

Suggestion of Teaching and Learning Model Based on the Thinking Process in Barbara McClintock's Research

Jae-Kwon Kim*
Incheon Business High School

<ABSTRACT>

The purpose of this study is to analyze the scientific thinking process that Barbara McClintock found in the process of discovery of transposable elements, and then to design a teaching and learning model applying the thinking process by scientists. For the analysis of thinking process, Giere's theoretical hypothesis evaluation framework was used. As a result of analyzing the history of science, it was found that McClintock studied through the thinking process of empirical abductive method and hypothesis-deductive method. In addition, Barbara McClintock's research achievement analysis showed that the creation of scientific knowledge was made through social consensus process. The designed teaching and learning model was constructed to learn the process of scientific thinking in the history of science. The designed teaching and learning model consisted of five steps: 'Presentation of data', 'Involvement of teacher', 'Present data with different positions', 'Discussion', and 'Involvement of teacher'. The 'Presentation of data' step is divided into 4 sub steps of 'Creating questioning points through data', 'Presentation of cognitive non-equilibrium data', 'Presentation of good data', and 'Conclusion through data interpretation'. Through this model, students can naturally learn 'empirical abductive method' and 'hypothesis-deductive method' in steps 1 and 2, and learn that science knowledge is achieved through social consensus in stages 3 to 5. Therefore, if this model could be used in the classrooms, it is expected that students can learn not only scientific thinking process but also scientific knowledge creation process.

Key words: Barbara McClintock, transposable element, Ronald. N. Giere, history of science, thought process, teaching and learning model, theoretical hypothesis, hypothesis-deductive method, empirical abductive method, social consensus.

Introduction

과학자란 스스로 자연을 탐구하거나 다른 과학자들의 연구 및 실험 내용과 방법을 잘 인식하며 서로 협력하여 자신의 연구 성과를 정확하고 논리적으로 표현하는 사람을 말하며, 특히 이러한 과정 속

에서 과학적 방법으로 과학적 사고를 하는 사람을 말한다(Braben, 1994). 따라서 과학자들의 연구 성과를 알 수 있는 과학사를 분석하면 그 과학자의 사고 과정을 이해할 수 있는 것이다. 많은 연구들을 살펴보면 과학사에 나타난 과학자들의 탐구과정을 분석하여 과학교육에 도입함으로써 어려운 원리의 이해에 도움이 된다는 연구 성과가 있었다

* Corresponding author : Jae-Kwon Kim, hagoja777@naver.com
Received January 11, 2017; Accepted January 27, 2017; Published March 31, 2017
© 2017. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

(Matthews, 1994; Dong, 2002; Kim et al., 2011; Kim et al., 2009). Matthews(1994)는 과학사가 개념에 대한 이해뿐만 아니라 과학적 방법을 더 잘 이해하도록 촉진하고, 과학사적 접근은 학생의 사고 발달을 과학적 아이디어의 발달과 연결시켜 주기 때문에 과학교육에 도입할 필요가 있다고 주장하였다. 또한 Wandersee(1985)는 특정 영역이 발달해 온 역사와 그 주제를 학습하는 학생들의 개념 발달 사이에는 유사한 점이 많다고 하였다. 따라서 해당 영역의 지식이 발전해 온 역사적 과정을 반영한 수업은 전통적인 수업보다 더 효과적일 수 있으며, 그 영역의 지식이 타당성을 가지는 이유를 과학적 방법론을 통해 설명할 수 있는 교사는 그렇지 않은 교사보다 개념과 이론을 더욱 잘 설명할 수 있을 것이다.

특히 학문 중심 교육 사조가 도입되면서 과학자의 연구 과정이나 사고 과정을 바탕으로 과학 교육계에서는 ‘학생을 과학자처럼’이라는 취지로 학생들이 과학자처럼 사고할 수 있고, 과학자와 같은 발견의 기쁨을 누리도록 하는 과학적 발견 학습을 적용하였으나, 오히려 학생들의 학업 성취도가 떨어지고, 과학을 기피하는 부정적인 결과를 야기하기도 하였다(Klahr & Dunbar, 1988). 이런 결과가 나타나게 된 데에는 여러 가지 이유가 있겠으나, 대부분의 선행 연구들이 과학자의 일반적인 사고 특성을 밝히는 것에 주된 관심을 가졌고, 과학자의 지식 생성 과정이나 사고 과정 등이 정확하게 밝혀지지 않은 상태에서 과학교육에 무리하게 적용했기 때문이다(Yang et al., 2006). 따라서 현재의 과학교육에 의미 있는 시사점을 얻기 위해서는 과학자의 사고과정을 체계적으로 분석하고 과학교육에 효과적으로 도입할 수 있는 방법을 연구하는 것이 필요하다.

과학적 발견을 연구하는 방법에는 과학자의 과학적 사고과정을 장기간에 걸쳐 관찰하는 *In Vivo/In Vitro* 접근 방법, 과학자의 저술을 분석하는 역사적 기술(Historical Accounts) 방법, 과학자의 발견 과정을 컴퓨터 모델로 나타내는 방법 등이 있다(Klahr & Simon, 1999). 그 중 역사적 기술은 과학계에서 인정받은 과학자를 대상으로 연구할 수 있으며, 시공간적인 제약이 없고, 과학자가 직접 쓴 저술을 분석함으로써 과학자의 과학적 발견과정에서 나타난

사고과정을 알아 볼 수 있다는 장점이 있다(Klahr & Simon, 1999). 또한 과학적 발견의 역사적 기술은 과학 지식에 많은 기여를 한 사람들의 과학적 사고 과정 이외에 동기나 인지 과정을 파악하기에도 유용하다. 이러한 접근을 취하는 연구자들은 과학적 문제를 해결하는 과정(내적 기술)과 사회 환경과의 상호작용(외적 기술)을 연구한다. 이러한 연구를 위해서 일기, 과학적 출판물, 자서전, 연구 노트, 편지, 인터뷰, 메모 등을 분석 방법이 사용된다(Klahr & Simon, 1999). 역사적 기술 방법을 이용하여 역사적 인물을 대상으로 한 연구들은 비교적 많은 편이나(Gruber, 1981; Gardner, 1988, 1993; Kynes, 1997), 대부분의 연구가 과학자의 사고 과정에 초점을 맞추기보다는 과학자의 연구 결과의 측면에만 연구가 국한되는 경향을 보인다. 즉 과학교육에 시사점을 줄 수 있을 정도로 구체적인 과학자의 사고 과정에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

따라서 Barbara McClintock의 옥수수 알갱이의 모자이크 비밀 발견, 전이성 유전인자의 발견, 전이성 유전인자가 과학계에서 받아들여지는 과정의 3단계로 분석함으로써 그녀의 과학적 사고 과정을 알아보고자 하였다. 과학적 사고 과정은 Giere(1997)의 이론적 가설모델 평가 틀을 이용하여 분석하였고, 학교현장에서 수업에 활용할 수 있는 교수·학습 모델을 고안하고자 하였다.

Materials and Methods

본 연구는 Barbara McClintock의 1950년 연구 논문인 “The origin and behavior of mutable loci in maize”에서 나타난 과학적 사고과정을 Giere(1997)의 이론적 가설모델 평가틀을 이용하여 분석하고, 가설-연역적 방법과 사회적 적응 및 합의에 관한 과학적 방법을 큰 틀로 하여 교수·학습 모델을 고안하고자 한다. 하지만 단순히 논문만을 보고 Barbara McClintock의 과학적 사고과정을 분석하는 데는 한계가 있을 것 같기에 논문을 분석하기 전 Barbara McClintock의 생애 및 연구업적들을 살펴보고 전이성 유전인자를 어떻게 발견했는지를 분석하고자 한다. 따라서 Barbara McClintock의 연구업적이 잘 소개된 문헌들을 선택하여 분석할 것이

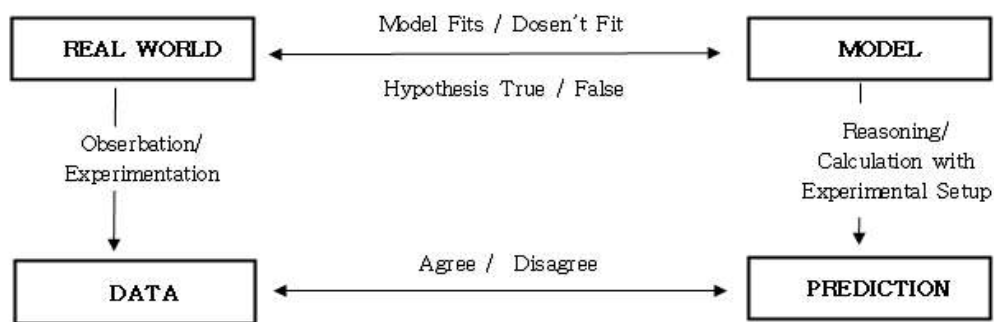
다. 다음은 Barbara McClintock의 논문 분석과 교수·학습 모델 고안을 위한 이론적 배경이다.

