

화학교사들의 메타모델링 인식 변화를 위한 5E 순환학습 모형 기반 교육프로그램의 효과

서미연 · 박주혜[†] · 김기향[‡] · 백성혜^{†,*}

동방고등학교

[†]한국교원대학교 화학교육과

[‡]세종과학예술영재학교

(접수 2024. 6. 5; 게재확정 2024. 8. 24)

The Effect of an Educational Program Based on the 5E Circular Learning Model for Changing Chemistry Teachers' Metamodeling Recognition

Miyeon Seo, Juhye Park[†], Kihyang Kim[‡], and Seung-Hey Paik^{†,*}

Dongbang High School, 1106, Gyebaek-ro, Seo-gu, Daejeon 35380, Korea.

[†]Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea.

[‡]Sejong Academy of Science and Arts, 265, Dalbit 1-ro, Sejong 30099, Korea.

*E-mail: shpaik@knue.ac.kr

(Received June 5, 2024; Accepted August 24, 2024)

요약. 이 연구는 화학 교사들을 대상으로 산화 환원 모델과 물의 전기분해 실험에 관련된 교사 교육프로그램을 통한 메타모델링 인식의 변화를 알아보려 하였다. 이를 위하여 8명의 화학교사들을 대상으로 과학 모델 교육프로그램을 개발하였고 10차시에 걸쳐 총 40시간동안 수업을 진행하였다. 그리고 비맥락적 상황과 맥락적 상황에서 교사의 메타모델링 인식을 알아보는 설문문을 사전과 사후에 투입하였다. 연구 결과, 과학 모델 교육 프로그램을 통해 교사들은 비맥락적 상황과 맥락적 상황 모두에서 교육적 효과가 나타났다. 비맥락적 상황의 경우에는 질문의 종류에 따라 화학 교사들의 과학 메타모델링 지식 발달 단계가 다르게 나왔다. 예를 들어, 모델의 본성이나 목적, 모델링 과정이나 모델의 평가와 개선은 낮은 단계에서 높은 단계로 향상되었으나, 모델의 변화성과 다양성에 대한 인식은 이미 사전에 높은 단계였기 때문에 큰 변화가 없었다. 맥락적 상황의 경우에는 산화 환원 모델 이론 수업과 물의 전기분해 모델 실험 수업 모두에서 과학 메타모델링 지식 발달 단계가 객관성에서 주관성으로 향상되었다. 따라서 5E 순환학습모형 기반 교육프로그램을 통해 화학교사들의 메타모델링 인식은 뚜렷하게 향상되었다. 그러나 물의 전기분해 모델 실험 수업에서 나타난 교사들의 모델링 활동은 메타모델링 인식 변화와 다르게 나타났다. 교사들이 모델링을 위해 추가 실험으로 선택한 유형은 2가지로 분석되었다. 첫째 유형은 추가 실험을 통해 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 이상적인 조건을 찾으려는 데 관심을 가진 경우이다. 두 번째 유형은 실험 결과가 왜 그렇게 나오는지에 관심을 가지고 추가 실험을 설계한 경우이다. 두 번째 유형이 모델링을 할 때 필요한 실험이라고 분석하였다. 또한, 모델링 활동은 2가지 유형으로 분석되었다. 첫째는 두 전극에서 물 분자가 직접 분해되어 수소와 산소 기체가 발생하는 유형이었다. 이 유형은 실험 결과와 상관없이 교과서 모델로 회귀한 경우이며, 8명 중에서 6명의 화학교사들이 이 유형으로 분석되었다. 둘째는 (+)극에서 물이 반응하여 다른 물질이 발생하고 (-)극에서 수소 이온이 반응하여 수소 기체가 발생하는 유형이었다. 이러한 모델링 활동을 한 교사들은 추가 실험에서 두 번째 유형에 해당하였으며, 8명 중에서 2명의 화학교사들이 이에 해당하였다. 따라서 메타모델링 지식의 발달과 다르게 모델링 역량을 기르기 위하여 실험을 통해 직접 모델링하는 경험을 제공하는 교육프로그램을 통해 추가 실험 및 모델링의 두 번째 유형에 해당하는 활동의 체험을 제공할 필요가 있다.

주제어: 5E 순환학습모형, 교사 교육프로그램, 화학 교사, 메타모델링 인식, 모델링 활동

ABSTRACT. This study aimed to investigate changes in metamodeling recognition among chemistry teachers through a teacher educational program related to redox models and water electrolysis experiments. To this end, a science model education program was developed for 9 chemistry teachers and conducted over 10 lessons for a total of 40 hours. In addition, a pre- and post-survey was administered to determine teachers' metamodeling recognition in non-contextual and contextual situations. As a result of the study, through the science model education program, teachers showed educational effects in both non-contextual and contextual situations. In the case of non-contextual situations, the stages of scientific metamodeling knowledge development of chemistry teachers came out differently depending on the type of question. For example, the nature or purpose of the model, the modeling process, or the evaluation and improvement of the model improved from low to high, but there was no significant change

because the perception of model change and diversity was already high in advance. In the case of contextual situations, the stage of scientific metamodeling knowledge development improved from objectivity to subjectivity in both the redox model theory class and the water electrolysis model experiment class. Therefore, through the 5E circular learning model-based education program, chemistry teachers' perception of metamodeling was clearly improved. However, the modeling activities of teachers in the water electrolysis model experiment class were different from the change in metamodeling perception. The types that teachers selected as additional experiments for modeling were analyzed in two ways. The first type is when they are interested in finding an ideal condition in which the ratio of hydrogen and oxygen gas is close to 2:1 through additional experiments. The second type is when additional experiments are designed with interest in why the experimental results are coming out like that. It was analyzed that the second type was the experiment necessary for modeling. In addition, modeling activities were analyzed into two types. The first was a type in which water molecules were directly decomposed in two electrodes to generate hydrogen and oxygen gas. This type was the case of regression to the textbook model regardless of the experimental results, and 6 chemistry teachers out of 8 were analyzed as this type. The second type was the type in which water reacted at the (+) electrode to generate other substances, and hydrogen ions reacted at the (-) electrode to generate hydrogen gas. Teachers who performed these modeling activities corresponded to the second type in additional experiments, and 2 chemistry teachers out of 8 corresponded to this. Therefore, it is necessary to provide an experience of activities corresponding to the second type of experiment and modeling through an educational program that provides an experience of directly modeling through experiments in order to develop modeling capabilities, unlike the development of metamodeling knowledge.

Key words: 5E circular learning model, Teacher education program, Chemistry teacher, Metamodeling recognition, Modeling activities

서 론

그동안 과학교육에서는 탐구실험을 통한 자료를 얻어 해결 방안을 검증하는 탐구에 초점을 두었다. 그러나 이제 그보다 더 중요한 활동으로 가설을 구축하고 해결 방안을 제안하는 과정과 그 결과로 나온 이론이나 모델을 자연현상과 연결하여 비평 및 분석하는 평가 활동이 강조되었다. NGSS에서는 이를 ‘Practice’라고 하였다.¹ 학생들의 과학적 소양을 배양하는 데 있어 모델이 차지하는 핵심적 역할을 고려할 때 중등 과학 교사의 모델에 대한 인식, 즉 메타모델링 지식을 조사하는 것은 모델 기반 교수·학습의 현장 적용을 위한 기초를 마련하는 데 필수적이라고 할 수 있다.² 그러나 모델에 대한 학생과 교사의 인식 부족이 이를 과학 수업에 적용하는데 걸림돌이 되고 있다. 따라서 과학 수업에서 모델의 성공적인 사용을 위해서는 학생과 교사 모두 메타모델링 지식에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다.^{3,4} 또한, 교사의 모델에 대한 인식 연구와 예비교사의 모델 기반 탐구를 통한 실천적 지식의 습득에 관한 연구들에 의하면, 모델에 대해 경험이 부족한 교사나 예비교사들은 메타모델링에 대해 초보적인 수준의 개념을 가지고 있었다.^{4,6} 이러한 문제를 해결하기 위하여 교사를 대상으로 메타모델링에 대해 경험할 수 있는 수업을 진행하여 교사들의 과학적 모델과 메타모델링에 대한 인식이 정교화될 수 있다는 가능성을 확인하였으며, 이를 지도하는 수업 능력도 향상되었음을 확인하였다.⁷

화학에서 과학적 모델의 대표적인 사례로는 산화 환원 모델이 있다. 산화 환원 모델로는 전자 이동 모델, 산화수

모델 등 다양한 모델이 교과서에 소개되어있으며, 이러한 다양한 모델의 존재를 이해하기 위해서는 메타모델링 지식이 필요하다.¹⁰⁻¹³ 그러나 교과서에서는 메타모델링에 관련된 내용이 소개되지 않기 때문에 학생들은 다양한 모델을 배우는 이유를 이해하지 못하여 모델을 배우는 것에 어려움을 가진다. 산화 환원 모델과 관련된 화학 내용 중에는 물의 전기분해가 있다. 물의 전기분해와 관련된 모델은 선행연구¹⁰에서 4가지 유형이 제안되었으나, 한국의 화학 교과서에서는 단 한 가지 유형만 관찰되었다. 또한 모델에 대한 관심보다는 (+)극과 (-)극에서 발생하는 산소와 수소 기체 생성 비에 관심을 두고 있었다. 따라서 물의 전기분해와 관련된 모델의 다양성에 대한 이해와 모델링에 대한 지식을 형성하기 위해서는 교과서에서 다양한 모델을 제시할 필요가 있다. 또한, 학생들에게 메타모델링에 대한 인식을 형성시키기 위하여 교사의 메타모델링에 대한 인식이 선행될 필요가 있다. 따라서 교과서에 제시된 모델에 대한 연구뿐 아니라, 교사들의 메타모델링 인식 향상을 위한 교사 교육프로그램에 대한 연구도 필요하다. 그러나 과학영재 학생들의 메타모델링 능력 변화를 알아본 연구⁸나 교사 및 예비교사들을 대상으로 메타모델링에 대한 인식을 조사하는 연구^{7,9}는 있었으나, 교사들의 과학적 모델링에 대한 인식 향상을 위한 구체적인 교육프로그램을 제시하여 교육적 효과를 확인하는 연구는 없었다. 이러한 선행연구를 토대로 본 연구에서는 화학 교사들을 대상으로 물의 전기분해 모델과 관련한 교사 교육프로그램을 개발하고, 이 교육프로그램을 통한 교사의 메타모델링 인식 변화를 알아보고자 하였다.

