Journal of the Korean Chemical Society
2018, *Vol. 62, No. 3*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2018.62.3.226

화학영역에서 뜨고 가라앉는 현상에 대해 진술된 모델의 평가

김성기[†] · 박철용[‡] · 최 희[§] · 백성혜[#,*]
[†]광주과학고등학교
[‡]공주대학교부설고등학교
[§]봉명고등학교
[#]한국교원대학교
(접수 2018. 2. 11; 게재확정 2018. 4. 4)

Evaluation of Stated Models for the Floating and Sinking Phenomena in the Chemical Domain

Sung-Ki Kim[†], Chul-Yong Park[‡], Hee Choi[§], and Seoung-Hey Paik[#,*]
[†]*Gwangju Science Academy for the Gifted*
[‡]*Kongju National Universtiy High School*
[§]*Bongmyeong High School*
[#]*Korea National University of Education*
[*]*E-mail: shpaik@knue.ac.kr*
(Received February 11, 2018; Accepted April 4, 2018)

요 약. 본 연구는 화학영역에서 뜨고 가라앉는 현상과 관련되어 교과서에 진술된 모델을 모델의 생성과 관련된 본성 측면을 기반으로 평가하였다. 이를 알아보기 위해 7차 교육과정에서부터 2009 개정 교육과정의 초등학교 3학년 과학교과서 2종과 중학교 과학교과서 21종이 분석되어졌다. 분석 결과 진술된 모델은 ① 모델의 전제조건에 대한 설명 부재, ② 물질적 관점의 질술 방식, ③ 패턴의 원리 결여, ④ 다루어진 사례의 부적절성의 특성을 보였다. 학생들에 대한 모델의 교육은 모델을 이용한 활동 보다는 모델이 생성되는 과정과 관계된 교육이 선행되어야 함에도 그러한 모델의 본성에 대한 교육이 부족함을 알 수 있었다. 이를 해결하기 위해 모델의 생성과 관련된 모델의 진술과 이와 관련된 학생 모델 평가 도구 제작을 제언하였다.

주제어: 과학 모델, 모델 평가, 전제조건, 패턴

ABSTRACT. In this study, the models described in the textbooks related to floating and sinking phenomena in the chemical domain were evaluated based on the aspect of nature related to the generation of models. To achieve this, we were targeting statement of textbooks from 7th curriculum to 2009 revised curriculum. Analysis of textbooks was performed for science of elementary school (total 2 textbooks) and science of middle school (total 21 textbooks) which dealt with these phenomena. According to the textbooks analysis, characteristics of statement way were ① No description of the model's prerequisites, ② Statement based matter viewpoint, ③ Lack of pattern principle, ④ Inadequacy of the case covered. Although the education about the model for the students should be preceded by the education related to the process of model creation rather than the activity using the model, the education about the nature of the model is insufficient. In order to solve this problem, we propose the model statement in textbooks and the development of the model evaluation tool related to model creation.

Key words: Scientific model, Model evaluation, Prerequisite, Pattern

서 론

과학교육의 목표는 단편적인 지식의 암기라기보다는 과학적 탐구능력과 관련된 과학적 소양의 함양에 있다.[1] 과학 모델은 과학적 탐구나 소양의 핵심적인 요소이며, 과학적 사실에 대해 의사소통을 가능하게 한다. 이러한 면에서 과학적 소양을 함양할 수 있는 과학 교수학습 전략으로 모델을 강조한 교수법이 주목을 받고 있다.[2,3] 우리나라의 과학교육에서도 2009 개정 교육과정뿐만 아니라 2015 개정 교육과정에서도 모델이 강조되어왔다. 뿐만 아니라 미국 과학교육 표준(National Science Educational Stadards, NSES)과 NGSS에서도 모델에 대한 교육이 강조되고 있다.[4]

Chamizo는 모델을 특정한 목적으로 실제 세계의 특정한 부분을 상황과 관련하여 만든 비유에 바탕을 둔 표상

이라고 하였다.[5] 이처럼 과학 모델이라는 것은 실제 자연 세계를 그대로 드러내기 보다는 특정한 어떠한 목적을 가지고 단순화하고 표상화한 것이라고 할 수 있다. 또 다른 모델의 정의는 이러한 과학 모델은 자연의 일부를 간결하고 선명하게 설명한 것으로 기존의 과학 개념이나 이론을 이용한다.[6–16] 즉, 과학모델은 자연현상에서 관찰된 것과 추상적인 개념이나 이론을 연결하여 구체화된 설명이다. 이처럼 과학 모델이라는 것은 실제 자연을 그대로 드러내기 보다는 특정한 어떠한 목적을 가지고 단순화하고 표상화한 것이라고 한 것이다. 때문에 자연 그 자체가 과학 모델이 될 수 없으며, 무질서한 자연 속에서 과학자가 일정한 패턴을 발견하여 만들어진 인공물에 불과하다. 그렇기 때문에 과학 모델에 대한 교육은 단순히 그 모델이 무엇을 설명하는지에 대한 기작뿐만 아니라, 왜 그러한 모델이 만들어졌는지에 대한 모델의 본성까지 학습할 필요가 있다고 주장되고 있다.[17,18] 이와 관련하여 모델이 갖는 본성에 대한 이해가 학생들의 과학 모델에 대한 이해와 밀접한 관련이 있다는 여러 연구가 있다. 그러므로 학생들에게 소개되는 과학 모델에 대한 진술은 그 모델이 무질서한 자연에서 어떠한 방법으로 자연을 단순화 시켜 설명하고 있는 지까지 포함하여 진술될 필요가 있다.

과학 모델에 대한 학생들의 혼란은 많이 보고되어 있다. 일례로, 산 염기에서 아레니우스 모델과 브뢴스테드-로우리 모델의 혼란은 현재까지 꾸준히 보고되고 있다.[19,20] 학생들은 브뢴스테드-로우리 모델을 아레니우스 모델의 확장으로 이해하기 때문에 두 모델 간에 혼란을 겪는다고 한다. 이외에도 VSEPR 모델과 원자가 결합 모델이 서로 독립된 모델임에도 불구하고 학생들은 이 두 모델을 동일한 모델로 인식하고 있다고 한다.[21] 이처럼 학생들이 겪는 모델의 혼란에 근본에는 그 모델이 만들어진 본성과 관련이 있음에도 모델의 생성과 관련된 본성에 대한 부분이 많은 과학 교과서에서 다루어지지 않기 때문이다. 따라서 교과서에 진술된 과학 모델은 그 모델의 정보뿐만 아니라 그 과학 모델이 갖는 본성까지 포함한 교육이 되어야 한다.