Dr. Giere's Theoretical Hypothesis Model Evaluation Framework Based on Components of Scientific Anecdotes

특정한 이론적 모델이 현실 세계와 들어맞는가를 평가하는 데 이용되는 과학적 일화에 대한 모델을 세우기에 앞서 과학적 일화의 구성요소를 알아야 한다. 모델의 구성 요소는 (1) 조사 중인 현실 세계의 대상이나 과정 (2) 현실 세계의 대상이나 과정에 대한 모델 (3) 모델이 실제로 현실 세계에 들어맞는 경우에 자료는 어떤 것이어야 한다는 것을 말해 주는 예측 (4) 모델에서 도출된 예측에서 가정하고 있는 현실 세계와의 상호작용을 통해서 생성된 자료이다. 이 구성요소를 도식화 하면 다음 [Figure 1]과 같다(Giere, 1997). 이러한 배열은 구성 요소 사이에 존재하는 네 가지의 중요한 관계를 보여 준다.

[Figure 1]에서 현실 세계와 모델의 관계는 모델이 현실 세계에 들어맞는다고 주장하는 ‘이론적 가설’로 표현된다. 이때 모델은 어떤 점에서만 그리고 어떤 일정한 정도의 정확성을 가지고서만 현실 세계에 들어맞는 것으로 이해된다. 만약 모델이 의도했던 점에서 정확히 현실세계에 들어맞지 않는다면 그 이론적 가설은 거짓이다. 모델과 예측의 관계는 추리나 계산에 의해 이루어진다. 현실 세계와 자료의 관계는 실험이나 관찰을 포함하는 ‘물리적 상호작용’에

[Figure 1]은 또한 자료와 예측의 관계도 보여준다. 만약 실험 장치를 포함하여 현실 세계에서 일어나고 있는 것이 실험 장치에 대한 모델을 포함한 세계의 모델과 구조적으로 비슷하다면, 자료와 예측은 분명히 ‘일치한다(agree)’. 즉 예측에서 말한 자료가 실제로 나올 것이다. 반면에 현실 세계와 모델이 관련된 측면에서 서로 비슷하지 않다면, 자료와 예측은 ‘일치하지 않는다(disagree)’. [Figure 1]에 그려진 관계를 이해하는 데는 그림의 윗부분과 아랫부분, 그림의 왼쪽과 오른쪽을 서로 대립시키는 것이 도움이 된다. [Figure 1]의 윗부분은 현실 세계와 모델의 관계를 그린 것이다. 모델과 현실 세계는 연구 중인 측면과 적절한 정확도에서 비슷한가? 이 관계는 일반적으로 직접 조사하기가 쉽지 않다. 이와는 대조적으로 [Figure 1]의 아랫부분은 비교적 직접적인 조사에 의해 평가될 수 있는 관계를 그리고 있다. 과학자들은 자료를 조사하고 그것이 모델에서 도출된 예측과 일치하는지를 볼 수 있다. [Figure 1]의 왼쪽은 물리적인 세계에 존재하는 관계를 그린 것이다. 자료는 일정한 현실 세계와의 물리적 상호작용을 통해 생성된다. 이에 반해 그림의 오른쪽은 주로 상징적 관계를 그리고 있다. 모델은 주로 대상의 가능한 유형에 대한 기술로서 존재한다. 모델에서 도출된 예측 역시 특정한 상황, 어쩌면 결코 실현될 수 없을지도 모르는 상황에서 얻어질 결과들을 기술한 것이다. 이러한 관계를 기억하는 것이 중요한 이유는 모델과 현실 세계의 들어맞음에 관한 가설을 평가하는 일이 결국은 예측과 자료가 일치하는가에 의해 판가름 나기 때문이다. 즉 도표의 아랫부분에서의 일치가 윗부분에서의 들어



[Figure 1] Four components of the theoretical hypothesis (Giere, 1997)
의해 이루어진다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

맞음을 평가하는 데 사용되기 때문이다. 그러나 모

텔과 세계의 들어맞음을 평가하는 데는 자료와 예측의 일치만으로는 불충분하다. 마지막으로 [Figure 1]은 모델이 현실 세계에 얼마나 들어맞는가를 평가할 수 있도록 정리된 네 가지 구성요소를 포함하는 완벽하게 개발된 과학적 일화에 관한 모델을 제공한다. 많은 과학적 일화에는 네 가지 구성 요소가 모두 포함되어 있지 않으며, 따라서 과학적 연구 결과에 대한 많은 보도문 역시 마찬가지다. 예를 들어 어떤 새로운 자료와 함께 조사 중인 현실 세계의 일부만을 기술하고 있는 보도문을 발견하는 일은 흔하다. 모델이나 예측에 대해서는 전혀 언급하지 않을 수 있다. 마찬가지로 종종 자료나 예측에 대해서는 전혀 언급하지 않은 채 현실 세계의 물질이나 과정에 대한 새로운 모델을 논의하는 경우도 흔히 발견할 수 있다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

우리는 또한 가끔씩 예측은 포함되어 있으나 자료에 대한 논의는 전혀 없이 현실 세계의 물질에 대한 모델을 설명하고 있는 것들도 발견하게 된다. 따라서 네 가지 구성 요소가 모두 제시되는 보도문을 찾는 것도 중요하며, 만약 없다면 여러 보도문들을 살펴봄으로써 사고과정들을 분석할 수 있을 것이다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

A program for evaluating Dr. Giere's theoretical hypotheses

위의 과학적 일화가 가지는 네 가지 구성요소를 가지고 기어리 박사가 제시한 이론적 가설을 프로그램에 따라 평가할 수 있다. 다음 <Table 1>은 기어리 박사가 제시한 이론적 가설과 관련된 보도문을 분석하기 위한 프로그램을 요약한 것이다.

이론적 가설을 평가하기 위해 제안된 프로그램을 사용하면 올바른 결론(그 올바른 결론이 어떤 것이든 관계없이)에 도달할 가능성이 높다. 또한 이러한 분석과정을 통해 학생들도 과학적 사고를 할 수 있는 기회를 제공해 줄 수도 있다. 이론적 가설을 평가했을 때 이를 수 있는 결론에는 다음 세 가지가 있다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

(1) 자료가 모델이 세계에 들어맞지 않는다는 증거를 제공할 수 있다.

(2) 자료가 모델이 세계에 들어맞는다는 증거를 제공할 수 있다.

(3) 자료가 비결정적일 수 있다.

(1)의 경우 자료와 예측이 ‘일치하지 않을’ 때, 그것은 일반적으로 모델이 현실 세계를 적절하게 나타내지 못하는 어떤 측면이 있기 때문이다. 프로그램의 4단계와 5단계는 특히 이 경우와 관련이 있다. 4단계와 관련이 있는 이유는 그것이 모델에서 분명하게 도출되는 예측이 있는가를 살펴보도록 요구하기 때문이다. 그것이 중요한 이유는 예측이 모델과 거의 관계가 없다면 예측과 자료의 관계가 모델과 현실 세계의 유사성 혹은 유사성의 결여에 대한 어떤 중요한 지표도 되지 않을 것이기 때문이다. 다음으로 5단계는 자료와 예측이 일치하는가를 살펴보도록 요구한다. 만약 일치하지 않는다면, 그것은 모델이 뭔가 잘못되었다는 표시이며 따라서 프로그램은 그에 대한 적절한 결론으로 인도한다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

(2)의 경우 자료와 예측이 ‘일치’한다면, 프로그램은 6단계로 넘어간다. 그것은 고려 중인 모델이 현실 세계와 적절하게 들어맞지 ‘않는데도’ 예측이 자료와 일치할 가능성은 없었을까 하는 질문을 고려하도록 요구한다. 이 질문은 똑같은 예측이 나올 수 있는 다른 그럴듯한 모델에 관한 보도문에서 정보를 찾아보도록 요구한다. 달리 그러한 모델이 없는 것 같으며, 예측과 자료의 일치가 고려 중인 모델이 세계와 적절하게 들어맞는다는 것을 보여주는 패밀을 만한 지표가 된다. 이때, 프로그램은 자료가 그러한 들어맞음에 대한 증거를 제공한다는 결론을 내리도록 지시한다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