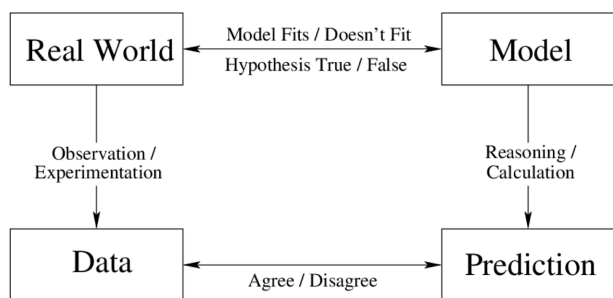


Figure 1. A scientific model of Giere.¹³

선행연구 고찰

모델링이란 어떠한 자연현상에 물음을 갖고 이 현상에 대한 설명을 위한 표상인 모델을 만들어내는 과정으로, 자신이 알고 있는 지식을 이용하여 자신만의 모델을 생성한 후, 모델의 검증과정을 거치면서 자신의 모델을 평가하여 개선된 모델을 다시 구성하는 반복적인 과정을 통하여 가장 적합한 모델로 발달시키는 것을 의미한다.^{7,11,12} 본 연구에서의 모델링은 모델의 생성, 평가, 수정이라는 측면에서는 GEM 모형을 기반으로 하되 모델의 생성과 평가 과정을 좀 더 세분화하여 분석하기 위해 과학적 모델인 Fig. 1을 활용하였다.¹³ 과학적 모델은 자연현상을 설명하기 위해 생성된 모델의 검증을 위한 것이다.¹³ 이는 자신의 모델 검증을 위해 실험을 설계한 후에 실험 및 관찰을 수행하기 이전에 자신의 모델에 기반하여 그 결과를 예측하게 된다. 이후 실험 및 관찰을 통해 얻은 자료와 예측 간의 비교 활동을 통해 자신이 만든 모델의 적합성을 평가하는 것이다.

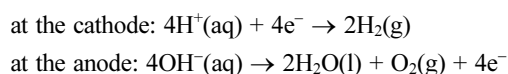
그러나 모델의 적합성을 평가하기 위해서는 과학에 대한 정확한 인식과 모델과 모델링에 관한 지식을 생성하는 것 등에 관련된 인식이 필요하며, 이를 메타모델링 지식으로 볼 수 있다. 메타모델링 지식이라는 용어는 Schwarz¹⁴의 논문에서 처음 제시되었고, Schwarz & White¹⁵는 메타모델링 지식을 모델링과 모델을 생성하는 것에 관한 인식론적 지식이라 정의하며, 과학에 대한 정확한 인식론의 개발을 위해 메타모델링 지식이 필요하다고 주장하였다. 과학 메타모델링 지식은 모델과 모델링에 대해 인식하는 것을 포함하여 모델이 어떻게 사용되고 왜 사용되는지에 대한 이해와 함께 모델의 장점과 약점을 아는 것이며, 과학적 모델의 발달 과정에서 가장 결정적인 메타인지적 지식을 의미한다.¹⁶

이러한 연구의 일환으로 Goodstein¹⁷은 전기 음성도가 산화 환원 반응을 다른 반응과 구별하는 분류 체계의 물리적 의미를 부여하고 있음을 강조하며, 산화수가 변하는

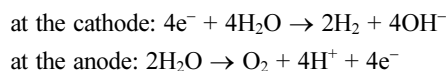
모든 반응을 산화 환원 반응으로 분류하는 현재의 분류 체계를 전기음성도의 상대적 차이가 반응에 얼마나 기여했는지에 따라 강한 산화 환원, 약한 산화 환원, 가짜 산화 환원 반응으로 분류할 것을 제안하였다. Steinborn¹⁸은 산화수를 결정하는 방법으로 전기음성도와 루이스 분자 구조에 기반하여 산화수를 결정하는 것이 교육적 유용성을 지님을 주장하였다. Look¹⁹는 1947년 Linus Pauling에 의해 정의된 산화수 결정 방법은 전기 음성도 및 루이스 구조와 같은 화학개념에 기반을 둔 정의로, IUPAC에서 제공하는 일련의 규칙만 제공하는 것보다 학생들이 보다 쉽게 수용한다고 주장하며 이러한 관점에서 북미 교과서가 수정되어야 한다고 하였다.

이와 대조되는 주장으로 Dahlmann²¹은 CS₂와 같이 전기 음성도가 유사한 원소가 결합된 경우 산화수의 적용이 어렵고, 수많은 규칙의 적용에도 불구하고 예외가 존재함을 지적하며, 모델의 개념으로 현상을 설명하는 산소와 전자의 이동 정의들과 달리 산화수는 어떠한 물리적 근거도 없이 단지 경험적 원칙에 의한 임의적 정의일 뿐이라고 하면서 산화 환원 반응의 산화수 변화 정의의 한계를 지적하였다. 이와 같은 맥락에서 De Jong et al.²²은 네덜란드는 오래전에 고등학교 교육과정에서 산화수 개념을 제외시켰음을 제시하면서 우리나라 중등 교육과정에서도 산화수 개념을 제외시킬 것을 제안하였다.

한편, 장하석²³은 물의 전기분해에 관련된 과학자들의 다양한 모델을 소개하였다. 이와 관련하여 Schmit & Pollard²⁴는 다음과 같이 OH⁻ 및 H⁺ 이온의 산화 및 환원을 다음과 같이 제시하였다. 즉, 모든 극에서는 이온이 반응하여 수소와 산소 기체가 발생한다는 모델을 제시하였다.



한편, Pauling & Pauling²⁵은 다음과 같이 전체 H₂O 분자의 환원 및 산화 반응을 제시하였다. 즉, 모든 극에서 물이 반응하여 수소 기체와 산소 기체가 발생한다는 모델을 제시하였다.



또한, Pauling & Pauling²⁵은 H₂와 O₂가 기체로 방출되는 동안, 반대 전극에서 생성된 OH⁻ 이온과 H⁺ 이온은 서로 결합하여 물 분자를 재구성한다는 과정도 모델에 포함하였으며, 이를 Fig. 2와 같이 제시하였다.

Oxtoby 등²⁶은 음극에서는 옥소늄 이온이 환원 반응을 하여 수소 기체가 발생하고, 양극에서는 물이 산화 반응을 하여 산소 기체가 발생한다는 모델을 제시하였다.

