

모델링 탐구 활동에서의 대학생의 모델링 유형 분석 및 인식

장은경 · 고 운 · 강성주*

한국교원대학교

The Analysis of University Student's Modeling Patterns and Perceptions Through Modeling Experiments

Jang, Eun-Kyung · Ko, Woon · Kang, Seong-Joo*

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study is to analyze the student's modeling patterns of modeling experiments. The 1st year students who were taking the general chemistry laboratory course performed three modeling inquiry experiments and submitted laboratory reports. Students expressed the model in a formula form and/or a written form. Student's modeling patterns could be classified by five types; 'Refining tentative modeling', 'Accepting alternative modeling', 'Discarding tentative modeling', 'Failing to find causes', 'Disbelieving results'. This modeling experiment provides for students the opportunity for understanding how a scientific model is created and what the nature of scientific modeling is.

Key words: modeling, student's modeling pattern, thinking process

I. 서 론

미래 사회는 지식을 보유하고 선별하는 능력뿐만 아니라 지식을 만들어 내는 능력이 각광받을 것이라고 많은 미래 학자들이 예견하였다(Toffler, 2006; Watson, 2008). 이러한 이유로 교육 분야에서도 지식 생성 능력을 향상시키는 방법이 이슈가 되고 있다. 교육의 여러 학문 중에서도 특히 과학 지식을 생산하는 능력은 개인뿐만 아니라 국가 경쟁력과도 직결되기 때문에 학생들의 과학 지식 생성력을 향상시키는 것은 과학 교육의 중요한 목표 중에 하나로 인식되고 있다(양일호 등, 2006).

과학은 자연 세계를 다양한 방법으로 연구하여 이론을 구성하고 현상을 설명하는 활동으로 정의할 수 있다(National Research Council [NRC], 1996). 이러한 과학자들의 탐구활동은 문제해결형, 모델링형, 아이디어산출형, 유사세런디피티형으로 분류할 수 있다(Lim & Kang, 2010). Gilbert(2004)는 과학자들이 탐구하는 대상이나 그것의 체계, 과정, 현상들 중에는 직접적으로 관찰하거나 다루기 어려운 것들이 있기 때문에 과학 활동에서는 자연 현상이나 과학적

인 아이디어를 표상하는 방법의 하나로 모델을 만들고, 모델을 활용하는 것이 중요하다고 주장하였다.

이러한 모델을 만드는 과정을 모델링이라고 한다. 모델링은 과학자의 연구 방법 중에 하나로써, 과학 지식을 구성하고, 발전시키고, 적용하는 주요한 인지과정이자 체계적인 활동이다(Halloun, 1996). Danusso 등(2010)은 모델과 모델링은 과학 지식을 생산하고, 과학을 이해하는데 중요한 역할을 하며, 과학 이론이 공리나 법칙으로 구성된 것이 아니라 모델로 구성되었다는 것을 염두에 둘 필요가 있다고 주장하였다.

Khan(2007)은 모델을 기반으로 하는 수업은 과학자들이 연구하는 방법과 유사한 과정으로 학생들이 자연세계를 탐구하고 이해하도록 도와준다고 하였으며, Schwarz와 Gwekwerere(2007)는 과학 지식이 형성되는 과정처럼 모델링 수업을 통하여 학생들은 지식을 구성할 수 있다고 생각하였다. 또한 모델에 대한 교사들의 이해 수준에 따라 학생들의 모델의 본성이나 모델의 활용 정도가 달라지는 것을 확인하고 모델과 모델링의 교육이 과학에서 큰 의미가 있다고 설명했다. 오피석(2005; 2007)은 '모델'과 '모델링'은 과학의 본성에 관한 더욱 세련된 이해에 다가갈 수 있

*교신저자: 강성주(sjkang@knu.ac.kr)

**2011.06.02(접수) 2011.10.25(1심통과) 2011.12.15(2심통과) 2011.12.21(최종통과)

는 좋은 소재가 될 수 있을 것이라고 하였다.

한편, 학생들의 과학 지식 생산력을 향상시키는 여러 방법들 중에서 과학 실험을 통한 교육이 가장 효과적이라고 할 수 있다(권용주 등, 2003). 하지만 과학 실험 수업의 교수학습 모형이 실제 과학자들의 지식 생산 과정을 충분히 반영하지 못하여 실험 교육의 효과를 감소시킨다(Harwood, 2004). 실험 교육의 효과를 극대화시키기 위해서는 학생들이 과학자와 같은 사고 과정을 경험하여 과학의 본성을 깨닫고, 새로운 지식을 발견하는 기쁨을 맛보아야 한다. 따라서 과학자의 사고 과정을 경험할 수 있는 모델링을 실험 수업에 도입하여 학생들이 직접 지식을 생산하는 과정을 경험할 필요가 있다(하지희 등, 2009).

모델과 모델링에 대한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 학생들은 과학적 모델을 효과적이고 적절하게 사용할 기회가 부족하였기 때문에 모델의 역할을 제대로 이해하지 못하고 있으며(Treagust *et al.*, 2002), 선행 연구가 모델을 만드는 과정인 ‘모델링’ 보다는 과학적 모델의 특성 또는 과학적 모델에 대한 인식 등의 ‘모델’에 치중되어 있다.

이 연구에서는 과학적 모델을 자연 현상을 설명·예상할 수 있는 설명체계로서, 현상의 특징을 나타내는 설명이나 수식 또는 기호나 그림 등으로 표현되는 것으로 정의한다. 모델링은 과학적인 모델을 만들어 가는 활동으로 관찰, 비교, 추론, 예상을 통해 자연 현상에서 경향성을 파악하고, 검증을 통하여 모델을 형성하는 과정이다. 특히 이 연구에서의 모델링 활동은 관찰된 결과에서 패턴을 인식하여 임시모델을 제시하고, 임시모델이 검증과정을 거쳐 과학적 모델로 형성된 후, 이를 수식이나 언어로 표현하는 활동으로 여러 가지 모델링 교수-학습 과정을 바탕으로 하여 5단계의 모델링 단계로 구성하였다.

모델링 탐구 실험을 위한 교수학습 모형을 개발하여 적용하는 연구가 필요하지만, 그 이전에 학생들을 대상으로 과학자들의 사고 과정을 경험하게 하고, 그

들의 사고 과정을 직접 분석한 연구가 선행되어야 한다. 왜냐하면 학생들의 사고 과정을 이해함으로써 모델이 만들어지는 양상에 대한 근원적 이유를 알 수 있고, 모델을 만들지 못하거나 모델을 이해하지 못하는 문제점이 있다면 개선할 수 있는 아이디어를 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 이 연구에서는 학생들에게 모델링 과정을 직접 경험할 수 있는 탐구 실험을 적용하였으며, 모델링에서의 학생들의 사고 과정과 인식을 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

2010년 1학기 K대학교 일반화학실험 수강생 25명을 대상으로 연구를 진행하였다. 일반화학실험 수업은 대학교 1학년 1학기에 들을 수 있으며, 고등학교를 졸업한 학생들이 수강할 수 있는 일반적인 난이도의 실험으로 이루어진다. 일반화학실험 수강생을 피험자로 선정한 이유는, 대학생이기는 하나 고등학교를 갓 졸업한 수준으로 고등학생과 큰 차이를 보이지 않을 것이며, 중등교육과정을 이수하였으므로 다른 학교 급간의 학생들보다 과학적 지식이 풍부하여 과학적 모델을 만들기 유리하고, 자신의 생각을 언어로 잘 표현할 수 있어서 자신의 사고 과정을 진술하기 수월할 것으로 생각했기 때문이다.