(3)의 경우 그런데 만약 문제의 모델이 세계와 들어맞지 않는데도 자료와 예측이 일치할 가능성이 매우 높다면 어떻게 될까? 즉 똑같은 예측을 낳는 다른 모델이 있고 그것이 조사 중인 모델만큼이나 그럴듯하게 세계와 들어맞는다면 어떻게 될까? 이 경우에는 자료와 예측의 일치가 조사 중인 모델이 어떤 다른 모델보다도 세계와 들어맞는다고 생각할 만한 근거를 거의 제공하지 못한다. 그러나 다른 가능한 모델의 존재가 조사 중인 모델이 세계와 적절하게 들어맞지 않는다고 생각할 만한 근거를 제공해주는 것도 아니다. 따라서 이때는 예측과 자료의

<Table 1> A program for evaluating theoretical hypotheses (Nam et al., 2004)

Step 1	Real Word	Identify what aspects of reality are being the focus of research in the anecdotes you are evaluating now. This is an object or process in the world that can be described in everyday terms, in addition to some widely used scientific terms. The term introduced to describe the characteristics of the model to be evaluated should not be used.
Step 2	Model	Make sure that any theoretical model fits the world. If necessary, describe the model using appropriate scientific terminology. Diagrams may also help present the model.
Step 3	Prediction	Based on the identified model, confirm the predictions that if the model actually fits the real world properly, no doubt certain data will be obtained.
Step 4	Data	Identify data actually obtained by observations or experiments related to real-world research subjects.
Step 5	Negative Evidence	Does the data match the prediction? If not, conclude that the data provides good evidence that the model does not fit the real world. If the data and predication are consistent, go to step 6.
Step 6	Positive evidence	Even if the model under consideration does not fit properly with the real world, was not prediction likely to match the data? Even if the model under consideration does not fit properly with the real world, was not prediction likely to match the data? In order to confirm this, it is necessary to check that there are no other plausible models that are obviously different from the models under consideration, but that are likely to yield the same Prediction on the data. If there is no such model, the answer to the question is no. In this case, conclude that the data provides good evidence that the model fits the real world. If the answer to the above question is yes, conclude that the data is not decisive about the fit of the model and the real world.

일치가 문제의 모델과 세계의 어떤 들어맞음에 대해서도 결정적이지 않은 것으로 드러난다. 요약하면, 어떤 적절한 평가가 나오든 간에 그 프로그램은 올바른 결론을 내리도록 유도한다(Giere, 1997; Nam et al., 2004).

Hypothesis-deductive method and Abductive method as Teaching and Learning method

가설-연역법은 귀납법과 연역법의 문제를 극복하기 위해 제시된 과학적 방법으로서 그 한 유형인 귀추법은 가설추리로 일컬어지기도 한다. 가설-연역법은 과학 교수-학습에도 효과적인 과학적 방법이다.

Characteristics of Hypothesis-deductive

method

반귀납주의는 귀납적 논증이 실제로는 가설을 제시하고, 그 가설을 바탕으로 잠정적 결론을 도출하며, 관찰과 경험을 통해 그 결론의 진위를 검증하는 과정을 통해 이루어진다고 믿는다. 논리경험주의와 반증주의는 이런 반귀납주의의 주장을 수용해, 그리고 오스트리아의 물리학자 마하(E. Mach, 1838~1916)의 실증주의 견해와 영국의 수학자, 철학자 러셀(B. Russel)이 개발한 기호논리학을 결합하여 가설-연역적(hypothesis-deductive) 방법을 제시했다(Brown, 1977; Kourany, 1987). 가설-연역적 방법의 절차를 <Table 2>로 나타내었다. <Table 2>에서 보여주듯이, 논리적 추리로서의 가설-연역적 방법은 귀납적 방법의 장점과 연역적 방법의 장점이 반영되어 있다. 가설-연역적 방법을 통해서 직접 검증하는 것은 예측진술이지만, 검증의 궁극적 대상

<Table 2> Procedure of the Hypothesis-deductive method (Cho et al., 2011)

Inductive process (generalized statement)	Generalize observation facts(phenomena).
Setting initial conditions	Present conditions for experiment.
Deductive process (presenting predictive statements)	Depending on initial conditions, the hypothesis to be tested is derived from the generalization statement.
Hypothesis test	Test hypotheses based on experimental data.

은 일반화 진술이다. 또한 가설-연역적 방법은 귀납적 절차와 연역적 절차로 구성되어 있다. 관찰 결과에서 일반화 진술을 도출하는 단계는 귀납적 과정이며, 그 일반화 진술에서 예측진술을 도출하는 과정은 연역적 과정이다. 그러므로 가설-연역적 방법은 귀납법 및 연역법과 다르다. 연역법은 전제를 참으로 가정하지만, 가설-연역법은 전제의 진위를 의심하는 데서 출발한다. 또한 귀납법에서는 가설을 내세우지 않지만, 가설-연역법은 가설을 설정하여 검증하는 절차에 따라 수행된다(Cho. et al., 2011).

Attachment method as a type of Hypothesis-deductive method

귀추법(abduction)은 퍼스(C. Peirce, 1839~1914)가 이름을 붙였으며, 헨슨(Hanson, 1991)은 귀추법이 적용된 사례를 제시하였다(Cho et al., 2011). 귀추법은 비상례적 관찰 사실(증거)을 가장 잘 설명할 것으로 생각되는 가설을 도출하는 가설-연역적 추리의 한 형식이다. 귀추적 추론은 설명 추론, 이론적 귀납, 이론적 추론 등으로 일컬어질 만큼 다양한 형태로 적용된다. 귀추법은 과학적 발견이 가설이 아니라 관찰 자료나 사실에서 출발한다고 가정하며, 그 때문에 역행추리(retroduction)로 불리기도 한다. 귀추법에서는 <Table 3>과 같이 관찰 증거가 제시되고 그 증거를 설명할 가설이 그 다음에 제시된다(Cho et al., 2011).

<Table 3> General format of Abduction (Cho et al., 2011)

Some phenomenon E was observed.
If hypothesis H is true, then E is observed.
Therefore, the hypothesis H is likely to be true.

이처럼 귀추법은 특이한 관찰 사실을 바탕으로 그 관찰 사실의 원인이 된 가설(또는 모형이나 원리)을 추론하는 과정으로서 최선의 설명 추론 또는 가설추리로 일컬어지기도 하며, 발견의 논리라는 점에서 정당화의 논리로 받아들여지는 가설-연역법과 구분되기도 한다(Cho et al., 2011).

Social Adaptation and Consensus in Science History

경험론·합리론·실증주의를 포함한 전통적 과학 철학에서는 귀납법·연역법·가설-연역법 등 논리적 추리를 과학적 방법으로 적용한다. 그러나 구성주의·과학사회학·지식사회학에서는 논리적 추리 대신에 사회적 협상 또는 합의를 과학적 방법으로 인식한다. 현대 과학철학으로서의 구성주의는 과학 지식을 사회적 합의의 산물로 본다. 또한 과학사회학은 과학적 연구와 활동을 사회적 활동의 일환으로 강조하며, 지식사회학은 과학지식을 사회적 토론 과정을 통해 얻어진 결과로 본다(Cho et al., 2011).

과학사도 사회적 합의의 산물 또는 토론의 결과로서의 과학지식과 사회적 특성을 지닌 과학적 활동을 잘 보여준다. 뉴턴의 이론이 지상과 태양계에 관한 문제에는 아직도 적용되며, 아인슈타인의 상대성 이론은 거시세계와 미시세계에서 적용되고 있다. 국제천문연맹(IAU)의 전문위원회인 행성정의위원회(PDC)가 2006년 8월 24일 체코 프라하에서 행성의 이름과 순서를 ‘수-금-지-화-목-토-천-해’(명왕성을 행성에 제외)로 규정하였는데, 이 ‘행성정의’도 과학 지식과 과학적 활동의 사회적 특성을 잘 보여준다(Cho et al., 2011).

Results and Discussion

Research achievements of Barbara McClintock

Barbara McClintock의 연구 업적을 분석하기 위하여 “당신에게 노벨상을 수여합니다 : 생리의학상”(Yoo et al., 2014)도서와 한국문화진흥회에서 제작한 노벨-e library 웹사이트에 게시된 Barbara McClintock의 자료들을 조사하였다. 웹사이트에는 장대익 교수가 지필 한 “바바라 맥클린톡, 옥수수와 교감한 여성 과학자”이라는 자료와 카롤린스카 연구소 닐스 링게르츠의 “수상추천문”이 탑재되어 있었으며, 이러한 자료들을 수집하여 연구업적을 요약하여 <Table 4>로 나타내었고, Barbara McClintock의 과학적 사고 분석을 위하여 Barbara

McClintock에 영향을 줄 수 있을 만한 과학자들의 연구 업적 또한 중요하기에 추가적으로 노벨-e library 웹사이트에 나와 있는 자료들을 조사하여 <Table 5>로 나타내 보았다.

