

모델링 활동에 대한 과학고등학교 학생들의 인식

하 지 희	이 화 종	강 성 주
한국교원대학교	한국교원대학교	한국교원대학교

이 연구의 목적은 과학자의 사고과정을 반영한 모델링 탐구를 적용한 후 모델링에 대한 학생들의 인식을 알아보는 것이다. 기체의 확산, 이온의 전도도, 이온의 이동에 대한 모델링 모듈을 과학고등학교 1학년 학생들을 대상으로 적용하였다. 모델링 모듈에 대한 학생들의 인식을 알아보기 위하여 인터뷰, 실험보고서, 대화 내용을 분석하였다. 학생들은 모델링 탐구가 과학자의 연구과정을 경험할 수 있는 활동이며, 모델링 탐구는 '생각의 근육'을 키우는 활동, '새로운 시각'과 '다양한 표현'이 필요한 활동, '실험 디자인' 과정이 포함된 활동으로 인식하고 있었다. 그러므로 앞으로 다양한 모델링 모듈의 개발이 필요하다.

주제어: 모델링 모듈, 학생들의 인식, 과학고등학교

I. 서 론

과학은 자연 세계를 다양한 방법으로 연구하여 이론을 구성하고 현상을 설명하는 활동으로 정의할 수 있으며(National Research Council [NRC], 1996), Gilbert(2004)는 과학 활동에서는 자연 현상이나 과학적인 아이디어를 표상하는 방법의 하나로 모델을 만들고 모델을 이용하는 것이 중요하다고 주장하였다. 모델은 과학 활동에서 추상적인 이론과 경험적인 내용을 연계 지으면서, 대상의 성질이나 상태를 기술하거나, 현상의 원인을 설명하고, 미래에 발생할 수 있는 사건을 예측하는 데 기여한다(Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998). 모델에 대한 또 다른 정의는 어떤 물체나 현상, 아이디어의 여러 가지 속성 중에서 관심 있는 특징들을 표상하는 또 다른 사물

교신저자: 강성주(sjkang@knue.ac.kr)

* 이 연구는 2008년도 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2008-000-20619-0).

이나 기호, 그림 또는 그것들의 체계라고 할 수 있다.

과학교육은 실제적인 내용으로 과학자들이 하고 있는 것을 나타내야 하며 (Sternberg, 1988), 모델을 만드는 과정인 모델링은 실제적인 과학자의 연구방법 중에 하나로(Halloun, 1996) 학교 현장에서 이에 대한 학습이 필요하다. 이에 모델 기반 학습이 중요한 연구 분야의 하나로 자리 잡고 있으며(Clement, 2000; Gobert & Buckley, 2000) 모델을 기반으로 한 교수-학습 활동의 특징과 효과에 관한 연구가 진행되고 있다(Rotbain, Marbach-Ad & Stavy, 2006).

Schwarz와 Gwekwerere(2007)는 예비 초등교사를 대상으로 안내된 탐구와 모델 탐구 활동을 비교하였을 때, 지식을 구성하고 적용할 수 있도록 하는 모델링 탐구 활동이 과학적 탐구와 같은 방향으로 나타났다고 하였다. 따라서 과학자가 연구하는 지식 생성 과정을 학습하기 위한 방법으로 모델링 활동이 적합하다고 주장하였다. Harrison과 Treagust(2000)는 일상적 경험을 통한 과학적으로 사고하는 훈련이 필요하며, 모델링은 중요한 전략이 될 수 있다고 하였다. 또한, 모델기반 교수법을 적용하였을 때 불완전한 정신 모델이 과학적인 정신 모델로 변화하므로 과학 교육에서 모델링 학습의 중요성을 주장하였다(Ogan, 2007).

모델링을 이용한 교수-학습 과정에 대한 연구도 이루어지고 있다. 박호철(2007)은 모델링이란 모델을 구성하는 사고과정이며, 사물들 혹은 현상들 간의 공통점과 차이점을 찾아내고, 원인과 결과를 구성하고 있는 다양한 요인들 간의 관계성을 파악하는 과정이라고 정의하였다. 박호철(2004)은 모델링 기법을 중심으로 한 MBTL 수업 모형(model based teaching and learning instruction model)을 제안하였는데, MBTL 수업 모형은 과제인식, 탐색, 모델구성, 공유, 모델재구성, 일반화의 단계로 구성되었다. Halloun(2006)이 제안한 모델을 형성 학습 방법은 탐색(Exploration), 모델제시(Model Abduction), 모델형성(Model Formulation), 모델전개(Model Deployment), 패러다임 통합(Paradigmatic Synthesis)으로 구성되었다. Justi와 Gilbert(2002)는 모델링 과정은 주어진 현상이나 정보를 이용하여 정신 모델을 만드는 것으로부터 시작한다. 정신 모델은 사고실험을 통해 수정될 수 있으며 모델을 검증할 수 있는 실험을 설계하고 수행하는 과정을 거쳐 합리적인 모델로 완성되는 것이다. 모델이 처음 생각했던 모델을 잘 표현하고 있는가에 대해 점검해야 하며 상황에 따라 모델을 재구성할 수 있으며 이와 같은 과정을 반복하여 모델을 완성하게 된다.

모델과 모델링에 대한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고 학생들은 과학적 모델을 효과적이고 적절하게 사용할 기회가 부족하였기 때문에 모델의 역할을 제대로 이해하지 못하고 있으며(Treagust, Chittleborough & Thapelo, 2002), 모델링에 대한

인식도 부족하다.

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 만들어가는 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 8단계의 모델링 단계로 구성하였다.