2. 모델링 단계

모델링의 단계는 하지희 등(2009)의 모델링 단계를 참고하였는데, 그 단계 중에서 ‘모델 적용하기’ 과정은 ‘모델 형성하기’ 과정에 이미 내포되었다고 생각하여 그림 1과 같이 총 5단계로 구성하였고, 과학교육전공의 연구자 3인의 협조를 얻어 수정·보완하였다. 모델링 실험은 그림 1과 같이 ‘탐색’, ‘임시모델 제

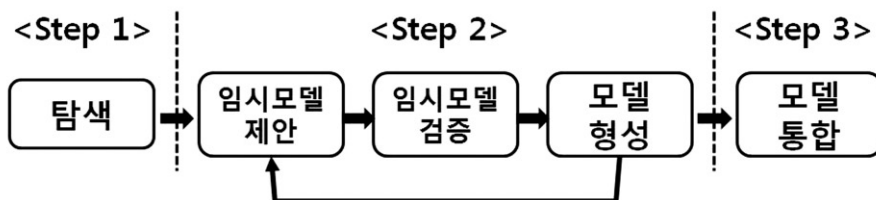


그림 1 세 가지 step을 반영한 모델링 단계

안', '임시모델 검증', '모델 형성', '모델 통합'의 총 5단계로 구성하였으며, 모델링 단계는 각 특성에 따라 다시 세 가지의 Step으로 묶을 수 있다.

'Step 1'은 '탐색' 단계로만 이루어졌으며, 기본 실험 방법을 제시하여 학생들이 실험 주제를 파악할 수 있는 과정이다. 학생들은 기본 실험을 수행하기 전에 결과를 예상하고, 실험을 수행한 후에 예상과 실험 결과를 비교하며, 예상과 다른 결과를 얻은 경우에는 그 원인을 분석한다. 'Step 2'는 '임시모델 제안', '임시모델 검증', '모델 형성' 단계로 이루어지며, 실험 방법을 제시하지 않아서 학생 스스로 구성하는 과정이다. '임시모델 제안' 단계에서 하나의 변인에 대해 가설을 세우고, '임시모델 검증' 단계에서 실험을 수행하며, '모델 형성' 단계에서 그 변인에 대한 모델을 만든다. '임시모델 제안'은 가설을 세우는 것과 동일하지만, 모델링 과정에서는 모델을 만드는 것에 중점을 두고 있으므로, '가설'이란 용어 대신 모델을 만들기 전이라는 것을 강조하기 위해 '임시모델'이라는 용어를 사용하였다. 하나의 변인에 대한 모델을 완성한 후 다른 변인에 대한 모델을 만들기 위해 다시 '임시모델 제안' 단계로 돌아가는 순환 과정을 거치는 것이 'Step 2'의 중요한 특징이다. 'Step 3'는 'Step 2'의 순환 과정에서 만들어진 각 변인별 모델을 하나로 합하는 과정이다. 모든 학생들이 'Step 1'과 'Step 2' 과정을 거쳐 변인별 모델은 만들지만, 'Step 3' 과정에서는 모두 모델을 통합한 것은 아니다. 세 가지의 Step 중에서 특히 'Step 2' 과정이 모델링에서 핵심적인 과정이므로, 'Step 2'에 대한 모

델링 과정을 살펴보겠다.

3. 모델링 실험 선정

학생들이 모델링을 경험할 수 있는 실험 모듈을 선정하고 보완하였다. 모델링 탐구 실험 모듈은 학생들이 자유롭게 과학적 모델을 만들 수 있도록 몇 가지 조건을 갖추어야 한다. 첫째, 기존 교육과정에 없는 새로운 주제의 탐구 실험으로 구성하며, 이미 이론이나 법칙으로 증명되지 않은 실험이어야 한다. 둘째, 새로운 주제의 실험이지만 선행 지식의 수준에서 해결할 수 있는 적절한 난이도의 탐구 과제를 선정해야 한다. 셋째, 변인이 다양하고, 그 변인들을 쉽게 조작할 수 있는 실험으로 구성해야 한다. 넷째, 재현성 있는 실험 결과를 얻을 수 있고, 그 결과로부터 규칙성을 발견할 수 있는 실험을 선별해야 한다. 다섯째, 자기 주도적인 탐구 실험을 할 수 있도록 개방도를 높여 실험을 구성해야 한다.

위 조건을 충족시키는 3가지 실험 모듈을 선정하였고, 각 모듈은 전기적인 성질을 가진 '이온'과 관련된 내용으로 구성되었다. 각 실험은 '전기 도금', '이온의 이동', '이온의 전도도'이며, 모델링 단계에 따른 각 실험별 활동 내용은 표 1과 같다. 모델링에 익숙하지 않은 학생들이 모델링 과정을 친숙하게 하기 위해 전기도금 실험을 먼저 제시 하였다.

'전기도금' 실험에서 전해질 수용액에 전극으로 활용될 두 금속을 담그고 외부에서 기전력을 공급하면 도금이 시작된다. 전류가 흐르면 음극에서 전자가 공

표 1
실험별 활동 내용

모델링단계	전기 도금	이온의 이동	이온의 전도도
탐색하기	· 기본 실험 수행 - 철판과 구리판을 전원장치에 연결하여 황산구리 수용액에 담가 석출된 구리의 수득률 측정	· 기본 실험 결과 예상 및 수행 - 요오드화납 양극 생성 위치 예상 및 근거 제시 - 실험 결과와 비교 분석	· 기본 실험 결과 예상 및 수행 - 염산과 수산화나트륨 반응에서 전도도의 변화 예상 및 근거 제시 - 실험 결과와 비교 분석
임시모델 제안하기	· 금속 수득률에 영향을 주는 변인 제시 · 각 변인별 임시모델 제안	· 이온의 이동 속도에 영향을 주는 변인 제시 · 각 변인별 임시모델 제안	· 전도도에 영향을 주는 변인 제시 · 각 변인별 임시모델 제안
임시모델 검증하기	· 임시모델을 실현 가능한 순서로 정리 · 각 변인별 임시모델을 검증하기 위한 실험 설계 및 수행		
모델형성하기	· 각 변인별 실험 결과로부터 모델 형성		
모델통합하기	· 각 변인별 모델을 하나로 통합		

4 장은경 · 고 윤 · 강성주

급되므로 수용액 속에 있는 금속 양이온이 음극에서 전자를 받아 환원되어 금속 표면에 석출된다. 전기 도금의 기본 실험은 그림 1에 모식도로 나타냈고, 그 결과는 그림 2처럼 금속이 도금된다.

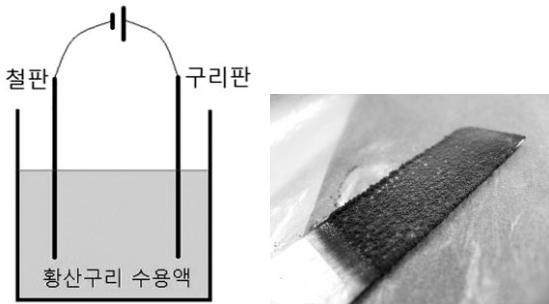


그림 2 전기 도금 기본 실험 모식도

그림 3 구리 도금된 철판

‘이온의 이동’ 실험은 양극 생성 반응을 활용한 실험으로 아크릴판(하지희, 2009)에서 반응을 진행하는 SSC 실험이다. 그림 3과 같이 아크릴판의 홈 안에 증류수를 채우고, 양 끝에 0.5M의 질산납 수용액과 0.5M의 요오드화칼륨 수용액을 각각 세 방울씩 떨어뜨린다. 용액을 떨어뜨린 후 수십 초가 지나면, 그림 4와 같이 노란색 요오드화납 양극이 생긴다.