<Table 4>에서 보는 것처럼 Barbara McClintock은 평생 동안 옥수수를 키우면서 유전에 대해 집중적으로 연구하였다. 코넬 대학교에서 수많은 발견들이 이루어지는 데 대부분 혼자서 성과를 이뤄 낸 경우가 많았다. Barbara McClintock은 옥수수 염색체 10개를 하나하나 식별해 내는 세포학적인 기술을 발달시켰으며, 교차를 세포학적으로 증명하였고, 염색체 내에 있는 유전자의 물리적인 위치를 세포학적으로 확인하기도 했다. Barbara McClintock은 염색체가 절단되는 현상과, 텔로미어가 결핍된 염색체의 행동 패턴을 관측하였고, 절단된 염색체를 이용하여 새로운 돌연변이를 생성하는 방법을 발전시켰다. 각각의 부모로부터 절

<Table 4> Barbara McClintock's Research Achievements

Year	Barbara McClintock's Research Achievements
1921	• Study how chromosomes change during the propagation of maize • Maize chromosome visualization, characterization • Cytological demonstration of genetic crossing (evidence of crossing of chromosomes) • Genetic mapping of maize (physical characteristics and chromosome region level) • Prove the role of telomere and centromere in the preservation of genetic information
1931	• Studies on the effect of X-rays on maize chromosomes (Detection of translocation, inversions, deletion, ring chromosome)
1936	• Observation of chromosomal breakage and binding of x-ray maize cells • Observe that the breakdown of natural chromosomes occurs in cells of endosperm in some maize • Discovery of repeated BFB cycle pattern(breakage-fusion-bridge) caused by initial breaks • Binding of chromosomes is not an accident, and this cycle proves to be a source of large scale mutations
1941	• Discovery of some strange gene behavior in BFB substrate • Observe that the gene of a certain mutant moves from one cell to another
1944-50	• Systematic study of the mechanism of mosaic color pattern of maize kernels and the unstable genetics of this mosaic phenomenon • Discovery of the transposable element(controlling element)
1950	• Presentation of “The origin and behavior of mutable loci in maize”
1957~	• Exploring chromosomal features, morphological features, and evolutionary characteristics with several varieties of maize in South America
1961	• Presentation of “Some Parallels Between Gene Control systems in Maize and in Bacteria”
1981	• Presentation of “Chromosome constitution of races of maize”
1983	• Receive the Nobel Prize in Physiology
1987	• Publish “The discovery and characterization of transposable elements : the collected papers of Barbara McClintock”

<Table 5> Research by geneticists that could affect Barbara McClintock

Year	Genetic Materials Research
1866	• Mendel's Law of Genetics (presence of genetic material)
1903	• The chromosomes of Sarton (the genetic material is present on the chromosome, and is transmitted to the offspring)
1927	• Morgan's gene theory (gene array on chromosome)
1928	• Griffith Transformation Experiment
1941	• Beadle and Tatum's One gene-one enzyme hypothesis
1961	• Monod and Jacob's Operon hypothesis(E. coli gene expression system)
1961~70	• Discoverable transgenic genes in bacteria, yeast, and Drosophila
1969	• Shapiro finds the IS element(Insertion Sequence elements) in bacteria
1970~80	• Insertion sequence found in other organisms

단된 염색체를 물려받은 자손들에서 불안정한 돌연변이가 매우 빈번하게 생성된다는 것도 알게 되었다. 이러한 관찰 결과들에 너무나도 강한 호기심을 가지게 된 Barbara McClintock은 염색체 절단과 관련된 내용을 집중적으로 조사하기 시작했다. 몇 년에 걸친 연구 끝에 그녀는 전이 유전자를 발견했으며, 1950년에 논문을 발표하게 된다. 그러나 그녀가 발전시킨 전이에 관한 이론은 한동안 빛을 보지 못했다. 그러나 1960년대 후반에 들어, 박테리오파지와 박테리아가 이동 가능한 DNA 서열을 가지고 있다는 증거가 하나씩 축적되기 시작했고, 그 이후에도 세균에서의 유전자 이탈, 동물에서의 유전자 이동 현상, 암 발생 원인도 유전자 이동으로 생긴다는 연구들이 나왔으며 이로 인해 전이 인자가 어디에나 존재할 뿐만 아니라 상당히 많이 존재한다는 것이 점차 분명해졌다. 이로 인해 그녀의 발견에 대한 중요성이 점차 인식되었고, 조절유전자의 기초와 개념, 전이 유전자의 개념 제공, 교차는 염색체의 끊어짐과 결합이라는 염색체 이론을 입증한 공로로 81세의 늦은 나이로 1983년 노벨 생리의학상을 수상하였다.

Barbara McClintock의 과학사에서 나타난 Barbara McClintock 사고과정을 분석하기 위해서 선행되어야 하는 것은 전이인자의 발견과 과학계에서 받아들여지기까지 연구내용과 그 연구에 영향을 준 과학자들의 업적들을 서로 연관시켜 체계적인

분석이다. 따라서 옥수수 알갱이의 모자이크 비밀 발견, 전이인자의 발견, 전이인자가 과학계에서 받아들여지는 과정의 3단계로 분석하였다.

첫 번째 분석내용은 옥수수 알갱이의 모자이크 발견이다. Barbara McClintock은 1931년 X선(방사선)이 옥수수 염색체의 전좌(translocation), 역위(inversion), 결실(deletion), 환상 염색체(ring-shaped chromosome)의 형성 등을 포함하여 염색체의 여러 구조적인 변화를 초래한다는 것을 발견하였고, X선에 의해 절단된 옥수수 염색체들의 행동 패턴에 대한 연구를 이어가던 중 이후 1936년에 염색체의 절단(breakage) 융합(fusion)이 일어남을 관찰 하였다. X선에 의해 부서진 염색체 조각들이 다시 이어질 때에는 원래의 정상적인 모양대로 이어지기도 하지만 반대로 붙어 지는 경우가 많았고 이러한 염색체들이 복제를 거듭하다보니 엄청난 돌연변이가 유발된다는 것을 알게 되었다. 1941년 이후 BFB 주기의 과정에서 나타난 돌연변이에 대한 체계적인 연구를 착수했으며 옥수수 씨앗의 모자이크 패턴의 색이 나타나는 것과 그 돌연변이가 관련이 있다는 사실을 발견하였다. 즉, 부모 세대의 옥수수 씨앗 속에서 BFB 과정이 진행되는 패턴에 따라 자식 세대의 옥수수에서 정상과 다른 형질이 쏟아져 나왔다. Barbara McClintock은 이러한 염색체의 절단(breakage), 융합(fusion), 그리고 가교형성(bridge)의 패턴이 결과적으로 옥수수 알갱

이에 얼룩덜룩한 무늬가 생기게 만든다는 사실을 알아내게 된 것이다.

두 번째 분석내용은 전이인자의 발견 내용이다. 1944년부터 50년까지 옥수수 알갱이의 모자이크 패턴에 대해 체계적인 연구를 하였다. 이 때 Barbara McClintock은 바로 인접해 있는 두 구역에서 돌연변이 빈도가 반비례적으로 나타난다는 사실을 발견했다. 예를 들어, 옥수수 잎에서 어떤 줄을 기준으로 5개씩의 줄무늬가 나타나는 것이 정상이라고 하면 돌연변이 옥수수에서는 그 줄을 기준으로 한쪽에는 7개의 줄무늬가, 반대쪽에는 3개의 줄무늬가 나타났다. Barbara McClintock은 이러한 현상을 쌍둥이 섹터(twin sector)라 불렀다. 이에 Barbara McClintock은 세포분열이 일어날 때 이 줄무늬가 나타나는 빈도를 조절하는 어떤 유전인자가 딸세포에 각기 다르게 분배된다는 것을 추론하였고 자신이 추론해 낸 그 조절하는 유전 인자를 찾기 위해 애썼다. 1940년대 말에 그녀는 유전자 상에서 자리를 이동하는 인자들을 발견하게 되고 이는 돌연변이의 속도를 조절하는 역할을 담당했기 때문에 ‘조절 인자(controlling element)’라 명명했다. 그녀가 찾아낸 조절인자는 두 가지였는데 하나는 염색체를 분절시켜 BFB 주기를 유도하는 것으로 Ds(dissociator)라 불렀으며, 나머지 하나는 Ds의 활성을 조절하는 것으로 As(activator)라 불렀다. 이후 교배된 옥수수 세대들에서 알맹이의 색깔 패턴이 변화하는 것과 As와 Ds의 위치가 이동함으로써 나타나는 결과를 관찰하였고, 이러한 이동성이 있는 인자들(Ds와 As)이 유전자의 활성을 억제하거나 바꿈으로써 유전자를 조절한다는 이론으로 발달시켰다.