본 연구는 화학에서 다루어지는 다양한 모델 중에서 뜨고 가라앉는 현상을 중심으로 교과서에 진술된 모델을 분석하였다. 뜨고 가라앉는 현상은 2009 개정 교육과정에서는 초등학교 3학년 '물체와 물질' 단원과 중학교 2학년 '물질의 특성'에서 다루어지고 있다. 교육과정이 개정됨에 따라 삭제되거나 추가되는 내용이 있었음에도 이 현상과 관련된 모델은 교육과정 개정과 무관하게 초등과 중등교육에서 지속적으로 다루어지고 있으며, 화학에서 다루는 물질을 이해하는 사례로 많이 다루어지고 있다. 그럼에도 불구하고 학생들은 이 현상에 대해 많은 대안개념을 갖고 있는 실정이다.[22,23] 따라서 화학영역에서 이 현상에 대한 모델이 어떻게 진술되고 있는지에 대한 분석이 필요하다고 판단되었다.

따라서 이 연구는 화학 영역에서 뜨고 가라앉는 현상에 대해 진술된 과학 모델을 과학 모델이 갖는 본성을 중심으로 평가하였다. 이러한 모델이 갖는 본성 중심의 평가는 현재 과학 교과서에 진술된 과학 모델이 얼마나 본성을 들어내고 있지 못하고 있음을 여실히 보여줄 것이며, 이러한 평가를 토대로 과학 교과서에 제시되는 모델의 진술 방향을 보여준다는 점에서 가치가 있다.

연구 방법

연구대상

화학분야에서는 뜨고 가라앉는 현상을 물질과 관련된 단원에서 다루고 있었다. 초등학교의 경우 '물체와 물질' 단원에서 다루며, 중학교의 경우 '물질의 특성' 단원에서 다룬다. 초등학교의 경우 7차 교육과정, 2007 개정 교육과정, 2009 개정 교육과정 모두 3학년에서 이 단원을 다루었다. 다만 7차 교육과정에서는 '물체와 물질' 단원에서 뜨거나 가라앉는 현상을 다루지 않았기 때문에 분석 대상에서 제외하였다. 중학교의 경우 '물질의 특성'이란 단원은 7차 교육과정과 2009 개정 교육과정에서는 중학교 2학년에서 다루었고, 2007 개정 교육과정에서는 3학년 때 다루어졌다. 또한 모든 교육과정에서 물질의 특성을 다루면서 밀도 개념을 이용하여 이 현상을 다루고 있었다. 이에 따라 중학교의 경우 7차 교육과정 2학년 과학교과서 5종, 2007 개정 교육과정 3학년 과학교과서 8종, 2009 개정 교육과정 2학년 과학교과서 8종을 연구대상으로 선정하였다. 분석 대상 교과서는 *Table* 1과 같다.

***Table* 1.** Analyzed textbooks

Category	Unit	Curriculum	Publication
Element school	Object and matter	2007 revised	Mirae-N
		2009 revised	Mirae-N
Middle school	Characteristics of the matter	7th	Black box, Donghwasa, Doosan, Gyohagsa, Jihagsa
		2007 revised	Cheonjae education, Cheonjaemunhwa, Donghwasa, Doosan, Gyohagsa, Kumsung, Mirae-N, Visang
		2009 revised	Cheonjae education, Doosan, Gyohagsa, Jihagsa, Kumsung, Mirae-N, Sinsago, Visang

모델 평가 기준틀

이 연구는 모델의 본성에 기반하여 교과서에 진술된 모델을 평가하기 때문에 모델의 평가 기준은 모델의 본성에서 기초한다. 과학 모델의 본성은 많은 학자들에 따라 다양하게 정의되고 있으며, 이를 정리하면 단순화(simplification),[11,24,25] 함축화(abstraction),[5,26] 표상화(representation),[27–29] 정량화(quantification),[30–33] 분석 및 해석(Analysis and Explanation),[27,34] 추론(Reasoning)[34,35]으로 정리될 수 있다. 이러한 모델의 속성은 다시 모델이 생성되는 과정에 대한 본성과 생성된 모델을 이용한 활동으로 구분될 수 있다(*Table* 2). 교과서에서 진술되어야 하는 모델 본성은 이 둘 중 모델의 생성과 관련이 더 깊다. 모델의 생성과 관련된 모델의 본성 4가지는 다시 2가지로 분류될 수 있다. 하나는 모델을 생성하기 위해 무질서한 자연으로부터 패턴을 찾기 위해 선행되어야 하는 과정이며, 다른 하나는 이를 통해 발견된 패턴을 표현하는 과정이라 할 수 있다. 전자는 단순화와 함축화가 이에 해당하고, 본 연구는 이 둘을 묶어 모델의 전제조건으로 명명하였다. 다른 하나는 그러한 전제조건 하에서 발견된 패턴을 들어내는 것으로 시각적 도구를 활용하는 표상화와 수학적 도구를 활용하는 정량화가 이에 해당한다. 이 두 본성은 과학자가 발견한 패턴을 표현한 것이므로 이를 본 연구에서는 모델의 패턴으로 구분하였다. 이 모델의 패턴은 Chi에 따르면 발견되는 방식은 2가지로 나누어진다(*Fig.* 1).[36] 하나의 물질을 바라보고 패턴을 발견할 수도 있으며(Pattern A), 물질과 물질의 관계나 반응을 통해 패턴을 발견할 수도 있다(Pattern B). Pattern A와 같이 하나의 물질만 바라보고 만들어진 패턴을 물질적 관점(matter viewpoint)이라 하며, Pattern B와 같이 물질간의 관계나 반응을 통해 만들어진 패턴을 과정적 관점(Process viewpoint)이라 한다. 정리하면 과학자는 어떠한 모델을 생성할 때 수많은 자연 속에서 일부의 자연을 선택하고(모델의 전제조건), 그 선택된 자연에서 특정한 관점(viewpoint)으로 패턴을 찾는다. 때문에 과학자가 발견한 모델의 패턴 속에는 그 패턴을 찾기 위한 관점까지 포함되어야 한다.