학생들은 모델링의 결과물인 모델을 이용하여 대상을 설명하는 학습에 익숙해져 있다. 과학의 발견 과정보다는 결과물인 과학 지식의 학습에 대부분의 시간을 할애하고 있다. 과학을 공부하는 학생들, 특히 과학고등학교 학생들은 과학 자체에 대한 의미를 생각하고 과학자의 중요한 연구 과정인 지식의 생성과 발견 과정을 체험해야 한다. 따라서 이 연구에서는 과학고등학교 학생들이 탐구 활동을 통하여 설명체계인 모델을 제시하는 모델링 활동을 경험한 후 모델링 활동에 대한 학생들의 인식을 알아보려고 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

개발된 도구는 광역시에 위치한 과학고등학교 1학년 학생 중 4명을 대상으로 적용하였다. ‘critical case sampling’ 방법으로 과학고등학교 선발과정에서 영재성이 확인되었으며, 화학과 실험에 흥미를 보인 15명의 학생에게 ‘이온의 이동’이라는 연구주제를 제시하였고, 이 주제에 흥미를 보이고 연구에 참여하기를 희망한 학생 4명을 대상으로 하였다. 연구 대상은 모두 남학생이며 중학교 때 화학올림피아드에서 입상한 경력이 있으며, 교육부 R&E 활동에 참여하였다. 연구 대상에 대한 정보는 <표 1>에 제시하였다.

<표 1> 연구 대상

연구대상	화학전공 희망	중학생KChO 입상실적	2008 R/E활동 (교육부, 재단)	중3영재원 참여	입학전형
강나라	○	은	교육부	×	단계형
남나라	○	장려	교육부	○	영재전형
이나라	○	장려	교육부	○	영재전형
추나라	○	동	교육부	×	단계형

2. 모델링 활동 수업 진행

모델링 활동을 수업하기 위해 교사용 안내서와 학생용 활동지를 나누어 개발하였다. 교사용 안내서에는 인지적 도제 전략을 활용한 모델링 모듈에 대해 설명하였고 수업의 목적을 분명히 할 수 있도록 수업 개요와 학습 목표를 명시하였다. 모델링 모듈을 적용하는데 필요한 참고문헌과 참고자료는 교사용 안내서 뒤에 첨부하였다. 학생용 활동지는 모델링 모듈의 단계를 제시하여 학생들이 스스로 모델링 과정을 경험할 수 있도록 구성하였다. 학생용 활동지에는 학생들이 모델링 모듈을 경험하면서 관찰한 내용이나 궁금한 점을 메모할 수 있는 공간을 마련하여 활동지에 제시된 내용을 제외한 생각들도 기록할 수 있도록 하였다. 개발한 모듈은 과학교육전공의 연구자 7인의 자문과 평가를 받아 검토 과정을 거쳐 완성되었다. 완성된 모듈을 가지고 수업할 교사와 연구자가 3차례 협의를 통해 수정한 후 학생들에게 적용하였다.

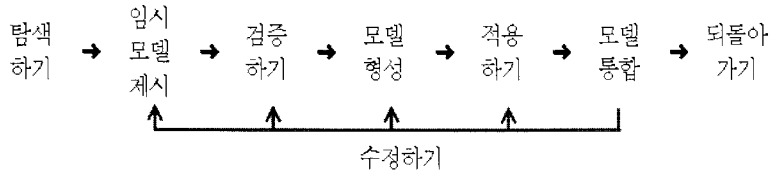
모델링 모듈 적용 기간은 2008년 5월부터 8월까지 창의적 재량활동 시간과 방학기간을 이용하였다. 5월에는 이온의 이동으로 모델링 활동에 참여하고자 한 학생들을 대상으로 ‘모델링 경험이 있었는가?’, ‘모델링 활동이 무엇이라고 생각하는가?’의 내용을 담고 있는 설문지를 실시하였고, 이를 통해 4명의 학생 모두 모델링 활동 경험이 없다는 것을 확인할 수 있었고, 막연히 모델링 활동은 모델을 만드는 것이라고 생각하고 있었다. 따라서 학생들에게 교사는 모델은 자연 현상을 설명할 수 있는 다양한 형식의 설명체계를 의미하며 모델을 만드는 과정을 간략하게 설명하였다. 6월에는 모델링 모듈 중 첫 번째 기체의 확산을 실시하였다. 학생들이 모델링 활동에 대한 사전 활동이 없었으므로 교사의 구체적인 도움이 제공되었다. 창의적 재량활동 시간에 진행되었으므로 1주에 2시간씩 3주에 걸쳐 기체의 확산에 대한 모델링 활동을 수행하였다. 모델링 활동에 실험이 포함되어 있는데 실험 수행에 많은 시간이 소요되었다. 7월에는 기말고사 등의 학교사정에 의해 수업이 진행될 수 없었고 8월 방학기간을 이용하여 모델링 모듈을 집중적으로 수행하였다. 하나의 모듈을 수행하는데에는 약 6시간에서 7시간 정도 소요되었고, 하나의 모듈을 임시모델을 제시하는 활동과 모델을 검증하는 활동으로 나누어 2일에 걸쳐 진행하였다.

3. 적용한 모델링 모듈

모델링 모듈을 제작하기 위하여 박호철(2004), Halloun(2006), Justi와 Gilbert (2002)의 연구를 참고하여 모델링 활동의 단계를 제시하였고 과학교육전공의 연구자 3인의 협조를 얻어 수정·보완하였다. Justi와 Gilbert(2002)의 연구에서는 사고실험 과정이

포함되어 있으나, 본 연구에서는 사고실험 과정은 임시모델 제시와 검증하기에서 일부분 이루어질 수 있다고 판단하였다. 또한, 본 연구의 8단계 중에서 Halloun(2006)은 검증하기 부분이, Justi와 Gilbert(2002)와 박호철(2004)은 모델 통합 부분이 생략되어 있어 이 부분을 보충하였다.