세 번째 분석내용은 전이인자가 과학계에 받아들여지는 과정에 관한 내용이다. Barbara McClintock은 자신의 이론을 정리하여 1950년 “옥수수에서 이변 유전자좌의 기원과 그것의 거동”이라는 논문으로 발표하였고, 이와 관련하여 1951년 콜드 스프링 하버 연구소에서 열린 연례 심포지엄에서 자신의 연구 결과를 대중에게 자세하게 공개하였다. 그러나 청중들의 반응은 싸늘했고, 십여 년이 흐르는 동안 Barbara McClintock의 위대한 성과들은 결국 빛을 보지 못하였다. 그 이유는 1953년 왓슨과 크릭의 논

문 발표 이후 당시 대부분의 유전학자들은 왓슨과 크릭의 중심 원리에 심취되어 있었다. 하지만 Barbara McClintock은 유전자가 그보다 훨씬 복잡한 메커니즘으로 조절 받을 것이라는 확신을 유지하였다. 그러던 중 Barbara McClintock은 <Table 5>에서 보는 것처럼 1961년 모노와 자코브의 오페론설에 관한 논문을 접하게 된다. 대장균에서 말하는 오페론의 유전자 조절 시스템이 자신이 말한 조절 유전자와 비슷했기 때문이다. 이에 곧바로 ‘옥수수에서, 그리고 세균에서 나타나는 유전자 조절 시스템 사이의 몇 가지 공통점’에 관한 제목으로 논문을 발표했고, 콜드 스프링 하버에서 강연을 하였다. 그러나 모노와 바코브의 이론은 받아 들여졌지만 그녀의 이론에 대해서는 받아들여지지 못하였다. 그 이유는 유전자가 이동할 수 있다는 개념은 유전자들을 물리적으로 염색체 상에 대응시킬 수 있다는 사실에 상반되는 것이었기 때문이다. 대부분의 사람들은 유전자들이 고정된 채 서로 상대적인 위치를 점하고 있다고 생각했다. 그러나 <Table 5>에서 보는 것처럼 1960년대 후반 이후 세균과 효모, 초파리에서 이동이 가능한 유전 인자들의 발견, 세균에서의 삽입서열인자 발견, 다른 생물체에서도 삽입서열이 발견됨에 따라 Barbara McClintock의 전이성 유전인자의 이론이 받아들여지게 된다.

Analysis and discussion of thinking process in Barbara McClintock's study

앞에서 분석한 연구 업적을 바탕으로 기어리 박사의 이론적 가설 모델 고안과정과 모델 검증 과정을 통해 분석하고, 일부 새로운 과정을 추가시켜 분석하였다.

이론적 가설을 고안하기 위해서 가장 먼저 현상에 대한 의문을 가져야 한다. 이를 <Table 6>로 나타내 보았다. <Table 6>에서 보는 바와 같이 “옥수수의 알갱이 중 왜 흰줄을 가진 보라색이나, 보라색 얼룩반점을 가진 알갱이가 생겨날까?”라는 의문생성 과정에서 Barbara McClintock은 경험 귀추적 사고 과정을 함을 알 수 있다. 현상에 대한 관찰을 통해 자신의 의문생성하기 전 <Table 5>에서 본 것처럼

<Table 6> Analysis of Barbara McClintock's Process of Creating Questions

Step 1	Observation of phenomena	• Many kernels of maize have purple, yellow and white colors. • Sometimes a kernel of maize has purple or purple staining spots with long white lines • Colors are inherited irregularly.
Step 2	Representation of experience situations	The color of maize can not be explained as Mendel's law of inheritance.
Step 3	Creating Questions	Why do some of the kernels of maize have purple or purple stain spots with white lines?

멘델의 유전법칙을 알고 있었고, 이러한 유전법칙으로는 옥수수 색깔이 설명되지 못하기에 피아제가 말하는 인지적 부조화 또는 갈등상황에 처하게 된다. 스스로 자신의 기존지식을 가지고 동화되지 못하고 비평형화 상태에 이르게 됨에 따라 이것을 해결하고 싶은 의문점 즉, 조절을 해야 한다는 인식을 갖게 되는 것이다(Cho. et al., 2011).

또한 그 의문 상황을 경험상황 즉, 기존의 인지구조를 조작하면서 기존의 경험을 바탕으로 경험속의 원인(원인설명자)을 찾아가면서 가설설명자를 이끌어 내야 한다(Nam. et al., 2004). 이는 직접적인 조작이 아니라 사고실험, 사고검증이라 할 수 있다. 이를 <Table 7>으로 나타내 보았다. Barbara McClintock의 의문 상황에 대해 가설설명자를 이끌어 내는 과정에서 주목해야 할 점은 가설설명자를 이끌어 내는 과정에서 '아하'라는 통찰을 통해 번뜩 떠올랐던 것은 아니다. 이러한 창의적인 문제 상황을 이끌어 내는 것은 <Table 4>에서 보는 것처럼 1950년 논문이 발표되기 전 까지 무수히 많은 노력과 끊임없는 연구를 통해 이끌어 냈음을 알 수 있다.

즉, 가설설명자를 이끌어 내는 과정을 살펴보면 <Table 7>에서 보는 바와 같이 Barbara McClintock은 서턴, 모건, 에이버리, 그리피스의 영향으로 염색체에 유전물질이 존재한다는 사실을 알고 있었다. 또한 1950년 이전 Barbara McClintock의 연구를 통해 X선에 의한 옥수수 염색체의 전좌(translocation), 역위(inversion), 결실(deletion), 환상 염색체(ring-shaped chromosome) 형성된다는 것과 BFB 사이클이 큰 스케일의 돌연변이의 근원이 됨을 알고 있었다. 이후 자신의 경험 상황을 바

탕으로 원인설명자를 이끌어 내는 과정이다. 1920년대부터 옥수수 알갱이의 점은 색소 합성과 관련된 유전자가 불안정하기 때문으로 생각하였으며 이들 유전자는 알맹이가 자라는 과정에서 돌연변이를 일으켰고 이러한 돌연 변이가 몇 세대를 걸쳐서 유전되면 이 딸세포는 다양한 색깔의 점들을 만들어 낸다고 생각하였다. 이는 잡색의 알갱이를 가진 옥수수의 염색체가 깨진 것이 발견되면서 지지되었다. 뿐만 아니라 BFB 사이클이 큰 스케일의 돌연변이를 일으키기 때문에 옥수수 알갱이가 모자이크가 발생할 것이라는 원인설명자로부터 옥수수 알갱이의 모자이크 패턴과 BFB 사이클 사이에 관련이 있을 것이라는 가설설명자를 이끌어 낸다. 여기에 추가적으로 부모 세대의 옥수수 씨앗 속에서 BFB 과정이 진행되는 패턴에 따라 자식 세대의 옥수수에서 정상과 다른 형질이 쏟아져 나온 것을 관찰함으로써 BFB 패턴이 결과적으로 옥수수 알갱이에 얼룩덜룩한 무늬가 생기게 만든다는 결론을 이끌어 내게 된다. 이후 옥수수 알갱이의 두 구역에서 돌연변이 빈도가 반비례적으로 나타난다는 사실을 발견하면서 세포분열이 일어 날 때 이 줄무늬가 나타나는 빈도를 조절하는 어떤 유전인자가 딸세포에 각기 다르게 분배된다는 원인설명자를 통해 BFB 사이클을 조절하는 조절 인자가 존재 할 것이라는 새로운 이론적 가설을 이끌어 낸다.

