단의 점수 비교

ANCONA에 요구되는 가정 중 Leven의 등분산 가정을 충족하였으며, 사전검사와 집단 간의 상호작용(사전검사*집단)은 통계적으로 유의하지 않았으므로 기울기 동일성에 대한 가정 역시 충족되었다. 이로서 사전검사 점수를 공변수로, 집단을 독립변수로, 사후검사 점수를 종속변수로 하는 공분산분석을 실시하기 위한 통계적 가정이 성립되었다. 이후 실시한 ANCOVA 결과는 Table 5와 같다.

무게가 동일하지만 크기와 재질이 다른 두 물체를 비교하는 1번 문항은 난이도를 나타내는 능력 로지스트가 -0.49로, 본 검사지의 문항 중에서 가장 쉬운 문항이었다. 따라서 다른 문항에 비해 사전검사에서 높은 점수를 나타내었다. 두 집단 모두 사전검사 평균점수에 비해 사후검사의 조정된 평균점수가 높았다. 사후검사의 조정된 평균점수에 대한 두 집단 간 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다(F=.970, p>.05). 유리병 물체 속의 물질(물 또는 공기)의 차이를 비교하는 2번 문항 역시 사전검사의 평균점수에 비해 사후검사의 조정된 평균이 0.5점 이상 상승하였으며, 두 집단 간 통계적 차이는 유의미하지 않았다(F=1.126, p>.05). 같은 재질의 물질 모양을 변화시켰을 때의 차이를 비교하는 3번 문항은 난이도를 나타내는 능력 로지스트가 0.20으로 어려운 문항에 속한다. 그렇기 때문에 두 집단 모두 사전검사에서 1.40, 1.37로 낮은 점수를 보였다.

수업을 진행한 이후 두 집단 모두 사후검사에서 조정된 평균점수가 상승하였으며, 두 집단 간 통계적 차이는 유의미하였다(F=5.489, p<.05). 이에 대한 효과크기를 나타내는 Hedges의 g값은 .327로, Cohen에 따르면 이는 작은 효과 크기에 해당한다. 따라서 밀도와 중력을 도입한 새로운 방식의 수업 효과는 통계적으로 유의미 하지만, 두 집단 모두 많은 학생들이 여전히 사후검사에서 상당히 높은 비율로 불완전한 개념을 가지고 있음을 알 수 있었다.

물질의 특성과 관련된 3개의 문항 중에서 두 집단의 통계적 차이를 보이는 문항은 난이도가 가장 높은 1개 문항이었으며, 큰 효과 크기를 보이지 않았다. 이를 통해 이 연

Table 5. The results of ANCOVA in the items related to characteristics of matter

No.	Group	Pretest		Posttest		Estimated mean	p	Hedges' g
		Mean	S.D.	Mean	S.D.			
Item 1	Experiment	2.34	.946	2.64	.979	2.739	.326	-
	Comparison	2.59	.860	2.74	.811	2.647		
Item 2	Experiment	2.06	.899	2.67	.863	2.678	.291	-
	Comparison	2.09	.812	2.54	.912	2.536		
Item 3	Experiment	1.40	.806	2.31	1.210	2.307	.021*	.327
	Comparison	1.37	.765	1.87	1.076	1.878		

Table 6. The results of ANCOVA in the items related to relative weights between object and water

No.	Group	Pretest		Posttest		Estimated mean	p	Hedges' g
		Mean	S.D.	Mean	S.D.			
Item 4	Experiment	1.39	.856	2.63	1.169	2.668	.000***	.497
	Comparison	1.56	.911	2.00	1.216	1.961		
Item 5	Experiment	1.36	.638	2.70	1.301	2.753	.000***	.502
	Comparison	1.53	.717	2.04	1.160	1.990		
Item 6	Experiment	1.51	.880	2.86	1.243	2.878	.015*	.286
	Comparison	1.59	.985	2.39	1.427	2.365		

구에서 제안한 밀도와 중력을 연계한 수업은 물질의 특성과 관련된 개념 사고에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 본 연구에서 새로 도입한 수업 방식은 학생들의 대안개념을 변화시키는데 효과를 나타내지 못하였음을 알 수 있다.

물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항에서 두 집단의 점수 비교

물과 물체의 상대적 무게 관계와 관련된 문항에서도 ANCOVA에 요구되는 가정이 충족되었다. 이후 실시한 ANCOVA 결과는 Table 6과 같다. 물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항의 로지스트 값은 0.26~0.38로 상대적으로 물질의 특성과 관련된 문항보다 어려운 것으로 나타났다. 문항 4번~6번 모두 사전검사의 평균점수는 1점 중반으로 낮았다. 그러나 문항별 변화 추이를 보면 두 집단의 차이는 모두 통계적으로 유의미하였다.