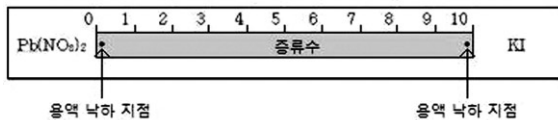


그림 4 이온의 이동 기본 실험 모식도

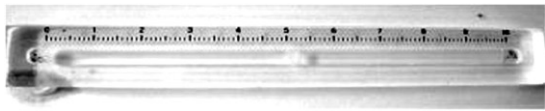


그림 5 이온의 이동 실험 키트와 요오드화납 양극

‘이온의 전도도’ 실험은 중화적정을 활용한 실험이다. 중화 적정 과정에서 이온의 수가 변하여 전도도가 달라지므로, MBL을 활용하여 산과 염기의 중화반응에서 전도도의 변화를 살펴보는 실험(하지희, 2009)이다. 그림 5와 같이 장치하여 그림 6과 같이 실험하고, 0.04M의 염산과 0.04M의 수산화나트륨 수용액을 서로 적정하면 알짜 이온의 수가 가장 적은 중화점에서 전도도의 최저값이 나타난다.

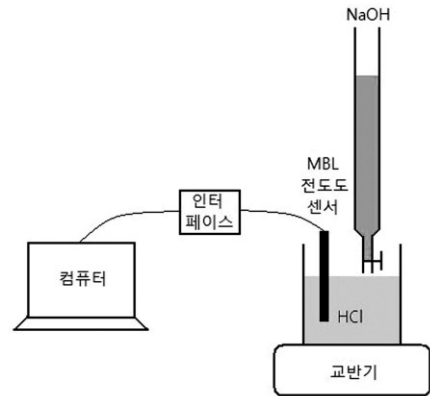


그림 6 이온의 전도도 기본 실험 모식도



그림 7 이온의 전도도 실험 모습

4. 모델링 실험 적용

2010년 1학기 일반화학실험 수업 중 5월 2째 주부터 5째 주까지 총 4주에 걸쳐 세 가지 모델링 실험 모듈을 적용하였다. ‘전기도금’, ‘이온의 이동’ 실험은 각각 1주 동안 적용하였고, ‘이온의 전도도’ 실험은 다른 두 실험에 비해서 실험을 준비하고 수행하는데 많은 시간이 소요되어 2주에 걸쳐 진행하였다. 실험은 조별 또는 개별로 자유롭게 수행하였지만 보고서는 모두 다 개별적으로 작성하는 것을 원칙으로 하였다. 조원끼리 실험 결과는 공유할 수 있어도 그 외의 것은 공유하지 않아서 서로 다른 모델링 과정이 나타났다.

5. 자료 수집 및 분석

이 연구는 삼각측정법으로 질적 연구의 타당도와 신뢰도를 높였다. 연구자는 25명의 모든 학생들을 대

상으로 참여 관찰, 대화 녹음, 설문 조사, 면담, 보고서 수집 등의 방법으로 자료를 다각화하여 분석하고, 교육전문가 1인 및 동료 연구자 3인과 논의하여 분석 자료를 검토하였다. 자료 분석 전략으로는 분석적 귀납법, 연속적 비교법, 유형학적 분석 등의 방법을 활용하였다. 각 분석 전략을 활용할 때, 수집한 자료로부터 개방 코딩, 축 코딩, 선택 코딩의 방법을 사용하였다(조홍식 등, 2007; 채동현 등, 2003).

III. 연구 결과

1. 모델 형성에서의 사고 유형(Step 2)

'Step 2'의 구체적인 과정은 그림 8과 같으며, 이 과정을 Section 1과 Section 2로 구분하여 설명하고자 한다.

가. Section 1

'Step 1'의 '탐색' 단계에서 실험 주제를 파악한 학생들은 'Step 2' 과정에서 변인이 될 수 있는 것들을 나열했다(변인탐색). 즉, '전기 도금' 실험에서는 '금속의 수득률'에 영향을 주는 변인, '이온의 이동' 실험에서는 '이온의 이동 속도'에 영향을 주는 변인, '이온의 전도도' 실험에서는 '전도도'에 영향을 주는 변인을 찾았다. 그리고 각 변인들마다 임시모형을 만들었다. 임시모형은 조각변인과 종속변인 사이의 관계를 나타낸 가설이며, 서술의 형태로 기술되었다. 각 변인별 임시모형 중 하나를 선택하여, 그것을 검증할 수 있는 실험을 설계하고 수행하였다. 학생E의 실험

사례에서 각 과정을 살펴보겠다.

<학생E의 '전기 도금' 실험보고서>

...중략...

1. 도금되는 금속의 양에 영향을 주는 변인을 찾아보자. 금속의 종류, 전압, 온도, 황산구리 수용액의 농도, 반응 시간
2. 1번의 각 변인들을 이용하여 임시모형을 세워보자.
 - 1) 금속의 종류에 따라 표준 환원 전위차가 클수록 수득률이 클 것이다.
 - 2) 전압을 높일수록 수득률이 클 것이다.
 - 3) 온도를 높일수록 수득률이 클 것이다.
3. 2번의 각 임시모형을 검증할 수 있는 실험을 설계하자.

...중략...

실험 2) 변인 : 전압
준비물 : ...중략...
과정

- ① 100mL 비커에 황산구리 수용액 100mL, 황산용액 1mL를 섞는다. 수용액의 온도는 24 를 유지한다.

...중략...

- ⑦ 구리판과 이연판을 모양과 크기가 같은 것으로 교체한 다음에 6V, 9V로 높여 위의 과정을 반복한다.

학생E는 전기 도금 수득률에 영향을 주는 변인으로 '금속의 종류', '전압', '온도', '황산구리 수용액의 농도', '반응 시간'을 꼽았다(변인 탐색). 그리고 '전압을 높일수록 수득률이 클 것이다'와 같이 각 변인별로 임시모형(임시모형 제안)을 만들었다. 그 후에 각 임시모형이 맞는지 확인하기 위하여 실험을 계획하고

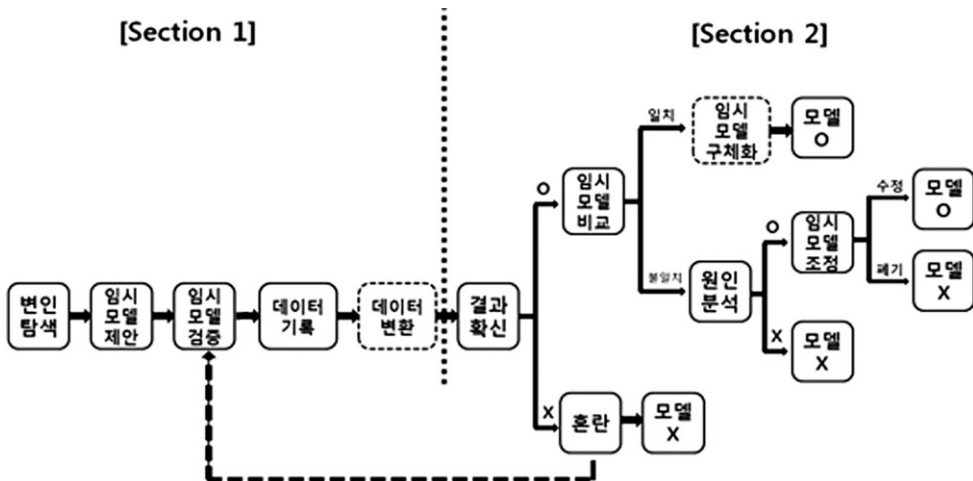


그림 8 모델링 사고 유형의 분류

수행(임시모델 검증)하였다.