최종적으로 완성된 모델링 활동 단계는 [그림 1]과 같이 8단계로 나타낼 수 있다.



[그림 1] 모델링 활동 단계

탐색하기는 주어진 실험을 수행하고 관찰된 결과를 탐색하는 과정이다. 이 과정을 통해 학생들은 모델링 주제를 이해하고 모델링 방향을 결정하게 된다. 임시모델 제시는 탐색하기 실험에서 나타난 경향성을 파악하고, 경향성이 나타나는 원인에 대해 생각하고, 생각해 낸 원인과 경향성을 종합하여 임시 모델을 제시한다. 임시모델은 검증을 거쳐 과학적인 모델이 된다. 검증하기 단계에서는 임시모델을 검증하기 위한 실험을 직접 설계하고 수행한다. 검증과정을 거친 모델은 주어진 현상을 설명하고, 새로운 상황에도 적용할 수 있는 모델이 되어야 한다. 이 모델을 이해하기 쉬운 형태로 변형시켜 본다. 다른 집단과의 토의를 통해 모델이 의사소통 도구로서 유용한가를 알아보고, 검증과정을 거쳐 형성된 모델이 과학적인가를 확인하는 기회가 제공된다. 모델이 새로운 상황을 설명할 수 있는가를 알아보기 위해 적용하는 단계가 필요하다. 여러 가지 모델을 통합하여 하나의 모델로 형성하는 과정을 겪게 된다. 두 개의 모델을 포괄적인 모델로 통합되어 표현하는 모델통합 단계이다. 이때 하나의 모델로 나타내는 이론적인 근거가 제시되어야 한다. 임시모델을 제시하고 검증하는 과정에서부터 적용하고 통합하는 과정을 거치면서 모델이 설명하고자 하는 현상과 상충될 때 모델을 수정한다. 모델이 검증하는 실험에서 결과가 다르거나, 모델을 적용하는 부분에서 정확하게 설명할 수 없을 때, 모델을 통합하는 과정에서 서로 상반되는 설명을 하게 되는 경우 등의 이유로 학생들은 모델 수정의 필요성을 느끼게 된다. 모델을 수정할 때는 임시모델 제시 단계로 되돌아간다. 처음으로 되돌아가서 탐색하기 단계에서 제시되었던 실험 결과를 학생들이 만든 모델을 이용하여 설명하는

되돌아가기 단계로 모델링 활동을 마무리한다.

모델링에 적합한 주제를 선정하기 위하여 고등학교 교육과정과 일반화학 수준의 내용을 검토하였다. 기체의 확산, 이온의 전도도, 이온의 이동이라는 3가지 주제를 선정하였고 학생들이 이 주제를 통해 모델링 모듈을 경험할 수 있는 형태로 총 3개의 모듈을 제작하였다. 모델링 모듈의 활동 내용은 <표 2> ~ <표 4>에 나타내었다.

<표 2> '기체의 확산' 활동 내용

모델링 단계	활동내용
탐색하기	- 암모니아수와 아세트산의 확산에 따른 pH 시험지의 색변화 관찰
임시모델제시	- 실험결과를 정리하고 경향성 파악 - 임시모델 제시
검증하기	- 검증실험 설계 및 수행 - 검증실험제시 ① 휘발성 산·염기를 이용하여 pH 시험지 색변화 관찰 실험 ② 염산과 암모니아수를 이용한 염화암모늄 고리 생성 실험
모델형성	- 검증실험 결과를 근거로 모델 형성 - 제시한 모델을 문장, 수식, 그래프로 표현 - 모델을 다른 조와 비교 토론
적용하기	- 향수가 첫향, 중간향, 잔향으로 나누어지는 제조 원리를 모델로 설명하기
되돌아가기	- 암모니아수와 아세트산의 확산에 따른 pH 시험지의 색변화 관찰실험의 결과를 최종적으로 완성된 모델로 설명하기

<표 3> '이온의 전도도' 활동 내용

모델링 단계	활동내용
탐색하기	- 산·염기 중화적정실험에서 용액의 전기 전도도를 측정함 ① NaOH 수용액을 HCl수용액으로 적정 ② HCl 수용액을 NaOH 수용액으로 적정
임시모델제시	- 탐색하기 실험에서 얻은 그래프의 차이점을 분석하고 이온마다 전도도가 다르다는 것을 파악 - 이온마다 전기 전도도가 다른 이유에 대해 모델을 제시함
검증하기	- 이온의 전도도에 영향을 주는 요인에 따라 변인을 설정하여 검증할 수 있는 실험을 설계·수행함 - 실험결과를 이용하여 임시 모델을 검증함
모델형성	- 검증실험을 근거로 모델을 제시함 - 다른 조와 토의를 거쳐 모델을 정교화 시킴
적용하기	- 신경계의 기본 단위인 뉴런에서 자극을 전달하는 과정을 이온의 전도도에 대한 모델을 이용하여 설명함
되돌아가기	- 산·염기 중화적정반응의 전도도 그래프를 모델로 설명하기

<표 4> '이온의 이동' 활동 내용

모델링 단계	활동내용
탐색하기	- 아크릴판 실험 키트를 사용하여 질산납 수용액과 요오드화칼륨 수용액의 앙금생성 반응제시
입시모델제시	- 앙금생성 위치의 경향성을 파악하여 이온의 이동에 대한 입시모델제시
검증하기	- 이온의 이동에 영향을 주는 변인을 찾고 과학적인 검증실험 설계 및 수행
모델형성	- 검증결과를 근거로 이온의 이동에 대한 모델 형성
모델통합	- 이온의 전도도와 이온의 이동에 관한 모델링 과정을 거치면서 제시한 모델을 통합하여 포괄적으로 설명할 수 있는 모델 제시