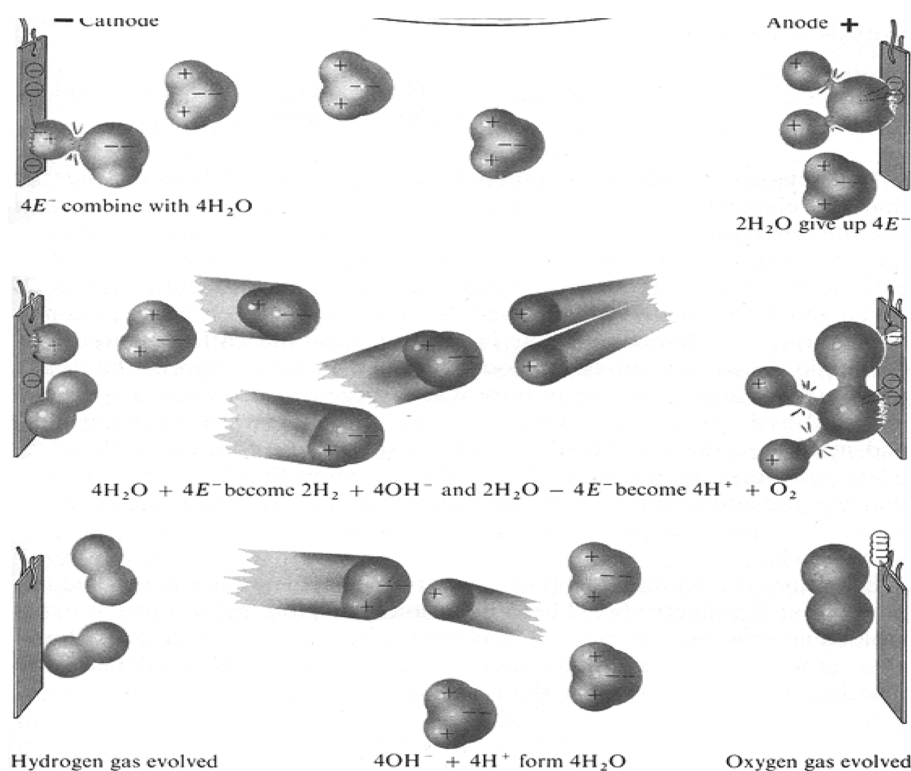


Figure 2. An electrolysis model of water²⁵

at the cathode: $2H_3O^+ + 2e^- \rightarrow H_2 + 2H_2O$

at the anode: $3H_2O \rightarrow (\frac{1}{2})O_2 + 2H_3O^+ + 2e^-$

이렇게 물의 전기분해는 일반적이고 중요한 주제이지만, 교재마다 다양한 모델로 제시되어 있다. 이는 메타모델링 지식 측면에서 중요하게 다룰 수 있는 내용이다. 장하석 등²³은 물의 전기분해에서 생성된 수소 및 산소 기체가 물 분자의 자발적 해리에 의해 형성된 기존의 H^+ 및 OH^- 이온의 환원 및 산화에 의해 형성되는지와 전기의 작용에 의해 발생하는 H_2O 분자의 직접 분해로 인한 결과인지에 대한 논쟁으로 제시하였다.

Schmit & Pollard,²⁴ Pauling & Pauling,²⁵ Oxtoby 등²⁶의 세 가지 다른 설명은 물의 전기분해를 설명하는 모델의 차이를 보여준다. Schmit & Pollard²⁴는 두 극에서 모두 이온이 반응하여 기체가 발생한다는 모델이고, Pauling & Pauling²⁵은

두 극에서 물이 반응하여 기체가 발생한다는 모델이다. 또한 Oxtoby 등²⁶은 음극에서 하이드로늄 이온이 환원반응하여 수소 기체가 발생하고, 양극에서는 물이 산화반응하여 산소 기체가 발생한다는 모델이다.

또 다른 선행연구¹⁰에서는 물의 전기분해 모델을 Table 1과 같이 4가지로 제시하였다.

Chang et al.¹⁰은 영국과 한국의 중등학교와 대학교 교재에서 어떠한 전기 분해 모델이 제시되었는지 분석하였다. 분석 결과, 대학교 일반화학 수준에서 유형 2와 유형 3이 많지만, 고등학교 학생들을 위한 GCSE나 A 레벨에서는 유형 1과 유형 4가 많았다. 그러나 한국의 중등학교 교과서에서는 유형 2만 제시되었다. 따라서 이 연구에서는 한 가지 유형의 모델만 제시하는 것보다 다양한 모델을 제시하여 모델에 대한 이해를 도모할 필요가 있음을 제안하였다.

Table 1. Type of electrolysis experiment of water¹⁰

Type	Model
1	Formation of gases from pre-existing ions on both sides
2	Direct decomposition of H_2O on both sides
3	Pre-existing ions on the cathode, direct decomposition on the anode
4	Direct decomposition on the cathode, pre-existing ions on the anode

연구 방법

연구 대상

이 연구는 학교 현장에서 산화 환원 개념을 가르치고 물의 전기분해 실험 수업을 해본 경험이 있는 교육대학원 석사과정 중인 화학 교사 8명을 대상으로 하였다. 연구 대상자들은 남자 교사 3명과 여자 교사 5명이었으며, 교육 경력은 3.5년부터 14년까지 다양하게 분포하였다. 또한 중학교 교육경력만 있는 경우와 고등학교 교육경력만 있는 경우 등 다양한 교육경력을 가지고 있는 것으로 나타났다. 물의 전기분해에 관련된 내용은 2015 개정 교육과정의 중학교 2학년 과학 ‘물질의 구성’에서 물의 전기 분해를 제시하고 이를 통해 수소와 산소처럼 더이상 분해되지 않으면서 물질을 이루는 기본 성분을 원소라고 설명할 때 제시한다. 또한 고등학교의 경우 2015 개정 교육과정의 화학 II ‘전기 화학과 이용’에서 물의 전기 분해를 제시한다. 따라서 이 연구에 참여한 교사들 중 고등학교 교육 경력을 가진 교사 뿐 아니라 중학교 교육경력만 있는 교사들도 물의 전기분해 실험을 수업 중에 실시한 경험을 가지고 있었다.

연구 대상자들은 한 달에 4회 실험을 하는 교사가 3명, 2회 실험을 하는 교사가 1명, 1회 실험을 하는 교사가 4명으로 한달에 한번 실험을 하는 교사가 가장 많았다. 여기서 교사들이 실험 수업을 하는 목적은 크게 4가지로 구분할 수 있는데, 가장 많은 응답을 한 실험 목적은 학습 내용 이해 확인하기 위한 수행평가였다. 두 번째로는 흥미 유발의 목적으로 실험을 수행하는 것이었으며, 세 번째는 수업에서 필요한 내용이거나 이론의 보충 역할이었고, 네 번째는 탐구 과정의 경험 때문이며 이렇게 응답한 교사는 1명 뿐이었다. 연구자들의 배경 정보는 Table 2과 같다.

연구 절차

과학 모델과 모델링에 관한 다양한 선행연구 자료를 분석하여 과학 교사들의 과학 모델과 모델링에 대한 지식 발달 단계를 파악해보았다. 이를 실제 확인해보기 위해서 한국의 G 과학고등학교 영재 학생들을 대상으로 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 규명한 연구에서 사용하였던 설문지와 분석 틀을 활용²⁷하여 화학교육전문가 1인, 박사 과정 화학 교사 1인, 화학 교사 1인이 협의하여 사전과 사후 설문지를 비맥락적 상황에서 보편적인 모델에 대한 인식에 관련된 것과 산화 환원 반응과 물의 전기분해 실험이라는 맥락적 상황에서 모델 인식에 관련된 것으로 구분하여 개발하였다. 비맥락적 상황이란 일반적인 상황에서 화학 교사들의 과학 모델과 모델링에 대한 일반적인 인식을 의미하며 구체적인 교과 내용이 포함되어 있지 않은 반면, 맥락적 상황이란 화학 교사들의 모델 인식 변화를 알아보기 위해 제시한 특정한 상황으로 이 연구에서는 산화 환원 반응에서의 모델, 물의 전기분해 실험에서의 모델에 대한 인식을 의미한다. 사전 설문지의 결과를 분석하여 교사들의 과학 모델과 모델링에 대한 인식을 변화시킬 수 있는 교사 교육프로그램을 개발하여 투입 후 사후 설문지를 통해 사전과 사후에 과학 모델과 모델링에 대한 교사들의 인식 변화가 어떠한지를 비교 분석해보았다.

교사 교육프로그램의 구성은 Table 3와 같다. 1차시는 4시간으로 구성되었으며, 총 10차시에 걸쳐 총 40시간의 수업을 진행하였으며 5E 모형을 적용하였다.

5E 순환학습모형은 참여(engage)-탐색(explore)-설명(explain)-정교화(elaborate)-평가(evaluation)의 다섯 단계로 구성된다.²⁸ 5E 순환학습 모형은 과학 지식의 구성과 과학적 개념의 변화에 목표를 두는 모형이라는 점에서²⁰ 메타 모델링 지식의 구성과 메타모델링에 대한 인식 변화를 위하여 본 연구는 5E 순환학습모형을 활용하여 교사 교육프

Table 2. Information on the subjects

Teacher	Gender	Educational Experience			Number of experiments (on a monthly basis)	The purpose of the experiment
		Middle school	High school	Sum		
A	F	5Y	14Y	19Y	1	Experience in the course of inquiry
B	M	5Y	1Y	6Y	4	Confirmation of understanding of learning contents (evaluation), Performance evaluation
C	F	1Y	7.6Y	8.6Y	4	Confirmation of understanding (evaluation) of learning content, Arousing interest
D	F	4Y	3Y	7Y	1	Areas of need for class (learning)
E	F	1Y	5Y	6Y	4	Arousing interest, Performance evaluation
F	F	0	6Y	6Y	2	Confirmation of understanding of learning content (evaluation), Arousing interest
G	M	3.5Y	0	3.5Y	1	Confirmation of understanding of learning content (evaluation)
H	M	0	7Y	7Y	1	Textbook theory supplementation (learning)

Table 3. Configuration of education programs

Lessons	Activities	Activity data
1 Orientation	· A guide to the class · A pre-survey on model recognition in non-contextual situations · A preliminary survey on redox model recognition in contextual situations	· A pre-survey
2 Engaging step	· Introduction to the relationships of different models · Discussion of the teaching situation related to redox reactions	· Teaching data ^{17,28} · Pre-discussion of the teaching situation on redox reactions
3	· Individuals or groups of two	· Types and concentrations of Hoffman electrolysis experimental apparatus (voltage control) and electrolytes (Na ₂ SO ₄ , KNO ₃ , K ₂ SO ₄ , NaNO ₃ , NaOH) presented in the textbook · Experimental report
4	· Experimental design of electrolysis of water	
5 Exploration step	· Predicting Experimental Results through a redox model · Performing an experiment	
	· Evaluate the model by comparing experimental results with predictions	
6 Explanation step	· A discussion of the results of the experiment	· Experimental report
7	· Additional experimental design of electrolysis of water focusing on the discussion	· Hoffman electrolysis experimental device · Electrolytes (Na ₂ SO ₄ , KNO ₃ , K ₂ SO ₄ , NaNO ₃ , NaOH) · Experimental report
8 Elaboration step	· Perform additional experiments · Interpretation of additional experimental results	
9 Evaluation step	· Development of electrolysis modeling of water based on experimental results	· Water electrolysis experimental modeling data ¹⁰ · Post-discussion Data on redox reactions
10 · Finish	· A post-survey related to model recognition in non-contextual situations · A post-survey related to redox model recognition in contextual situations	· A post-survey

로그래를 개발하였다.