물체의 물에 잠긴 깊이를 변화시켰을 때의 차이를 비교하는 4번 문항에서 사후검사의 조정된 평균점수를 보았을 때, 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다 ($F=10.575$, $p<.000$). 수업에 대한 효과 크기를 나타내는 Hedges의 g 값은 .497로 중간 정도의 효과 크기를 보였다. 물체가 잠긴 물의 양에 따른 차이를 비교하는 5번 문항 역시 사후검사의 조정된 평균점수가 두 집단 간에 통계적으로 유의미하게 나타났다($F=14.758$, $p<.000$). 이 문항에 대한 수업 효과를 나타내는 Hedges의 g 는 .502로 4번 문항과

유사하게 중간 정도의 효과 크기를 보였다. 동일한 물체이지만 물속에 놓여진 물체의 모양의 따른 차이를 비교하는 6번 문항에서 실험집단의 조정된 평균점수는 비교집단에 비해 통계적으로 유의미하게 높았다($F=6.608$, $p<.05$). 이 문항에서 수업에 대한 효과 크기를 나타내는 Hedges의 g 는 .286으로 작은 효과 크기를 나타내었다. 따라서 전반적으로 이 연구에서 새로 도입한 수업 방식은 물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항에서 학생들의 대안개념을 변화시키는데 효과적임을 알 수 있다.

물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항들은 물질의 특성에 관련된 문항들보다 상대적으로 어려운 문항이었으며, 상대적으로 어려운 문항에서 교육적 효과가 더 크게 나타났다는 점은 이 수업의 가치를 보여주는 것이라고 할 수 있다. 구체적으로 어떤 대안개념들이 수정되는데 수업이 효과적이었는지 알아보기 위하여 채점 기준에 따라 사전검사와 사후 검사의 변화를 비교하여 Table 7~10에 제시하였다.

문항 4에서 통제집단과 실험집단을 비교하였을 때, 수업이 영향을 미친 가장 큰 대안 개념은 수압과 관련된 생각이었다. 수압으로 부력을 설명한 통제집단의 경우에는 사전 검사에서 37.1%가 사후 검사에서 28.6%로 변화하였지만, 밀도와 중력의 개념으로 부력을 설명한 실험집단의 경우에는 사전 검사에서 31.4%가 사후 검사에서 14.3%로 수압에 대한 대안 개념이 크게 줄어들었다.

문항 5에서 통제집단과 실험집단을 비교하였을 때, 수

Table 7. Pretest and posttest between comparative group and experimental group according to score in Item 4

Score	Category	Key word	Number (%)			
			Comparative group		Experimental group	
			Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	Incomplete understanding of basic concepts	Weight	9(12.9)	3(4.3)	16(22.9)	1(1.4)
		Air pressure	2(2.9)	1(1.4)	5(7.1)	1(1.4)
		Water pressure	26(37.1)	20(28.6)	22(31.4)	10(14.3)
2	Understanding of basic concept Simple mention of upper concept	Weight	7(10.0)	0(0.0)	4(5.7)	0(0.0)
		Buoyancy	12(17.1)	13(18.6)	13(18.6)	12(17.1)
3	Incomplete understanding of upper concept	Buoyancy	9(12.9)	7(10.0)	8(11.4)	9(12.9)
4	Scientific concept	Comparison of gravity and buoyancy	5(7.1)	26(37.1)	2(2.9)	37(52.9)

Table 8. Pretest and posttest between comparative group and experimental group according to score in Item 5

Score	Category	Key word	Number (%)			
			Comparative group		Experimental group	
			Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	Simple mention of basic concepts	Position	20(28.6)	9(12.9)	22(31.4)	4(5.7)
	Incomplete understanding of basic concepts	Amount of water	19(27.1)	14(20.0)	17(24.3)	14(20.0)
		Water pressure	1(1.4)	6(8.6)	11(15.7)	1(1.4)
2	Understanding of basic concept	Density	8(11.4)	11(15.7)	7(10.0)	6(8.6)
	Simple mention of upper concept	Buoyancy	17(24.3)	14(20.0)	9(12.9)	9(12.9)
3	Incomplete understanding of upper concept	Buoyancy and surface contacted with water	3(4.3)	0(0.0)	3(4.3)	4(5.7)
4	Scientific concept	Buoyancy and submerged volume	2(2.9)	16(22.9)	1(1.4)	32(45.7)

