

과학 교수 모형의 특징과 적용에 대한 이론적 고찰

조희형* · 김희경 · 윤희숙 · 이기영
강원대학교

The Theoretical Review of the Feature and Application of Science Teaching Models

Cho, Hee-hyung* · Kim, Hee-kyung · Yoon, Heesook · Lee, Ki-young
Kangwon National University

Abstract: The purpose of the study was to suggest the characteristics and goals of the science teaching model for use as criteria in selecting the appropriate teaching model for science in secondary schools. These characteristics and the goals have been organized based on the analyses of the literature on the teaching and/or instructional model. The teaching models have been classified into four areas, and the characteristics and goals of each area have been summarized as follows:

- Traditional models: teaching of scientific knowledge through lectures, acquisition of scientific knowledge through discovery, acquisition of inquiry process skills through inquiry-based teaching/learning
- Transitional models: demonstration and discovery as teaching strategies, acquisition of inquiry process skills through inquiry approach, acquisition and change of scientific knowledge
- Modernistic model
 - conceptual change models: differentiation of scientific knowledge, exchange of misconceptions for scientific concepts
 - learning cycle models: conceptual differentiation, exchange of misconceptions, acquisition of science process skills

Also described in this paper are the model's characteristics and goals that can be used as the criteria for selecting the appropriate teaching model for the subject that will be taught.

Key words: teaching model, conceptual change model, learning cycle model

I. 서 론

학습(learning)은 교수(teaching) 또는 수업(instruction)과 밀접한 관계를 맺고 있다. 과학 학습은 학생이 과학지식을 배워 획득하거나 과학적 탐구 과정을 익혀 습득하는 과정과 활동이지만, 수업과 교수는 교사·학부모 등이 그러한 학습을 도와주는 일이다. 이런 관계와 기능 때문에, 과학의 학습에 가장 직접적인 영향을 미치는 요소는 과학 수업 또는 교수이다(Bruner, 1968). 그러므로 과학 학습을 효과적으로 수행하기 위해서는 학습 내용과 목적에 적절한 수업 모형(model) 또는 교수 모형을 적용해야 한다.

일반적으로 수업은 각급 학교의 교실에서 이루어지지만, 교수는 학교 밖에서도 이루어진다. 또한 교수 모형은 수업에서 교사의 역할을 기술하고, 수업 계획과 자료 개발의 지침을 제공하며(Joyce, Weil, & Calhoun, 2009), 학생의 학습에 유용하게 설계되어 있을 뿐만 아니라 특정 목적을 달성하게 하는 일련의 명제로 구성되어 있다(Hassard & Dias, 2009). 그런 특성 때문에, 실제의 과학 학습에는 수업 모형보다 교수 모형이 더 실용적이다. 그러므로 이 논문에서는 수업 모형도 교수 모형에 포함시켜 교수 모형으로 기술하였다.

과학 교수-학습 현장에는 다양한 교수 이론과 모형이 제시되어 있는데, 모두 나름의 적절한 주제를 선정

*교신저자: 조희형(heehcho@kangwon.ac.kr)

**2009.11.26(접수) 2010.04.14(1심통과) 2010.06.17(2심통과) 2010.06.25(3심통과) 2010.06.28(최종통과)

하고, 선정된 주제의 교수-학습에 합당한 과정과 절차를 제시한다. 이런 형성 과정의 특성 때문에, 과학 교수-학습 현장에서는 과거에 제시되었던 교수 이론과 모형이 지금도 거론되거나 적용되고 있다(Eggen & Kauchack, 2006). 그러나 대부분의 교수 이론과 모형이 부분적으로나마 처음 제시된 때와 다른 의미로 해석되거나 본래의 의도와 달리 적용되는 경우도 관찰된다. 그런 현상이 나타나는 원인이 기본적으로는 과학철학 또는 심리철학 및 학습이론의 발달에 따른 교수 이론과 모형에 대한 인식의 변화에 있겠지만, 적절하지 않은 주제를 선정해 적용한 데에도 있다.

이 연구는 과학 교수-학습 현장에서 실제로 교수할 주제와 내용 그리고 그 목표에 적절한 교수 모형을 적용할 때 참고할 이론적 준거를 제시하고자 수행하였다. 이 목적을 달성하기 위해 중·고등학교 과학 교수-학습 현장에서 적용하고 있는 과학 교수 모형의 이론적 배경과 그 특성에 관한 문헌을 분석하였다. 문헌분석 결과를 바탕으로 각 모형을 이론적 배경의 시대적 순서에 따라 분류하여 이론적 배경과 출처를 제시하였다. 또한 교수의 내용과 목적에 적절한 교수 모형을 적용할 때 준거로 활용할 수 있도록 교수 모형의 특성과 목적을 요약하여 기술하였다.

II. 과학 교수 모형의 이론적 배경 및 출처와 절차

이 논문에서는 지금까지 제시된 과학 교수 모형들 각 모형의 이론적 배경의 시기에 따라 전통적 모형, 과도기적 모형, 현대적 모형으로 나누었다. 전통적 모형은 이론적 배경으로 과학지식을 절대적 진리로 보고, 관찰의 객관성을 지지하며, 전통적 심리철학과 학습이론으로서 행동주의를 배경으로 하는 모형이다. 현대적 모형은 사회적 구성주의 또는 급진적 구성주의를 이론적 배경으로 하는 모형이며, 과도기적 모형은 전통적 과학철학·심리철학·심리학뿐만 아니라 구성주의에도 이론적 배경을 두고 있는 것이다.

현대적 모형은 개념변화 모형과 순환학습 모형으로 나누어 제시하였다. 여기에서 순환학습 모형은 좁은 의미의 순환학습뿐만 아니라 유사한 형태의 여러 단계로 구성된 교수 모형(4E, 5E, 7E 등)을 통틀어 의미한다. 현대적 모형을 두 가지로 구분하여 제시하는 이유는 개념변화 모형은 순전히 과학지식의 변화에,

순환학습 모형은 개념변화와 과학적 탐구 과정 기능의 습득에 목적을 두기 때문이다.

엄밀히 말하면 순환학습 모형은 여러 시대를 거치면서 그 형태가 발전하였고, 그 과정에서 모형이 제안된 시대에 맞는 과학철학과 심리철학을 반영하여 왔기 때문에 어느 한 시기로 국한시킬 수 없다. 따라서 각 모형을 시기별로 분리하여 제시할 수도 있겠으나, 유사한 형태로서 묶어서 제시하는 것이 모형의 절차나 특징을 나타내기에는 효과적이라고 판단하여 현대적 모형에 포함시켜 제시하였다.

현대의 과학교육 현장에서는 과학 교수 모형으로 STS 모형을 포함한 과학의 본성 교수 모형들이 받아들여지고 있다. 그러나 이 논문에서는 수업의 과정과 방법을 구체적으로 설명하는 교수 모형의 특징에 초점을 두고자 하였다. 따라서 교수의 내용과 소재 등을 포함한 폭넓은 의미의 접근법으로 사용되는 STS 모형은 포함하지 않았다.

1. 전통적 과학 교수 모형

전통적 과학철학은 절대적 진리로서의 과학지식과 관찰의 객관성을 지지하며, 전통적 심리철학 또는 학습이론으로서의 행동주의는 실증주의를 받아들여 심리학의 자연과학화를 강조한다(Hergenhahn & Olson, 2005). 중·고등학교의 과학 교수-학습은 대개 이런 전통적 과학철학과 심리철학에 바탕을 두어 개발된 전통적 과학 교수 모형에 따라 이루어져 왔다. <표 1>에는 이 연구에서 분석한 전통적 과학 교수 모형의 종류와 이론적 배경, 그리고 교수의 방법과 절차가 요약되어 있다. 과학교육학에서는 1950-60년대의 학문중심 교육사상과 그 이전의 진보주의 교육사상을 전통적 교육사상으로 받아들이고 있는데(Anderson, 2007), 이 논문에서도 학문중심 교육사상에 따른 발견(discovery) 모형과 탐구(inquiry) 모형을 전통적 과학 교수 모형에 포함시켜 기술한다.