여기서 시사하는 바는 우리는 흔히들 과학자들의 창의적 문제해결력에 초점을 맞춰 과학자의 사고과정을 분석하고 학생들에게 과학사를 가르치는데 있어 창의성이라는 생각을 다시 한 번 해 볼 수 있는 기회를 제공한다는 점이다. 창의성이란 '새롭지 않은 새로움'이 아니라 '새로운 새로움'임을 알 수 있

<Table 7> Analysis of Barbara McClintock's theoretical hypothesis model design process

Step 1	A questioning the situation	The color of maize can not be explained by Mendel's law of inheritance. Why does the color of maize show a mosaic phenomenon?
Step 2	Experimental situation	• Knew about the fact that there is genetic material in the chromosome • Research of Macclintok(Translocation, inversion, deletion, and ring-shaped chromosome formation of maize chromosome by X-ray, The BFB cycle is the source of large-scale mutations)
Step 3	Cause descriptor	• The idea is that since the 1920s, the point of maize kernels was thought to be due to the unstable genes associated with pigment synthesis. These genes mutated in the course of the growth of the seedlings, and these mutations were inherited over several generations and were thought to result in various colored spots. This was supported by the discovery that the chromosomes of maize with variegated grains were broken. • The irregular inheritance of maize grain points can not be explained by Mendel's law. • Because the BFB cycle causes a large scale mutation, it is likely that the color of maize kernels will be mosaic.
Step 4	Hypothesis descriptor	There will be a relationship between the mosaic pattern of maize kernels and the BFB cycle.
▼		
Step 5	Hypothesis Verification	According to the pattern of the BFB process in the maize kernels of the parents' generation, normal and other traits were poured out from the corn of the child generation.
Step 6	Draw conclusions	The breakage, fusion, and bridge patterns of the chromosomes result in mottled specks in the maize kernels.
▼		
Step 7	observe	The fact that mutation frequency is inversely proportional in two regions of maize kernels is found
Step 8	Cause descriptor	It is inferred that certain genetic factors that regulate how often these stripes appear when cell division occurs are distributed differently in daughter cells
Step 9	Hypothesis descriptor	There will be regulatory factors that regulate the BFB cycle.

다. 새롭지 않은 새로움이란 우리가 알고는 있었지만 번뜩 생각이 나지 않는 경우를 말한다. 이럴 때는 일반적으로 사용하고 있는 창의적 사고를 이끌어 낼 수 있는 브레인스토밍, SCAMPER 등을 사용하여 학생들로 하여금 자신의 인지구조 속에 고착화 되어있는 지식들을 이끌어 낼 수 있다(Lim, 2016). 하지만 Barbara McClintock의 사고는 이러한 '새롭지 않은 새로움'이 아니라 '새로운 새로움'의 창의적인 사고라 말 할 수 있다. 이러한 사고를 위해서는 '10년의 법칙'이라는 긴 시간을 통해 자신의 전문지식을 쌓아야만 나올 수 있는 창의적인 사고이다. 또한 자신의 전문지식뿐만 아니라 <Table 5>에서 보는 것처럼 선행 연구자들의 연구 업적들을

알고 있어야만 나올 수 있는 사고이다(Lim, 2016). 이런 점에서 '새로운 새로움'의 '가설설명자'를 이끌어 내는 전체 사고과정은 경험 귀추적인 사고과정이라 생각할 수 있다. 하지만 자세히 들여다보면 일부 원인설명자를 이끌어 내는 과정에서 사고실험을 통한 연역적 사고과정이 보인다. '왜'라는 질문에 이유를 이끌어 낼 때 자신만의 가설을 인지구조 속 개념들과 원리를 가지고 문장을 서술하며 이러한 문장은 대안가설이 될 수 있고, 이러한 가설을 해결하기 위한 사고실험을 하는 것에 연역적인 사고과정이라 판단 될 수 있다. 따라서 학생들을 가르칠 때 단순히 이론적인 면만을 알려주고 곧바로 하나의 가설설명자를 이끌어 내기 보다는 여러 대안가

설들을 이끌어 내고 그 대안가설이 옳은지 틀리는지 사고실험을 통해 최적의 가설을 이끌어 낼 수 있도록 지도할 필요성이 있을 것이다.

다음 단계는 Barbara McClintock 자신이 세운 이론적 가설이 옳은지 틀리는지 실험을 통해 검증하는데 이 검증과정 역시 <Table 1>에서 설명한 기어리 박사의 이론적 가설 평가 프로그램을 통해 분석해 볼 수 있다. 이를 <Table 8>으로 나타내 보았다.

<Table 8>에서 보는 바와 같이 Barbara McClintock의 이론적 가설을 기어리 박사의 평가 프로그램으로 분석해 본 결과 가설-연역적 사과과정을 통해 자신의 이론을 이끌어 낼 수 있다. 옥수수의 알갱이 중 왜 흰줄을 가진 보라색이나, 보라색 얼룩반점을 가진 알갱이가 생겨날까? 라는 의문 상황에 대하여 Barbara McClintock은 전이성 유전인자에 의한 색소를 내는 유전자 활성화 조절이라

는 가설을 이끌어 냈고, 이러한 가설을 검증하기 위해 실험을 통해 자료를 수집하였다. 염색체 상에 색소를 나타내는 유전자의 활성을 조절하는 전이 유전인자가 존재 할 것이다. 그리고 전이 유전인자로 인하여 옥수수의 알갱이 색깔이 변할 것이라는 예측과 일치하는 자료를 얻게 되어 자신이 세운 모델이 현실세계와 일치한다는 판단을 내리게 되고, 그에 따라 자신만의 이론을 이끌어 내어 논문을 발표하게 된다.

하지만 여기서 간과하지 말아야 할 것은 논문 한 편에 대한 내용을 통해 Barbara McClintock의 사고를 분석하면 안 된다는 것이다. 논문이 발표된 이후 앞에서 설명한 것처럼 여러 과학자들에게 비난을 받게 된다. 이에 전이 유전인자에 관련하여 추가적인 연구는 진행 하지 않았으나 Barbara McClintock은 자신이 발표한 전이성 유전인자에 대한 생각을 버리지 않았다. 다만 자신의 생각이 받아들여지기까

<Table 8> A program for evaluating Barbara McClintock's theoretical hypotheses

Step 1	Real Word	The grain of maize is observed in mosaic color
Step 2	Model	Regulation of the gene encoding pigment by transgene
Step 3	Prediction	• There will be a transgene that regulates the activity of the 'pigment gene' on the chromosome. • The color of maize will change due to transgene
Step 4	Date	• She investigated chromosomal changes and crossing experiments in maize with various colors, and identified a series of genes that characterize endosperm including pigments in chromosome 9 through phenomenological analysis. • She placed a small piece of chromosome 9 near the pigment gene. As a result, hybrid colors appeared. • This has the effect of inactivating the gene, and furthermore, observing that the chromosome breaks at the position where the gene is inserted • Discovered that Dissociator and Activator can move chromosomal location • Not only does the dissociator dissociate or break the chromosome, but it also affects the neighboring pigment genes when the activator is present.
Step 5	Negative Evidence	No!, The data and the predictions are in agreement, and it is confirmed that the transgene of dissociator and Activator affects the color gene of maize in vitro.
Step 6	Positive evidence	However, even if the model under consideration does not fit adequately with the real world, there is a possibility that the predictions match the data. That is, since the presentation of the DNA structure of Watson and Click, It is a clash between the real world of DNA stability and the transposable element of McClintock.

지 기다리고 또 기다렸고, 모노와 자코브의 오페론 설과 같은 논문을 접했을 때 또 다른 논문의 발표를 통해 자신의 주장을 펼쳤으나 역시 무시당했다. 하지만 Nobel e-library에 기재된 칼럼 자료들을 조사한 바에 의하면 Barbara McClintock은 대장균 내에 박테리오파지의 DNA가 끼어들어갈 수 있다는 것도 이미 밝혀졌고, 세균의 유전자 조절이 일어난다는 것은 인정하면서 왜 진핵 세포에서 유전자 조절이 일어나는 것은 인정 할 수 없냐는 생각을 하며 자신만의 길을 묵묵히 걸어갔다.

과학계에서 Barbara McClintock의 전이성 유전인에 대해 냉소적이었던 가장 큰 이유는 DNA 안정성이라는 과학계의 고정관념 때문이었다. 1953년 왓슨과 크릭의 DNA 구조 발표이후 DNA의 구성 성분 중 하나만 달라져도 심각한 결과가 초래되는 것이 분명한 상황에서 Barbara McClintock 박사가 성분을 조절하기 위해 사용한 유전자가 무책임한 방식으로 건너 뛸 수 있다는 것을 받아들이지 못하였다. 이는 자료와 예측이 일치하더라도 또 다른 DNA 안정성이라는 현실세계에 자신이 세운 모델로서는 설명이 불가능 하였다는 사실을 주목할 필요가 있다. 왓슨과 클릭의 DNA 구조는 1953년 당시 모델로서 충분히 가능성이 있었고, 그 모델은 현실 세계를 대체 할 수 있었다. 결국 왓슨과 클릭의 DNA 구조는 하나의 모델이자 현실세계인 것이다. 그러면 두 가지 이론적 모델사이에서 그 당시 대다수 과학자들에게 영향을 받은 Barbara McClintock의 선택은 어땠을까? 이를 <Table 9>로 나타내 보았다.