학생들은 임시모델을 검증하는 실험을 수행(임시모델 검증)하고서 실험 결과를 기록(데이터 기록)하였다. 이 때 학생들 중에서 일부는 실험 결과를 표나 그래프로 바꾸어 표현(데이터 변환)하였다. 위의 흐름도에서 '데이터 변환' 과정은 특별히 점선으로 표시했는데, 이는 모든 학생들이 이 과정을 겪는 것은 아니기 때문이다. 데이터를 변환하지 않는 학생들은 기록된 데이터만 가지고 곧바로 모델을 만들기 시작한다. 데이터를 변환한 학생E의 사례를 살펴보겠다. 다음의 실험보고서는 학생E의 실험에 대한 내용이다.

<학생E의 '전기 도금' 실험보고서>

...중략...

4. 실험 결과를 바탕으로 각 변인별로 모델을 구체적으로 표현해보자.
 변인2 : 전압 (용액 온도 : 24도 통제)

(+):Cu, (-):Zn	3V	6V	9V
㉠(-)극 금속판의 처음질량(g)	2.79	2.23	2.24
㉡(-)극 금속판의 나중질량(g)	3.47	3.01	3.18
㉢-㉠(석출된 Cu질량, g)	0.68	0.78	0.94
㉣(+)극 Cu판의 처음질량(g)	1.51	1.56	1.54
㉤(+)극 Cu판의 나중질량(g)	1.45	1.51	1.49
㉥-㉣(이온화된 Cu질량, g)	0.06	0.05	0.05
수득률(%)	2.125	2.4375	2.9375

전압에 따른 수득률(%)

학생E는 이 실험에서 전압을 높여서 철판에 구리가

석출되는 양을 측정하고, 그 결과를 표와 그래프로 변환하였다. 그래프가 직선 형태로 증가하는 것을 보고, '전압과 금속의 수득률은 비례한다'고 판단하였으며, 그래프의 기울기와 y절편을 추정하여 모델을 제시하였다. 인터뷰를 통해서 학생E가 표나 그래프로 '자료를 변환하면 결과의 경향성을 한 눈에 파악하기 수월하여 모델을 자세하게 표현할 수 있다'는 것을 알 수 있었다.

사실 처음부터 이 그래프를 생각한 것은 아니고, 결과를 보니까 대충 '차 함수로 나오겠다' 싶었는데 이렇게 직접 그려보니까 결과가 좀 눈에 더 잘 들어오는 거 같았어요. 이렇게 하면 자세하게 쓸 수 있는 거 같아요.

이것으로부터 모델을 정확하고 구체적으로 표현하기 위해서는 데이터로부터 경향성을 찾아내는 분석 능력이 필요하고, 데이터 변환이 이러한 경향성을 쉽게 찾을 수 있도록 도와준다는 것을 알 수 있다. 이러한 과정은 결과를 확신하는 데에도 영향을 주며, 결과에 대한 확신은 모델을 만드는데 영향을 줄 뿐만 아니라 모델을 구체적으로 만드는데도 영향을 준다.

나. Section 2

데이터를 기록하고, 변환한 학생들은 실험 결과가 '제대로 된 것인지', '경향성이 있는지' 판단(결과 확신)했는데, 이 단계에서 의미 있는 결과를 얻었다고 확신하는 학생과 확신하지 못하는 학생으로 구분되었다. 그리고 결과에 대해 확신하는 학생들은 실험하기 전에 세운 임시모델과 비교했는데, 이 단계에서 임시모델과 일치하는 결과를 얻은 학생과 일치하지 않는 결과를 얻은 학생으로 구분되었다. 하나의 변인에 대한 임시모델이 실험 결과와 일치하는 학생들은 기존의 모델을 구체화하여 모델을 형성했으며, 이러한 학생들의 유형을 'Refining tentative model(임시 모델 정교화)' 이라고 명명하였다.

실험 결과를 확신하지만 임시모델과 다른 결과를 얻은 학생들은 그 원인에 대해 고민(원인 분석)했고, 이 단계에서 원인을 찾은 학생들과 원인을 찾지 못한 학생들로 나뉘어졌다. 임시모델과 실험 결과가 다른 원인을 찾은 학생들 중에서 기존의 임시모델로 실험 결과를 완벽히 설명하지 못한다고 판단한 학생들은

임시모형을 개선했고, 이러한 학생들의 유형을 'Accepting alternative model(대안 모델 채택)' 이라 명명하였다. 그리고 임시모형과 실험 결과가 다른 원인을 찾은 학생들 중에서 기존 임시모형의 변인이 종속 변인에 큰 영향을 주지 못한다고 생각한 학생들은 모형을 폐기하였으며, 이러한 유형을 'Discarding tentative model(임시 모델 폐기)' 이라고 명명하였다. 'Accepting alternative model' 과 'Discarding tentative model' 형의 학생들은 임시모형이 실험 결과와 다른 원인을 찾아내는데 반해 그 원인을 찾지 못한 학생들이 있었다. 이러한 학생들의 유형을 'Failing to find causes(원인 규명 실패)' 이라고 명명했다.

실험 결과를 확신하지 못하고, 무엇 때문에 경향성을 발견하지 못했는지에 대해 혼란스러워한 학생들이 있었다. 이 학생들의 유형을 'Disbelieving results(실험 결과 불신)' 이라고 명명하였다. 각 유형이 가지고 있는 의미를 정리하면 표 2와 같다.

각 유형별 사례를 살펴보면서 유형별 특징을 구체적으로 언급하겠다.

1) Refining tentative model(임시 모델 정교화)

이 유형은 실험 결과에 근거하여 임시 모형을 발전시키는 유형으로 다음은 이에 해당하는 학생R의 '이온의 이동' 실험보고서 내용이다.

학생R은 이 실험에서 이온의 이동속도에 영향을 주는 변인으로 '온도', '알짜 이온의 몰농도', '이온의 크기', '용매의 극성'의 네 가지 요인을 선정(변인 탐색)하였다. 그 중에서 알짜 이온의 몰농도에 대해 '농

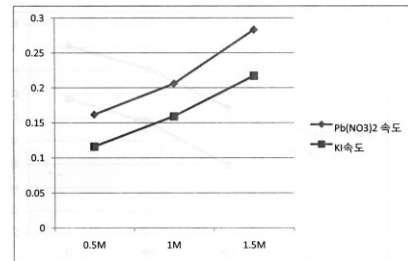
〈학생R의 '이온의 이동' 실험보고서〉

...중략...

- 5. 4번에서 찾은 각 변인별로 임시모형을 구체적으로 세워보자.
물질의 몰농도가 클수록 이동속도가 빠를 것이다.
- 7. 각각의 임시모형을 검증할 수 있는 실험을 설계하고, 수행해보자. 결과를 기록하자.

...중략...

0.5M										
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	Pb(NO3)2 속도	KI속도		
위치(cm)	5.5	6.3	6.4	5.2	5.7	5.82				
결린시간	45	27	35	40	33	36	0.161666667	0.11611111		
1M										
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	Pb(NO3)2 속도	KI속도		
위치(cm)	5.2	5.8	6	5.5	5.7	5.64				
결린시간	32	26	27	33	19	27.4	0.205839416	0.1591241		
1.5M										
	1회	2회	3회	4회	5회	평균	Pb(NO3)2 속도	KI속도		
위치(cm)	6.2	5.7	5.4	5.8	5.2	5.66				
결린시간	24	21	19	20	16	20	0.283	0.217		



- 8. 실험 결과를 바탕으로 각 변인별로 모형을 구체적으로 표현해보자.
농도가 증가하면 빠른 속도를 갖는 이온 또한 증가하므로 이온의 속도가 빨라진다.