3. 인식 분석

모델링에 대한 학생들의 인식을 알아보기 위하여 인터뷰, 실험보고서, 활동 중의 학생들의 대화를 분석하였다. 자료수집방법은 현상학적 관점에서 이루어졌다. 현상학적 연구를 위한 질문은 참여자들이 주어진 현상에 대한 생각하는 방법이나, 경험의 개념에 초점이 맞추어져 있다. 이러한 목적을 위해 다양한 여러 전략이 사용될 수 있으나, 다양한 전략 중 가장 선호되는 방법은 인터뷰이다(Booth, 1997). 모델링 모듈을 경험한 후 모델링에 대한 학생들의 인식을 심층적으로 알아보기 위해 반 구조화된 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰 내용은 모델 기반 탐구 학습에 대한 Khan(2007)의 연구에서 사용된 설문 문항을 바탕으로 이 연구의 목적에 맞게 변형하여 사용하였다. 모델을 기반으로 한 탐구활동이 '다른 수업과 비교하여 과학적 아이디어를 제시할 수 있는 기회가 되었는가?', '교실에서 이루어지는 토론을 통해 화학적 개념을 수정하게 되었는가?', '과학적 지식에 대해 설명할 수 있는 기회가 제공되었는가?' 등의 설문 내용으로부터(Khan, 2007) 모델링 활동과 다른 수업과의 차별성에 대한 내용을 인터뷰 내용에 포함시켰다. 개발한 인터뷰 내용은 모델링 모듈에 참여하고 있는 학생에게 시범 적용하였고, 이를 통해 인터뷰 문항의 문제점을 수정·보완할 수 있었다. 수정·보완된 인터뷰 내용은 화학교육과 교수 1인과 연구자 3인의 협의를 거쳐 최종적으로 완성되었다. 인터뷰 내용은 '모델링 실험이란 무엇이라고 생각 하나요?', '모델링 실험이 다른 실험과 차이가 있습니까?', '모델링 실험 과정 중에서 가장 어려웠던 부분은 무엇입니까?', '모델링 실험을 하면서 도움이 된 것은 무엇입니까?'로 구성되어 있다.

이와 같은 모델링 활동에 대한 인터뷰는 모델링 활동을 모두 수행한 후 바로 실시하였다. 인터뷰가 진행되는 동안 학생들의 목소리에 집중하였고, 녹음된 자료는 전사한 후 반복해서 분석하였다. 수집된 자료를 분석하기 위해서 근거이론 연구에 있어서 자료분석 과정인 개방코딩(open coding), 축코딩(axial coding), 선택코딩(selective coding) 방법을 사용하였다(조홍식 등, 2005). 수집된 자료에서 학생들의 응답은 의미 있는 부분을 범주화 하였고 각 범주들을 연결시킨 후 수집된 자료를 바탕으로 전체적인 맥락을 고려하여 해석하였다.

또한, 모델링 모듈이 진행되는 동안 참여 관찰은 지속적으로 이루어졌으며, 모델링 활동 과정의 전체적인 분위기와 학생별 특징을 기록하였다. 관찰일지에는 모델링 모듈 활동 과정에 대한 내용에 집중하여 관찰한 내용을 기록하였고, 학생의 개인적인 성향, 실험에 대한 흥미 등 주목할 만한 행동을 구체적인 문장으로 서술하였다. 인터뷰 분석의 타당도와 신뢰도를 높이기 위하여 일정기간에 걸쳐 반복 분석하여 분석한 자료들을 비교하고, 연구자의 관찰 일지와 학생들이 작성한 실험보고서, 상호작용을 함께 함께 활용하여 ‘자료의 삼각화’가 이루어지도록 진행하였고, 화학교육과 교수 1인과 연구자 3인이 함께 협의하여 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

모델링 탐구는 설명 체계인 모델을 만드는 탐구 활동으로 일반적인 탐구 실험보다 모델의 제시와 검증에 강조한 활동이다. 설명 체계인 모델(model)은 이론(theory)과 법칙(law)을 포함하며 자연 현상을 설명하고 예측할 수 있는 중요한 도구이지만 학생들은 모델에 대해 충분히 이해하지 못하고 있다. 이 연구에서 학생들은 8단계로 구성된 모델링 탐구 활동 3가지를 모두 수행하였으며, 탐구 활동 후 실시한 인터뷰와 실험보고서, 학생-학생 상호작용 분석을 통하여 모델링에 대한 학생들의 인식을 다음과 같이 추출하였다.

1. 모델링 탐구는 ‘생각의 근육’을 키우는 활동이다.

모델링은 주어진 현상을 설명할 수 있는 설명 체계인 모델을 만드는 것이므로 학생들은 아이디어를 제시하여야 한다. 탐색하기 활동을 통해 현상을 관찰하고, 이에 근거하여 설명 체계인 임시 모델을 이끌어내는 과정은 자신의 생각을 펼칠 수 있는 기회가 된다. 또한, 모델 검증 단계의 실험 결과가 임시모델과 다르거나 임시모델로

해석할 수 없는 상황이 되었을 때 이를 해석하는 과정에서 깊은 사고가 필요했다. 이러한 과정에서 생각하는 법을 배우고 창의적인 사고를 할 수 있게 되었다고 생각하였다. 다음은 ‘모델링 실험이란 무엇이라고 생각하나요?’에 대한 H학생과 K학생, ‘모델링 실험을 하면서 도움이 된 것은 무엇입니까?’에 대한 Y학생들의 인터뷰 내용이다.