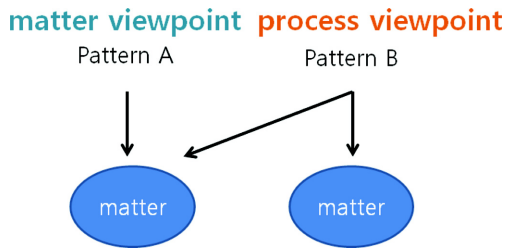


***Figure* 1.** Viewpoint of Model.

이를 토대로 본 연구의 대상이 되는 뜨거나 가라앉는 현상을 설명하는 밀도를 이용한 모델이 가져야 하는 모델의 전제조건과 패턴을 정리한 것이 Table 3이다. 이 모델은 먼저 계가 중력이외의 어떠한 힘도 작용 받지 않아야 한다. 그리고 밀도 차를 이용하여 결과를 판정하기 위해서는 물체를 유체 속에 완전히 넣어야 한다는 가정이 있어야 한다. 이러한 2가지 전제조건이 충족되어야 밀도를 이용한 모델이 작동할 수 있다. 이 모델의 패턴은 먼저 물체 하나만으로 패턴을 찾을 수 없으며, 물체와 유체간의 관계를 통해 패턴이 발견된다. 그렇기 때문에 이 모델의 패턴은 과정적 과점을 갖는다. 또한 밀도 차를 이용하여 이 현상을 설명하는 것은 동일한 부피에 해당하는 질량의 차이에 따라 위와 아래라는 상대적인 위치가 결정된다. 때문에 과정적 관점으로 발견된 패턴은 동일한 부피의 유체와 물체의 질량(또는 무게)을 통한 상대적 위치의 판정이다.

따라서 본 연구는 모델이 갖는 본성 중 모델의 생성과 관련된 전제조건과 패턴을 중심으로 교과서에 기술된 모델을 평가하였다. 이와 더불어 기존 교과서 분석에서 활용되는 교육과정과 제시된 사례 등을 포함 분석하였다.

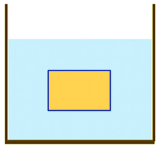
자료 수집 및 분석

화학영역에서 뜨고 가라앉는 현상을 다루는 초등학교 3학년 과학교과서 '물체와 물질' 단원과 중학교 '물질의 특성' 단원 중 이 현상을 다루는 부분을 각 교육과정과 출

***Table* 2.** Nature of model

Nature of Model	Definition	Category	
Simplification	-Simplification of complex phenomena -Select some natural to find patterns	The process of model creation	Prerequisite of model
Abstraction	-Extract common attributes from several individual attributes of selected nature		
Representation	-Linguistic, visual, and specific representations		Pattern of model
Quantification	-Mathematical representation of the model for quantitative representation		
Analysis and Explanation	-Understand the relationship of variables in the model and explain the phenomenon through it	Activity using the generated model	-
Reasoning	-The process of elaborating a model by setting hypotheses using models and predicting phenomena that are not observed		

***Table* 3.** Prerequisite and pattern of model using density for floating and sinking phenomena

Category	Content
Prerequisite	 1) Static fluid condition (force acting on this system is gravity only) 2) The model using the relative density assumes that the object is completely immersed in the fluid 3) Limited to objects that are not soluble in fluids
Pattern	1) Process viewpoint -It can not be explained by the object itself and can be explained by the interaction with the object and the fluid 2) The relative position is determined by gravity difference due to mass(or weight different)

판사 별로 1차 수집하였다. 수집된 자료는 각 교과서 별로 진술된 모델에 대해 위에서 언급한 전제조건과 패턴, 교육과정 위계 및 다루어진 사례를 중심으로 분석하였다. 해당 기준의 반영 여부에 대한 판단은 2인의 과학교사에 의해 교차검토 하였으며, 마지막으로 최종 판정된 결과에 대해 과학교육전문가 1인과 현장과학교사 3인의 검토과정을 거쳤다.

연구 결과 및 논의

모델의 전제조건에 대한 설명 부재

밀도를 이용한 모델이 갖는 전제조건 3가지 중에서 이 중 어느 하나라도 명시적으로 기술되어 있는 교과서는 단 한권도 없었다. 다만 액체, 액체 혼합물의 경우 섞이지 않는 액체라는 경우로 제시는 되었으나 액체, 고체에서는 고체가 액체에 녹지 않아야 한다고 진술된 경우는 없었다. 특히, 앞에서 언급한 3가지 전제조건 중 '물체를 유체 속에 완전히 넣어야 한다는 가정'은 밀도를 이용한 모델에서 부력을 이용한 모델과 차별되는 전제조건이다. 물체가 완전히 유체 속에 있다는 전제조건이 가정되어야만 동일한 부피에서 두 물질의 질량을 비교하는 것이 의미가 있기 때문이다.

밀도를 이용한 모델을 통해 뜨고 가라앉는 현상을 설명하는 것은 유체와 물체의 밀도를 알고 있다면 어떠한 물체가 뜰지 또는 가라앉을지를 굉장히 쉽게 판단할 수 있는 강력한 면이 있다. 하지만, 이 모델이 갖는 전제조건 중 '물체를 유체 속에 완전히 넣어야 한다'라는 가정은 이 모델의 설명력의 제한을 보여주기도 한다. 일례로, 물체가 물에 뜰 때 이 물체가 얼마만큼 뜨는지에 대한 예측이나 물이 담긴 컵에 얼음을 넣은 후, 이 얼음이 녹았을 때 수면의 변화가 어떻게 될지에 대한 추론에 제한점을 갖고 있다. 이러한 추가적 정보의 제한점은 전제조건과 관련되어 있기 때문에 밀도를 이용한 모델이 어떠한 제한점을 갖는지를 설명하기 위해서라도 전제조건에 대한 명시적 진술은 필요하다. 뿐만 아니라 밀도를 이용한 모델에서 유체가 정지된 계라는 가정이 필요하며, 그래야만 두 물체의 중력의 차이로 상대적 위치가 결정될 수 있다.