Model은 새우면 $V = 0.11M + 8$
 (8 : Pb(NO₃)₂의 경우는 0.105, KI의 경우는 0.055)

표 2 모델링 유형별 의미

유형	모델 형성 여부	의미
Refining tentative model (임시 모델 정교화)	형성함	실험 결과가 임시모형과 유사하여 기존의 모형을 구체화하여 모형을 만들
Accepting alternative model (대안 모델 채택)	형성함	실험 결과가 임시모형과 달라서 기존의 모형을 개선하여 모델을 만들
Discarding tentative model (임시 모델 폐기)	형성하지 못함	임시모형의 조작 변인과 종속 변인이 서로 관련 없다고 판단하여 모형을 폐기함
Failing to find causes (원인 규명 실패)	형성하지 못함	실험 결과가 임시모형과 다른 원인을 규명하지 못하여 모델을 만들지 못함
Disbelieving results (실험 결과 불신)	형성하지 못함	실험 결과에 대해 확신하지 못하고, 경향성을 찾지 못하여 모델을 만들지 못함

도가 클수록 이동속도가 빠를 것'이라고 임시모형을 제안하였다. 임시모형을 검증하기 위하여 질산납과 요오드화칼륨 수용액의 농도를 0.5M, 1M, 1.5M로 변화시켜 실험(임시모형 검증)하고, 결과를 기록(데이터 기록)했다. 실험 결과를 그래프로 나타내고(데이터 변환), 결과를 분석한 후에 임시모형과 일치하는 구체화된 모델로 '농도가 증가하면 빠른 속도를 갖는 이온 또한 증가하므로 이온의 속도가 빨라진다'를 만들었다. 농도가 이온의 이동 속도에 비례하는 1차 함수 형태의 그래프를 얻고, 임시모형을 구체화하여 수식 $V=0.11M+q$ 으로 모델을 만들었다.

그리고 각 데이터를 다시 대입하여 검산하고, 상수 값을 결정(질산납 $q=0.105$, 요오드화칼륨 $q=0.055$)하였다. 학생 R은 데이터를 변환하고, 그래프의 함수 꼴을 결정하고, 대강의 관계식을 만든 후, 검산하여 상수값을 결정하는 일련의 과정을 거쳐서 모델을 더욱 구체적으로 만들었으므로 '임시 모델 정교화'에 해당한다.

2) Accepting alternative model (대안 모델 채택)

이 유형은 임시모형과 실험 결과가 달라서 임시 모형을 수정하는 유형으로 다음에 이에 해당하는 학생 Y의 '전기 도금' 실험보고서 내용이다.

<학생Y의 '전기 도금' 실험보고서>

...중략...

2. 1번의 각 변인들을 이용하여 임시모형을 구체적으로 세워보자.
온도 ↑ → 속도 ↓

4. 실험 결과를 바탕으로 각 변인별로 모델을 구체적으로 표현해보자.
 변인2 : 온도

2) 온도			
실험량	25°C	42.5°C	60°C
속도(v)	0.0199	0.0322	0.0467
구속률(%)	0.626	1.013	1.47

온도가 증가하면 산화환원 반응이 활발해져 속도가 증가한 것 같다.

온도 ↑ 속도 ↑

$v \propto a^{\sqrt{T}}$ 인경향을 띠네

학생 Y는 금속의 수득률에 영향을 주는 변인으로 '전압', '금속의 표면적', '온도'의 세 가지 요인을 선정(변인 탐색)하였다. 그 중에서 '온도' 변인에 대해 '온도가 커질수록 수득률이 작아질 것'이라고 임시모형을 제안하였다. 임시모형을 검증하기 위하여 황산구리 수용액의 온도를 25°C, 42.5°C, 60°C로 변화시켜 실험(임시모형 검증)하였는데 예상과 다른 실험 결과를 얻었다. 예상과 다른 결과를 얻었지만 기존 임시모형의 변인인 '온도' 변인을 다른 것으로 교체하지 않고, '온도가 증가하면 산화환원반응이 활발해져 수득률이 증가한다'는 모델로 개선하였다. 또한 학생 Y는 실험 결과를 그래프로 나타내었고(데이터 변환), 그래프에서 온도 변화에 비해 수득률의 변화가 급속적으로 커지는 것을 인식하여 지수 함수 형태의 관계식 모델을 만들었다. 학생 Y는 임시모형과 다른 결과를 얻은 후 '왜 그러한 현상이 생겼는지'에 대한 원인을 분석하여 기존의 임시모형을 개선하여 새로운 모델을 만들었으므로 '대안 모델 채택'에 해당한다.

3) Discarding tentative model (임시 모델 폐기)

이 유형은 임시모형과 실험 결과가 달라서 임시 모형을 폐기하는 유형으로 다음에 이에 해당하는 학생 C의 '이온의 이동' 실험보고서 내용이다.

<학생C의 '이온의 이동' 실험보고서>

...중략...

5. 4번에서 찾은 각 변인별로 임시모형을 구체적으로 세워보자.
이온의 질량이 두 배가 되면 이동속도가 절반으로 느려질 것이다.

7. 각각의 임시모형을 검증할 수 있는 실험을 설계하고, 수행해보자. 결과를 기록하자.

...중략...

양금생성위치와 걸린 시간[위치기준 : $Pb(NO_3)_2$]

KI	1회	2회	3회	4회	5회	평균
위치(cm)	5.3	5	4.4	4.2	5.2	4.9
걸린시간(s)	37.38	24.88	27.01	37.26	33.61	32.63

KCl	1회	2회	3회	4회	5회	평균
위치(cm)	7.3	6.8	7	6.5	6.5	6.8
걸린시간(s)	40	53	39	27	28	35.7

→ (요오드 이온에서 염화 이온으로) 이온의 질량이 감소하였어도 이동속도에 큰 변화는 나타나지 않았다.

8. 실험 결과를 바탕으로 각 변인별로 모델을 구체적으로 표현해보자.
이온의 질량이 작게 되면 그만큼 이동속도가 빨라질 것이라고 생각한 이유는, 분자의 운동에너지가 온도에 따라 일정하고 따라서 질량이 클수록 이동속도가 느려질 것이라고 생각했기 때문이다.

...중략...

결과적으로는 I와 Cl의 걸린 시간이 큰 차이를 보이지 않았는데, 그 이유로는 PbCl₂의 흰 앙금이 PbI₂의 노란 앙금에 비해 관찰하기 어려웠다는 실험적 이유 때문이기도 하나, 앙금의 생성 위치가 KCl 쪽으로 치우친 것으로 보아 I의 이동 속도보다도 Cl의 이동속도가 더 느린 것으로 나타났다. 이 데이터만을 놓고 볼 때, Cl는 I보다 더 가벼운 이온이지만 수용액 속에서 이동하는 특이한 상황이므로, 이 상황에서는 질량의 영향력이 작다.

학생C는 이온의 이동 속도에 영향을 주는 변인으로 ‘이온의 화학식량’, ‘전하량’, ‘용매의 극성’, ‘이온의 농도’의 네 가지 요인을 선정(변인 탐색)하였다. 그 중에서 ‘이온의 화학식량’ 변인에 대해 ‘이온의 질량이 커질수록 이동속도가 느려질 것’이라는 임시모형을 제안(임시모형 제안)하였다. 이 임시모형은 이미 검증된 분자 운동에너지 공식에서부터 출발한 것이다. 임시모형을 검증하기 위하여 질산납과 반응시킬 물질을 요오드화칼륨과 염화칼륨으로 조절하였고, 각 물질별로 위치와 시간을 여러 번 측정하여 평균을 구했다. 실험 결과는 예상과는 다르게 물질에 따른 이동속도의 차이가 없었다. 그 원인에 대하여 학생C는 ‘이온은 기체와 다르기’ 때문에 예상했던 것과 실험 결과가 다르다고 설명하였다.