- H: 원래 과학시간에는 새로운 모델을 제시해서 그에 대한 실험을 해보는 게 거의 없자
나요. 그래서 저희가 **모델을 제시하고**…… 이거에 대해서 **무슨 물질을 사용할지를
생각해야 하고.**
- K: **임시모델을 제안할 때** 어떻게 할 것인지를 서로 제안하자나요. 그런 과정에서 과학
적인 **아이디어를 제시할 수 있는 기회**가 되었던 거 같아요. **실험 설계할 때도** 그렇
구요.
- Y: **생각하는 거를 배웠다고** 해야 하나? 결과를 보고 생각을 더 많이 했어요. 다른 것
보다…… **오랜만에 창의력을 발휘했다고** 해야 하나 웬지 그런 기분이 들어요.

H학생의 인터뷰에서와 같이 학생들은 기존의 과학 실험에서 새로운 모델을 제시하는 활동을 경험하지 못하였다. 그러나 모델링 활동의 임시모델 제안과 실험 설계 과정에서 필연적으로 아이디어 제시가 필요하므로, 학생들은 생각해야하며 이 과정에서 창의력이 발휘된다. 실제로 모델링 탐구를 수행하면서 학생들이 아이디어를 제시한 상황을 학생들의 상호작용을 통해 확인할 수 있다. ‘이온의 이동’ 모듈의 임시 모델 제시 활동 중에 이온의 이동 속도에 영향을 미치는 변인에 대한 새로운 생각을 제시하는 학생들의 대화는 다음과 같다.

- H: **그럼 전하량도 관계가 있어? 속도에?**
- Y: 어?
- H: 속도에 전하량도 관계가 있나구.
- Y: 이것도 **그레이엄의 확산법칙이 혹시 성립하지 않을까?**
여기다 한번 그레이엄을 적용해 볼까?
- K: 이온의 전도도에서 전하량 빼고
- H: 근데 전하량이 관계가..아.. 전하량 빼고..
- H: **전하량에 대해서 한 번 해봐야 하지 않을까?**
- Y: 전하량에 대해서 한다면 문제점이 질량 바뀌지 않아야지

H: 빨리 하자. 모델제시 뭘로 해?

Y: **그럼 농도를 다르게 할까?**

H: 한쪽 농도를 맞추고 한쪽 농도를 낮추면 되자나.

Y: 아…… 그러면 되겠다.

H: 그러니까 $Pb(NO_3)_2$ 를 넣고 KI 를 0.1M, 0.01M 이런 식으로 (중략)

H: **크기에 따라서는 해야 할거구.** 그 다음에.

(중략)

D: 근데 어느 정도 이상 화학을 배우자나. 그럼 한가지로 다 되지 않나?

가령 이온과 관계 되면, **전하밀도로 수화반지름이 커져서 느리다.**

H: 그렇지..

D: 그럼 **전하 밀도를 따져서 하면 되는 거 아닌가?**

학생들은 이온의 이동 속도에 영향을 미치는 요인에 대해 전하량, 질량, 농도, 크기, 전하밀도와 관련 있다고 생각하였고 임시모델로 이러한 요인과 이동속도를 연결하여 설명하려고 하였다. 이와 같이 모델링 탐구를 통해서 새로운 생각을 제시할 수 있는 기회가 주어진다는 것을 알 수 있었다.

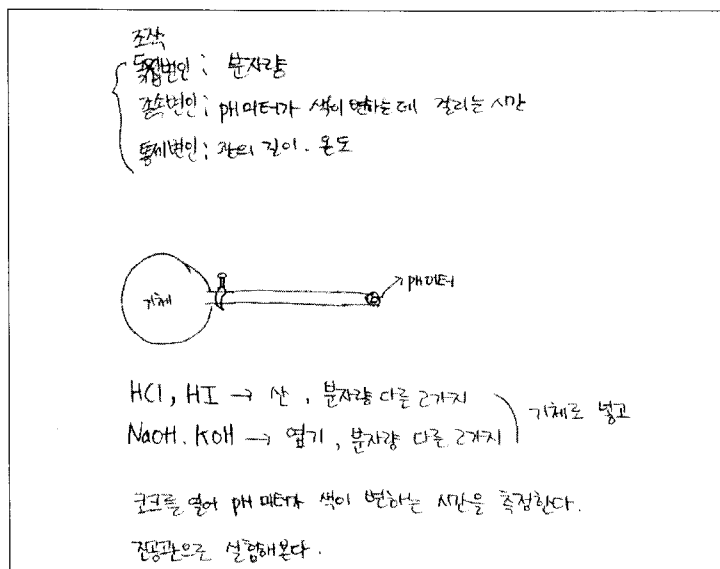
2. 모델링 탐구에는 ‘실험 디자인’ 과정이 포함되어 있다.

기존의 교육과정에 제시된 탐구 활동들은 학생 주도적 실험 설계 과정이 미흡하였다. 모델링 탐구의 모델 검증 과정에서 학생들은 검증 실험을 설계하고 수행해야 한다. ‘모델링 실험이 다른 실험과 차이가 있습니까?’에 대한 인터뷰 내용에서 H학생의 응답에서 이전 실험과 달리 모델링 탐구는 실험 과정을 직접 설계한다는 것을 알 수 있다.

H: 저희가 **나름대로 어떠한 거 하겠다.** 그래서 어떤 문제점이 발견해서는 이것은 어떻게 보정을 해야 된다. (중략) (모델링 모듈을 하기 전에는) **직접 실험을 짜고 실험해 본 적이 거의 없었어요.**

다음은 ‘기체의 확산’ 실험에서 임시모델을 제안한 후, 확인하기 위한 실험 설계 과정이 나타난 K학생의 실험보고서이다. 기체의 확산은 분자량에 반비례한다는 임시모델을 설정한 후에, 실험으로 증명하기 위하여 콕이 달린 등근바닥플라스크와 pH미

터를 이용하는 실험 과정을 기술하였다. 이와 같은 제안된 임시모델을 검증하는 실험 설계 단계가 모델링 탐구의 특징으로 언급되었다.