참여 단계. 참여 단계는 산화수 변화 모델만으로 산화 환원 반응을 설명할 수 없음을 깨닫게 하기 위한 단계이다. 산화수 변화 모델을 도입하기 전에 교과서에서는 산소 모델, 전자 이동 모델을 도입하고 그다음 단계로 산화수 모델을 제시한다. 따라서 연구 대상자들은 산소 모델이나 전자 이동 모델보다 산화수 변화 모델이 더 산화 환원 반응을 잘 설명하는 모델로 받아들일 가능성이 높다. 따라서 이 연구에서는 이미 연구 대상자들이 잘 알고 있는 산소 모델이나 전하이동 모델이 아닌 새로운 모델로 Goodstein 모델을 제시하고, 산화수 모델로는 설명하기 어려운 산화 환원 반응을 Goodstein 모델로 설명할 수 있는지 판단하는 문제를 제시하고 메타모델링에 대해 생각해 보도록 하였다.^{17,28} 이러한 수업 후에 다음의 두 가지 토론 주제를 산화 환원 반응에 대한 교수 상황 토론 자료로 제시하고 토론 활동을 하였다. 두 가지 질문은 Table 4와 같다.

탐색 단계. 탐색 단계에서 교과서에 제시된 호프만 전기분해 실험 장치를 소개하고, 호프만식 전기분해 장치와

백금 전극을 사용하게 하고, 5종류의 전해질을 제공하여 실험 보고서 양식에 따라 실험을 진행하게 하였다.

탐색 단계에서는 물의 전기분해 실험을 직접 교사들이 계획하고 수행하였다.¹⁷ Li⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺는 물보다 표준 환원 전위가 낮고 F⁻, OH⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻는 양극에서 산화되기 어렵기 때문에 NaOH, H₂SO₄, Na₂SO₄, KNO₃는 물의 전기 분해에서 흔하게 전해질로 사용된다. 따라서 본 연구에서는 전해질의 종류로 교과서에서 다루는 Na₂SO₄, KNO₃, K₂SO₄, NaNO₃, NaOH를 제공하였다. 실험에서 예상치 못한 결과는 많은 교육적 효과를 제공하는데 예를 들어 간단한 원리나 법칙들이 이러한 복잡한 실험을 통해 파생된다는 것을 배우는 데 도움이 될 수 있으며 또한 모델을 만들고 실험을 설계하고, 실험 결과를 해석하고 예상치 못한 결과로부터 근거에 기반한 주장을 구성할 수 있는 과학 연구 과정에 참여할 수 있기 때문에 지시약의 종류, 전압의 종류를 조작 변인으로 제공하는 것으로 디자인하였다.²⁹ 그리고 실험은 2인 1조로 조별 실험이나 개인 실험으로 자유롭게 진행하게 하였다. 연구 대상자 중에

Table 4. Pre- and post-discussion data on redox reactions in teaching situations

Item no.	Content
1	Present your own thoughts on redox reactions and other colleagues' thoughts, discuss the causes of conflict.
2	Thoughts on how to teach this content to students.

교사 C와 D, 교사 E와 F, 교사 G와 H는 2인 1조로 실험을 진행하였고, 교사 A, 교사 B는 개인으로 실험을 진행하였다.

설명 단계. 6차시에 이루어진 설명 단계에서 교사들은 4시간 동안 전해질의 종류, 전해질의 농도, 전압의 세기 등 직접 설정한 조작 변인에 따라 실험 결과가 도출된 이유에 대해 토론 활동을 하였다.

정교화 단계. 정교화 단계에서도 탐색 단계와 동일한 과정을 반복하도록 자료를 제공하였다. 정교화 단계에서는 토론 결과를 중심으로 물의 전기분해 추가 실험 설계하도록 하였다.

평가 단계. 평가 단계에서는 한국의 교과서에 제시된 유형 2에 해당하는 전기분해 실험 모델(Fig. 2)의 자료를 제시하고, 참여 단계에서 수집한 Table 4의 산화 환원 반응에 대한 교수 상황 토론 자료와 연결하여 토론하도록 하여 교사의 인식 변화를 확인하였다. 또한, 탐색, 설명, 정교화 단계를 통해 교사들이 물의 전기분해 실험을 통해 확인해 볼 수 있는 산화 환원 모델을 만들어보고 실제 실험 결과를 바탕으로 모델을 수정해 가는 과정을 경험해보게 한 후 자신들이 설명하고자 하는 모델을 준미시적 표상으로 모델링하도록 요구하여 메타모델링에 대한 인식 변화를 확인하였다.

모델 인식 설문지

비맥락적 상황에서 모델 인식 관련 설문. 비맥락적 상황에서의 화학 교사들의 과학 모델과 모델링에 대한 인식 변화와 교육적 효과를 알아보는 설문은 선행연구에서 사

용하였던 개방형(open-ended) 설문 문항을 사용하였다.²⁷ 또한 과학 모델과 모델링에 대한 교사들의 지식 발달 단계를 좀 더 명확하게 구분하기 위하여 설문 문항에 답한 후에 그렇게 생각한 이유와 구체적인 사례까지 진술하도록 요구하는 것으로 설문 문항을 수정하였다. 문항은 과학 모델의 인식 영역의 7개로 구분하였으며, 구체적인 질문 내용은 Table 5와 같다.

맥락적 상황에서 산화 환원 모델 인식 관련 설문. 산화 환원 반응에 관련된 맥락적 상황에서 화학 교사들의 과학 모델에 대한 인식 변화와 교육적 효과를 알아보는 설문 문항은 Table 6과 같다. 산화 환원 모델 이론 수업의 경우에는 산화 환원 판단 여부와 어떻게 가르칠 것인지에 대한 교수 방법 및 이유를 물어 교사 교육프로그램 투입 전과 후의 과학 메타모델링 지식 발달 단계의 변화를 확인해보자 하였다.

분석 기준

7차시부터 8차시까지 이루어진 정교화 단계에서 물의 전기분해 관련 추가 실험 유형은 크게 두 가지로 분류하였다. 첫째 유형은 추가 실험을 통해 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 이상적인 조건을 찾으려는데 관심을 가진 경우이다. 두 번째 유형은 실험 결과가 왜 그렇게 나오는지에 관심을 가지고 추가 실험을 설계한 경우이다. 이러한 분류 기준에 대한 합의는 연구자들의 논의와 분석 결과에 대한 일치도 합의 등을 통해 이루어졌다.

평가 단계에서 교사들의 물의 전기분해 실험 결과에 대

Table 5. The metamodeling components and questionnaire contents by items²⁷

Item no.	Component of metamodeling knowledge	Content
1	Nature of model	What is a scientific model? Please write down the examples and reasons for what you think is a scientific model.
2	Purpose of mode	What is the purpose of the scientific model? Write your answer and why.
3	Process of modelling	When building a scientific model, what must be considered? Write your answer and why.
4		How close is the model to the real nature? Write down why you thought it should be the same, or if it should be very different.
5	Variability of model	Does a scientist change or change a model? Write your answer and why.
6	Diversity of model	Can scientists construct more than one model for the same phenomenon? Write your answer and why.
7	Evaluating and modifying the model	The scientist goes through the process of evaluating the model. What is the criteria for the evaluation? Write your answer and why.

Table 6. Questions about metamodeling knowledge in contextual situation

Item no.	Content
1	Explain with what model the redox reaction will be taught. Why do you want to teach like that?
2	Explain with what model the electrolysis experiment will be taught. Why do you want to teach like that?