Table 9. Pretest and posttest between comparative group and experimental group according to score in Item 6

Score	Category	Key word	Number (%)			
			Comparative group		Experimental group	
			Pretest	Posttest	Pretest	Posttest
1	Simple mention of basic concepts	Position	8(11.4)	3(4.3)	8(11.4)	1(1.4)
	Incomplete understanding of basic concepts	Surface	36(51.4)	25(35.7)	37(52.9)	14(20.0)
		Water pressure	4(5.7)	6(8.6)	3(4.3)	0(0.0)
2	Understanding of basic concept	Density	7(10.0)	3(4.3)	10(14.3)	6(8.6)
	Simple mention of upper concept	Buoyancy	2(2.9)	0(0.0)	2(2.9)	8(11.4)
3	Incomplete understanding of upper concept	Buoyancy and surface contacted with water	7(10.0)	5(7.1)	6(8.6)	7(10.0)
4	Scientific concept	Buoyancy and submerged volume	6(8.6)	28(40.0)	4(5.7)	34(48.6)

업이 영향을 미친 가장 큰 대안 개념은 위치와 수압과 관련된 생각이었다. 수압으로 부력을 설명한 통제집단의 경우에는 모두 같은 위치의 물에 잠겨있기 때문이라고 응답한 학생들이 사전 검사에서는 28.6%이었으나 사후 검사에서는 12.9%로 변화하였다. 그리고 수압으로 설명하는 대안개념은 1.4%에서 8.6%로 오히려 증가하였다.

그러나 밀도와 중력의 개념으로 부력을 설명한 실험집단의 경우에는 위치로 설명한 학생들이 사전 검사에서는 31.4%였으나 사후 검사에서 5.7%로 크게 감소하였다. 수압으로 설명하는 대안 개념도 15.7%에서 1.4%로 크게 감소하였다. 따라서 이 연구에서 제시한 수업은 실험집단의 위치와 수압에 대한 대안개념을 줄이고 과학적 개념으로 변화하는데 효과적임을 확인할 수 있다.

문항 6에서 통제집단과 실험집단을 비교하였을 때, 수업이 영향을 미친 가장 큰 대안 개념은 표면과 수압에 관련된 생각이었다. 표면으로 부력을 설명한 통제집단의 경우에는 물이 아래에서 떠받쳐주는 면적이 더 넓기 때문에 부력을 더 크게 받는다고 응답한 학생들이 사전 검사에서는 51.4%이었으나 사후 검사에서는 35.7%로 변화하였다. 그리고 수압으로 설명하는 대안개념은 5.7%에서 8.6%로 오히려 증가하였다.

그러나 밀도와 중력의 개념으로 부력을 설명한 실험집단의 경우에는 표면으로 설명한 학생들이 사전 검사에서는 52.9%였으나 사후 검사에서 20.0%로 크게 감소하였다.

수압으로 설명하는 대안 개념도 4.3%에서 0%로 감소하였다. 그 대신 “부력이 같아서 수평을 유지한다.”와 같은 단순한 상위 개념 언급 수준의 응답률은 2.9%에서 11.4%로 증가하였다. 따라서 이 연구에서 제시한 수업은 실험집단의 물이 아래에서 떠받쳐주는 면적과 수압에 대한 대안개념을 줄이고 보다 상위 개념이나 과학적 개념으로 변화하는데 효과적임을 확인할 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 부력 개념에 대한 학생들의 이해 수준을 근거로 교육과정이 바뀔 때마다 부력 개념을 도입하는학년의 변화폭이 컸다는 점에 주목하고, 뜨고 가라앉는 현상에 대해 보다 안정적으로 고등학교 학생들이 이해할 수 있는 수업을 도입하여 그 효과를 알아보고자 하였다. 이를 위해 뜨고 가라앉는 현상의 근본 원인인 중력과 물질의 특성인 밀도 개념을 연계한 새로운 방식의 설명을 제안하였으며, 수업 전후에 학생들의 이해와 대안 개념의 변화를 분석하였다. 연구 결과, 물질의 특성에 관련된 쉬운 문항에서는 새로운 설명 방식을 도입한 수업의 효과가 미미하였으나, 물과 물체의 상대적 무게에 관련된 어려운 문항의 경우에는 교육적 효과가 뚜렷하게 나타났다. 다만 이 연구의 설계 과정에서 pretest-treatment interaction의 가능성을 무시할 수 없으므로 나타난 결과에 대한 해석에 제한점이 따른다.