연구자 : 이온의 화학식량 차이가 이동속도에 크게 영향을 미치지 않았다는 건가요?

학생C : 네. 기체라면 질량이 큰 영향을 주겠지만 이 건 이온이고 물속에 들어있으니까 수화되기도 하고...그러면 달라질 거라고 생각했죠.

기체 분자와는 다르게 이온은 물속에서 움직이며, 이온의 이동을 방해하는 요인들이 많기 때문에 이온의 질량은 큰 영향을 주지 못한다는 것이다. 따라서 ‘이온의 화학식량’ 변인에 대한 모델을 만들지 못하고, 결국 폐기하였다. 학생C는 임시모형과 다른 실험 결과를 얻었지만, 임시모형의 조작변인이 종속변인에 큰 영향을 주지 못한다고 판단하여 모델을 폐기한 경

우이므로 ‘임시 모델 폐기’에 해당한다.

4) Failing to find causes (원인 규명 실패)

이 유형은 임시모형과 실험 결과가 다른 원인을 파악하지 못하는 유형으로 다음에 이에 해당하는 학생L의 ‘이온의 전도도’ 실험보고서 내용이다.

〈학생L의 ‘이온의 전도도’ 실험보고서〉

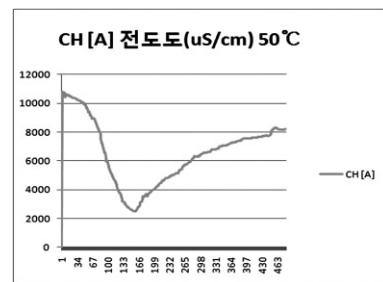
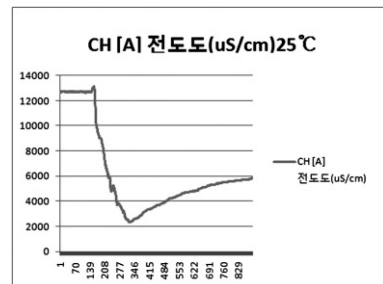
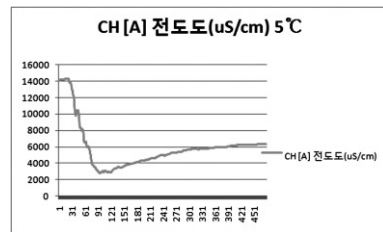
...중략...

6. 5번에서 제시한 각각의 변인으로 4번 그래프에서 나타나는 현상을 설명할 수 있는 다양한 임시모형을 세워보자.
온도가 높아지면 이온의 전도도도 높아질 것이다.

7. 각각의 임시모형을 검증할 수 있는 실험을 설계하고, 수행해보자. 결과를 정리하고 분석하자.

...중략...

결과 : 산을 염기로 적정하는 것을 기준으로 한다.



① 예상과는 다르게 온도가 올라갈수록 초기 전도도가 감소하는 경향을 가졌다.

...중략...

① 예상과는 다르게 온도가 올라갈수록 초기 전도도가 감소하는 경향을 가졌다.
...중략...

③ 염기를 계속 첨가할 때, 전기 전도도값이 수렴하는 값은 점점 증가한다.
* 생각의 과정 : ①, ③ 결과는 어떤 것을 의미하는 것일까? 온도가 높아질수록 초기 전기전도도는 낮아지고, 실험종료지점의 전도도는 높아지고 있다. 이는 전체적인 용액의 온도가 변인이 아니라, 온도의 변화에 따른 이온 각각의 전기전도도의 차이가 있다고 봐야 할까? 아니면 온도만이 아닌 다른 변인이 있는 것일까? 아~ 모르겠다.

학생L은 중화 반응에서 전기 전도도에 영향을 주는 변인으로 ‘온도’, ‘산과 염기의 농도’, ‘산의 세기’, ‘산의 가수(다양성자산) 네 가지 요인을 선정(변인 탐색)하였다. 그 중에서 ‘온도’ 변인에 대해 ‘온도가 높아지면 이온의 전도도가 높아질 것’이라는 임시모형을 만들었다(임시모형 제안). 산 용액과 염기 용액의 온도를 5℃, 25℃, 50℃로 높여서 중화 반응(임시모형 검증)시켰다. MBL 기구로 전도도를 측정하여 결과가 정확하다고 생각(결과 확신)했다. 그러나 실험 결과는 예상과 다르게 나타났다. 임시모형에서는 온도를 높이면 중화점 이전, 중화점, 중화점 이후의 각 지점의 전도도가 올라갈 것이라고 생각하였는데, 실험 결과는 온도를 높일수록 중화점 이전의 전도도는 낮아지고, 중화점은 그대로며, 중화점 이후는 전도도가 높아지는 것을 관찰할 수 있었다. 학생L은 임시모형과 다른 결과를 분석하는데 갈등을 느끼고, 원인을 파악하지 못하여 모델을 만들지 못한 경우로 ‘원인 규명 실패’에 해당한다. 다음은 학생L의 인터뷰 내용이다.

우선은 제가 생각한대로 안 나왔고요. 처음에 가설은 전기전도도가 높아질 것이라 세웠는데, 지금 낮아졌잖아요. 확실히 낮아졌는데 그걸 해석하지 못하고...중략... 그래서 생각하다가 제가 모델 형성하기에는 힘들고 의문을 좀 남겼거든요. 이온 각각의 전기전도도의 차이가 있다고 봐야하나? 라고 생각만 했어요.

5) Disbelieving experimental results(실험 결과 불신)

이 유형은 자신의 실험 결과에 대해 신뢰하지 못하여 모델을 만들지 못한 경우이다. 한 번의 실험으로 모델을 만들 수 없다고 판단한 학생도 있고, 임시모형

검증 단계로 돌아가서 재실험을 수행했음에도 불구하고 결과를 확신하지 못하여 모델을 만들지 못한 학생도 있다.

모델링의 사고흐름에서 일부 학생들은 ‘혼란’ 단계를 거친다. ‘혼란’ 단계는 실험을 통해 얻어진 결과에 대해 확신하지 못하는 경우이다. 이 학생들은 실험 결과를 확인한 후, ‘실험을 제대로 한 것인지’, 실험은 제대로 했으나 ‘결과가 경향성이 있는지’, 결과의 경향성은 있으나 ‘경향성을 찾지 못하는지’에 대해 혼란스러워했다. ‘혼란’을 겪은 학생들은 ‘다시 실험하여 경향성을 찾아서 모델을 만들지’, ‘더 이상 해결할 수 없어서 모델을 만들 수 없는지’ 갈등하게 된다. 다시 실험하여 결과의 경향성을 찾겠다고 생각한 학생들은 ‘임시모형 검증’ 단계로 돌아가서 재실험을 수행하였다. 재실험을 한 학생들은 같은 실험을 단순히 반복하기도 했고, 시약을 바꾸거나 물리량의 간격을 조절하는 등 실험 설계를 수정하기도 했으며, 실험 장치를 새롭게 고안하기도 했다. ‘혼란’을 겪고 재실험 한 학생들은 최종적으로 다섯 유형 중 하나에 귀속되었다.