한 모델의 유형은 선행연구에서 제시한 Table 1을 4가지 모델을 분석 기준으로 활용하였다. 물의 전기분해 실험에 대한 모델링 결과는 Chang et al.(2020)의 연구에서 사용하였던 물의 전기분해 실험 유형 4가지를 변형하여 사용하였다.¹⁰ 이 선행연구는 4가지 유형의 산화 환원 반응을 설명하는 모델을 제시하였는데, 첫째는 (+)극에서 수산화이온이 반응하여 산소 기체가 발생하고 (-)극에서 수소 이온이 반응하여 수소 기체가 발생하는 현상을 표현하는 모델, 둘째는 양극에서 물 분자의 직접적인 분해로 수소, 산소 기체가 발생하는 현상을 표현하는 모델, 셋째는 (+)극에서 물 분자의 직접적인 분해로 산소 기체가 발생하고 (-)극에서 수소 이온이 반응하여 수소 기체가 발생하는 현상을 표현하는 모델, 넷째는 (+)극에서 수산화이온이 반응하여 산소 기체가 발생하고 (-)극에서 물 분자의 직접적인 분해로 수소 기체가 발생하는 현상을 표현하는 모델이다. 그러나 Table 1의 3번 유형은 (+)극에서 물이 분해하여 산소가 발생하는 것이지만, 연구 대상자들은 이와 달리 (+)극에서 과산화 수소가 발생한다는 모델을 제시하였다. 따라서 분석 기준에서 이러한 유형을 3'으로 분류하였다.

또한, 비맥락적 상황과 맥락적 상황에서 화학 교사들의 과학 모델링 인식 변화와 교육적 효과는 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 규명한 연구에서 사용하였던 분석 틀을 사용하여 분석하였다.²⁷ 과학 메타모델링 지식 발달 단계

분석 틀은 다음 Table 7과 같다.

비맥락적 상황에서의 서술형 응답 중에 과학적 모델을 자연 현상 그 자체로 서술한 응답의 경우에는 1단계로 분류하였다. 자연 현상을 설명하기 위한 일반화된 생각의 방식이나 틀로 모델을 인식하는 경우는 2단계로 분류하였다. 모델의 평가 기준을 과학자의 생각이 맞는지 확인하는 것으로 보거나 현상을 잘 설명하고 있는지로 판단하는 경우에는 3단계로 분류하였다. 그리고 과학적 모델은 여러 정의 중 하나의 모델이라는 다양한 관점으로 응답한 경우에는 4단계로 분류하였다.

맥락적 상황에서의 산화 환원 반응에 대한 서술형 응답 중에 산화 환원 반응을 모델로 인식하는 경우를 1단계로 분류하였다. 교과서에 제시된 설명인 산화수 변화로 산화 환원 반응을 설명하는 경우에는 2단계로 분류하였다. 산화수 변화 모델과 Goodstein 모델 중 특정한 모델이 더 산화 환원 반응을 잘 설명한다고 생각하는 경우를 3단계로 구분하였으며, 산화수 모델, Goodstein 모델 등 다양한 모델로 산화 환원 반응을 설명할 수 있다고 인식하는 경우에는 4단계로 분류하였다. 물의 전기분해 실험에 대한 서술형 응답 중에 물의 전기분해 현상을 모델로 인식하는 경우를 1단계로 분류하였다. 전자의 이동 모델로 물의 전기분해 현상을 설명하는 경우에는 2단계로 분류하였다. 물의 전기분해 실험 결과를 가장 잘 설명할 수 있는 모델만을 선택하는 경우에는 3단계로 분류하였으며, 물의 전기분해가 산화 환원 반응의 일종임을 인식하고 다양한 모델로 현상을 설명할 필요성을 인식한 경우에는 4단계로 분류하였다.

연구 결과 및 논의

비맥락적 상황에서 메타모델링 인식 변화

비맥락적 상황에서 과학 모델의 인식 영역에 대한 설문 7개를 진행하였고, 교사별 인식 변화는 Table 8과 같다. 본 연구에 참여한 교사들의 응답을 분석하였을 때, 교사들은

Table 7. Progression levels of science metamodeling knowledge²⁷

Level	Metamodeling knowledge in science
4	Tentativeness of the model
	Various perspectives
	Subjectivity
3	Recognizing the limitations of the model
	Inquiry tool
2	Working as intended by the modeler
	Tools for explanation
	Objectivity
1	Objective knowledge, theory
	Thumbnail of nature
	Representing the phenomenon as it is

Table 8. Changes in perceptions by teachers in non-contextual situations

Teacher	Item no.1		Item no.2		Item no.3		Item no.4		Item no.5		Item no.6		Item no.7	
	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After	Before	After
A	2	4	2	4	2	4	2	3	4	4	4	4	1	3
B	2	3	2	2	2	3	2	2	4	4	4	4	2	3
C	3	4	3	4	4	4	2	4	4	4	4	4	2	4
D	2	4	3	4	2	4	4	2	2	2	4	2	3	3
E	2	2	2	3	2	3	2	3	4	4	2	2	2	4
F	2	3	2	2	2	2	2	2	4	4	3	4	2	2
G	2	2	2	3	4	4	2	4	4	4	4	4	2	2
H	2	3	2	3	2	4	1	2	4	4	4	4	1	2

교과서에서 사용된 과학 모델, 과거 수업에서 과학 모델을 사용했던 경험, 과학 수업에서 모델링을 했던 경험 등을 바탕으로 응답하였기 때문에 비맥락적 상황에서의 설문에 대한 응답에서도 교과 내용과 연계된 내용이 포함되었다.

문항 1에서 과학적 모델에 대한 정의와 사례에 대한 교사 A의 응답을 제시하면 다음과 같다.

사전: 과학적 모델은 자연 현상을 설명하기 위한 일반화된 생각의 방식이나 틀이다. 사례로는 아레니우스, 브뢴스테드-로우리, 루이스 산-염기 모델이 해당된다.

사후: 과학적 모델은 현상에 대한 과학적 탐구와 과학적 사실에 대해 의사소통을 할 수 있는 하나의 과학적 과정이다. 산-염기에 대해서도 Arrhenius, Brønsted-Lowry, 루이스 등 여러 정의가 있는데 이것 또한 하나의 모델이다.

사전에는 과학적 모델은 자연 현상을 설명하기 위한 일반화된 생각의 방식이나 틀이라는 설명의 도구인 2단계에 머물러 있었으나, 교사 교육프로그램을 도입 후에 과학적 모델은 산-염기에 대해서 여러 정의 중 하나의 모델이라는 다양한 관점으로 보는 4단계로 변화된 모습을 볼 수 있었다.

문항 2에서 과학적 모델의 목적과 이유에 대한 교사 B의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 한 가지로 설명할 수 없는 사례나 예외들이 많은데 우리가 모두 설명하고 적용할 수 있는 것을 알려주기보다 판단하고 분류하고 고민할 수 있게 하는 힘을 기르는 것이 목적이다.

사후: 과학적 모델의 목적은 다양성을 인정하는 것에 있다고 생각한다. 과학이 절대 진리가 아님을 아는 것. 하지만 현상과 세상을 설명할 만한 이유와 근거를 가지고 여러 모델이 하나의 현상을 설명해 낼 때 의미가 있다는 것이다.

사전에는 과학적 모델의 목적은 탐구의 도구로 보는 3단계였으나, 교육 도입 후에 과학적 모델의 다양한 관점을 이해하고 모델의 잠정성을 인식하는 4단계로 변화된 모습을 볼 수 있다.

문항 3에서 과학적 모델링 과정 시 고려해야 할 것과 그 이유에 대한 교사 H의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 과학적 모델을 만듦으로써 생기는 장, 단점을 고려한다. 모델을 만듦으로써 학생들이 더 오개념을 가지면 안되므로

사후: 과학적 모델을 만들 때는 자연현상을 물질적 관점으로만 바라보면 안되고 과정적 관점을 고려해야 한다. 예를 들어 브뢴스테드-로우리 산과 염기는 물질 하나만 초점을 두고 설명하면 안된다.

사전에는 모델을 설명의 도구 또는 객관적 지식으로 보는 2단계였으나, 교사 교육프로그램 도입 후에 과학적 모델을 만들 때 모델의 다양한 관점을 인식하는 4단계로 변화된 모습을 볼 수 있었다.

문항 4에서 과학적 모델링 과정 시 실제 자연현상과 얼마나 가까워야 하는지와 이유에 대한 교사 B의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 실제 자연현상과 가깝다면 좋겠지만 여러 외부요인에 의해서 제한적이라는 생각이 든다. 따라서 달라져도 되지만 큰 틀에서 벗어나면 안된다.

사후: 굳이 실제 현상과 가까울 필요는 없다고 생각한다. 실제 현상과 과학적 이론들이 100%들어 맞는 경우가 거의 없기 때문이고 이론적인 내용들을 설명할 수 있다면 과학 모델로서 충분한 가치를 지닌다고 생각한다.

사전에는 모델과 실제 현상을 완벽히 구분하지 못하는 2단계였으나, 교사 교육프로그램 도입 후에도 아직 모델을 설명의 도구라고 인식하는 2단계로 그대로 객관성을 유지하는 모습을 볼 수 있었다.

문항 5에서 과학적 모델의 가변성과 이유에 대한 교사 G의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 과학자는 모델을 바꾸거나 변화시키는 일을 한다. 기존의 모델로 설명되지 않는 현상을 설명할 수 있는 새로운 모델을 만들거나 더욱 정교화시키기위해 기존의 모델을 바꾸거나 변화시킨다고 생각한다.

사후: 어느 모델이나 한계점이 존재하고 해당 모델로 설명하지 못하는 현상이 발견되었을 때 과학자들은 모델을 바꾸거나 변화시키는 일을 한다. 모델이 점점 바뀌면서 더욱 자연 현상을 설명하는 데 있어 유용한 모델이 될 것이다.