이 연구에서 제안한 새로운 설명방식은 기존의 설명방식이 갖는 한계점을 해결할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 중력과 밀도를 연계한 설명을 도입하였으며, 이것은 각각을 독립적으로 제시할 때와는 다른 장점을 가진다. 우선 화학 영역에서 도입하는 밀도는 뜨거나 가라앉는 현상에 대한 결과를 쉽게 예측한다는 장점이 있지만, 뜨거나 가라앉는 현상에 대한 근본 원리를 제공하는 것에는 미약했다. 뿐만 아니라 밀도는 스칼라량에 해당하지만, 뜨거나 가라앉는 현상은 벡터량과 관련된 현상이다. 그렇기 때문에 밀도차로 설명하는 것은 물리량에서 불일치의 문제가 생긴다. 이러한 점도 밀도만으로 뜨는 현상을 설명할 때 학생들의 이해에 어려움을 주는 원인이 될 것이다.

기존의 설명방식이 갖는 한계점을 해결하기 위하여 이 연구에서는 중력과 밀도의 개념을 연계한 설명방식을 제안하였고, 그 효과를 확인하였다. 뜨거나 가라앉는 현상은 물체와 밀린 유체의 차별적인 중력 차이에 의해 일어난다. 즉, 큰 중력을 받은 것이 아래로, 더 작은 중력을 받은 것이 위로 움직이는 것이다. 이러한 차별적 중력은 밀도차로 설명하는 방식의 근본 원리를 제공할 수 있다. 밀도차란 결국 동일 부피에서 질량의 차이를 보는 것이며, 이 질량의 차이는 차별적 중력과 연결되기 때문이다.

이러한 새로운 설명 방식의 교육적 효과에 대한 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 첫째, 물질의 특성과 관련된 문항에서는 학생들이 물질의 특성과 연계된 대안 개념을 가지고 있었으며, 밀도와 중력을 연계한 설명을 도입한 수업이 큰 효과를 나타내지 못하였다. 그 이유는 새로운 설명 방식에서도 물질의 특성으로 밀도를 도입하였기 때문에 학생들이 이와 관련하여 가지고 있는 대안 개념을 버리는데 도움을 주지 못한 것이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 뜨거나 가라앉는 현상을 다룰 때, 다루는 물질을 순물질이 아닌 혼합물로 확대하여 물질의 고유한 성질이라는 대안개념이 고착화되지 않도록 노력할 필요가 있다.

둘째, 물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항에서 학생들은 압력과 관련된 대안개념을 상당수 갖고 있었으며, 기존의 압력을 이용한 수업은 이러한 대안개념을 과학적 개념으로 보정하는데 역할이 미미하였다. 하지만 중력과 밀도의 개념을 연계한 새로운 설명 방식의 수업은 학생들의 대안개념을 없애는데 상당히 큰 영향을 미쳤다. 물질의 특성과 관련된 문항과 달리 물과 물체의 상대적 무게에 관련된 문항에서 이러한 교육적 효과를 보인 이유는 문항의 난이도와도 관련이 있는 것으로 나타났다. 즉, 낮은 수준의 문제 상황에서는 기존의 압력을 이용한 설명방식만으로도 해결이 가능하지만, 높은 수준의 문제 상황에서는 기존의 설명방식이 한계를 가짐을 확인할 수 있었다. 고등학교

학생들의 경우 높은 수준의 이해를 요구하는 데에도 불구하고 압력과 관련된 설명방식을 고수하면서 파스칼의 법칙처럼 정량적으로 정교화된 공식만을 제시하여 학생들의 이해 수준을 높일 수 있다고 생각하는 것은 문제라고 본다. 이 연구의 결과를 토대로 뜨거나 가라앉는 현상을 보다 학생들이 높은 수준으로 이해할 수 있게 하기 위해서는 학생들의 대안개념을 없앨 수 있는 새로운 설명방식의 도입을 제안하였다. 그 후에 정량적인 사고를 유도하는 것이 뜨고 가라앉는 현상에 대한 교육적 효과를 높이는 방안일 것이다.