2. 모델링 사고 유형의 분포와 모델링에 대한 인식

1) 사고 유형 분포

실험별로 ‘Step 2’의 각 모델링 유형에 해당하는 경우의 수를 표 3에 나타내었다. 세 가지 실험 중 ‘이온의 이동’ 실험에서 가장 많은 임시모형이 제시되었다.

한 사람이 하나의 실험에서 여러 변인에 대한 임시모형을 만들기 때문에 전체 학생의 수(25명)보다 각 유형에 해당하는 경우의 수(전기도금 84개, 이온의 이동 111개, 이온의 전도도 92개)가 더 많이 나타났다. 세 실험 중에서 임시모형과 일치하는 모델의 비율이 가장 높았던 실험은 ‘이온의 전도도’이다(전기도금 69.0%, 이온의 이동 56.8%, 이온의 전도도 76.1%). 그리고 세 실험 중에서 임시모형을 수정하여 만든 모델의 비율이 가장 높았던 실험은 ‘이온의 이동’이다(전기도금 9.5%, 이온의 이동 9.9%, 이온의 전도도 1.1%). ‘임시 모델 정교화’와 ‘대안 모델 채택’을 통틀어서 모델 형성 비율이 가장 낮았던 실험은 ‘이온의 이동’이다(전기도금 78.5%, 이온의 이동 66.7%, 이온의 전도도 77.2%).

2) 모델링 인식

표 3
실험별 'Step 2' 과정의 모델링 유형 빈도

개수 (%)				전기 도금	이온의 이동	이온의 전도도	
결과 확신	임시 모델과 일치			임시 모델 정교화	58 (69.0)	63 (56.8)	70 (76.1)
	임시 모델과 불일치	원인 분석함	임시 모델 수정	대안 모델 채택	8 (9.5)	11 (9.9)	1 (1.1)
			임시 모델 폐기	임시 모델 폐기	3 (3.6)	7 (6.3)	6 (6.5)
	원인분석 못함			원인 규명 실패	5 (6.0)	10 (9.0)	10 (10.9)
결과 불신				실험 결과 불신	10 (11.9)	20 (18.0)	5 (5.4)
합계					84 (100)	111 (100)	92 (100)

모델링 탐구 활동을 경험한 후, 학생들에게 '모델과 모델링에 대해 어떠한 생각을 하게 되었는지', '모델을 만들어본 소감은 어떠한지'에 대해 설문조사를 실시하여 모델링에 대한 학생들의 인식을 알아보았다.

설문 문항에 대한 학생들의 응답 내용을 토대로 정리하여, 비슷한 의미를 가진 응답 내용을 묶어서 유목화 하였고, 각 항목은 '과학자의 사고 과정 경험', '과학적 세계관의 변화', '사고 능력의 향상', '탐구 능력 향상 및 탐구심 강화'의 네 가지 범주이며, 각 범주에

해당하는 구체적인 응답 내용은 표 4와 같다.

학생들은 모델링 하면서 '과학자들의 사고 과정'을 배울 수 있었고, '모델링의 과정에 대해 관심'을 갖게 되었으며, 정확하게 만든 과학자의 모델일지라도 학생들의 모델링 과정처럼, 자연현상을 더 잘 설명할 수 있는 체계가 제시된다면 모델은 수정될 수 있다고 생각하였다. 또한, 기존의 모델을 당연하게 수용하는 것이 아니라 비판적인 시각으로 모델을 분석하면서 모델이 가지고 있는 가정이나 한계에 관심을 가지게 되

표 4
'모델링에 대한 인식' 과 관련된 범주와 설문 응답 내용

범주	설문 응답 내용
과학자의 사고 과정 경험	<ul style="list-style-type: none"> · 과학자처럼 실험하면서 발견의 기쁨을 느낄 수 있었다. · 모델을 만들어 봄으로써 모델을 만드는 과학자의 노고를 알 수 있었다. · 과학자의 사고 과정을 경험함으로써 모델이 만들어지는 과정에 관심을 갖게 되었다. · 모델을 만들어 봄으로써 과학자뿐만 아니라 학생들도 모델을 만들 수 있다는 자신감을 갖게 되었다.
과학적 세계관의 변화	<ul style="list-style-type: none"> · 절대적인 진리는 없다. · 과학 이론은 변화하고 발전할 수 있다. · 기존의 모델도 반증 사례가 나타나면 수정되고 발전한다. · 과학 기술이 발달하면 지금보다 더 정밀하게 관찰하고 측정할 수 있기 때문에 모델은 변할 수 있다. · 과학자들도 경험을 바탕으로 모델을 만들기 때문에 관찰 의존성에 의하여 실수하거나 간과하는 부분이 있을 수 있다.
사고 능력의 향상	<ul style="list-style-type: none"> · 모델링 탐구 활동은 창의성을 향상시킬 수 있다. · 모델을 만들 때 결과를 분석하고 해석하는 기술이 향상되었다. · 모델링 탐구 활동을 통하여 기존 이론이 맞는지 의구심을 갖게 되었다. · 모델을 통합하는 과정에서 각각의 이론을 연계할 수 있는 안목이 생겼다. · 모델링 탐구 활동을 통하여 기존 이론이 가지고 있는 가정에 관심을 갖게 되었다. · 모델링 탐구 활동은 다양한 생각과 고민을 하게 만들기 때문에 생각의 근육을 키울 수 있다.
탐구 능력 향상 및 탐구심 강화	<ul style="list-style-type: none"> · 모델링 탐구 활동을 통하여 실험 수행 능력이 향상되었다. · 모델링 탐구 활동은 학생들을 능동적으로 실험에 참여할 수 있는 활동이다. · 모델링 실험은 실험의 전 과정을 학생 스스로 구성하는 자기 주도적인 실험이다.

었다는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 모델링 과정을 경험하는 것은 학생들의 비판적이고 분석적인 능력을 키우는데 도움이 됨을 알 수 있다. 모델링 실험은 정답이 없는 실험이므로 학생 스스로 자신만의 이론인 모델을 구성해야 한다. 따라서 다른 실험에 비하여 ‘능동적’으로 활동에 참여해야 한다. 학생들이마다 검증해야 하는 모델이 다르므로 다양한 변인, 다양한 방법, 다양한 물질 등을 선택하여 ‘자유롭게 실험’할 수 있다. 학생들은 매뉴얼 없이 탐구하기 때문에 시행착오를 많이 거치면서 ‘실험 수행 능력’도 향상되었다고 인식했다. 자기 주도적인 실험이라는 의미에서 학생들은 모델링 실험이 ‘진짜 실험’이라고 설명하였다.

IV. 결 론

과학자들이 지식을 생산하는 것과 같은 사고 과정을 학생들이 직접 경험할 수 있도록 모델링 탐구 실험을 적용하였다. 그리고 학생들이 과학자의 사고 과정을 경험하면서 어떠한 모델링 과정을 경험하는지 살펴보았다. 그 결과 학생들은 서로 다른 모델링 과정을 경험하며, 학생들의 모델링 과정은 다섯 가지 유형으로 구분되었다. 이 유형들에는 ‘Refining tentative model(임시 모델 정교화)’, ‘Accepting alternative model(대안 모델 채택)’, ‘Discarding tentative model(임시 모델 폐기)’, ‘Failing to find causes(원인 규명 실패)’, ‘Disbelieving results(실험 결과 불신)’이 있다.