사전과 교사 교육프로그램 도입 후 모두 모델의 가변성과 이유에 대해 교사가 4단계를 유지하고 있는 것으로 보아 이미 높은 과학 메타모델링의 지식 발달 단계를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

문항 6에서 과학적 모델의 다양성과 이유에 대한 교사 A의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 과학자는 한가지 이상의 모델을 만든다. 그것이 과학자가 행하는 일(결과)이므로, 만약 어떤 결과가 본인 만든 모델에서 벗어난다면 이를 토대로 새롭게 또는 수정하는 것이 과학자가 하는 일이므로

사후: 같은 현상에 대해 한 가지 이상의 모델을 만들어야 한다. 다양한 해석과 시도를 해야 복잡한 자연 현상을 설명할 수 있기 때문이다. 산-염기만 해도 교과서에 Arrhenius, Brønsted-Lowry, 루이스 이론이 소개되는데 이는 하나의 현상을 한 가지 관점만으로 설명하기 어려운 자연의 복잡성 때문이다.

사전과 교사 교육프로그램 도입 후 모두 모델의 다양성과 이유에 대해 교사가 4단계를 유지하고 있는 것으로 보아 이미 높은 과학 메타모델링의 지식 발달 단계를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

문항 7에서 과학적 모델의 평가 기준과 이유에 대한 교사 D의 응답 사례는 다음과 같다.

사전: 다른 이가 이 모델을 적용했을 때도 같은 결과가 나오는가? 과학적 모델이 인정받기 위해서 필요한 과정이라고 생각함.

사후: 평가 기준은 재현성이 있고 다른 사람이 인정할 수 있는 근거를 가지고 있는가? 일 것 같다. 또한, 현상을 잘 설명하고 있는지 얼마나 자세히 설명할 수 있는 지도 평가 기준이 될 것 같다.

사전에는 과학적 모델의 평가 기준을 과학자의 생각이 맞는지 확인하는 것으로 보는 3단계였으나, 교사 교육프로그램 도입 후에도 과학적 모델의 평가 기준을 아직 현상을 잘 설명하고 있는지로 보는 3단계로 그대로 주관성을 유지하는 모습을 볼 수 있었다.

비맥락적 상황에서는 질문의 내용에 따라 다른 인식 변

화를 나타냄을 알 수 있었다. 예를 들어, 모델의 본성이나 목적, 모델링 과정이나 모델의 평가와 개선은 낮은 단계에서 높은 단계로 향상됨을 알 수 있었으나, 질문 5와 질문 6과 같은 모델의 변화성과 다양성을 묻는 질문에는 이미 사전에 높은 단계의 인지를 갖고 있음을 알 수 있었다. 이는 모델에 대한 이해의 여러 측면 중에서 변화성과 다양성에 대하여 비교적 올바른 인식을 소유하고 있음을 알 수 있었다.³

맥락적 상황에서 메타모델링 인식 변화

산화 환원 모델 이론 수업. 산화 환원 모델 수업과 관련된 질문에 대한 답변을 과학 메타모델링의 지식 발달 단계로 분류해본 결과는 Table 9과 같다.

산화 환원 반응을 어떻게 가르칠 것인가에 대한 질문에서 2단계에서 4단계로 변화한 교사 중 한 명인 교사 G는 사전 설문에서 산화수 변화로 설명하겠다고 응답하였으나, 사후 설문에서는 “산화수 모델로 설명을 하고 전기음성도 순서 변화를 가지고 판단하는 방법을 설명하겠습니다. 산화-환원을 설명하는 다양한 모델을 소개하고 각 모델의 한계점을 설명한 후 가장 확장된 모델인 산화수 모델을 제시하여 학생들의 갈등을 해결해보겠습니다.”라고 응답하였다. 8명의 교사 중 7명이 객관성에서 주관성으로 인식이 변화한 것으로 보아 투입된 교사 교육프로그램을 통해 과학 메타모델링의 지식 발달 단계가 상당히 향상된 것으로 알 수 있었다. 특히 대부분의 교사들이 교사 교육프로그램 투입 전인 사전에는 2단계인 객관적 지식이나 설명의 도구라는 인식에 머물러 있었으나 교사 교육프로그램 투입 후인 사후에는 4단계인 모델의 잠정성이나 모델의 전제조건을 인식하는 단계로 향상된 것을 알 수 있었다.

물의 전기분해 모델 실험 수업. 물의 전기분해 실험과 관련된 질문에 대한 답변을 과학 메타모델링의 지식 발달 단계로 분류해 본 결과는 Table 10과 같다.

Table 9. Changes in the level of metamodeling knowledge about redox reactions in contextual situation

Level	Before	After
Subjectivity	4	7 (Teacher A, C, D, E, F, G, H)
	3	0
Objectivity	2	8 (Teacher A, B, C, D, E, F, G, H)
	1	1 (Teacher B)
	0	0

Table 10. Changes in the level of metamodeling knowledge about electrolysis experiment of water in contextual situation

Level	Before	After
Subjectivity	4	2 (Teacher A, C)
	3	4 (Teacher B, D, E, F)
Objectivity	2	7 (Teacher A, C, D, E, F, G, H)
	1	2 (Teacher G, H)
	0	0

물의 전기분해 실험 수업 시 확인하고자 하는 모델은 무엇이며 어떻게 가르칠 것인가에 대한 질문에서 2단계에서 4단계로 변화한 교사 A의 응답 사례를 제시하면 다음과 같다.

사전: 물의 전기분해는 물의 형성의 반대이므로 공유결합에 전자가 관여하는 것처럼 전기분해 시에도 전자가 어떻게 이동하였는가를 알아보는 것이 관건이다. 따라서 확인하려는 모델은 전자 모델임. 학생들에게 전기분해 장치 소개, 이 때 분해되어야 하는 것이 H₂O 이므로 적절한 전해질을 소개, 전해질 수용액과 준비물(농도, 전극, 전압)을 준비하여 사전 지식을 투입 후 조 별로 결정을 하도록 안내함. 조별로 실험 설계 과정을 논의하게 함.

사후: 물의 전기분해가 산화 환원 반응의 하나이며 각 전극에서 생성되는 물질이 무엇인지를 알아보는 실험을 통해 화학 반응이 어떻게 이루어진 것인지 생각해 보도록 하겠다. 이 과정에서 전자는 어떻게 이동하여 이러한 변화가 생성되는지를 생각해 보도록 하고 싶다.(모델링 사고를 가르치고 싶다.) 고3 이라면 마지막 부분의 전기분해와 환원전위를 함께 묶어 수업한 후 각 수소:산소의 부피 비를 이론값과 비교하여 왜 그러한 변화가 생성되었는지를 심층 탐구하도록 탐구 과정을 가르치고 싶다.

물의 전기분해 실험 모델 수업의 경우 2단계에서 4단계로 변화된 교사는 2명, 2단계에서 3단계로 변화된 교사가 3명, 3단계에 머물러 있는 교사가 1명, 2단계에 머물러 있는 교사가 2명임을 알 수 있었다. 따라서 8명의 교사 중 5명이 객관성에서 주관성으로 인식이 변화되고 2명만이 객관성에 머물러 있는 것으로 보아 투입된 교사 교육프로그램을 통해 과학 메타모델링의 지식 발달 단계가 상당히 향상된 것으로 알 수 있었다.

맥락적 상황에서 모델링 활동

추가 실험 유형. 정교화 단계를 통해 드러난 교사들의 물의 전기분해 추가 실험 유형은 크게 2가지로 구분하였는데, 첫째 유형은 추가 실험을 통해 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 이상적인 조건을 찾으려는데 관심을 가진 경우이다. 교사 A는 Na₂SO₄를 전해질로 사용하고, 전해질의 농도를 0.1, 0.5, 1.0 M로, 전압의 세기를 10 V, 15 V, 20 V로 변화시켜가며 전기분해 실험을 설계하였다. Na₂SO₄를 전해질로 사용하였을 때, 수소와 산소 기체 비율이 2:1에 가깝게 나오기 위한 최적의 조건이 0.1 M, 10 V라는 결과를 얻었으며 추가 실험에서는 수소와 산소

기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 최적의 조건을 찾았기 때문에 전기분해 실험에 관련한 다른 실험을 설계하였다. 교사 B는 KNO₃, K₂SO₄, NaNO₃를 전해질로 사용하고, 전해질의 농도를 0.5 M, 1.0 M로 변화시켜가며 각각 특정한 전압에서 전기분해 실험을 하였는데, KNO₃의 경우 30 V에서는 전해질의 농도와 상관없이 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나왔고, K₂SO₄의 경우 5 V에서 0.5 M에서는 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나왔지만, 1.0 M에서는 2:1에 가깝게 나오지 않는 등 실험 과정을 해석하는 과정에서 일관성이나 규칙성을 찾기 어려웠다. 추가 실험에서는 KNO₃의 경우 농도와 상관없이 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 최적의 조건을 찾았기 때문에 추가 실험을 설계하지 않았다. 교사 E&F는 KNO₃를 전해질로 사용하고, 전해질 농도를 0.1, 1.0, 1.5 M로 변화시키며 전압의 세기를 10 V로 전기분해 실험을 하였다. 3 V일 때보다 5 V의 경우에 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 결과를 통해 전해질의 농도에 따라 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 최적의 전압이 다르다는 결론을 내렸다. 추가 실험에서는 전해질 농도에 따라 전압의 조건을 변경하여 수소와 산소 기체 발생의 최적화된 조건을 탐색하는 실험을 설계하였다. 교사 G&H는 Na₂SO₄, NaNO₃를 전해질로 사용하고, 전해질의 농도를 0.1, 0.5, 1 M로, 전압의 세기를 18, 24, 30 V로, 전류를 흘려준 시간에 따라 전기분해 실험을 설계하였다. Na₂SO₄를 전해질로 사용하였을 때, 수소와 산소 기체 비율이 2:1에 가깝게 나오기 위한 최적의 조건이 0.5M, 18V 라는 결과를 얻었으며 추가 실험에서는 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 최적의 전해질과 농도, 전압의 세기를 찾았다고 생각했기에 관련 추가 실험을 하지 않고 다른 실험을 설계하였다.