Acknowledgments. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. Lee, S. H.; Paik, S. H. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2013**, *33*, 30.
2. Leuchter, M.; Saalbach, H.; Hardy, I. *J. Sci. Educ.* **2014**, *36*, 1751.
3. Hadjiachilleos, S.; Valanides, N.; Angeli, C. *Res. Sci. Tech. Educ.* **2013**, *31*, 133.
4. Sari, h-N. *International J. of Sci. Educ.*, **2005**, *27*, 259.
5. Yin, Y. *Sci. scope*, **2012**, *35*, 48.
6. Andreani Dentici, O.; Grossi, M. G.; Borghi, L.; Ambrosio, A. D.; Massara, G. I. *Europ. J. Sci. Educ.* **1984**, *6*, 235.
7. Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity. Science 3-1, 2014.
8. Ministry of Education. 2015 Revised Curriculum: Elementary school science, 2015.
9. Song, M. S. Master thesis of Korea National University of Education, 2001.
10. Kwon, S. G.; Kim, J. E. *Elementary Sci. Educ.* **2007**, *25*, 476.
11. Seo, H. C. Master thesis of Korea National University of Education, 2004.
12. Sin, H. S. Master thesis of Korea National University of Education, 2006.
13. Solano-Flores, G.; Shvelson, R. J.; Ruiz-Primo, M. A.; Schults, S. E.; Wiley, E. W.; Brown, J. H. ERIC Document Production service No. ED 411 314, 1997.
14. Lee, H. C.; Lee, S. J. *Elementary Sci. Educ.* **2000**, *19*, 145.
15. Park, J. W.; Won, J. A.; Paik, S. H. *Elementary Sci. Educ.* **2007**, *26*, 226.
16. Piaget, J. The child's conception of the world. Paladin: London, 1973.
17. Smith, C.; Carey, S.; Wiser, M. *Cognition*, **1984**, *21*, 177.
18. Lawson, A. E.; Weser, J. Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching, San Francisco. April, 1989.
19. Inhelder, B.; Piaget, J. The growth of logical thinking, Routledge & Kegan Paul Ltd., 1958.

20. Renner, J. W.; Abraham, M. R. *J. of Res. in Sci. Teaching*, **1990**, 27, 35.
21. Novak, J. D. A Theory of education, Cornell University press, 1977.
22. Lee, S. J.; Park, I. W. *Sci. Gifted Educ.*, **2012**, 4, 79.
23. Lee, S. D.; Min, H. J.; Paik, S. H. *Teacher Educ. Res.* **2012**, 51(2), 153.
24. Hecht, E. Physics: calculus, Thomson, 1996.
25. Ruggiero, S.; Cartelli, A.; Dupre, F.; Vicentini-Missoni, M. *Europ. J. Sci. Educ.* **1985**, 7, 181.
26. Palmer, D. J. *J. Sci. Educ.* **2001**, 23, 691.
27. Lee, M. W.; Kwon, S. M.; Kim, K. S.; Lee, H. N.; Chae, K. P.; Kwak, Y. J.; Kang, C. H.; Ha, Y. K.; Jo, H. S.; Jo, E. M.; Kwon, Y. J.; Lee, I. S.; Kim, D. J. Middle school science 2; Kumsung: Seoul, 2014.
28. Lee, J. S.' Song, S. J.; Hong, J. E.; Kim, H. S.; Park, Y. O.; Jung, D. H.; Im, H.; Park, K. T.; Park, M. S.; Kim, S. H.; Park, S. Y.; Lee, S. Y. Middle school science 2; Dong-a publishing: Seoul, 2014.
29. Park, H. S.; Jung, D. Y.; Sin, H. S.; Kim, J. H.; Huh, S. I.; Jo, S. I.; Yoo, J. N.; Lee, H. W.; Kim, J. Y.; Lee, S. J.; Choi, B. S.; Kang, S. C.; Oh, S. H. Middle school science 2; Kyohaksa: Seoul, 2014.
30. Shadish, W. R.; Cook, T. D.; Campbell, D. T. Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference, Mifflin and Company, 2002.
31. Song, G. L. Master Thesis, Korea National University of Education, 2016.
32. Kim, E. Y. *Kor. J. Early Childhood Educ.* **2012**, 32, 236.
33. Baik, E. J.; Song, E. Y. *J. Kor. Open Ass. Early Childhood Educ.* **2009**, 14, 155.
34. Lee, J. H.; Kim, S. Y. *Kor. J. Early Childhood Educ.* **2003**, 23, 169.
35. Jo, B. K.; Paik, S. H.; Lee, E. J. *Kor. J. Early Childhood Educ.* **2005**, 25, 59.
36. Jo, B. K.; Lee, E. J. *Kor. J. Early Childhood Educ.* **2011**, 31, 481.
37. Kim, I. Y.; Kim, J. N. *J. Sci. Edu.* **2012**, 36, 369.
38. Cohen, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences, 2nd ed., Hillsdale, 1988.