이러한 모델링 탐구의 특징은 때론 학생들에게 어려움으로 다가오기도 하였다. 인터뷰에서 ‘모델링 실험과정 중에 어려웠던 것은 무엇입니까?’라는 문항에 D학생은 다음과 같이 대답하였다.

D: 실험에서 검증하는 부분이 제일 어려웠는데요. (중략) 우리가 원하는 데이터를 얻고자 하는 시약이랑 조치를 취하는 게 쉽지 않았기 때문에 그런 부분에서 좀 어려운 점이 있었던 거 같고.

D학생은 검증하기 실험에서 어떤 시약을 사용할 것인지 결정하는 부분에서 어려움을 겪었는데, 변인을 통제하여 사용할 시약을 학생이 스스로 결정해야 하기 때문에 어렵게 느껴졌던 것으로 볼 수 있다. 현실적으로 검증 실험 과정에서 학생들이 원하는 기구와 시약이 모두 갖추어져 있지 않으므로 학생들이 실망하는 경우도 자주 관찰할 수 있었다. 그러나 학생들은 모델링 활동에서 검증 실험이 필요하고 그 과정이 어렵지만 스스로 설계하여 검증하는 과정이 모델링 탐구의 특징으로 인식하고 있었다.

3. 모델링 탐구는 ‘새로운 시각’이 필요하다.

학생들이 이전에 경험했던 실험은 주로 알고 있는 사실을 확인하는 실험이 대부분을 차지하고 있었으나, 모델링 탐구에서는 실험 결과의 심층 해석을 통해 설명 가능한 새로운 모델을 제시하는 것을 모델링 탐구의 특징으로 인식하였다. ‘모델링 실험이 다른 실험과 차이가 있습니까?’ 라는 인터뷰에 대한 학생들의 응답은 다음과 같다.

D: 기존의 실험은 실험 결과만을 알고 있으면 되는데. 지금 이거는 **알고 있는 거랑 실험결과랑 여러 가지로 해석해야 하니까.**

K: 이제까지 했던 거는 대략적으로 결과가 있거나 주어지거나 아니면 아는 거여서 따라서 하면 되는데. **이거(모델링 모듈)는 결과를 가지고 새로 저희가 개척해야 하는 거.**

학생들의 응답에서 볼 수 있듯이 모델링 탐구는 결과를 다양한 방면으로 해석하여 모델을 제시하여야 하는 특징이라고 생각하였다. 다음은 이온의 전도도 실험에서 전도도는 농도에 비례하고 이온의 부피에 반비례하는 모델과, 이온 반지름에 반비례하는 모델을 각각 설정한 후, 두 모델을 통합하여 이온의 전도도는 농도에 비례하고 이온의 부피와 반지름에 반비례하는 모델을 제안하였다. 그러나 이온의 전하량도 영향을 미칠 것으로 생각하고 있지만 강한 신념을 가지지는 못하고 있다.

The image shows a handwritten mathematical derivation. At the top, it states: $\text{전도도} \propto \frac{n}{V} \propto \frac{1}{r^3}$. Below this, there is a note: "(이온) 전하량도 영향을 미칠거겠어..". To the right, the equation is further developed: $\text{전도도} = k \cdot \frac{n}{rV}$, with a downward arrow pointing to the word "정답" (Answer).

모델링 모듈은 알고 있는 사실을 확인하는 실험이 아니라 실험 결과로 하나의 설명 체계를 이끌어 내야 하므로 결과 해석에 어려움을 겪었던 것으로 나타나며, 이것이 모델링 모듈이 경험해왔던 실험들과 차별성을 갖는다고 생각하였다. 특히, 실험

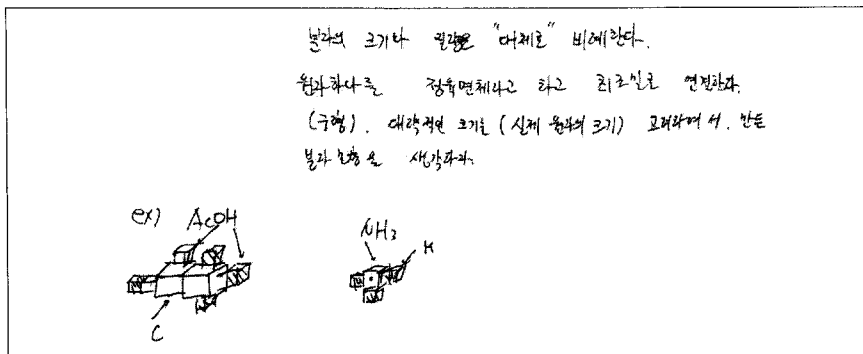
결과가 임시모델과 다를 때, 결과를 심층적으로 재해석하거나 경향을 보였다.

- H: 내가 예상했던 것과 결과가 달라서도 그렇고 나와 있는 지식도 그러다 하고 그러니까 내가 원래 생각했던 게 틀렸구나 (생각했어요).
- D: 질량에 대해서 이온의 이동이 굉장히 좌우될 줄 알았는데 좀 더 생각해 보고 실험 결과들을 보니까 이온 자체는 굉장히 질량도 작고해서 그게 그렇게 큰 영향을 못 미쳐서 식을 아예 바꾸기도 하고.