이처럼 밀도를 이용한 모델은 단순히 밀도 값을 이용하여 해당 물체가 뜰지 또는 가라앉을지에 대한 판정을 하기 이전에 먼저 이 모델이 생성되기 위해 전제한 조건이 무엇인지를 먼저 진술되어야 한다. 하지만 화학 영역에서 진술된 모델은 단순한 결과 판정에만 관심을 갖고 있었지, 이러한 결과 판정이란 패턴이 발견되기 위해 전제되어야 하는 가정을 기술한 교과서가 없었다. 이러한 전제조건을 배제한 모델의 진술은 겉보기에 학생들이 밀도를 이용하여 결과를 판정하였다고 그 모델을 이해하였다고 생각할 수 있다. 하지만 이는 단순한 문제 풀이(problem solving)를 행한 것이 모델에 대한 깊은 이해(depth understanding)에 도달하였다고 판단할 수 없다.

기존의 과학교과서는 생성된 모델을 통한 문제 풀이 과정에만 초점을 두고 있었다. 하지만 모델이 생성되기 위해 마련되어야 할 모델의 전제조건에 대한 설명 배제는 이후 부력을 이용한 모델을 학습할 때 밀도를 이용한 모델과 부력을 이용한 모델 사이에 혼란을 겪을 수 있다. 이 두 모델이 갖는 전제조건이 다르고, 그렇기 때문에 제시된 조건에 따라 전제조건을 충족한 모델을 선택하여 사용해야 한다. 하지만 그러한 전제조건의 배제는 학생들이 모델이 다양하게 존재할 때 어떠한 모델을 선택해할지, 또는 왜 이렇게 다양한 모델이 존재하는지에 대한 이해를 방해할 수 있다.

물질적 관점의 진술 방식

초등학교 2007 개정과 2009 개정 교육과정 모두 '물체와 물질' 단원은 물체와 물질의 개념을 정의한 후 물질은 어떠한 성질이 있는지 알아보는 활동이 전개되었다. 두 교육과정 모두에서 *Fig.* 2와 같이 물에 뜨고 가라앉는 것을 물질의 성질로 규정하고 있었다. 따라서 화학영역에서는 초등학교 때 이 현상을 처음 제시할 때부터 이 현상을 물질적 관점으로 다루고 있다.

물론 유체가 물로 고정되었을 때 어떠한 물질이 뜨고 가라앉는 결과는 고정될 수 있다. 하지만 이러한 진술 방

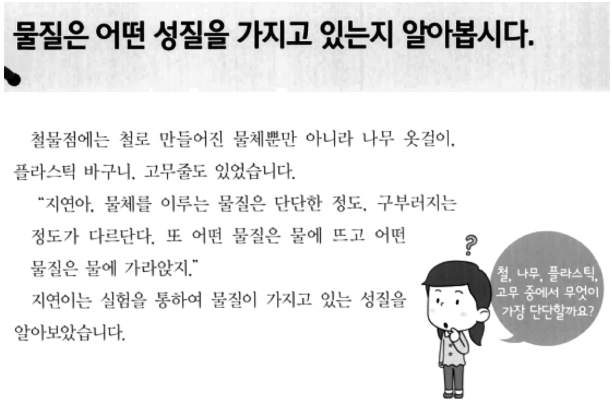


***Figure* 2.** The example of 3rd grade science textbook in elementary school.[37]

식은 학생들이 뜨거나 가라앉는 현상이 물질의 특성인 물질적 관점으로 오인하게 만들어, 이 현상을 유체와 물체를 동시에 바라보게 하는 것이 아니라 물체만 바라보게끔 만든다. 특히나 화학은 물질과 물질간의 반응(또는 관계)에 대한 학문이다. 그렇기 때문에 다루어지는 어떠한 것은 물질의 특성인 물질적 관점으로 바라볼 수 있으나, 또 다른 것은 물질간의 반응 또는 관계에 대한 것으로 과정적 관점으로 바라보는 것이 중요하다. 이처럼 화학은 다루어지는 내용에 따라 관련된 관점이 다르기 때문에 관점을 포함한 교육이 필요하다. 그럼에도 이러한 진술 방식은 학생들이 이 현상을 물질적 관점으로 수렴하여 인식하게 만들 수 있다고 할 수 있다.

중학교의 '물질의 특성' 단원에서 다루어지는 이 현상은 보다 더 물질적 관점을 수렴적으로 가르치고 있었다. 물질의 특성은 순물질인 성질을 다루고 있다. 그렇기 때문에 끓는점, 녹는점, 용해도, 밀도는 어떠한 물질 그 자체가 갖는 속성으로 물질적 관점으로 이것을 다루어야 한다. 이처럼 순물질의 특성을 다루는 물질의 특성 전개 후 밀도의 응용사례로 제시된 뜨거나 가라앉는 현상은 앞에 물질의 특성에서 다루어진 관점(물질적 관점)과 다른 과정적 관점으로 다루어져야 한다. 그렇기 때문에 학생들은 관점에 대한 혼란이 야기될 수 있다. 특히나 일부 교과서에는 *Fig.* 3과 같이 물질이 뜨거나 가라앉는 현상을 초등학교 '물체와 물질' 단원과 동일하게 성질로 규정하면서 물질적 관점으로 이것을 다루고 있었다. 물론 대부분의 중학교 교과서는 밀도차를 이용하여 이 현상을 설명하면서 유체와의 상호작용으로 이것을 설명하고자 하는 노력을 하였다. 하지만 이것이 다루어진 단원자체가 순물질의 특성을 배운 후이므로 관점에 대한 주의가 매우 중요함에도 교사용 교과서 어디에서 이러한 점을 주의하여 가르친다는 점도 명시적으로 기술되지 않았다.

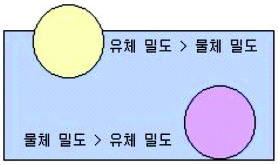
***Figure* 3.** The example of 2nd grade science textbook in middle school.[38]

패턴의 원리 결여

7차 교육과정부터 2009 개정 교육과정까지 중학교 과학 교육과정에서 물질의 특성은 중학교 2학년 또는 3학년에 다루어졌다. 또한 중학교 과학 교육과정에서 중력이란 힘은 중학교 1학년 여러 가지 힘으로 교육과정 개정과 무관하게 지속적으로 1학년에 다루어졌다. 그렇기 때문에 물질의 특성을 배울 때의 학생은 2학년이든 3학년이든 상관없이 중력을 이미 학습한 상태이다. 그럼에도 불구하고 모델의 표상화된 표현이나 정량화된 표현에서는 *Table* 4과 같이 패턴의 원리를 보여주기 보다는 발견된 원리를 통해 정리된 패턴의 결과가 제시되었다.