학생들은 모델링을 통하여 지식을 생산할 수 있으므로, 과학에서 모델을 구체적으로 잘 만드는 것은 의미 있는 일이다. 모델을 구체적으로 잘 만들기 위해서는 첫째, 주어진 과제의 상황을 인식해야 한다. 예를 들어 ‘이온의 이동’ 실험이 주어졌을 때 이 실험이 ‘기체의 확산’과 어떻게 다른지 변별할 수 있어야 실험 결과를 해석하는 데에 유리하다. 둘째, 자신의 과학적 지식과 탐구 능력을 발휘하여 실험을 설계하고 수행해야 한다. 실험의 설계와 수행이 제대로 이루어지지 않으면 실험 결과를 해석하기 어려울 뿐만 아니라 신뢰하지 못하기 때문이다. 셋째, 실험 결과로부터 정확하고 일관된 경향성을 파악하기 위해서는 실험을 수행한 후, 결과를 자세히 분석해야 한다. 데이터를 정확하고 꼼꼼하게 분석하는 정도에 따라 모델의 구체적인 정도가 달라질 수 있기 때문이다. 데이터를 변환

하는 것은 실험 결과로부터 경향성을 쉽게 찾을 수 있도록 도와준다. 즉, 데이터를 변환하면 실험 결과로부터 경향성을 쉽게 찾아낼 수 있으므로, 데이터 변환은 모델을 만드는데 유리하게 작용한다. 그 밖에 실험 결과에 대한 확신도 필요하다. 결과에 대한 확신은 모델을 단순히 만드는 것뿐만 아니라 구체적이고 정교하게 구성하는 데에 긍정적인 역할을 한다.

학생들은 모델링을 하면서 과학자의 사고 과정을 경험할 수 있었고, 자연현상을 더 잘 설명할 수 있는 체계가 제시된다면 모델은 수정될 수 있으며, 모델링 실험이 과학적 사고 능력 중에서 분석적·비판적·통합적·창의적 사고 능력을 향상시키는 데 도움을 주며, 모델링 실험이 다른 실험에 비해 자기 주도적으로 문제를 해결하기 때문에 수공적인 기술을 비롯한 탐구 능력 향상에 도움이 된다고 인식하였다.

현재의 과학 수업은 모델을 효과적이고 적절하게 사용할 수 있는 기회가 부족하여 모델과 모델링의 역할에 대한 학생들의 인식이 부족한 상황이다. 모델링 탐구 활동은 모델이 만들어 지는 과정을 이해하게 하고, 모델을 적절하게 활용할 수 있는 기회를 제공한다. 그리고 모델과 모델링의 역할을 바르게 인식하는데 도움을 준다.

이 연구에서는 모델링 탐구 활동을 대학생에게 적용하여 모델을 만드는 사고의 과정과 각 유형 및 모델링에 대한 인식에 대하여 살펴보았고, 이 연구에 이어 지속적인 연구가 필요하다고 생각하는 것에 대해 제언하면 다음과 같다.

첫째, 모델링 과정에서 실험 결과가 믿을만한 것인지에 대해 학생들이 확신하는 정도에 따라 모델의 형성 유무와 모델의 구체적인 정도에 차이가 있었다. 이것으로부터 학생들이 실험 결과를 해석할 때 인지적인 요인뿐만 아니라 정의적인 요인도 작용할 수 있다고 생각한다. 따라서 학생들이 실험 결과를 확신하는 심리적인 요인이 무엇인지 밝힐 필요가 있다.

둘째, 이 연구에서 제시한 모델링의 사고 과정과 사고 유형 및 인식은 이 연구의 맥락에 맞는 결과이므로 일반화하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다. 이 연구에서는 대학생을 대상으로 모델링 탐구 활동을 적용하였는데, 연구를 일반화하기 위해서는 대상을 다양하게 하고 대상에 맞는 탐구 실험을 개발 또는 선정하여 연구를 수행해야 한다.

셋째, 학생들이 모델의 본성과 역할을 제대로 이해

하기 위해서는 교사부터 모델에 대해 바르게 인식하고 있어야 한다. 모델에 대한 교사의 이해 수준에 따라 학생들의 모델의 본성이나 모델의 활용 정도가 달라지기 때문이다. 따라서 교사가 모델과 모델링에 대해 정확하게 숙지할 수 있도록 교사 연수 프로그램을 개발할 필요가 있다.

넷째, 학교 현장에서 모델링을 활용할 수 있도록 모델링에 대한 교수-학습 모형이나 교수 전략을 개발할 필요가 있다. 이 연구에서는 학생들이 모델을 만드는 과정과 모델을 만들지 못한 과정, 그리고 그러한 과정이 진행되는 근본적인 원인을 분석하였다. 따라서 이 연구의 결과를 활용하여 교수·학습 모형이나 교수 전략을 개발하는데 도움을 줄 수 있다.

국문 요약

대학교 1학년 학생들을 대상으로 모델링 탐구 실험을 적용하여 질적 연구 방법으로 학생들의 모델링 사고 유형을 알아보았다. 학생들의 모델링 과정은 ‘Refining tentative model(임시 모델 정교화)’, ‘Accepting alternative model(대안 모델 채택)’, ‘Discarding tentative model(임시 모델 폐기)’, ‘Failing to find causes(원인 규명 실패)’, ‘Disbelieving results(실험 결과 불신)’의 다섯 가지 유형으로 나누어진다. 학생들은 모델링 탐구 활동을 통하여 과학자의 사고 과정을 경험하여 모델의 본성과 의미를 이해하였고, 이것은 학생들이 과학 지식의 본성을 이해하고, 스스로 탐구할 수 있는 기초가 될 것이다.

참고 문헌

권용주, 정진수, 강민정, 김영신 (2003). 과학적 가설 지식의 생성 과정에 대한 바탕이론. 한국과학교육학회지, 23(5), 458-469.

양일호, 정진수, 권용주, 정진우, 허명, 오창호 (2006). 과학자의 과학지식 생성 과정에 대한 심층 면담 연구. 한국과학교육학회지, 26(1), 88-98.

오필석 (2005). 지구과학 교육과정의 새로운 방향 모색: 모델 구성을 통한 지구과학 교수-학습 활동의 제안. 지구과학 교육심포지엄 및 춘계학술발표회.

오필석 (2007). 중등학교 지구과학 수업에서 과학

적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(7), 645-662.

조홍식, 정선옥, 김진숙, 권지성 (2007). 질적연구 방법론: 다섯 가지 전통. 학지사.

하지희, 이화중, 강성주 (2009). 모델링 활동에 대한 과학고등학교 학생들의 인식. 영재교육연구, 19(1), 187-205.

채동현, 박현주, 이수영 (2003). 과학교육의 질적 접근. 북스힐, pp 42-49.

Danusso, L., & Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.

Gilbert, J. K. (2004). Models and modeling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science Education*, 26(2), 115-130.

Halloun, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1-26.

Harwood, W.(2004). An activity model for scientific inquiry. *The Science Teacher*, 71(1), 44-46.

Khan, S. (2007). Model-Based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.

Lim, H.-Y., & Kang, S.-J. (2010). Pattern of the University Student's Perception for Unexpected Results and Effect of Problem-Solving Experiments for Change of Perception. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* 30(3), 366-374.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Schwarz, C., & Gwekwerere, T. (2007). Using a Guided Inquiry and Modeling Instructional Framework to Support Preservice K-8 Science Teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.

Treagust, D. F., Chittleborough, G., &

Thapelo, L. (2002). Students' Understanding of the Role of Scientific Models in Learning Science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.

Toffler, A. (2006). *REVOLUTIONARY WEALTH*. Bantam Dell Pub Group. (김중웅 역

(2006). *부의 미래*. 청림출판.)

Watson, R. (2008). *Future Files: 5 Trends for the Next 50 Years(The 5 Trends That Will Shape the Next 50 Years)*. Nicholas Brealey Publishing. (김원호 역(2009). *퓨처 파일*. 청림출판.)