I/V/P 모형은 개념확인-개념증명-개념응용의 세 단계로 구성된 전통적 개념 교수 모형과 탐색(exploration)-개념창안(invention)-개념응용(application) 절차로 구성된 이른바 탐구기반(inquiry-based) 순환학습 모형의 근간이 되었다(Abraham, 1992). <표 1>에 제시된 정보-증명-응용 모형은 완전학습(mastery learning) 모형의 원형이다(Cosgrove & Osborne,

표 1
전통적 과학 교수 모형과 그에 따른 과학 교수 방법과 절차

과학 교수 모형	출처 또는 이론적 배경	과학 교수의 방법과 절차
I/V/P 탐색-창안-응용	Abraham (1992)	학습할 정보의 제시(informing) → 관련 개념의 증명(verify) → 새로운 정보로 질문에 답하고 문제를 해결하는 실행(practice)
정보-증명-응용	Cosgrove & Osborne (1985)	정보(학습할 내용)의 제공 → 관찰을 통한 정보의 증명 → 증명된 정보의 다른 상황에 응용
경험-해석-정교화	Renner (1982)	학습할 내용의 경험 제공 → 경험 관련 용어와 현상의 해석 → 새로운 정보와 기존의 정보 융합
귀납적 수업 또는 발견 수업	경험주의; Dewey; Bruner (1960);	Dewey: 반성적 사고를 통한 생활의 문제 해결 Bruner: 관찰을 통한 새로운 사실의 발견 및 귀납적 일반화를 통한 규칙의 발견
연역적 수업	연역적 추리 또는 가설-연역적 추리(Chiappetta & Koballa, 2010)	개념이나 원리의 정의 → 적절한 용어를 이용한 정보의 해석 → 새로운 개념의 예시 및 확인의 절차에 따른 전통적 강의/실험 절차
탐구 수업	실증주의; Schwab (1966)	문제인식 → 가설설정 → 실험설계(변인통제) → 자료수집·분석 → 결론도출
문제해결 (problem-solving)	실용주의와 진보주의; 실증주의	문제진술 → 가설설정 → 실험설계 → 자료수집·분석 → 결론도출

1985). Renner(1982)는 전통적 교수-학습 과정이 실제로는 말하기(telling)-입증하기(confirming)-실천하기(practicing)와 같은 절차에 따라 이루어지고 있다고 가정하고, 정보-증명-응용의 완전학습 모형을 경험-해석-정교화의 과학 교수 모형으로 수정하여 제시했다.

과학 교수-학습 모형으로서의 발견 모형, 탐구 모형, 문제해결 모형은 공통적 특성도 지니고 있지만, 각 이론적 배경이 다르고 그에 따라 서로 다른 점이 더 많다. 발견 모형은 고전적(classical) 경험주의와 귀납적 방법론에, 탐구 모형은 전통적 경험주의의 느슨한 인식론적 입장을 받아들인 논리경험주의(logical empiricism)(Bybee, Powell, & Trowbridge, 2008)에 이론적 배경이 있다. 문제해결 모형은 실증주의 및 실증주의를 수용한 실용주의와 그에 바탕을 두어 형성된 진보주의에 주된 이론적 배경이 있으며, 과학적 방법, 과학적 사고, 비판적 사고, 탐구 과정 및 기능 등이 주요 골격을 이룬다(Hassard & Dias, 2009). 세 교수 모형의 차이는 문제에 대한 해석에도 있다. 발견 모형과 탐구 모형에 따른 수업에서는 주로 학문적 문제를 다루지만, 문제해결 모형의 문제에는 학문적 문제 이외에 반드시 정답이 있는(Pavitt & Curtis, 1994) 실생활 문제 또는 과학 관련 사회적 문

제도 포함된다. 또한 발견 과정과 탐구 과정은 주로 논리적 추리 절차를 따르지만, 문제해결 과정은 논리적 추리뿐만 아니라 실험과 조사의 절차도 따른다. 이 밖에 탐구 모형은 관찰·측정·추리·예상 등 탐구 과정의 개별적 요소에 대한 수업을 지칭하기도 한다.

중·고등학교 과학 교수-학습 현장에는 전통적 교수 모형에 따라 귀납적(inductive) 수업, 연역적(deductive) 수업, 탐구적 수업, 귀추적(abductive) 수업 등이 이루어지고 있다. 귀납적 수업은 관찰이나 조사를 통해 자연세계에서 과학적 사실(fact)을 발견하고, 그런 사실을 근거로 한 귀납적 일반화를 통해 과학적 법칙(law) 또는 규칙(regularity)을 도출하기 위해 수행되는 탐색적(exploratory) 수업을 말한다. 연역적 수업은 교실에서 공부한 내용을 관찰·측정·실험 등을 통해 확인하는 설명적(또는 해설적)(expository) 수업을 일컫는다. 과학교육학에서는 탐구적 수업을 기본적으로 가설-연역적 추리 과정을 따르는 수업이라고 한다. 그리고 귀추적 수업은 가설-연역적 추리의 한 유형인 귀추적 추리, 즉 결과를 보고 원인을 연역적으로 도출하는 과정을 통해서 수행된다.

2. 과도기적 과학 교수 모형

전통적 과학 교수 모형과 마찬가지로 과도기적 과학 교수 모형도 과학지식의 획득뿐만 아니라 과학적 탐구 기능의 습득에도 그 목적을 두고 있다. 과도기적 과학 교수 모형은 모두 전통적 과학철학 · 심리철학 · 심리학뿐만 아니라 사회적 구성주의 또는 급진적 구성주의에도 이론적 배경을 두고 있다. <표 2>에 기술되어 있는 생성학습 모형은 정보처리설과 언어학습설에(Freyberg & Osborne, 1985; Osborne & Wittrock, 1983; Wittrock, 1974), 애초에 제시된 POE 모형은 전통적 행동주의 심리철학 · 학습이론과

인지론에(White, 1988), 그리고 문제기반학습 모형은 구성주의, Dewey와 Kilpatrick의 과제법(project), Bruner의 발견학습 등에(Arends, 2009) 이론적 바탕을 두고 있다.

<표 2>의 생성학습 모형에서는 먼저 교사가 자신의 과학지식을 생각하고 과학자의 과학지식과 비교한다(Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007). Wittrock(1974)은 감각적 정보에 대한 의미의 구성 또는 생성(generation)을 학습으로 생각하고, 이해로서의 학습의 과정을 설명하기 위해 생성학습(generative learning) 모형의 원형을 제안하였다. Wittrock(1985)은 이어 학습자라면 누구나 선행지식과 일치하

표 2
과도기적 과학 교수 모형과 그에 따른 과학 교수 방법 및 절차

과학 교수 모형	출처 또는 이론적 배경	과학 교수의 방법 및 절차
생성학습	Wittrock (1974); Osborne & Wittrock (1983); Cosgrove & Osborne (1985) 의 정보처리설	<ul style="list-style-type: none"> • 예비(preliminary) 단계: 교사가 과학자의 지식과 자신의 지식을 생각하고, 학생의 견해를 확인한다. • 초점(focus): 특정 현상에 학생의 관심을 끌어들이고, 관련 용어의 의미를 생각하게 한다. • 도전(challenge): 학생이 자신의 견해를 표현하고, 다른 학생들의 생각을 들은 다음 각자의 견해에 관하여 토의한다. • 응용: 학습된 과학적 개념으로 문제를 해결하거나 모순을 해소한다.
DOE	Champagne, Klopfer, & Anderson (1980) Champagne, Gunstone, & Klopfer (1985)	<ul style="list-style-type: none"> • 시범(demonstrate): 간단한 물리적 도구와 조작 방법을 기술한다. • 관찰(observe): 학생이 시범 결과를 예상하고, 예상에 이용한 정보를 보고한다. • 설명(explain): 시범을 관찰하여 기술하고, 관찰 결과와 예상 사이의 모순에 관해 토의한다.
POE 또는 변형	고전적/조작적 조건화, 정보처리설, Piaget, Gagne (White, 1988); 구성주의; DOE 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 예상(P): 제시된 사건 · 현상의 결과를 예상하고, 그렇게 예상한 이유를 설명하거나 정당화한다. • 관찰(O): 관찰한 것을 상세하게 기술한다. • 설명(E): 예상한 것과 실제로 관찰한 것 사이의 모순되는 것이나 상충되는 것에 관하여 토의한다.
PEOE	Ebenezer & Haggerty (1999)	<ul style="list-style-type: none"> • 현상 소개: 장치를 보여주면서 구체적인 상황과 조건을 간단하게 진술한다. • 예상(P): 일어날 현상을 예상하게 한다. • 설명(E): 그렇게 예상한 이유를 설명한다. • 관찰(O): 장치를 조작하면서 일어나는 현상을 관찰하고 그 결과를 기록한다. • 설명(E): 현상이 일어난 원인을 설명한다.
OPE	White & Gunstone (1992)	역사적 사실이나 과거의 기록과 같이 직접 관찰하지 않은 간접적 자료를 이용한 탐구 중심의 수업에 특히 효과적인 교수 모형이다.
문제기반학습 (PBL)	Dewey의 반성적 사고와 Kilpatrick의 문제지향 과제법(구안법); 인지론(cognitivism); Piaget와 Vygotsky의 구성주의; Bruner의 발견학습; 탐구기반 학습; Arends (2009); Herr (2008)	<ul style="list-style-type: none"> • 문제에 유도: 목표를 진술한다. • 모듈 구성: 소규모 협동학습 모듈을 구성하고, 역할과 책임을 정한다. • 모듈 조사: 모듈별로 문제와 목표를 정하고, 조사하여 자료를 수집 · 분석하고, 결론을 도출한다. • 인위적 산물 개발 및 제시: 문제를 해결한 결과를 제시한다. • 문제해결 과정 분석 및 평가: 문제를 해결한 과정과 결과를 평가한다.