과학 교육이 목표는 모델을 통해 결과의 단순한 예측이라 보다는 그러한 예측을 이 모델이 왜 할 수 있는지에 대한 이유에 답을 찾는 과정에 있다. 그렇기 때문에 *Table* 4와 같이 밀도를 이용한 모델이 발견된 패턴의 정선된 결과 형태로만 제시하지 왜 이러한 밀도 차가 뜨고 가라앉는 현상을 설명할 수 있는지에 대한 패턴의 원리에 대한 설명이 결여되어 있었다. 밀도 차는 동일한 부피에서 질량값을 비교한 것이며, 이 질량에 따라 물체나 유체에 작용하는 중력의 크기가 달라진다. 그렇기 때문에 더 큰 중력이

***Table* 4.** Pattern of the model using the density

Representation	Quantification
	Comparison of density 1) if $d_{fluid} > d_{object}$: object floats. 2) if $d_{fluid} < d_{object}$: object sinks.

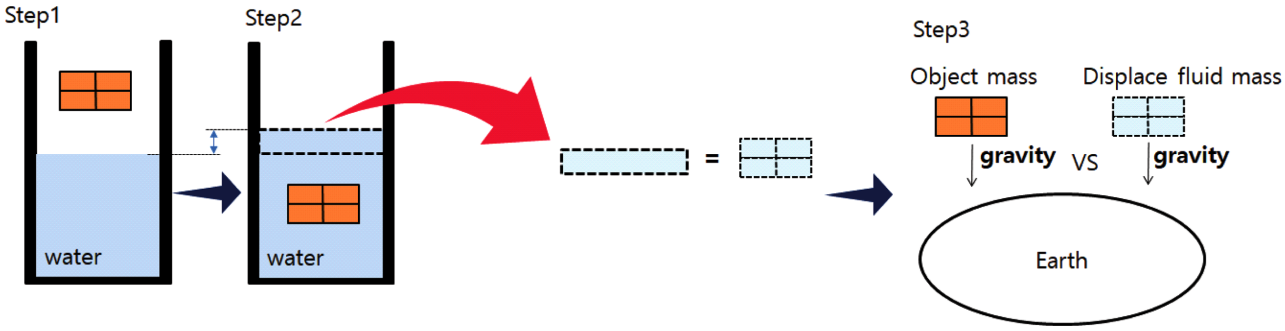


***Figure* 4.** The new representation of model.

작용한 것이 아래에 위치하고 그렇지 않는 것이 상대적으로 위에 위치한다. 중력은 2009 개정 교육과정뿐만 아니라 2015 개정 교육과정에서 모두 중학교 1학년에 다루어지는 개념이다. 초등학교의 경우 중력을 배우지 않기 때문에 모델의 패턴을 원형 그대로 학습할 수는 없다. 다만 초등학교의 경우 부피와 무게를 배운다. 또한 초등학교에서 무게는 중력이 반영된 개념이 아니며, 질량과 무게를 구분하지 않는다. 그러므로 동일한 부피에서 무게의 크기를 비교하는 활동으로 이 현상의 패턴을 정성적으로 학습할 수 있게 할 수 있으며, 중학교의 경우 중력을 배운 학생들이므로 모델의 패턴을 원형 그대로 이해하게끔 모델을 진술해야 한다. *Fig.* 4는 이 현상에 대한 연구자가 제안하는 모델의 표상화(representation)이다. 이 표상화를 토대로 초등학교와 중학교의 학교 급에 따른 모델의 진술은 달리 제시되어야 한다.

초등학교의 경우 *Fig.* 4의 Step3에서 중력의 비교 대신 무게(이때 무게는 중력의 개념이 없는 초등학교 다루어지는 개념임)로 대체한 후, 이 두 무게의 크기를 비교하는 것이다. 이 두 무게 중 더 큰 값이 아래에, 작은 값이 위에 위치함을 제시한다. 초등학교의 경우 지레나 윗접시 저울을 이용하여 무게나 질량을 비교하는 활동을 한다. 때문에 무게의 크기를 비교하는 것은 초등학교 교육과정에서 어렵지 않을 것으로 판단된다. 또한 초등학교의 경우 이 단원은 물질의 성질에 초점을 두기 때문에 위의 내용을 토대로 무게가 다양한 동일한 물체들이 왜 동일한 결과로 판정되어 성질로 분류할 수 있는지에 대한 동일한 물체의 결과 판정 일관성의 원리를 학습할 수 있을 것이다. 예를 들어, 4칸짜리 물체는 4칸의 물의 무게와 비교되며 동일 물체이지만 크기가 다른 8칸짜리 물체는 8칸의 물의 무게와 비교되므로 동일한 결과 판정이 되기 때문에 유체가 물로 고정된 상태에서 뜨고 가라앉는 것은 항상 일정함을 이해할 수 있다.

반면 중학교의 경우 *Fig.* 4에서 제시된 원형을 그대로 모두 제시한 후, 중력의 크기에 따라 상대적 위치가 결정됨을 제시한다. 이후, 항상 이러한 과정으로 중력의 크기를 비교하는 것이 불편하기 때문에 화학에서는 이를 단순히 비교할 수 있는 방법으로 밀도 값을 이용함을 보여줌으로써 밀도 값을 이용한 모델에는 어떠한 원리가 적용되는지를 학생들이 이해하도록 진술될 필요가 있다.

다루어진 사례의 부적절성

밀도는 물질의 특성에서 다루어지기 때문에 밀도는 순물질의 고유한 특성으로 다루어진다. 따라서 물질의 특성 단원에서 제시된 다양한 물질의 밀도 값은 모든 중학교 과학 교과서가 *Fig.* 5와 같이 순물질로 한정하여 제시하고 있었다.

이처럼 다루어지는 밀도 값은 순물질로 한정하여 제시하고 있었으나, 이를 이용한 뜨거나 가라앉는 현상은 순물질뿐만 아니라 혼합물의 상황의 예시를 포함하고 있었다. 대부분의 교과서에서 다루어지는 배나 잠수함의 원리가 대표적인 혼합물의 뜨거나 가라앉는 현상의 예시다(*Fig.* 6).