두 번째 유형은 실험 결과가 왜 그렇게 나오는지에 관심을 가지고 추가 실험을 설계한 경우이다. 교사 C&D는 NaOH, NaNO₃, KNO₃를 전해질로 사용하고 전해질의 농도를 0.1 M, 전압의 세기를 10 V로 전기분해 실험을 설계하였다. 또한, NaOH 전해질의 경우에는 동일한 10 V의 전압에서 전해질의 농도를 1.0 M에서도 실험하도록 설계하였다. 실험 결과 전해질의 종류에 따라 수소와 산소 기체가 발생하는 비율이 달랐기 때문에 KNO₃ 전해질을 사용하였을 경우 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 더 벗어나는 이유를 알아보고자, 전해질 없이 전기분해 실험을 시도해 보았다. 또한 전해질의 종류(NaOH, KNO₃)에 따라 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는지 확인해보는 실험을 설계하였다.

모델링 유형. 평가 단계에서 교사들의 물의 전기분해 실험에 대한 실험 결과를 원자나 분자 모델과 같은 준미

Table 11. Model types selected by teachers based on water electrolysis experiment results¹⁰

Type	Model	Number
1	Formation of gases from pre-existing ions on both sides	0
2	Direct decomposition of H ₂ O on both sides	6 (Teacher A, B, E, F, G, H)
3'	Pre-existing ions on the cathode, production other substances on the anode	2 (Teacher C, D)
4	Direct decomposition on the cathode, pre-existing ions on the anode	0

시적 표상으로 설명해 보는 모델링을 해보게 한 후, 물의 전기분해 실험 유형을 변형하여 분석해 본 결과는 다음 Table 11과 같다.¹⁰

Chang et al.(2020)의 연구에서는 유형 3에서 (-)극에서는 수소 이온이 수소 기체로 되고, (+)극에서는 물이 산소가 되는 것으로 제시되었으나, 교사 C&D는 유형 3과 약간 다르게, (+)극에서 물이 산소가 되는 것이 아니라 과산화 수소가 발생하는 것으로 제시하였다.¹⁰ 따라서 이 사고를 유형 3'로 제시하였다. 교사들이 그린 그림에서 음극의 반응 모델이나 양극의 반응 모델 중 하나를 생략한 경우, 이는 연구자들이 제시한 모델을 받아들인 것으로 해석하고 유형을 분석하였다.

탐색 단계에서 모델링의 결과를 보면 8명의 교사 모두가 양 극에서 물의 직접적인 분해로 전기분해가 일어난다고 생각하는 유형 2에 머물러 있는 것을 알 수 있었다. 평가 단계에서 모델링의 결과를 보면 교과서 유형에 그대로 머물러 있는 교사는 6명, 유형 2에서 유형 3'으로 변화된 교사는 2명임을 알 수 있었다. 즉 추가 실험을 통해 모델링을 직접 경험한 교사는 8명 중에서 2명 뿐이었다. 이 두 명은 추가 실험 유형에서 두 번째 유형에 해당하였으며, 2:1의 부피비에 관심을 가지지 보다는 왜 그런 실험 결과가 나오는지에 관심을 기울였던 교사들이었다. 따라서 실

험 결과의 이유를 찾으려는 시도가 모델링 활동에 중요함을 확인하였다.

탐색 단계와 평가 단계에서 유형 2에 그대로 머물러 있는 교사 A의 모델링 결과는 Table 12과 같다.

탐색 단계와 평가 단계에서 모두 양극에서 물 분자가 직접 분해되어 수소, 산소 기체가 발생하는 모습을 볼 수 있었다.

탐색 단계에서는 유형 2에서 평가 단계에서는 유형 3'로 변화된 교사 C&D의 모델링 결과는 Table 13과 같다.

한 조로 실험 활동을 진행하고 모델링 활동을 수행한 교사 C와 D는 탐색 단계에서 Fig. 2에 나타난 모델을 그대로 받아들였기 때문에 새로 그림을 그리지 않고 이 모델을 그대로 제시하였으나, 평가 단계에서는 새로운 모델을 제시하였다. 즉, (-)극에서 기존의 수소 이온이 전자를 얻어 수소 기체가 발생하고, (+)극에서 기존의 물 분자가 산화되어 과산화 수소가 발생하는 모델을 제시하였으며, 이를 3' 유형으로 분류하였다.

교사들의 모델링 결과를 보면, 외국에서는 고등학교 수준에서 제시하는 Table 8에 유형 1과 유형 4가 전혀 제시되지 않았고 대학교 수준의 유형 2와 유형 3이 관찰됨을 알 수 있었다. 이 모델링 결과를 통해 알 수 있는 사실은 비록 실험 결과가 기존에 알고 있는 이론과 다르게 나온

Table 12. Teacher A's modeling results

Teacher A	Modeling Results
Exploration step modeling	
Evaluation step modeling	

Table 13. Modeling Results of Teacher C & D

Teacher C&D	Modeling Results
Evaluation step modeling	

경우에도, 교사들은 교과서 설명에서 벗어난 사고로 변화 되는 것이 극히 어렵다는 것을 보여준다. 즉 관찰 사실로부터 새로운 모델링을 할 수 있는 역량이 교사들에게 매우 부족하고 교과서의 지식을 사실로 받아들이려는 경향이 크다는 것을 알 수 있다.

결론 및 제언

본 연구는 모델의 특성에 대한 선행연구가 잘 이루어진 산화 환원 이론 모델과 물의 전기분해 실험 모델을 중심으로 화학 교사들의 과학 모델에 대한 인식 유형을 파악하고, 구체적인 교사 교육프로그램을 통한 교육적 효과를 알아보았다. 교사들의 과학 모델과 모델링에 대한 인식 정도를 알아보는 선행연구의 비맥락적 상황 설문을 사용하였으며, 그 후 산화 환원 이론 모델 수업을 통해 모델과 교수 방법에 대한 인식 유형을 분석하였다. 또한 이 연구에서 개발한 교사 교육프로그램을 통해 교사들의 과학 메타모델링 지식 발달의 향상 정도를 확인하였다. 교사 교육프로그램은 5E 순환학습모형을 도입하여 개발하였으며, 참여 단계에서는 산화 환원 모델로 전자기동, 산화수, Goodstein 모델 등 다양한 모델의 관계에 대하여 소개하고, 산화 환원 반응을 산화수 변화로 설명하기 어려운 문제 상황을 제공하고, 결합하는 원소 간의 상대적인 전기음성도 차이 변화로 설명하는 Goodstein 모델과 관련 선행연구들을 통해 산화 환원 반응을 설명하는 다양한 모델의 관점을 이해하고 토론하도록 하였다. 탐색 단계에서는 물의 전기분해 실험을 직접 교사들이 계획하고 수행하였다. 그리고 교사들에게 물의 전기분해 실험을 통해 확인해볼 수

있는 산화 환원 모델을 만들어 보고 실제 실험 결과를 바탕으로 모델을 수정해가는 과정을 경험해보게 한 후 정교화 단계에서 자신들이 설명하고자 하는 모델을 확인하기 위한 추가 실험을 진행하였다. 평가 단계에서는 실험 결과를 토대로 물의 전기분해를 모델링 하도록 하였다.

정교화 단계에서 교사들이 제시한 물의 전기분해 실험 유형은 2가지로 분석되었다. 첫째 유형은 추가 실험을 통해 수소와 산소 기체의 비율이 2:1에 가깝게 나오는 이상적인 조건을 찾으려는 데 관심을 가진 경우이다. 두 번째 유형은 실험 결과가 왜 그렇게 나오는지에 관심을 가지고 추가 실험을 설계한 경우이다. 대부분의 교사들은 이론에 해당하는 실험 결과를 얻기 위해 변인을 조작하는 유형의 추가 실험을 진행하는 것으로 나타났다. 이는 실험의 역할이 이론을 검증하는 것이라는 인식을 가지고 있기 때문으로 볼 수 있다. 두 번째 유형인 실험 결과를 설명하기 위한 추가 실험이 모델링 과정에서 중요한 활동이지만, 이러한 추가 실험 활동은 교사 2명으로 구성된 한 조의 경우에만 수행하였다. 이는 실험의 본질적인 역할을 충분히 이해하고 실험을 진행하는 화학교사가 많지 않음을 확인할 수 있었다.