는 의미와 지각을 생성한다는 가정을 전제로 생성학습 모형을 더욱 세부적이고 실용적인 모형으로 발전시켰다. 그가 최종적으로 발전시켜 구성한 생성학습 모형에서 학습으로 정의하는 구성 또는 생성은 기존 인지구조와 자극의 사이, 또는 선행지식과 학습 내용 사이의 일치 여부와 정도에 따라 인지구조의 동화나 조절로 받아들여진다. 생성학습 모형에서는 학생들의 선행지식이 학습에서 하는 기능과 아울러 다음과 같은 전제들이 특히 중요시된다(Cosgrove & Osborne, 1985).

- 교사는 교수-학습 주제에 관한 과학자와 학생의 개념뿐만 아니라 자신의 견해도 이해한다.
- 학생들에게 (가능한 한 일상적인 실제의) 개념 상황을 탐색할 기회가 주어진다.
- 학생들이 수업의 초기 단계에서 자신의 견해를 명료화한 다음, 다른 학생과 자기 견해의 특성·차이·장단점 등에 관해 토의한다.

POE(prediction-observation-explanation) 모형의 구성에 직접적 영향을 미친 이론적 배경은 학생들의 선행지식을 분석할 때 적용한 시범-관찰-설명(demonstrate-observe-explain; DOE) 모형(Champagne, Klopfer, & Anderson, 1980)이다(White, 1988). POE 모형은 탐구적 수업 모형의 한 유형으로서(Hassard & Dias, 2009) 그 절차가 시범 실험 절차와 대개 비슷하며, 그렇기 때문에 학생이 실시하는 학생중심의 시범실험에 특히 효과적이다(Treagust, 2007). POE 모형은 이밖에 개념에 대한 학생들의 깊은 이해의 점검에도 유용하며, 인지구조의 발달과 선행지식의 변화에 목표를 둔 수업에도 실용적이다. 과학 교수-학습 현장에서는 그런 이유로 POE 모형을 개념변화 모형의 한 유형으로 인식하기도 하며, 교수의 주제나 내용에 따라 단계나 절차와 방법이 서로 다른 PEOE 모형(Ebenezer & Haggerty, 1999)과 OPE 모형(White & Gunstone, 1992)으로 변형해 적용하고 있다.

문제기반학습(problem-based learning; PBL) 모형의 이론적 배경은 기본적으로 인지심리학에 있으나 그보다 더 직접적인 배경은 Dewey의 목적지향적(purpose-oriented) 과제법과 탐구기반 학습론에 있다(Hill & Smith, 2005). 문제기반학습 모형은 합목적적(purposeful) 수업 모형으로서 실생활 문제와 사

회적 논쟁거리(issues)를 교수-학습 문제로 활용하며(Alexander & Winne, 2006), 그 모형에 따른 교수에는 소규모 협동학습 모형이 효과적이다(Arends, 2009). 문제기반학습은 개방적 질문의 답을 찾는 탐구학습의 한 유형으로서(Herr, 2008), 과학적 방법을 적용하는 과제기반학습(project-based learning)뿐만 아니라 학문적 탐구에 목적을 둔 이론학습(theoretical learning)과도 뚜렷하게 구분된다(Bereiter & Scardamalia, 2006).

3. 현대적 과학 교수 모형

이 절에서는 현대의 과학철학과 심리철학 및 심리학에 바탕을 둔 과학 교수 모형을 기술한다. 순환학습 모형은 전통적 과학철학과 심리학에도 이론적 배경을 두었으나 기본적으로는 현대의 과학철학과 심리학에 이론적 배경이 있기 때문에 이 논문에서는 현대적 모형으로 규정하고 이 절에서 개념변화 모형과 함께 다룬다.

1) 개념변화 모형

개념변화 모형은 현대의 과학철학으로서의 사회적 구성주의 및 현대의 심리철학으로서의 급진적 구성주의에 이론적 배경이 있으며(Abell & Lederman, 2007), 개념분화(conceptual differentiation) 모형과 개념교환 모형으로 구분된다. 개념분화 모형은 개념발달(conceptual development) 모형(West & Pines, 1985)으로 일컬어지기도 한다. 한편 개념변화 모형은 대부분 개념교환 모형(Chiappetta & Koballa, 2010; Gallagher, 2007; Settlage & Southerland, 2007; West & Pines, 1985)만을 지칭하지만, 때때로 개념발달(Gunter, Estes, & Mintz, 2007; Hashweh, 1986) 모형 또는 인지발달(Abell & Lederman, 2007; Karplus, 1977) 모형을 일컫기도 한다. 또한 일부의 과학교육학자들(Hassard & Dias, 2009; Martin, Sexton, & Franklin, 2009)은 선행지식의 발달과 변화에 목적을 둔 순환학습 모형을 개념변화 모형에 포함시킨다. 이 논문에서는 개념발달 모형과 인지발달 모형을 개념변화 모형에 포함시키고, 그런 개념변화 모형의 출처 및 이론적 배경과 그에 따른 과학 교수 방법 및 절차를 <표 3>과 같이 구분하여 기술한다.

〈표 3〉에 기술된 개념분화는 선행개념의 범위와 수준이 확장되고 심화되는 과정을, 개념교환은 학생들의 오개념(misconception)이 과학자의 개념 또는 과학적 개념으로 대체되는 과정을 나타낸다. 과학적 방법을 기반으로 개발된 발견 모형이나 탐구 모형과 달리, 개념변화 모형은 학생들이 과학지식을 학습하는 방법과 과정에 관한 연구의 결과에 기원을 두고 있다(Settlage & Southerland, 2007). 한편 과학지식이 발달하는 과정은 능가적 모형, 진화적 모형, 격변적 모형으로 설명되는데(조희형 등, 2009), 개념분화 모형은 진화적 모형에 그리고 개념교환 모형은 격변적 모형에 이론적 배경을 두고 있다. 능가적 모형은 귀납적 학습 과정 또는 발견법과 그 과정을 나타내는 개념

형성 모형의 이론적 배경이 된다.

Nussbaum과 Novick(1982)의 모형은 선행지식을 분화하거나 선행지식이 과학적 개념과 상충되는 경우 과학적 개념으로 또는 과학적 개념과 비슷하게 수정하기 위한 수업에 효과적이다. 한편 Carey(1985)는 지능발달 단계가 실재하지 않는다고 주장함으로써 피아제의 지능발달 이론을 부정하고, 개념변화 모형으로 초심자-전문가 변화(novice-expert shift) 모형을 제시한다. Carey에 따르면, 초심자-전문가 변화로서의 개념변화는 새로운 사실·규칙·법칙 등의 누적(accumulation)과 재구성(restructuring)으로 나뉘고, 재구성은 다시 약한(weaker sense) 재구성과 강한(stronger sense) 재구성으로 나뉜다. 약한 재구