<Table 9>에서 보는 바와 같이 Barbara McClintock의 선택은 1953년 이후 대다수의 과학자들에게 올바르지 않은 선택을 하였다고 비난을 받

게 된다. 하지만 칼포퍼의 반증주의처럼 한 번의 반증으로 이론이 사장되는 것이 아니라 라카토슈의 연구프로그램처럼 핵을 보호하는 보호대만 영향을 미친 것이라 생각해 볼 수 있다(Cho et al., 2011). 이러한 반증에 대한 해답을 추후 과학자들의 연구를 통해 찾게 되고, Barbara McClintock의 유전자 전이성이라는 핵을 보호하는 보호대들이 더욱 견고해지게 된다. 앞에서 설명한 것처럼 세균에서의 유전자 이탈, 동물에서의 유전자이동현상, 암 발생 원인도 유전자 이동 때문이라는 과학자들의 연구를 통해서 말이다.

과학적 일화를 통한 이론적 가설모델 검증과정을 보면 모델과 현실 세계의 들어맞음에 관한 가설을 평가하는 일이 예측과 자료가 일치하는가도 중요하지만 간과하지 말아야 할 것은 고려중인 모델이 현실 세계와 적절하게 들어맞지 않더라도 예측이 자료와 일치할 가능성은 존재할 수도 있다는 것이다(Nam et al., 2004). 또한 그렇다고 하더라도 자신이 주장하는 모델이 바로 사장되는 것이 아니라 이 후 자신의 모델을 뒷받침해 줄 수 있는 또 다른 증거들이 추가 발견된다면 그 당시 부정되었다 하더라도 현재는 인정받을 수 있다는 것을 알아야 할 것이다(Cho et al., 2011). 이러한 과학자의 사고과정이 학생들의 탐구과정으로 이어진다면 학생들은 보다 사고의 폭을 넓힐 수 있을 것이고, 21세기에 요구되는 문제해결능력을 기를 수 있을 것이라 판단된다. 따라서 우리는 다양한 과학적 일화들을 분석함으로써 과학자가 어떠한 사고를 바탕으로 자신의 주장을 정당화시키고, 이론을 이끌어 내는지를 알고 학교 현장에서 보다 체계적으로 교수 할 수 있어야만 할 것이다.

<Table 9> A matrix showing Barbara McClintock's choice between 'gene metastasis' and 'gene stability'

	'Gene metastasis' best fits the real world.	'Gene stability' best fits the real world.
'Gene metastasis' best fits the real world.	Correct choice	Incorrect choice
'Gene stability' best fits the real world.	Incorrect choice	Correct choice

Designing a teaching and learning model through analysis of Barbara McClintock's scientific thinking process

Barbara McClintock의 과학적사고 과정과 이론이 받아 들여 지기까지의 전반적인 내용을 요약해보면 <Table 10>과 같다.

<Table 10> Summary of Barbara McClintock's thought process analysis in the history of science

History of science	Thought process
Process of Creating Questions	Empirical Abductive method
Design of theoretical hypothesis model	Empirical Abductive method and Hypothesis-deductive method
Verification of theoretical hypothesis	Hypothesis-deductive method
Collision between theoretical models	Social Negotiation or Consensus

<Table 10>에서 보는 것과 같이 Barbara McClintock의 사고 과정은 경험-귀추적 방법과 가설-연역적 방법을 사용하였으며, 이후 자신의 이론이 받아들여지기 까지 사회적 합의 과정이 있었다. 따라서 교수·학습 모델을 고안할 때는 이러한 사고과정이 고려되어야 할 것이다. <Table 2>, <Table 3>에서 보는 것처럼 전통적인 논리적 추리에 바탕을 둔 논증의 과학적 방법을 적용함과 더불어 사회적 합의 과정을 도입할 필요성이 있으며 사회적 합의 과정을 통해 구성되는 과학지식의 교수·학습 전략으로 Cho et al(2011)은 토론과 역할놀이가 효과적이라고 말하고 있다.

한편 과학사를 이용한 수업에 과학사에서 나타난 과학자들의 모든 수행과정을 그대로 학생들에게 적용 시키는 것은 불가능하기 때문에 과학사에서 나타난 실험 과정을 재현하기 보다는 학생들이 이해하기 쉽게 자료를 변환하여 제공하는 것이 타당하

다고 판단된다(Yang et al., 2006). 또한 과학적 사고과정의 전체를 교수·학습 모델에 적용하기 보다는 적절히 변형시켜 사용할 필요가 있을 것이다. 따라서 과학자들의 문제 인식과 그것을 해결해나가는 사고과정의 일부를 학습할 수 있도록 자료를 재구성하는 것이 가장 중요 할 것이다. 이점을 고려하여 로슨의 가설-연역적 순환학습 모형, 하여 <Table 11>과 같이 교수·학습 모델을 고안하였다.

<Table 11>에서 보는 바와 같이 첫 번째는 자료 제시 단계이다. 교사는 자료 선택에 있어서 학생들의 흥미를 유발할 수 있는 소재를 선택하여 제시하는 것이 좋을 것이며 무엇보다도 본 차시에서 가르치고자 하는 내용과 부합하고, 적절한 의문을 생성할 수 있는 소재를 선택하는 것이 중요할 것이다. 이에 ‘전이성 유전인자’에 대한 개념을 가르치기 위해서는 색깔이 다른 옥수수를 선택할 수 있으며 이 소재를 제시함으로써 학생들로 하여금 옥수수의 색깔이 왜 다른지 궁금증을 유발 할 수 있을 것이다. 이 단계에서는 관찰과 같은 기초탐구능력 뿐만 아니라 문제인식이라는 통합적 탐구능력을 기를 수 있을 것이다.

두 번째로 이러한 학생들의 궁금증을 해결할 수 있도록 자료를 제시할 필요가 있으며, 이 단계에서는 학생들이 예전에 경험했을 법한 상황들을 제시하여 학생들의 과거 경험을 이끌어 내며 과거 경험으로 이 문제를 해결 할 수 있는지를 판단 할 수 있도록 지도한다. 이에 옥수수의 색깔이 왜 모자이크가 발생하는지에 대한 문제 해결 자료로서 검정색 강아지와 하얀색 강아지를 보여주고 나온 새끼의 털 색깔은 어떻게 될지 생각해 보게 한다. 만약 멘델 유전에 대해 알고 있다면 답을 맞힐 수 있지만 알고 있지 않았을 경우 간단히 멘델 유전에 대한 소개로 옥수수의 색깔의 모자이크를 설명할 수 없음을 알도록 한다. 이 때 학생들은 피아제가 말하는 인지적 비평형화 상태에 도달하게 될 것이다 (Cho et al., 2011). 하지만 이 단계를 통해 학생들은 과학자들의 경험-귀추적 사고 방법을 익힐 수 있다.

세 번째로 과학사에서 나온 실험 자료를 재구성하여 학생들에게 제시 하고 학생들이 실험 자료를 해석함을 통해 자연스럽게 결론을 도출 할 수 있도록 지도한다. 만약 이 때 학생들이 실험 자료에 대

<Table 11> Design of teaching-learning model through the analysis of Barbara McClintock's thought process

Step	Process of design	Description of process
Presentation of data	Creating questioning points through data	• Present a questionable object and think about why • Write down your questions
	Presentation of Cognitive non-equilibrium data	• Present data that can lead to past experiences. • This data can not solve the problem
	Presentation of good data	• Provide data to solve problems • This data is the history of science you want to teach. • This data includes only the experiments of scientists. • Students read the data and ask questions to the teacher.
	Conclusion through data interpretation	• Students interpret the data and know what the scientist claims to be. • Write down what you understand.
Involvement of teacher	Introduction of scientific concept	• The teacher confirms that the students have solved the problem. • If students have the wrong concept, introduce the scientific concept.
Present data with different positions	Introduction of data with different positions	• The student sees the data presented by the teacher and thinks about the different positions. • Write down what conclusions you will make.
Discussion	Discuss conflicting opinions	• Teachers provide students with opportunities to speak about their thoughts. • Students listen to the opinions of other students.
Involvement of teacher	Assessing content for discussion	• The teacher replenishes the deficiencies in the discussion process.

해 궁금한 점이 있다면 질문을 하도록 안내한다. 이에 Barbara McClintock의 실험에 대한 내용을 그림과 글로써 정리하여 제시할 수 있다.