또한 전기분해 실험 모델 수업에서 실험을 설명하기 위한 모델링 활동은 2가지 유형으로 분석되었다. 즉, 두 전극에서 물 분자가 직접 분해되어 수소와 산소 기체가 발생하는 유형과 (+)극에서 물이 반응하여 다른 물질이 발생하고 (-)극에서 수소 이온이 반응하여 수소 기체가 발생하는 유형이었다. 선행연구에 따르면 외국의 교과서는 4가지 유형으로 다양하게 모델링 활동이 제시되어 있지만, 한국의 교과서는 두 전극에서 물 분자가 직접 분해되어

수소와 산소 기체가 발생하는 유형만 제시하는 것으로 나타났다. 그러나 교사들 중에는 실험 결과를 토대로 (+)극에서 물이 반응하여 다른 물질이 발생하고 (-)극에서 수소가 반응하여 산소 기체가 발생하는 유형을 제시하는 사례가 관찰되었다. 그러나 외국의 경우와 같이 보다 다양한 산화 환원 반응 실험에 대한 모델링 활동은 나타나지 않았다. 따라서 앞으로 실험 결과를 토대로 다양한 모델링 활동이 가지는 의미를 교사 교육을 통해 전달해 주는 방안이 모색될 필요가 있다.

비맥락적 상황과 산화 환원 반응에 관련된 맥락적 상황에서 화학 교사들의 과학 모델에 대한 인식 변화 분석 결과, 두 상황에서 모두 교육적 효과가 나타났다. 비맥락적 상황과 맥락적 상황에서의 교육적 효과를 비교 분석해보면, 맥락적 상황에서 교육적 효과가 없었던 교사 B의 경우에도 비맥락적 상황에서 제시한 질문들에는 객관성에서 주관성으로의 인식 변화가 있음을 알 수 있었다. 이로써 질문의 내용에 따라 인식 변화 및 교육적 효과가 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 또한, 산화 환원 이론 모델 수업에서는 인식 변화가 있었으나 물의 전기분해 실험 모델 수업에서는 인식 변화가 없었던 교사 G&H의 경우에는 다른 교사들에 비해 비맥락적 상황에서 제시한 질문에 대한 인식 변화가 적었음을 알 수 있었다. 이는 맥락적 상황과 비맥락적 상황 각각은 독립적으로 교육적 효과가 있으며, 맥락적 상황에서 교육적 효과가 있었다고 해서 비맥락적 상황에서 교육적 효과가 있거나, 맥락적 상황에서 교육적 효과가 없다고 해서 비맥락적 상황에서 교육적 효과가 없다고 단정 지을 수 없음을 알 수 있었다.

본 연구가 과학교육 현장과 과학교육 연구 측면에서 줄 수 있는 제언은 다음과 같다.

첫째, 이 연구에서 개발한 교사 교육프로그램을 통해 교사들은 메타모델링에 대한 인식을 발달시키고 모델의 잠정성에 대한 인식이나 모델의 다원주의 관점을 획득하였으나, 물의 전기분해 실험 결과를 토대로 모델과 실제 자연현상의 차이를 경험하고 교과서에 제시된 모델의 한계를 인식하였음에도 불구하고 교과서에 제시된 모델을 다시 선택하는 현상이 관찰되었다. 즉, 자신이 경험한 실험 상황에 맞도록 모델을 표현하는 것을 어려워하였다. 이를 통해 이론적으로 단순히 모델을 배우기보다는 실험 결과를 토대로 모델을 생성하고 학습하도록 하는 경험을 제공해 줄 필요가 있음을 확인하였다. 따라서 과학 모델 실험 수업의 기회를 꾸준히 제공할 필요가 있다. 실험을 통해 직접 모델링 하는 경험을 교사들에게 제공하여야 과학 수업에서 학생들에게 모델링하는 과정을 가르칠 수 있는 실천적 교수 역량을 획득하게 될 것이다.

둘째, 본 연구에서 개발한 교사 교육프로그램을 통해

교사의 메타모델링 인식은 비맥락적 상황과 맥락적 상황에서 높은 수준으로 변화하였지만, 실제 이루어진 물의 전기분해 실험 결과를 해석하는 과정에서는 교과서에 제시된 모델로 회귀하는 경향이 나타났기 때문에 교사들의 실질적인 교수 방법의 변화가 이루어지기 위해서는 총 10회 40시간의 교사 교육프로그램으로는 충분하지 못하다고 볼 수 있다. 따라서 교사들의 메타모델링 지식을 변화시키기 위한 교사 교육프로그램을 통해 교사들의 실질적인 교수 방법의 변화가 이루어지기 위해서는 보다 충분한 시간을 확보할 필요가 있다.

셋째, 과학 모델 교육 프로그램을 적용하는 교사 집단을 좀 더 포괄적으로 하여 교직 경력에 따른 실질적인 교사 교육 프로그램의 교육적 효과를 확인해볼 필요가 있다. 본 연구는 학교 현장에서 산화 환원 개념을 가르치고 물의 전기분해 실험 수업을 해본 경험이 있는 교육대학원 석사과정 중인 화학 교사 8명을 대상으로 진행한 결과이므로, 예비교사나 교직 경력에 따른 다양한 집단에서 적용하여 일반화시킬 수 있는 유의미한 결과를 얻을 필요가 있다.

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

REFERENCES

1. NGSS Lead States. Next Generation Science Standards: For States, By States; The National Academies Press: Washington, D.C., 2013.
2. Cho, E.; Kim, C. J.; Choe, S. U. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 859.
3. Kim, K.; Chang, H.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, *63*, 289.
4. Justi, R. S.; Gilbert, J. K. *International Journal of Science Education* **2002**, *24*, 369.
5. Justi, R.; Gilbert, J. *International Journal of Science Education* **2000**, *22*, 993.
6. Windschitl, M.; Thompson, J. *American Educational Research Journal* **2006**, *43*, 783.
7. Kang, N. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 143.
8. Chang, H.; Duncan, K.; Kim, K.; Paik, S. H. *Chemistry Education Research and Practice* **2020**, *21*, 806.
9. Park, H. K.; Choi, J. R.; Kim, C. J.; Kim, H. B.; Yoo, J.; Jang, S.; Choe, S. U. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2016**, *36*, 15.
10. Jeong, H. S.; Kim, Y. *Teacher Education Research* **2014**, *53*, 682.
11. Cho, H. S.; Nam, J.; Oh, P. S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, *37*, 239.
12. Gobert, J. D.; O'Dwyer, L.; Horwitz, P.; Buckley, B. C.;

- Levy, S. T.; Wilensky, U. *International Journal of Science Education* **2011**, *33*, 653.
13. Giere, R. N.; Bickle, J.; Mauldin, R. *Understanding Scientific Reasoning*; Thomson Learning: California, 2005.
 14. Schwarz, C. In *Facing the Challenges of Complex, Real-World Settings*, Proceedings of The Fifth International Conference of the Learning Sciences, Seattle, Washington, U.S.A., Oct 23-26, 2002.
 15. Schwarz, C. V.; White, B. Y. *Cognition and Instruction* **2005**, *23*, 165.
 16. Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E. A.; Kenyon, L.; Acher, A.; Fortus, D.; Shwartz, Y.; Hug, B.; Krajcik, J. *Journal of Research in Science Teaching* **2009**, *46*, 632.
 17. Goodstein, M. P. *Journal of Chemical Education* **1970**, *47*, 452.
 18. Steinborn, D. *Journal of Chemical Education* **2004**, *81*, 1148.
 19. Loock, H. P. *Journal of Chemical Education* **2011**, *88*, 282.
 20. Dahlmann, W. *Chimica Didactica Acta* **1977**, *3*, 269.
 21. De Jong, O.; Acampo, J.; Verdonk, A. *Journal of Research in Science Teaching* **1995**, *32*, 1097.
 22. Chang, H. S. *Is Water H₂O? (Evidence, Realism and Pluralism)*; Springer Science & Business Media: Gyeonggi-do, 2012.
 23. Schmit, A.; Pollard, J. *WJEC GCSE Chemistry*; Hodder Education: UK, 2016.
 24. Pauling, L.; Pauling, P. *Chemistry*; W. H. Freeman and Co: San Francisco, 1975.
 25. Oxtoby, D.; Gillis, H. P.; Butler, L. J. *Principles of Modern Chemistry*, 8th edn; Cengage Learning: California, 2016.
 26. Kim, S.; Kim, J. E.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, *63*, 102.
 27. Paik, S. H.; Kim, S.; Kim, K. *Journal of Chemical Education* **2017**, *94*, 563.
 28. Kang, H.; Gong, Y.; Kwon, H.; Kim, J.; Bae, J.; Song, M.; Sin, Y.; Yang, I.; Yun, H.; Lee, D.; Lee, M.; Lim, C.; Lim, H.; Jang, Y.; Jeon, Y.; Chae, D. *The Theory of Elementary Science Education. History of Educational Science*: Seoul, 2007.
 29. Kim, K.; Paik, S. H. *Journal of Chemical Education* **2021**, *98*, 1302.
-