표 3
개념변화 모형의 종류와 교수 절차

구분	교수 모형	출처 또는 이론적 배경	과학 교수의 방법 및 절차
개념 분화	Nussbaum & Novick	과학지식의 진화적 발달 모형 - 구성주의 Ausubel (2000)의 유의미학습 이론	<ul style="list-style-type: none"> • 대체적 개념틀 제시: 교사가 제시한 현상을 학생이 자신의 선행지식으로 해석한다. • 인지적 갈등 유발: 모순되는 현상에 더욱 심한 갈등을 유발할 수 있는 경험을 제공한다. • 인지적 조절: 모순되는 관념을 해소하거나 해결함으로써 선행 지식을 수정하거나 보완한다.
	Carey	Carey (1985)의 초심자-전문가 변화 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 새로운 사실·개념·규칙·원리 등이 누적된다. • 학습이 약한 재구성 과정에 따라 이루어진다.
개념 교환	Driver	과학지식의 격변적 발달 모형 - 구성주의	<ul style="list-style-type: none"> • 오리엔테이션(orientation): 교사가 교수-학습 주제를 소개한다. • 대체적 개념틀의 표현: 직관적 관념을 다른 학생들에게 밝히고, 설명한다. • 재구성 단계 <ul style="list-style-type: none"> - 명료화 및 교환: 과학적 관념을 인식하고, 자신의 견해와 비교하고 검토한다: 관념을 이해한 정도를 명료화한다. - 상충된 상황에 노출: 교사가 상충된 상황을 제시하고, 학생이 자신의 직관적 관념을 검토하여 자신의 직관적 관념이 틀렸으며, 한계가 있음을 인식한다. - 새로운 관념의 재구성: 직관적 관념을 확장·수정·대체하여 재구성하고, 새로운 관점에서 해석한다. - 평가: 재구성된 새로운 관념의 타당성을 검증한다. • 관념의 응용: 재구성된 관념을 새로운 소재와 상황에 응용한다. • 관념의 변화 검토: 관념이 어떻게, 어느 정도 변했는지 검토한다.
	Erickson	과학지식의 격변적 발달 모형 - 구성주의	<ul style="list-style-type: none"> • 경험적 책략(experiential manoeuvres): 주어진 현상에 친숙해 지고 직관적 관념을 표현할 수 있는 현상이나 사물을 제시한다. • 변칙(anomaly) 책략: 기대되지 않은 결과를 산출하고, 불확실성 요소를 소개하고, 선행지식을 바꿀 필요를 인식할 상황을 만든다. • 재구성 책략: 모둠에 의한 토의를 통해서 또는 교사의 도움으로 선행지식을 조절한다; 즉 선행지식을 과학자의 과학지식으로 바꾼다.
	Carey	Carey (1985)의 초심자-전문가 변화 모형	<ul style="list-style-type: none"> • 학습이 강한 재구성 과정에 따라 이루어진다.

성(Carey는 개념분화라는 용어를 쓰지 않았다)은 이론을 구성하는 개념들 사이의 관계가 달라지고 그에 따라 새로운 도식(schemata)과 기존의 문제에 대한 새로운 해결책이 생겨나는 인지구조의 변화를 말한다. 이와 달리, 강한 재구성은 개념들로 구성된 개념 체계 또는 이론이 바뀌는 인지구조의 변화를 뜻한다. Carey가 말하는 교수 모형으로서의 누적, 약한 재구성, 강한 재구성은 각각 개념형성, Ausubel(2000)의 상위적 학습, Driver(1982)의 개념교환 모형과 비슷하다. 누적의 예로 귀납적 일반화를 통한 새로운 개념의 형성을, 약한 재구성의 예로 하위개념을 바탕으로 한 상위개념의 획득을, 그리고 강한 재구성의 예로 뉴턴 역학에 의한 기동력설의 대체를 들 수 있다.

Nussbaum과 Novick(1982)이 제시한 개념분화 모형은 개념의 대체에 목적이 있는 과학 교수에도 적용되고 있다. Driver(1982)의 대체적 개념틀 모형은 최초로 제시된 개념교환 모형이다. Driver의 교수 모형이 하나의 오개념이 과학적 개념으로 교체되는 과정을 설명한다면, Erickson(1979)의 개념교환 모형은 개념체계로서의 오개념, 즉 비교적 큰 오개념이 대체되는 과정을 설명한다. Carey(1985)도 피아제의 지능발달 이론만으로는 충분히 설명할 수 없는 대체적 개념을 과학적 개념으로 바꾸어야 할 필요성을 주장한다. 그녀는 인지발달을 구조적 발달과 지식의 누적으로 구분해 설명하고, 인지구조에 관한 피아제의 접근법을 구조적(structural) 접근법으로 규정한다. 그녀에 따르면 인지구조는 구조적 발달이 관련된 지식의 축적, 구조적 발달과 관계없는 지식의 축적, 영역 일반적(domain-general) 변화, 영역 특정적(domain-specific) 변화의 네 가지 측면을 통해 발달한다. 이론의 변화나 초심자-전문가 변화는 '구조적 발달이 관련된 지식의 축적'이며, 주기별 또는 즉별 원소의 종류 외우기는 '구조적 발달에 관계없는 지식의 축적'의 예이다. 피아제가 말하는 발달단계의 변화는 '영역 일반적 변화'이며, 이론을 구성하는 개념 또는 설명 원리의 발달은 '영역 특정적 변화'이다.

2) 순환학습 모형

순환학습(learning cycle) 모형은 원래 탐구중심 교수법으로 설계되었기 때문에, 그 절차가 과학적 탐구와 발견 과정과도 잘 일치한다(Martin, Sexton, &

Franklin, 2009). 순환학습 모형의 이론적 배경은 원래 피아제의 지능발달 이론을 포함한 발달심리학(Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007)에 있으나 행동주의의 연합에 의한 학습(learning-by-association) 이론, 귀납주의의 발견에 의한 학습(learning-by-discovery) 이론의 영향도 받았다(SCIS, 1974). 최초로 제시된 순환학습 모형(Karplus, 1977)의 탐색(exploration)-창안(invention)-발견(discovery) 단계는 각각 피아제 이론의 동화-조절-평형화(Hassard & Dias, 2009), 또는 동화(또는 비평형)-조절-조직화(Abraham, 1992) 단계에 부합된다. 순환학습 모형은 제시된 지 30여 년이 지난 지금까지도 <표 4>와 같이 다양한 형태로 개선되거나 발전되고 있다.

<표 4>에서 알 수 있듯이, 순환학습 모형은 새로운 개념의 구성과 추리 기능의 개선에 목적이 있으며, 이런 목적 때문에 저자(Lawson, 2010)에 따라서는 탐구 수업 모형으로 부르기도 한다. <표 4>의 첫 번째로 기술되어 있는 탐색-창안-발견은 최초로 제시된 순환학습 단계이다. 이 모형의 이론적 배경은 전통적 과학철학과 심리학에도 있으나 순환학습 모형의 기원이 되기 때문에 여기에 포함시켰다. 이 모형은 원래 탐구 기능의 신장 및 지적 발달에 목적을 둔 탐구기반(inquiry-based) 수업 전략(Abraham, 1992) 즉 탐구 중심 교수 방법(Martin *et al.*, 2009)으로, 또는 과학자가 창안하고 학습자가 학습하여 자연을 설명하는 방법과 유사한 안내된 발견법을 설계하여 적용할 목적으로 구성되었다(Atkin & Karplus, 1962). 그러므로 이 모형에 따른 수업 목표는 과학적 탐구 기능과 추리 능력의 신장뿐만 아니라 과학지식의 획득에도 두었다. 이 모형의 창안과 발견 단계는 각각 개념소개와 개념응용으로 바뀌었다. 이후 세 단계는 교수의 목적과 주제에 따라 다른 이름이 붙여지기도 하였다. 창안(또는 개념창안) 단계는 대부분 교실의 수업 과정에서 교사와 학생 사이의 토의를 통해 이루어진다. Abraham(1992)의 모형은 Karplus(1977)의 모형을 수정한 것이며, Lawson(1995; 2002; 2010)도 Karplus(1977)의 모형을 수정하여 학습을 통해 답을 찾거나 검증할 질문에 따라 기술적(descriptive) 순환학습, 경험-귀추적(empirical-abductive) 순환학습, 가설-연역적 또는 가설-예언적(hypothetical - predictive) 순환학습의 세 가지 모형을 제시한다.