고유한 물질의 특성으로 다루어진 밀도를 이용하여 이 현상을 다룰 때, 사용된 예시가 대부분이 공기가 포함된 혼합물의 밀도에 대한 고려가 필요하였다. 이는 앞에서 다

(0 °C, 1 기압)

기체	헬륨	수소	산소	이산화 탄소	공기
밀도(g/cm³)	0.00018	0.00009	0.00143	0.00196	0.00129

***Figure* 5.** Examples of density values presented in textbooks.[39]

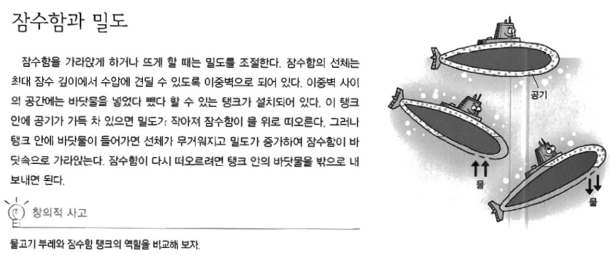


***Figure* 6.** The examples using density difference.[40]

루어지는 순물질의 고유한 특성과 맞지 않는 전개이며, 이 현상을 다룰 때 순물질로 한정하여 다루는 방안을 고민할 필요가 있다. 물론 우리가 일상생활에서 발견되는 이와 관련된 현상은 순물질 보다는 혼합물인 상황이 흔하다. 과학교육에서 흔히 범하는 오류가 낮은 학년에서 다루어지는 과학 이론이나 모델은 굉장히 제한된 조건의 것이며, 그렇기 때문에 그러한 제한조건이 적용되는 이론이나 모델로 설명할 수 있는 현상을 찾기 어렵다. 하지만 대부분의 과학 교과서는 다루어지는 모델이나 이론을 다루는 교육과정의 위계를 고려하지 않고 주변 현상에 적용해 보려는 시도를 하면서 범하는 오류가 많다. 일례로, 중학교에서는 아레니우스 산과 염기를 배우지만, 제시된 사례 중에서 브뢴스테드-로우리 산, 염기가 혼재하고 있다. 이는 실제 우리 주변의 산, 염기의 사례가 아레니우스 모델 보다는 브뢴스테드-로우리 모델이 더 많기 때문이다.[20] 이상기체의 특성을 배운 후, 실제 기체에 이를 적용하려는 시도 역시 배우는 모델의 전제조건과 불일치한 사례에 해당한다. 우리는 흔히 수업시간에 배운 과학 이론이나 모델을 실생활에서 적용함으로써 학생들이 과학 이론이나 모델의 유용성을 인식하도록 한다. 하지만 이러한 모델의 유용성을 이유로 다루어지는 사례가 오히려 모델의 이해를 저해시킨다는 의미에서 교육과정에서 벗어난 사례를 다루는 것이 타당한지에 대한 고민이 필요하다. 왜냐하면, 물리 I 에서 부력을 이용한 모델을 통해 혼합물에 이를 적용할 수 있는 교육과정이 있기 때문에 굳이 중학교 2학년 학생들에게 순물질의 특성을 다루는 교육과정에서 실생활 응용사례로 혼합물인 유체나 물체의 실생활 사례를 다루는 것은 다루는 교육과정 위계상 타당하지 않다. 뿐만 아니라 대부분 다루어지는 예시에서 뜬 물질들이 공기를 포함함에 따라 공기가 마치 물질을 뜨게 만드는 원인자인 것과 같은 대안개념을 갖게 만든다.[22] 유사하게 소금물이나 바닷물을 예로 든 상황역시 유체가 혼합물인 상황이다. 이와 같이 다루어지는 교육과정과 사용되는 예시간의 불일치 역시 교육과정에서 잘못 제시한 사례라 볼 수 있다.

사용되는 사례의 문제점으로 물질의 순물질 여부뿐만 아니라 사용된 사례의 밀도 값 역시 문제를 갖고 있다. 제시된 사례는 유체를 기준으로 유체보다 밀도가 큰 물체(가라앉는 물체)와 유체보다 밀도가 작은 물체(뜨는 물체)이었다. 어느 교과서에서도 유체와 동일한 밀도 값인 물체에 대한 판정에 대한 사례를 다루지 않았다. 유체와 동일한 밀도 값의 사례는 모델의 본성과 관련하여 중요한 하다. 바로 이 사례가 모델의 전제조건과 관계가 있기 때문이다. 즉, 이 모델은 정지된 계이기 때문에 중력이외에 어떠한 힘도 작용되지 않는다. 이러한 상태에서 유체와 밀도가 동일한 물체를 유체에 넣으면 물체는 유체와 중력의 차이가 발생하지 않기 때문에 위도 아래도 위치하지 않는다. 다시 말하면, 물체는 어떠한 힘도 받지 않기 때문에 이 물체는 처음 초기 상태에 머물게 된다. 그래서 만약 유체 한 가운데 속에 놓는다면 유체 한 가운데에 머물러 있게 되고, 바닥에 놓여 있는 초기 상태라면 이 물체는 바닥에 그대로 있게 된다. 이처럼 유체와 물체의 밀도가 동일한 상황은 모델의 전제 조건을 다시금 확인할 수 있는 좋은 사례임에도 이를 다루지 않는 것은 현재 밀도를 이용한 모델의 교육이 얼마나 뜰지 또는 가라앉을 지와 같은 결과 판정과 같은 문제 풀이 활동에 얽매여 있는지를 여실히 보여준다고 할 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 밀도 개념을 이용하여 뜨거나 가라앉는 현상을 설명하는 화학 영역의 모델을 대상으로 모델의 본성에 기반하여 교과서에 진술된 모델을 평가하였다. 모델의 여러 본성 중 본 연구에서 평가 기준이 된 모델의 본성은 모델의 생성과 관련된 단순화, 함축화, 표상화, 정량화이었으며, 이 모델의 본성은 다시 모델의 전제조건과 패턴으로 범주화 되었다. 또한 모델이 패턴을 찾는 방식에 따른 관점까지 포함하여 모델의 평가 기준을 확립한 후 모델을 평가하였다.