H학생은 검증하기 위해 설계한 실험 결과가 예상과 다르고 이것을 이해하기 위해서 인터넷 자료를 검색하였고, D학생은 반추하여 실험결과를 재해석하는 과정을 찾아볼 수 있다. 이와 같이 얻어진 실험 결과를 다양한 시각에서 바라보고 해석하는 과정을 모델링 탐구의 특징이라고 인식하였다. 이처럼 모델을 형성하는 과정에서 처음 제시한 임시모델이 검증하는 과정에서 항상 모델과 일치하는 결과가 나오지 않을 수도 있다는 것을 경험하고 이렇게 새로운 사실을 설명하기 위해 모델을 수정할 수 있다는 것을 알게 되었다.

4. 모델링 탐구에서는 ‘다양한 표현’이 나타난다.

모델이 의사소통의 도구로 사용되기 위해서는 표현 방식도 중요하며(Treagust et al., 2002), 학생들이 과학적 모델을 만드는 과정에서 다양한 형태로 모델을 표현하였다. ‘기체의 확산’ 실험에서 D학생은 처음 모델을 제시할 때 아래와 같이 그림과 문장의 형태로 표현하였다.



그러나 화합물을 그림으로 표현 할 때 어려움이 나타나자 이후에 모델을 제시하는 부분에서 그림 대신 기호(symbol)나 수식을 이용하였는데, 기호나 수식이 간단하고 많은 내용을 정확하게 표현할 수 있기 때문이라고 생각하였다. 이러한 내용은 D 학생의 인터뷰 내용에서도 확인할 수 있다.

D: 초기에는 기체의 확산 같은 경우에는 거의 그림을 이용해서요. 실제로 우리가 분자 모형으로 나타낼 시 구멍 아니면 어떤 부피가 있는 물질로 생각을 해서 우리가 실제로 만들어 볼 수 있는 형태로 생각을 했는데 후반부로 갈수록 그렇게 생각하면 할수록 복잡해지고 표현이 어렵기 때문에 수식으로 많이 표현했던 것 같아요.

‘이온의 전도도’ 실험에서 H학생의 보고서에 나타난 모델의 형태는 아래와 같이 문장과 수식 두 가지였다.

이온의 전도도 용액이 영향을 받을 것이다. 농도가 증가할수록, 이온의 크기가 작을수록 전도도가 증가할 것이다.

$$1. \text{ 이온의 전도도} = \frac{k \cdot Z \cdot A \cdot C}{r \cdot l}$$

(k: 상수 Z: 전이량 r: 이온의 크기
A: 전극의 면적 C: 용액의 농도 l: 이온거리)

처음 임시모델 제안에서는 생각을 나열하는 수준에서 문장으로 표현하였으나 검증과정을 거친 후 과학적인 모델을 완성하라는 지문에는 수식으로 표현하였다. 이에 대한 인터뷰 내용에서 H학생은 수식이 보다 간단하게 나타낼 수 있는 장점이 있다고 생각하였다.

H: 거의 다 수식으로 했었어요. (중략) 일단 문장으로 표현하는 거는 별로 안 좋아하기 때문에…… (수식으로 표현하는 것은) 자주 써 버릇하기도 하고 하나로 알아볼 수 있다는 것(장점)도 있구요.

K학생은 모델을 표현하는 데 있어서 문장, 수식, 그래프를 사용하였다. K학생의 인터뷰 내용을 통해 모델의 형태에 대한 생각을 알아 볼 수 있었다.

K: 어떤 경우는 수식으로 하고 어떤 것은 문장으로 했는데, 수식은 문장을 간단하게 금방 옮길 수 있으니까, 그래프 같은 경우는 변화하는 양상을 보인다거나 할 때는 한 눈에 효과적으로 들어오니까, 문장의 장점은 그걸 말로 표현한 거니까 (이해하기 쉽죠), 그걸(수식이나 그래프) 해석하지 못할 수도 있으니까.

이와 같이 학생들은 자신의 생각을 다양한 형태의 모델로 표현하였다. 그림, 기호, 수식, 문장 등 다양한 형태로 표현한 것에는 형태마다 특징이 있기 때문이다. 즉, 학생들 나름대로 모델의 형태에 따른 장점과 단점을 파악하고 있었고 그에 따라 하나의 현상에 대한 모델을 다양한 형태로 표현할 수 있다고 생각하였다. 학생들이 생각한 모델의 형태에 따른 특징은 문장은 이해하기 쉽고 있고, 수식은 간단하게 표현할 수 있으며, 그래프는 경향성을 파악하는데 용이하다는 것이다. 모델링 모듈을 경험한 학생들은 하나의 사실을 다양한 형태의 모델로 표현할 수 있다는 것을 인식할 수 있게 되었고 필요에 따라 원하는 형태로 변형하여 사용하였다.

모델링 탐구는 학생들이 처음 접해보는 활동으로 모델을 만드는 과정에서 아이디어를 만들어 내고 검증실험을 설계하는 활동과 실험 결과를 해석하는 과정이 어려웠지만, 이것이 모델링 탐구의 특징이라고 생각하였다. 또한, 모델링 과정에서 처음 제시한 임시모델이 검증하는 과정에서 결과와 일치하는 않을 수도 있다는 것을 경험하여 모델의 진화 과정을 체험하게 되었다.

IV. 결론 및 제언

전통적인 과학 교실에서의 과학의 발견 과정보다는 결과물인 과학 지식을 강조하는 과학 교수·학습은 많은 비판을 받았으며, 과학탐구는 과학자가 실제로 연구를 수행하는 활동이라는 점에서 과학자의 연구과정과 그들의 사고과정을 알아보는 것은 의미가 있다.