표 4
순환학습 모형의 종류와 절차

단계	모형	배경	과학 교수의 방법 및 절차
	탐색-창안-발견	귀납법; 행동주의; Piaget; 구성주의	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 주어진 상황에 자연스럽게(spontaneous) 반응하고, 교사의 어떤 도움도 없이 새로운 자료와 관념을 탐색한다. • 창안: 새로운 개념을 정의하고, 새로운 절차를 설명한다. • 발견: 학습한 개념과 기능을 응용한다.
	탐색-개념소개-(개념)응용	Karplus (1977); Piaget	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 현행 지식이나 추리 양식(pattern)으로 답할 수 없는 질문을 제기한다. • 개념소개(또는 설명): 교사가 문제와 관련된 개념을 소개하고 설명한다. • (개념)응용: 학습한 새 개념을 새로운 상황에 적용한다.
	탐색-개념창안-응용	Abraham (1992); Karplus (1977)	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 실험을 통해 학습할 개념을 소개한다. • 개념창안(conceptual invention): 실험을 통해 수집한 자료에서 개념을 도출한다. • 응용: 학습한 개념을 확장하고, 그 유용성과 응용 가능성을 탐색할 기회를 제공한다.
3			<ul style="list-style-type: none"> • 예비 단계: 교사가 가르칠 개념, 또는 개념과 관련된 양상을 나타내는 현상을 확인한다(세 모형에 공통적으로 적용한다). <p><기술적 순환학습 모형></p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 학생이 기술적 질문을 제시하고, 질문에 답하기 위해 현상을 탐색하며, 그 결과 양상을 발견하거나 기술한다. • 용어소개: 학생이 자료를 발표하고, 교사가 양상 및 그 양상과 관련된 용어를 설명한다. • 개념응용: 동일한 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다. <p><경험-귀추적 순환학습 모형></p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 한두 개의 기술적 질문으로 시작되며, 이어 인과적(causal) 질문을 하고, 이미 수집된 자료를 근거로 검증된(인과적 질문에 답할) 인과적 가설을 설정하여 검증한다. • 용어소개: 탐색한 현상 및 인과적 가설과 관련된 용어를 설명한다. • 개념응용: 동일한 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다. <p><가설-연역적(가설적-예언적) 순환학습 모형></p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 인과적 질문을 던지고, 그 인과적 질문에 따라 대안적(alternative)인 인과적 가설을 제안하고, 여러 인과적 가설을 직접 설계한 검증 과정, 예상, 결과를 근거로 검증한다. • 용어소개: 자료를 비교·분석하고, 용어를 소개하고, 결론을 도출한다. • 개념응용: 동일한 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다.
4	탐색-개념소개-개념응용-평가	Barman (1996)	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 교사가 개방적 과제나 문제를 제시하고, 학생들은 그에 관하여 주어진 자료 또는 다른 학생과 상호작용한다. • 개념소개: 학생들이 탐색한 정보와 자료를 바탕으로 수업에서 설명할 개념과 그 개념에 관련된 새로운 용어를 선정한다. • 개념응용: 학생에게 학습한 개념의 다른 예를 공부하거나 새 과제를 해결할 기회를 제공한다. • 평가: 세 단계에서 토의·평가한다.
	소개-탐색-개념발달-응용	Bentley et al. (2000)	<ul style="list-style-type: none"> • 소개: 선행지식에 어긋나는 시범실험, 흥미를 끄는 자료, 도전적인 질문이나 문제를 통해 학생들의 학습동기를 유발한다. • 탐색: 개별적으로 또는 작은 모둠으로 학습할 개념을 조사한다. • 개념발달: 학습을 통해 발견한 것을 발표하고, 다른 학생들과 공유한다. • 응용: 학습한 개념을 새로운 상황에 적용한다.

<p>탐색(E)-설명(E)-확장(E)-평가(E) (앞 세 단계에 적용): 4E 모형</p>	<p>Piaget: 급진적 구성주의; Martin et al. (2002)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 학생들이 질문에 답하고, 관심을 갖게 하거나 관여하게 하며, 암시나 힌트를 제시하여 학생 중심의 탐구 활동이 일어난다. • 설명: 과학적 개념을 형성하거나 발견하며, 그 의미를 구성한다. • 확장: 학습한 개념을 새로운 상황에 응용하고, 이해한 개념을 확장한다. • 평가: 위 세 단계에서 형식적으로 또는 비형식적으로 평가된다.
<p>4 초대-탐색-개념설명(개념소개)-행동</p>	<p>Hassard & Dias (2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 초대(invitation) 또는 유도: 선행지식과 질문, 시범실험, 큰 관념 등과 관련시켜 학생들을 새로운 개념의 학습에 초대한다. • 탐색: 최소한의 교사 도움으로 새 개념 또는 현상을 탐색한다. • 개념설명(개념소개): 과학적 개념을 설명한다. • 행동(taking action): 작은 모듈을 통해 학습된 개념을 응용하거나 확장하는 행동을 한다.
<p>유도-비교-해결-응용</p>	<p>Dykstra (Hassard & Dias, 2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유도: 학생 스스로 학습할 현상과 관련된 자신의 선행지식을 점검한다. • 비교: 학생이 자신의 관념과 스스로 예상한 것, 다른 학생의 생각, 설명한 것 등과 비교한다. • 해결: 학생이 자신의 생각과 변한 생각 사이의 차이를 비판적으로 분석한다. • 응용: 선행지식을 조절한 새로운 지식을 응용할 수 있는 새로운 상황을 제시한다.
<p>수업소개-탐색-개념발달-응용-평가</p>	<p>Lee (2003)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 수업소개(lesson introduction): 교사가 던진 개방적 질문을 브레인스토밍을 통해 답을 찾는다. • 탐색: 답을 증명할 실험을 설계해 수행하고, 자료를 수집·정리·요약하여 발표한다. • 개념발달: 자료를 분석해 결론을 도출하고, 관념을 정리하고 통합하며 관련 용어를 소개한다. • 응용: 학습된 관념을 새로운 개념에 적용하고, 관련된 새로운 개념과 용어를 찾는다. • 평가: 개념도를 이용한 평가나 수행평가를 할 수 있다.
<p>5 관여(E)-탐색(E)-설명(E)-정교화(E)-평가(E)(앞 네 단계에 적용): 5E 모형</p>	<p>Piaget: 사회적 구성주의; BSCS (1993); Bybee (1997)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 관여: 학생들에게 문제·상황·사건 등에 집중하게 하여 수업 과제를 시작한다. • 탐색: 학생들이 현행 개념·과정·기능을 확인하여 발달시킬 누구에게나 공통적으로 기초적인 학습경험을 제공한다. • 설명: 학습 과정과 관련된 전문적·기술적 용어를 교사와 학생이 공통적인 의미로 사용한다. • 정교화: 개념·과정·기능을 확장하고 명료화하는 경험을 제공한다. • 평가: 학습한 것을 평가하고, 학생이 자신의 평가로 자신의 학습에 대한 피드백을 얻는다.
<p>관여(E)-탐색(E)-설명(E)-확장(E)-평가(E): 5E 모형</p>	<p>Piaget: 급진적 구성주의; Settlage & Southerland (2007); Martin et al. (2009)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 관여: 추동 질문(driving question)을 던져 학생들의 흥미를 자극하고, 호기심을 유발시키고, 탐구적 학습을 지속하게 한다. • 탐색: 학생이 주어진 자료 및 다른 학생과 상호작용하는 학생 중심의 협동적 탐구 단계이다. • 설명: 교사와 학생이 상호작용하면서 탐색 단계에서 수집된 자료나 관찰 결과에서 개념을 형성하고, 의미를 구성한다. • 확장: 학습한 개념의 이해 폭을 확장한다. • 평가: 학생들이 알고 있는 것과 할 수 있는 것을 전 과정에 걸쳐 형식적·비형식적으로 평가한다.
<p>7 유도(E)-관여(E)-탐색(E)-도전(E)-설명(E)-정교화(E)-평가(E): 7E 모형</p>	<p>Alsop & Hicks (2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유도: 탐색할 개념과 기능에 관한 학생들의 관념을 찾는 활동이 일어난다. • 관여: 주로 교실에서 학생들의 흥미와 호기심을 끌어들이는 활동을 수행한다.

유도(E)-관여(E)-탐색(E)-도전(E)-설명(E)-정교화(E)-평가(E): 7E 모형	Alsop & Hicks (2001)	<ul style="list-style-type: none"> • 탐색: 학생들에게 특정 현상을 탐색하고, 스스로 설명하게 하는 기회를 제공한다. • 도전: 학습할 개념과 관련된 학생들의 오개념의 특성과 한계를 노출시킨다. • 설명: 학생들이 이해한 개념을 자신의 말과 의미로 설명한다. • 정교화: 학습한 새로운 관념을 다른 맥락과 상황에 응용하는 교실 활동이 주로 일어난다. • 평가: 학생들이 자신의 학습한 개념, 개념을 바꾼 이유 등을 평가한다. 	
7	유도(E)-관여(E)-탐색(E)-설명(E)-정교화(E)-평가(E)-확장(E): 7E 모형	Eisenkraft (2003)	<ul style="list-style-type: none"> • 유도(elicit): 학생들이 학습하기 전에 가지고 있는 선행지식을 확인한다. • 관여: 수업에 관한 학생들의 흥미를 끌어들이고 관심을 고조시킨다. • 탐색: 관찰, 자료 기록, 변인 확인, 실험의 설계와 계획, 그래프 그리기, 결과의 해석, 가설의 설정, 결과의 정리 등이 이루어진다. • 설명: 교사가 과학의 모형·이론·법칙 등을 소개하고, 학생이 실험의 결과를 제시된 모형·이론·법칙 등을 중심으로 정리한다. • 정교화: 학습한 지식을 다른 질문이나 가설을 제시할 수 있는 새로운 영역 또는 상황에 적용한다. • 평가: 형성평가와 총괄평가 둘 다 수행한다. • 확장: 학습한 내용을 응용한다.