밀도를 이용하여 이 현상을 설명하는 모델의 전제조건은 계가 중력이외의 어떠한 힘을 받지 않아야 하며, 유체에 넣은 물체가 유체에 녹지 않으며, 물체를 유체에 완전히 넣어야 한다는 것이다. 하지만 분석된 교과서의 단 한권도 이 3가지 전제조건을 명시적으로 제시한 교과서는 없었다. 모델의 전제조건은 모델의 이해에 시작점에 해당된다. 왜냐하면 이러한 조건에서만 모델이 작동할 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 모델의 전제조건 기술에 대한 소홀은 학생들의 모델에 대한 이해를 가로 막는다고 할 수 있다.

또한, 이 모델은 유체와 물체를 동시에 바라보고 그 패턴이 발견되기 때문에 과정적 관점으로 기술되어야 한다. 초등학교 교과서의 경우 이 현상을 물질의 성질로 국한함에 따라 물질적 관점으로 이 현상을 바라보게 끔 하였다. 물론 모든 중학교 과학 교과서에서는 밀도 차로 이를 설명하기 때문에 유체와 물체를 동시에 바라보게끔 기술이 되어 있었다. 하지만 일부 교과서에서 이를 물질의 성질로 규정함으로써 바라보는 관점을 혼란하게 만들기도 하였다. 중학교 물질의 특성 단원이 순물질의 성질을 다루기 때문에 이 현상 앞부분은 물질 하나에 초점을 둔 물질적 관점으로 학생들이 바라보고, 이후 이 현상은 과정적 관점으로 바라봐야 하는 관점의 전환이 필요한 부분이다.

이처럼 관점이 달라지기 때문에 모델에 대해 기술할 때 보다 주의가 필요함에도 그러한 고려가 없는 것은 모델의 관점 측면에서 아쉬웠다.

더불어 밀도 차를 이용하여 이 현상을 설명할 수 있었던 모델의 패턴은 동일 부피에서의 질량을 비교한 것이며, 이것이 상대적인 중력의 크기를 비교하는 활동임을 명시적으로 기술한 교과서는 없었다. 또한 중학교 교육과정에서 중력을 이미 배웠기 때문에 이러한 차별적 중력의 크기에 따른 상대적 위치 결정이란 원리는 학생들이 충분히 사고할 수 있는 상태임을 감안할 때 모델에 대한 패턴이 단순한 결과의 판정에만 몰입되어 제시됨으로써 패턴이 갖는 원리를 학생들에게 학습할 기회를 박탈하고 있었다.

모델에 대한 사례역시 문제점을 갖고 있었다. 먼저 사례문제에서 다루어지는 사례가 교육과정과 일치하지 않았다. 해당학년에서 다루어지는 단원은 물질의 특성이므로 순물질로 한정하여 밀도 값을 다루고 있었으나, 제시된 사례는 공기를 포함한 혼합물의 사례가 대다수로 이는 순물질을 다루는 교육과정 불일치한 사례였다. 사례에 대한 문제는 제시되는 사례의 밀도 값에도 있었다. 다루어지는 사례의 밀도 값은 유체의 밀도보다 큰 경우와 작은 경우였으며, 동일한 밀도 값은 제시되어 있지 않았다. 밀도가 유체와 동일한 물체에 대한 사례는 모델의 전제조건을 확인할 수 있는 유용한 사례임에도 이러한 사례가 전혀 다루어지지 않았다.

이러한 본 연구의 결과를 토대로 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다. 학생들이 뜨고 가라앉는 현상을 초등학교에서부터 배우고 있지만 선행연구에서 지적한 바와 같이 학습에 어려움을 갖는 이유는 이 현상을 설명하는 모델에 대한 이해가 부족하기 때문이며, 이러한 모델의 이해가 부족한 이유는 교과서에 진술된 모델의 진술에 문제가 있음을 알 수 있었다. 모델의 생성과 관련된 모델의 본성을 교과서에서 모델을 소개할 때 다루기보다는 단순한 현상의 예측 활동에 초점 둔 모델을 이용한 활동으로 기술되어 있기 때문에 학생들은 현상을 예측하지만 왜 그러한 예측이 가능하며, 어떠한 경우에 그 모델이 작동하지 않는지와 같은 모델의 깊은 이해를 하기 어렵게 만들었다.

이 연구의 결론을 토대로 교육적 해결을 위한 방안을 제언하면 다음과 같다.

첫째, 모델에 대한 교육은 모델의 생성과 관련된 본성 중심으로 기술되어야 한다. 현행 모델의 대한 교육은 모델을 이용한 활동에 초점을 두고 있지, 모델이 어떻게 만들어졌는지에 대한 모델 생성과 관련된 본성 부분이 배제되어 있다. 하지만 많은 선행연구에서 밝히듯 모델이 갖는 본성에 대한 이해가 수반되어야 깊은 이해가 가능하며 개념학습에 의미는 변화를 보일 수 있다. 그렇기 때문에 현재 모델을 이용한 활동으로 초점이 맞추어진 모델에 대한 교육은 모델이 갖는 전제조건과 패턴을 중심으로 변화되어야 할 것이며, 이러한 변화의 첫 시작이 교과서에서 제시된 모델의 진술이다.

둘째, 학생의 모델 이해에 대한 평가 역시 모델의 본성 중심으로 진행될 필요가 있다. 기존의 학생의 모델에 대한 이해 평가는 모델의 생성과 모델을 이용한 활동 중 모델에 대한 활동에 초점을 맞추고 있다. 그렇기 때문에 실제 학생이 모델의 생성을 이해하고 있는지에 대한 진단은 제한되어 있었다. 이러한 모델의 생성에 대한 이해 없이는 모델을 이용한 활동은 무의미하기 때문에 반드시 모델의 생성에 대한 이해가 선행되어야 한다. 그렇기 때문에 모델에 대한 학생 평가 문항들에서 모델의 생성과 관련된 문항이 제작되어야 할 것이다. 이러한 모델의 생성과 관련된 문항들은 기존 모델을 이용한 활동에 초점을 둔 문항에 비해 모델에 대한 학생의 이해를 종합적으로 평가하는데 더 의미 있는 교육적 함의를 줄 것으로 판단된다.

Acknowledgements. 이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016R1A2B4012991).