이 연구에서는 자연현상에 대해 모델을 형성해나가는 모델링 모듈을 과학고등학교 1학년 학생들을 대상으로 적용하고, 인터뷰·실험보고서·학생-학생 상호작용을 통해 모델링 탐구에 대한 학생들의 인식을 알아보았다. 모델링 탐구는 학생들이 과학자의 탐구와 사고과정을 경험할 수 있도록 구성된 활동이다. 모델링 과정에서 학생들은 과학적 아이디어를 제시하고 검증하며, 이해하기 쉬운 다양한 형태로 표현하고, 또한 필요한 경우 제안된 모델을 수정하여 새로운 모델을 제시하는 과정을 경험

하였다. 이러한 과정을 거치면서 학생들은 모델링 탐구는 ‘생각의 근육’을 키우는 활동, ‘새로운 시각’과 ‘다양한 표현’이 필요한 활동, ‘실험 디자인’ 과정이 포함된 활동으로 인식하고 있었다. 모델링 활동에서 학생들은 마치 현재 과학자인 것 같은 느낌을 받았다고 언급하였으며, 제시한 모델이 아직 발표되지 않았으면 논문을 쓰고 싶다고 말하였다. 그러나 학생들은 모델을 제시하거나 실험을 설계하는 과정에 익숙하지 않아 모델링 과정의 어려움을 느꼈다. 또한, 다양한 아이디어를 제시하였으나 기구나 시약의 미비로 실험을 수행하지 못하는 경우 불만을 나타내었다.

대부분의 탐구활동은 생각을 필요로 한다. 그러나 탐구 과정의 구성에 따라 생각의 정도가 다를 수 있다. 모델링 탐구는 다양한 아이디어를 제시하도록, 깊은 생각하도록 구성된 탐구 활동이다. 창의성이 필수요소인 이 시대에 기존에 수동적인 형태의 탐구 실험과 다른 형태의 탐구 실험의 필요성이 부각되고 있다. 모델링 활동은 이러한 요소를 갖춘 탐구 활동으로 학생들은 인식하고 있었다. 또한, 개정 7차 교육과정(2007)에 명시된 ‘일상생활의 문제를 창의적이고 과학적으로 해결하는 데 필요한 과학적 소양을 기른다.’의 과학과 목표와 모델링 활동은 같은 흐름을 보인다. 그러므로 학생들이 쉽게 접근할 수 있는 다양한 소재의 모델링 모듈 개발이 지속적으로 진행되어야 한다.

모델링 활동에서 교사의 역할이 중요하다. 탐구 과정 모든 부분에서 교사는 학생들에게 적절한 스카폴딩과 코칭을 제공하는 역할을 수행하여야 모델링 활동이 성공적으로 수행될 수 있다. 모델링 활동에서 학생들은 교사에게 다양한 요구를 한다. 아이디어를 제안하는 과정에서 정보에 접근 방법, 제안된 실험을 구현하는 데 필요한 기구 및 시약 등에 관하여 질문하고 요구하는 소란스러운 실험실이 될 것이다. 그러나 이러한 과정이 창의적 과정의 일부분임을 이해하고, 교사가 이러한 과정을 즐길 수 있어야 될 것이다.

참 고 문 헌

- 박호철 (2004). 유아과학교육에 적합한 MBTL (Model Based Teaching & Learning) 수업절차 모형 개발 연구. *미래유아교육학회지*, 11(4), 201-227.
- 박호철 (2007). MARS 프로그램의 모델링 분석을 통한 유아과학수업에서의 효율적인 모델링 방안 연구. *미래유아교육학회지*, 14(2), 1-20.
- 조홍식, 정선욱, 김진숙, 권지성 공역 (2005). *질적 연구 방법론: 다섯 가지 전통*. 도서출판 학지사, pp. 80-83.

- Booth, S. (1997). On phenomenography: Learning and teaching. *Higher Education Research and Development*, 16, 135-158.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horse for courses? *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modeling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science Education*, 26(2), 115-130.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Halloun, I. (1996). Schematic Modeling for Meaningful Learning of Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1-26.
- Halloun, I. (2006). *Modeling Theory in Science Education*. New York: Springer.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Khan, S. (2007). Model-Based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.
- Ogan-Bakiroglu, F. (2007). Effects of Model-based Teaching on Pre-service Physics Teachers' Conceptions of the Moon, Moon Phrases, and Other Lunar Phenomena. *International Journal of Science Education*, 29(5), 555-593.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2006). Effect of Bead and Illustrations Models on High School Students' Achievement in Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 500-529.
- Schwarz, C., & Gwekwerere, T. (2007). Using a Guided Inquiry and Modeling Instructional Framework (EIMA) to Support Preservice K-8 Science Teaching. *Science Education*, 91(1), 158-186.
- Sternberg, R. J. (1998). A three-facet model of creativity. In Sternberg, R. J. (Ed.), *The nature of creativity: Contemporary psychological perspectives*, MA: Cambridge

University Press, pp. 125-147.

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.

= Abstract =

Perception of Science High School Students on Modeling Activity

Ji-Hee Ha

Korea National University of Education

Hwa-Jong Lee

Korea National University of Education

Seong-Joo Kang

Korea National University of Education

The purpose of this study was to investigate the perception of science high school students for modeling module that contain scientists' thinking process. Modeling modules about 'gas diffusion', 'ion conductivity' and 'ion mobility' were applied to science high school students. Interview, lab report, and dialogue were analyzed to comprehend features of modeling module.

Students who performed modeling modules perceived that modeling modules were appropriate to experience scientists' research process. Modeling modules were kind of activity to raise 'muscle of thinking', to be needed 'new views' and 'various representations', and to contain 'designing laboratory process'. Therefore, the development of various modeling modules is needed in the near future.

Key Word: Modeling Module, Perception of Students, Science High School

1차 원고접수: 2009년 3월 13일
수정 원고접수: 2009년 4월 18일
최종 게재 결정: 2009년 4월 24일