최초의 4단계 순환학습 모형은 Barman(1996)이 Bandura의 모방학습 원리에 바탕을 두어, 그리고 Karplus(1977)가 구성한 순환학습 모형에 평가 단계를 추가하여, 개발한 것이다. 4단계 모형의 평가 단계는 다른 세 단계에 공통적으로 적용된다. Bentley 등(2000)은 SCIS 모형의 첫 번째 단계 앞에 소개 단계를 첨가하고, 평가 단계를 응용 단계에 포함시켜 4단계 모형을 구성했다. Bentley 등의 순환학습 모형의 탐색 단계에서는 학습할 개념의 이해를 구성할 경험 기반(experience-based) 기회를 제공하며, 개념의 응용을 평가 수단으로 이용할 수도 있다. Martin 등(2002)이 SCIS(1974) 모형, Piaget의 지능발달 이론, Barman(1996)의 모형 등을 참고하여 구성한 4E 모형은 개념의 형성과 발견에 목적을 둔 탐구 중심의 과학 교수 모형으로서 모둠학습에 특히 효과적이다. 한편 Hassard와 Dias(2009)는 구성주의에 이론적 바탕을 두어 4단계 순환학습 모형을 개발하였다. Hassard와 Dias의 순환학습 모형은 일종의 개념변화 모형으로서의 탐색 단계에서는 사물이나 물체를 관찰·분류하고 실험을 통해 가설을 검증할 수도 있으며, 개념설명(또는 개념소개) 단계에서는 학생들이 자신의 관념을 표현하고 교사는 과학적 관점에서 설명한다. <표 4>의 Dykstra 4단계 모형은 von Glasersfeld의 급진적 구성주의에 따라 학습의 과정

을 설명하기 위해 개발한 모형이다(Hassard & Dias, 2009).

Lee(2003)는 Lawson(1991)의 모형을 개선하여, 문제제기-자료수집-답 구하기-답에 관한 의사소통으로 이루어지는 일종의 안내된 탐구의 수행에 적절한 모형으로 수업소개-탐색-개념발달-응용-평가의 5단계 모형을 제시하였다. Lee의 모형에 따른 학습에서는 질문과 절차를 제시하여 구조화된 탐구를 수행하거나 개방적 질문을 주어 개방적 탐구를 수행하게 하며, 개념발달 단계에서 형성평가를, 응용 기능을 대상으로 총괄평가를 실시한다. 모든 5단계 순환학습 모형의 이론적 배경도 피아제의 이론에 있으며, 5단계 모형의 세 단계는 3단계 모형의 세 단계로 구성되어 있다. 그러나 관여-탐색-설명-정교화-평가의 5E 모형은 피아제의 이론 이외에 사회적 구성주의에도 이론적 배경이 있으며(BSCS, 1993; Bybee, 1997), 관여-탐색-설명-확장(expansion)-평가의 5E 모형은 급진적 구성주의(Martin, Sexton & Franklin, 2009)에도 이론적 배경을 두고 개발되었다. BSCS와 Bybee의 5E 모형의 관여 단계에서는 학생들의 과거 학습 경험과 현재의 학습 경험을 연결시키고, 학습의 결과에 대한 학생들의 예상을 조직화하며, 정교화 단계에서는 학생들이 그런 경험을 통해 오개념과 과학적 개념을 이해한다. 한편 martin 등은 교수의 계획

및 교육과정의 개발에 이용할 목적으로 5E 모형을 구성하였다. 이 모형에 따른 과학의 학습은 BSCS의 5E 모형과 마찬가지로 관여 단계에서 시작된다.

Alsop과 Hicks(2001)는 Driver(1982)의 오개념 교환 교수 모형을 적용한 장단기 수업 계획에 적용하기 위한 7E 순환학습 모형을 제시했다. Alsop과 Hicks의 7E 모형의 탐색 단계는 Driver의 개념교환 모형의 오리엔테이션 단계와 유도 단계에 해당된다(Treagust, Duit, & Fraser, 1996). Eisenkraft(2003)는 BSCS와 Bybee의 5E 모형을 개선·확장하여 7E 순환학습 모형을 구성하였다. 즉 Eisenkraft(2003)는 BSCS(1993)와 Bybee(1997)가 구성한 5E 모형의 관여 단계를 유도와 관여의 두 단계로 나누고, 정교화와 평가의 두 통합 단계를 정교화·평가·확장의 세 단계로 나누어 학습의 전이를(특히 평가와 확장 단계에서) 강조한다. 두 가지 7E 모형의 설명 단계에서는 용어를 주로 다루는 탐색 단계와 달리 용어보다 개념을 먼저 다루고 관련 용어를 설명하며, 정교화 단계에서는 개념이 더욱 구체적으로 분화된다.

평가는 과학 교수-학습 과정의 핵심적 구성요소로서 어느 과정에서나 그리고 아무 때나 이루어질 수 있다. 그러므로 4단계 이상의 다단계로 구성된 순환학습 모형에서는 평가가 순환학습 과정의 어느 단계에서나 이루어질 수 있도록 구성하는 것이 바람직하다. 예를 들면, 4단계 순환학습 모형의 경우 <그림 1>(Barman, 1996)과 같이, 그리고 5단계 모형에서는 <그림 2>(Martin *et al.*, 2009)와 같이 구성할 수 있다. <그림 2>에서 볼 수 있듯이, 5E 모형에서는 관여 단계가 탐색·설명·확장의 세 단계에 영향을 미치는

과정도 보여준다.

<표 4>와 <그림 1> 및 <그림 2>를 통해 고찰한 순환학습 모형의 특징이 보여주는 바와 같이, 처음 제시된 순환학습 모형은 3단계로 구성되었으나 지금은 7단계의 모형도 개발·제시되어 과학 교수-학습 현장에서 적용되고 있다. 순환학습 모형의 단계는 그 수뿐만 아니라 이름도 변해왔다. 그러나 각 단계의 이름은 <표 5>에 기술된 바와 같이, 수업안내, 개념탐색, 개념도입, 개념응용, 수업평가의 5영역에 따라 분류할 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이, 초창기에 제시된 순환학습 모형은 전통적 심리학과 발달심리학에도 이론적 배경을 두었으나 차츰 구성주의를 더 중요시해 오고 있다. 그러므로 초창기의 순환학습 모형은 탐구중심 과학 교수에, 최근의 4E, 5E, 7E 순환학습 모형 등은 과학 개념의 변화에 목적을 둔 수업에 적합하다고 말할 수 있다. 한편 모든 순환학습 모형은 학생한테 과학적으로 생각하게 하고, 교수 내용과 선행경험을 관련시키며, 학생 자신의 생각을 검증하고 다른 학생과 토의하게 하며, 귀납적 접근법과 연역적 접근법이 통합되어 있는 등의 장점이 있다(Settlage & Southerland, 2007). 순환학습 모형은 이런 특성 때문에, 탐구기반 교수 모형(Cain, 2002; Dunkhase, 2003) 또는 개념변화 모형에(Hassard & Dias, 2009) 포함되기도 한다. 특히 Nussbaum & Novick(1982)의 개념분화 모형은 순환학습 모형으로 불리기도 한다(Lunetta, Hofstein, & Clough, 2007).