REFERENCES

1. Duschl, R. A.; Schweingruber, H. A.; Shouse, A. W. *Taking Science to School. Learning and Teaching Science in Grades K-8*; National Academies Press: Washington, DC, 2007.
2. Morgan, M. S.; Morrison, M. *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (Vol. 52); Cambridge University Press: Cambridge, 1999.
3. Schwarz, C. V. *Sci. Educ*. **2009**, *93*, 191.
4. Cho, H. S.; Nam, J. H.; Oh, P. S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2017**, *37*, 239.
5. Chamizo, J. A. *Sci. Educ.* **2013**, *22*, 1613.
6. Kim, M. Y.; Kim, H. K. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2007**, *27*, 379.
7. Oh, P. S. *Kor. Ass. Sci. Educ.* **2007**, *27*, 645.
8. Oh, P. S.; Oh, S. J. *Kor. Ass. Sci. Educ.* **2011**, *31*, 128.
9. Cha, J. H.; Kim, Y. H.; Noh, T. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2004**, *48*, 638.
10. Ha, J. H.; Lee, H. J.; Kang, S. J. *J. Gifted/Talented Educ.* **2009**, *19*, 187.
11. Gilbert, J. K. Visualization: An Emergent Field of Practice and Enquiry in Science Education. In *Visualization: Theory and Practice in Science Education*, Springer: 2008, pp. 3-24.
12. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. *Int. J. Sci. Educ.* **1998**, *20*, 83.
13. Treagust, D. F.; Chittelborough, G. D.; Mamiala, T. L. *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 357.

14. Magnani, L.; Casadio, C. *Model-based Reasoning in Science and Technology*; Springer: 2016.
15. Ruppert, J.; Duncan, R. G.; Chinn, C. A. *Res. Sci. Educ*, **2017**, 1.
16. Zangori, L.; Peel, A.; Kinslow, A.; Friedrichsen, P.; Sadler, T. D. *J. Res. Sci. Teach.* **2017**, *54*, 1249.
17. Kousathana, M.; Demerouti, M.; Tsaparlis, G. *Sci. Educ.* **2005**, *14*, 173.
18. Kim, K. S.; Choi, E. K.; Cha, J. H.; Noh, T. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2006**, *50*, 338.
19. Paik, S. H. *J. Chem. Educ*. **2015**, *92*, 1484.
20. Kim, S. K.; Park, C. Y.; Choi, H.; Paik, S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2017**, *61*, 65.
21. Gillespie, R. J. *J. Chem. Educ.* **2004**, *81*, 298.
22. Kim. S. K.; Kim. S. W.; Paik. S. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2017**, *61*, 112.
23. Paik, S. H.; Song, G. R.; Kim, S. K.; Ha, M. S. *Eurasia J. Math.*, *Sci. Tech. Ed.* **2017**, *13*, 4965.
24. Gobert, J. D.; Buckley, B. C. *Int. J. Sci. Educ.* **2000**, *22*, 891.
25. Rouse, W. B.; Morris, N. M. *Psychol. Bull.* **1986**, *100*, 349.
26. Portides, D. P. *Sci. Educ*. **2007**, *16*, 699.
27. Windschitl, M.; Thompson, J.; Braaten, M. *Sci. Educ.* **2008**, *92*, 941.
28. Glynn, S. M.; Duit, R. Learning Science Meaningfully: Constructing Conceptual Models. In *Learning Science in the Schools: Research Reforming Practice.* Glynn, S. M., Dui, R.; L. Erlbaum Associates: 1995, pp. 3-33.
29. Piburn, M. D.; Reynolds, S. J.; Leedy, D. E.; McAuliffe, C. M.; Birk, J. P.; Johnson, J. K. *The hidden earth: visualization of geologic features and their subsurface geometry*. Paper presented at the annual meeting of National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, 2002.
30. Hestenes, D. *Am. J. Phys.* **1987**, *55*, 440.
31. Mislevy, R. J.; Haertel, G.; Riconscente, M.; Rutstein, D. W.; Ziker, C. Evidence-centered Assessment Design. In *Assessing Model-Based Reasoning using Evidence-Centered Design*; Springer: 2017, pp. 19-24.
32. Nisbett, R. E.; Wilson, T. D. *Psychol. Rev.* **1977**, *84*, 231.
33. Lehrer, R.; Schauble, L. *J. Appl. Dev. Psychol*. **2000**, *21*, 39.
34. Sins, P. H.; Savelsbergh, E. R.; van Joolingen, W. R. *Int. J. Sci. Educ.* **2005**, *27*, 1695.
35. Zhang, B.; Wong, L. H.; Chew, L. C.; Jacobson, M. J.; Looi, C. *Using computer-based modelling for primary science learning and assessment*. Paper presented at the 32nd Annual Conference of the International Association of Educational Assessment (IAEA) on "Assessment in an Era of Rapid Change: Innovations and Best Practices", Singapore, 21-26 May, 2006.
36. Chi, M. T.; Slotta, J. D.; De Leeuw, N. *Learn Instr.* **1994**, *4*, 27.
37. Ministry of Education. *Elementary science* 3-1; Mirea-N: Seoul, 2014.
38. Lee, J. S.; Kim. S. H.; Kim. H. R.; Kim. H. S.; Park, K. T.; Park, M. S.; Park, S. Y.; Park, Y. O.; Bea, M. J.; Song, S. J.; Lee. S. Y.; Lim, H.; Jung D. H.; Hong, J. E. *Middle School Science* 2; Doosan: Seoul, 2013.
39. Park, H. S.; Kim J. M.; Jeong D. Y.; Sin, H. S.; Jeong J. S.; Huh, S. I.; Hong, D. P.; Kim, C. B.; Lim, Y. J.; Lee, H. W.; Yoon, S. J.; Lee, E. H.; Jun, S. Y.; Choi, B. S.; Kim, M. J.; Oh, S. H. *Middle School Science* 3; Gyohagsa: Seoul, 2012.
40. Kim, S. J.; Kim, T. I.; Ahn, H. S. Choi, M. H.; Kim, H. S.; Kim, H. K.; Oh, H. S.; Bea, M. J.; Lee, J. A.; Lee, J. W.; Ryu, H. K.; Choi, K. S. *Middle School Science* 3; Mirea-N: Seoul, 2012.