네 번째로 이러한 자료를 해석하여 결론을 도출해보며 자신이 이해한 내용에 대해 적어 볼 수 있는 기회를 제공한다. 또한 자신이 이해한 내용을 통해 문제를 해결 할 수 있을지 생각하여 적어볼 수 있게 한다. 이로서 세 번째, 네 번째 단계를 통해 학생들은 자료해석과 결론도출이라는 통합적 탐구 능력과 문제해결능력을 기를 수 있으며, 직접적인 실험이 아니더라도 자신이 머릿속으로 잠정적으로 세운 가설에 대해 검증해 볼 수 있는 기회를 접할 수 있을 것이다.

다섯 번째로 교사는 순회하면서 잘못된 개념이 있는지를 확인하며, 이후 과학적 개념을 도입하여 학생들이 올바른 지식을 갖도록 지도 한다.

여섯 번째로는 자신이 주장하는 내용과 상반되는 이론에 대해 소개하며 그에 학생들이 어떻게 생각

할 수 있을지 고민해 볼 수 있는 시간을 갖도록 지도한다. 예를 들어 ‘전이성 유전인자’에 대한 개념과 대조적으로 과학사에서 나온 것처럼 DNA 구조의 안정성문제에 대해 생각해 볼 수 있는 기회를 제공하는 것이 좋을 것이다.

일곱 번째로는 토론 단계로서 서로 상반되는 입장의 자료를 통해 학생들이 자신의 의견을 이끌어 낼 수 있도록 지도한다.

여덟 번째는 최종적으로 교사는 서로 다른 입장 이지만 지식의 옳고 그름이 당시 시대의 사회적인 합의를 통해 이루어짐을 알 수 있도록 지도한다.

이렇듯 총 5단계에서 중 자료제시단계를 세분화하여 4단계로 나누었으며 자료제시단계에서는 학생들이 자연스럽게 경험-귀추적 사고와 가설-연역적 사고를 익힐 수 있게 구성하였고, 이 후 단계에서는 과학지식이 사회적 합의를 통해 만들어진다는 것을 배울 수 있도록 구성하였다.

로슨의 순환학습이나 탐구학습모형 등과 같은 기

존의 수업모델과의 가장 큰 차별성은 문제인식단계 이후 학생 혼자 스스로 문제 해결을 위한 가설을 만드는 것이 아니라 교사가 제시한 자료를 해석해 봄으로써 머릿속으로 여러 가지의 잠정적인 가설을 만들 수 있고, 직접적인 실험이 아닌 과학자들의 연구 자료를 통해 가설을 스스로 검증받을 수 있다. 또한 자료해석을 통해 얻은 결론들이 학생들마다 개인차가 존재하기 때문에 서로 다를 수 있다. 이에 교사가 개입하여 올바른 결론을 도출할 수 있도록 도움을 주고, 잘못된 개념을 사용하였다면 과학적 개념을 도입할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. 다음으로는 자신이 도출한 결론과 상반되는 이론을 소개함으로써 도출한 결론이 항상 옳다는 잘못된 판단을 하지 않도록 기회를 제공한다는 점에서 차별성이 있다고 할 수 있다.

Conclusions and Implications

과학사에 나타난 과학자들의 탐구과정을 분석하여, 과학교육에 도입함으로써 어려운 원리의 이해에 도움이 되며, 과학사는 개념에 대한 이해뿐만 아니라, 과학적 방법을 더 잘 이해하도록 촉진하고, 과학사적 접근은 학생의 사고 발달을 과학적 아이디어의 발달과 연결시켜 주기 때문에 중요하다고 할 수 있다(Matthews, 1994; Dong, 2002; Kim et al. 2011) 이에 실제 노벨생리의학상 수상자인 Barbara McClintock의 과학적 사고과정을 분석하여 학교현장에서 어떻게 적용시킬지 논의 할 필요성을 느꼈다. Barbara McClintock의 연구는 세포마다 유전자가 다를 수 있다는 점을 시사해주기 때문에 매우 중요한 학습 자료로서 활용 될 수 있다. 하지만 너무 어려운 개념으로 인해 학생들이 이해하기 어렵고 그것을 실제 실험을 통해 확인 할 수 없기 때문에 과학사를 통한 학습이 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 더불어 DNA의 구조 안정성이라는 개념과 대조적인 유전자 전이성의 개념을 설명하기에 적절한 교수·학습 자료이다. 왓슨과 클릭의 자료나 Barbara McClintock의 자료를 학생들이 이해하기 쉽게 고안한 수업모델에 맞춰 자료를 변형하여 사용한다면 보다 효과적인 학습이 이루어 질 수 있을

것이라 기대 된다. 또한 구성주의에 입각하여 현재에는 과학자들의 논리적 사고도 중요하지만 사회적 합의를 통해 이론이 생성됨을 알 수 있게 하는 것도 중요하기에 토론을 통한 역할놀이 교수학습방법을 사용하여 익힐 수 있도록 하였다. 따라서 과학사는 과학자의 논리적 사고과정 뿐만 아니라 즉, 개인적인 인지구조의 변화뿐만 아니라 사회적 합의를 통해 과학지식이 생성된다는 것을 알려주는 중요한 자료라 할 수 있을 것이다. 무엇보다도 과학자들이 연구할 때 사용하는 과학적 사고과정을 필히 담을 필요성이 있으며, 그 사고과정에 맞춰 개발 고안된 모델을 사용함에 따라 학생들의 사고과정을 보다 한층 업그레이드 시킬 수 있을 것이라 기대된다. Barbara McClintock의 과학사에서 나타난 사고과정을 분석하여 개발된 교수·학습 모델을 과학사를 이용한 모든 수업에 적용하기에는 여러 제약점이 있겠지만 앞에서 말한 것처럼 과학자의 사고과정과 과학지식의 생성과정을 학생들이 배울 수 있다는 점이 좋다고 할 수 있다.

References

- Braben, D. (1994). To be a scientist Oxford: Oxford University Press.
- Cho, H. Y., Kim, H. K., Yun, K. S., Lee, K. Y. (2011). <The fourth edition> The theory and practice of science education, Gyeonggi : history of education science.
- Choi, K. H., Kwon, Y. J., Nam, J. H., Lee, K. Y., Lee, H. N. (2013). Science Education from Accident to Learning, Seoul: Buxhill.
- Dong, H. K. (2002). The Effects of Teaching Program Based on the Characteristics of the Gifted-in-Science on Conceptual Change of Genetics and Creativity. Korea National University of Education, Chungbuk.
- Gardner, H. (1998). Creative live and creative works; A synthetic scientific approach. In R. F. Sternberg(Ed.), The nature of creativity. pp. 298-321. New York: Cambridge University Press.
- Gardner, H. (1993). The creating minds. New York: Basic.
- Giere, R. N. (1997). Understanding Scientific Reasoning: Harcourt Brace College Publishers.
- Keynes, D. R. (1997). Steps on the path to the origin

- of species. *Journal of Theoretical Biology*, 187, 461-471.
- Kim, E. H., Lee, M. S., Lee, K. J. (2009). Analysis of Genetic Concepts in 7th Curriculum and Textbook Based on Conceptual Framework of Science History. *Biology Education*, 37(3). 403-417.
- Kim, M. H., Kang, S. J., & Lee, K. J. (2011). The Development and Application of Heredity Teaching- Learning Program Visualized Scientific Reasoning Process of Scientists for Gifted-in Science Students. *Biology Education*, 39(1), 31-35
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12, 1-55.
- Klahr, D., & Simon, H. (1999). Studies of scientific discovery: Complementary approaches and convergent findings. *Psychological Bulletin*, 125, 524-543.
- Kwon, S. G., Song, J. W., Park, J. W. (2014). *Science Education: The Role of Science History and Science Philosophy*, Seoul: Busseoul.
- Lim, U. (2016). *Two kind of nobelty : Understanding two processes for creativity*, Seoul: Hakjisa
- McClintock, B. (1950). The origin and behavior of mutable loci in maize. *Proc Natl Acad Sci USA*., 36(6), 344-355.
- Nam, H., Lee, Y. U. Yeo, Y. S. (2004). *Academic logic: Understanding scientific reasoning*. Seoul: Gandhi Seowon.
- Nobel e-library. Nobel story Barbara McClintock column : Barbara McClintock, female scientist with maize & Transposable Element Discovery . <http://www.nobel.or.kr>.
- Wandersee, J. H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate student's misconception. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7). 581-597.
- Yang, I. H., Hur, M., Oh, C. H., Hwang, S. Y., Jeong, J. S., Kwon, Y. J. (2006). Analysis of Darwin's Thinking as Presented in the Charles Darwin's Autobiography. *Biology Education*, 34(1). 34(1), 53-71.
- Yoo, Y. S., Kwon, O. S., Han, S. G. (2014). *I present you the Nobel Prize: Physiology Prize*, Seoul: Sea Publisher.