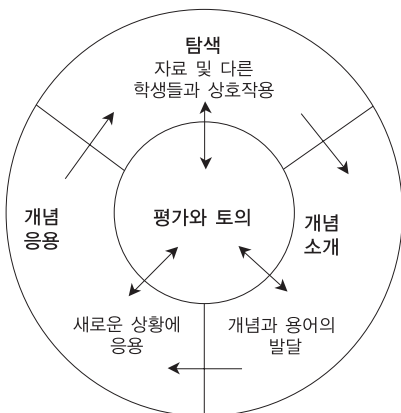


그림 1 4E 모형

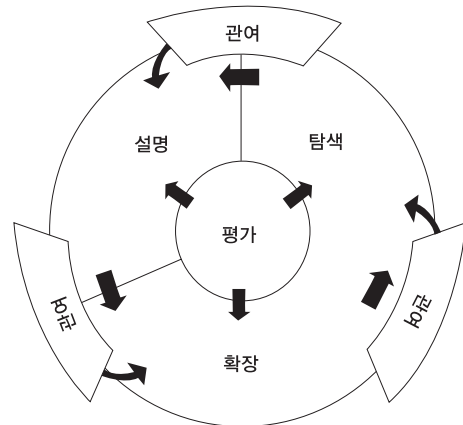


그림 2 5E 모형

표 5
순환학습 단계의 이름과 영역

단계	단계의 별칭	단계별 주요 활동
수업 안내	소개	<ul style="list-style-type: none"> 선행지식과 질문, 시범실험, 포괄적인 관념(big ideas) 등을 소개하여 수업에 학생들의 흥미를 끌어들이고 그들의 학습동기를 유발하여 새로운 내용의 교수-학습(또는 실험)을 시작한다. 보통 브레인스토밍(brainstorming)을 통해 질문에 대한 다양한 답을 제시하여 수업(실험)을 시작한다. 면접, 문제제시 등으로 학생의 선행개념을 확인한다.
	초대	
	유도	
	관여	
개념 탐색	탐색	<ul style="list-style-type: none"> 학습경험(learning experiences), 즉 주어진 상황 또는 교수-학습 목표와 관련된 자료를 조작하면서 학습할 내용을 탐색하고, 특별한 초점이 없이 조사한다. 실험의 경우 실험을 설계하고, 자료를 수집·정리한다. 시범·토의 등을 통해 새로운 개념을 탐색하고 기존 개념과 비교한다.
	비교	
개념 도입	창안	<ul style="list-style-type: none"> 교사가 주요 과학적 개념·법칙·원리·이론을 정의하고, 새로 소개된 절차를 설명한다. 교사가 학생들의 관념을 과학적 관점에서 설명하며, 학생들은 새로운 개념을 형성하거나 새로운 의미를 구성한다. 학생들은 과학지식을 획득하고, 과학적 탐구 과정 기능과 논리적 추리 능력도 습득한다. 분석한 자료를 토대로 결론을 도출하며, 실험의 결과와 결론을 설명한다. 선행개념이 어떻게 변했는지 확인한다.
	개념설명	
	개념소개	
	용어소개	
	개념발달	
	해결	
개념 응용	발견	<ul style="list-style-type: none"> 학습한 새로운 과학 개념과 획득한 새로운 과학적 탐구 기능을 새로운 상황에 응용하거나 일반화한다. 개념적 이해와 탐구적 기능을 더욱 세부적이고 전문적으로 확장한다. 실험의 경우 다른 소재를 이용하여 실험을 수행하여 비슷한 결과를 수집한다.
	정교화	
	개념확장	
	도전	
	개념응용	
행동		
수업 평가	평가	<ul style="list-style-type: none"> 개념적 이해와 탐구적 능력을 평가한다. 평가의 결과에 따라 새로운 질문을 던질 수도 있다.

Ⅲ. 과학 교수 모형의 적용 준거로서의 특성과 목적

과학 교수 모형은 모두 나름의 이론적 배경을 바탕으로 구성된다. 그렇기 때문에, 과학 교수의 목표·과정·방법·내용 등은 적용되는 모형마다 다르며, 대개 각 모형에 고유한 특성을 지닌다. 즉 교수 모형에 적절한 과학 교수의 내용과 주제는 적용되는 모형에 따라 다르며, 또한 동일한 내용이나 주제의 교수 결과도 모형에 따라 달라질 수 있다. 이 논문에서는 현재 과학교육 현장에서 적용되고 있는 과학 교수 모형의 특성과 목적에 대한 분석 결과를 <표 6>에 제시한다. <표 6>에 제시된 과학 교수 모형의 특성과 목적은 과학 교수의 내용과 주제에 적절한 모형을 선택할 때 준거로 활용할 수 있다.

<표 6>에 기술되어 있는 바와 같이, 교수 모형에 따른 교수의 절차와 특성 및 목적이 모두 다르다. 그런

차이는 기본적으로 각 모형이 구성될 때 가정하거나 토대의 근거를 둔 이론적 배경에서 비롯한 것이다. 이 연구에서는 교수 모형에 따른 교수 방법 및 절차에 관한 문헌분석의 결과(<표 1>~<표 5>)와 그 결과를 근거로 제시한 교수 모형의 특성 및 목적을 다시 분석했는데, 그 결과를 정리해 제시하면 다음과 같다.

- 전통적 모형: 강의를 통한 과학지식의 교수, 발견법을 통한 과학지식의 획득, 탐구중심 교수-학습 과정을 통한 과학적 탐구 과정과 기능의 습득, 과학적 방법을 적용한 문제해결
- 과도기적 모형: 시범실험, 발견법, 탐구적 접근법을 통한 탐구 과정 기능의 습득, 과학지식의 획득과 기존 과학지식의 분화와 발달
- 개념변화 모형: 탐구적 접근법을 통한 과학지식의 분화, 과학개념에 의한 과학 오개념의 대체
- 순환학습 모형: 발견 및 탐구 모형에 따른 개념의 분

표 6
과학 교수 모형과 적용 준거

과학 교수 모형		적용 준거로서의 특성과 목적	
진 통 적	I/V/P 탐색-창안-응용	<ul style="list-style-type: none"> 최초로 제시된 탐구기반 순환학습 모형의 근간(I/V/P), 또는 완전학습 모형의 원형(정보-증명-응용)이다. 제시된 정보 또는 학습할 내용을 근거로 개념을 학습하고, 새로운 자료로 획득한 또는 관찰·실험·등을 통해서 학습한 개념의 준거속성 또는 사례를 확인하며, 학습한 개념을 새로운 상황에 적용하거나 응용문제를 해결한다. 	
	정보-증명-응용	학습경험을 제공하고, 관련 용어를 해설하고, 실례를 들어가면서 개념을 설명하고, 학습한 용어의 의미를 더욱 확장하고, 개념의 준거속성과 새로운 실례를 계속 찾는다.	
	경험-해석-정교화	<ul style="list-style-type: none"> 귀납적 수업: 자연과 생명의 현상에 대한 관찰·측정·조사 등을 통해 새로운 사실을 발견하거나 그런 사실을 바탕으로 한 귀납적 일반화를 통해 규칙성 또는 법칙(대부분 과학자들이 이미 발견한 것)을 발견한다. 발견 수업: 일상생활의 문제를 해결하거나 응용 문제를 해결할 방법을 찾는다; 학습할 내용을 발견한다. 	
	연역적 수업 설명적(해설적) 수업	전통적 강의를 통해 학습할 개념·원리·이론을 정의하고 관련 개념 및 용어를 설명하고, 실험이나 조사를 통해 개념과 원리의 예시 및 이론의 사례를 확인한다.	
	탐구 수업	가설-연역적 방법에 따른 실험이나 조사, 즉 문제인식 → 가설설정 → 실험설계(변인통제) → 자료수집·분석 → 결론도출의 종합적 탐구 과정을 통한 인과관계나 상관관계를 확인한다.	
	문제해결	<ul style="list-style-type: none"> 과학적 방법, 과학적 사고, 비판적 사고, 탐구 과정 및 기능이 관련된다. 문제진술 → 가설설정 → 실험설계 → 자료수집·분석 → 결론도출 등 과학적 방법과 탐구 과정을 적용해 수행된다. 과학적 문제 또는 반드시 정답이 있는 일상생활의 문제 및 사회적 논쟁거리를 해결한다. 	
	생성학습	<ul style="list-style-type: none"> 교사가 과학자의 과학지식과 자신의 과학지식을 생각하고, 학생의 견해를 확인한다. 학생이 주어진 현상에 관심을 갖고, 관련 용어의 의미를 생각하며, 자신의 견해를 표현하고, 다른 학생들의 생각을 들은 다음 각자의 견해에 관하여 토의하고, 학습된 과학적 개념으로 문제를 해결하거나 모순을 해소한다. 	
	과 도 기 적	P O E 와 변 형	<p>DOE</p> <p>시범실험 결과에 관하여 예상하고, 시범실험 과정을 관찰한 다음, 예상과 관찰 결과 사이의 갈등 상황에 관해 토의한다.</p> <p>POE</p> <p>제시된 사건이나 현상의 결과를 예상하고, 그렇게 예상한 이유를 설명하고 정당화하며, 주어진 장치를 조작하면서 일어나는 현상을 관찰하고, 그런 현상이 나타나는 원인을 설명한다.</p> <p>PEOE</p> <p>OPE</p> <p>역사적 사실이나 과거의 기록 등과 같은 간접적 자료를 이용하여 탐구한다.</p>
		문제기반학습(PBL)	<ul style="list-style-type: none"> 개방적 질문의 답을 찾는 탐구학습의 한 유형으로서 과학적 방법을 적용하는 과제기반학습뿐만 아니라 학문적 탐구에 목적을 둔 이론학습과 구분된다. 소규모 협동학습 모둠으로 실제의 과학적 문제 또는 일상생활의 문제나 사회의 논쟁거리에 관련된 문제를 해결하거나 인위적 산물을 개발하여 제시하고, 문제를 해결한 과정 또는 산물을 개발한 과정과 결과 및 산물을 분석하고 평가한다.
		개 념 변 화	Nussbaum & Novick
Carey의 누적과 약한 재구성			<ul style="list-style-type: none"> 누적 모형: 새로운 사실·규칙 등이 누적되거나 이론을 구성하는 개념들 사이의 관계가 달라지고, 그에 따라 새로운 도식과 기존의 문제에 대한 새로운 해결책이 생겨난다. 약한 재구성 모형: 하위개념을 바탕으로 상위개념을 획득한다.

개 념 변 화	Driver	과학교사가 제시한 하나의 과학 개념(비교적 단편적인 개념)에 관하여 학생들이 자신의 오개념을 밝히고 서로 토의하며, 상충되는 사건이나 현상에 비추어 각자 자신의 생각을 바꾸고, 원래의 오개념과 그 오개념을 대체한 학생들의 과학적 개념 사이를 비교하여 어느 정도, 어떻게 변했는지 확인한다.
	개념 교환 Erickson	과학교사가 제시한 여러 개념으로 구성된 비교적 복잡한 개념체계 또는 이론에 관하여 학생들이 직관적 관념을 표현하고 그런 직관적 관념에 상충되는 산물·현상 등을 이용하여, 그리고 교사의 도움이나 토의를 통해 직관적 관념을 조절한다.
	Carey의 강한 재구성	개념체계의 전체 또는 이론을 구성하는 핵심적 개념이 과학적 개념으로 바뀌며, 그런 개념체계 또는 이론이 나타내는 논리적·수학적 사고방식이나 원리와 같은 보편적 특성도 변한다.
3 단계	SCIS의 탐색-창안-발견	상황에 자연스런(spontaneous) 반응을 보이거나 주어진 자료와 관념을 탐색하며, 과학적 탐구 기능과 추리 능력을 확장할 뿐만 아니라 과학지식을 획득할 수 있는 개념을 정의하고, 새로운 절차를 설명한 다음, 학습한 개념과 기능을 응용한다.
	Karplus의 탐색-개념 소개-(개념)응용	현재 학생이 가지고 있는 과학지식이나 추리 양식(pattern)으로 답할 수 없는 질문이나 문제가 학생에게 주어지고, 교사가 질문 또는 문제와 관련된 개념을 소개하고 설명하며, 학생이 학습한 새로운 개념을 새로운 상황에 적용한다.
	Abraham의 탐색-개 념창안-응용	Karplus의 모형을 수정한 것으로서 실험을 통해 학습할 개념을 소개하고, 실험에서 수집한 자료에서 개념을 도출하며, 학습한 개념을 확장하고, 그 유용성과 응용 가능성을 탐색할 기회를 제공한다.
순 환 학 습	Lawson의 탐색-용어 소개-개념응용	<ul style="list-style-type: none"> • 기술적 순환학습 모형: 학생이 기술적 질문을 하고, 관련된 현상을 탐색하여 양상을 발견하고, 그 결과를 기술하며, 교사가 양상 및 그 양상과 관련된 용어를 설명하며, 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다. • 경험적-귀추적 순환학습 모형: 교사와 학생이 기술적 질문이나 인과적 질문을 하며, 수집된 자료를 분석하여 인과적 가설을 검증함으로써 인과적 질문에 답하고, 탐색한 현상 및 인과적 가설과 관련된 용어를 설명하며, 동일한 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다. • 가설적-예언적 순환학습 모형: 인과적 질문을 던지고, 그것을 바탕으로 인과적 가설을 진술하여 실험을 통해 검증하며, 자료를 비교·분석하고 용어를 소개하고 결론을 도출하며, 동일한 개념과 관련된 다른 현상에 관해 논의한다.
	탐색-개념소개-개념 응용-평가	교사가 개방적 과제나 문제를 제시하고, 학생은 그에 관하여 주어진 자료 또는 다른 학생과 상호작용한다 → 학생들이 탐색한 정보와 자료를 바탕으로 수업에서 설명할 개념과 그 개념에 관련된 새로운 용어를 선정한다 → 학생에게 학습한 개념의 다른 예를 공부하거나 새로운 과제를 해결할 기회를 제공한다. 평가는 세 단계에서 필요에 따라 이루어진다.
	소개-탐색-개념발 달-응용	선행지식에 어긋나는 시범실험, 흥미를 끄는 자료, 도전적 질문이나 문제를 통해 학생들의 학습동기를 유발한다 → 개별적으로 또는 작은 모둠으로 학습할 개념을 조사한다 → 학습을 통해 발견한 것을 발표하고, 다른 학생들과 공유한다 → 학습한 개념을 새로운 상황에 적용한다(개념의 응용을 평가 수단으로 이용할 수도 있다).
4 단계	탐색-설명-확장-평 가의 4E	<ul style="list-style-type: none"> • 개념의 형성과 발견에 목적을 둔 탐구 중심 과학 교수 모형으로서 모둠학습에 특히 효과적이다. • 학생들이 질문에 답하고, 관심을 갖게 하거나 관여하게 하며, 암시나 힌트를 제시한다 → 과학적 개념을 형성하거나 발견하며, 그 의미를 구성한다 → 학습한 개념을 새로운 상황에 응용하고, 이해한 개념을 확장한다. • 평가는 세 단계에서 형식적으로 또는 비형식적으로 이루어진다.
	초대-탐색-개념설명 (개념소개)-행동	<ul style="list-style-type: none"> • 개념변화 모형이다. • 선행지식과 질문, 시범실험, 비교적 큰 관념 등과 관련시켜 과학적 개념의 학습에 초대한다 → 교사의 도움을 최소한으로 받으면서 새로운 개념 또는 현상을 탐색한다 → 개념 및 현상과 관련된 용어를 설명한다 → 작은 모둠을 통해 학습된 개념을 응용하거나 확장한다.

4 단계	유도-비교-해결-응용	<ul style="list-style-type: none"> • 급진적 구성주의에 바탕을 둔 개념변화 모형이다. • 학생 스스로 학습 현상과 관련된 선행지식을 점검한다 → 학생 자신의 관념과 예상한 것, 다른 학생의 생각, 설명된 것 등과 비교한다 → 학생 스스로 처음의 생각과 변한 생각 사이의 차이를 분석한다 → 선행지식을 조절한 새로운 지식을 응용할 수 있는 새로운 상황을 제시한다.
5 단계	수업소개-탐색-개념발달-응용-평가	<ul style="list-style-type: none"> • 질문과 절차를 제시하는 구조화된 탐구 모형이다: 브레인스토밍을 통해 주어진 개방적 질문의 답을 찾는다 → 실험을 설계·수행하고, 자료를 수집·정리·요약·발표한다 → 자료를 분석해 결론을 도출하고, 관념을 통합하며 관련 용어를 소개한다 → 학습된 관념을 새로운 개념에 적용하고, 관련된 새로운 개념과 용어를 찾는다 → 개념도를 이용한 평가나 수행평가를 할 수 있다. • 개방적 질문을 주어 개방적 탐구를 수행하게 할 수도 있다. • 개념발달 단계에서 형성평가를, 응용 능력을 대상으로 총괄평가를 실시한다.
순환 학습	관여-탐색-설명-정교화-평가의 5E	<ul style="list-style-type: none"> • 관여-탐색-설명-정교화-평가로 구성된 5E 모형의 이론적 배경은 사회적 구성주의에, 관여-탐색-설명-확장-평가의 5E 모형은 급진적 구성주의에 있다.
	관여-탐색-설명-확장-평가의 5E	<ul style="list-style-type: none"> • 문제나 추동 질문(driving question)으로 흥미와 관심을 집중시킨다 → 상호작용할 학습경험을 제공한다 → 교사와 학생이 상호작용을 통해 학습경험에서 개념과 의미를 구성하고, 전문적·기술적 용어를 교사와 학생이 공유한다 → 개념·과정·기능을 확장하고 명료화하는 경험을 제공한다 → 학습한 것을 평가하고, 학생이 자신의 평가로 학습에 대한 피드백을 얻는다.
7 단계	유도-관여-탐색-도전-설명-정교화-평가의 7E	<ul style="list-style-type: none"> • 장단기 수업 계획에 적용하기 위하여 Driver의 대체적 개념틀 교환 교수 모형을 적용한 모형으로서 탐색 단계는 Driver의 개념교환 교수 모형의 오리엔테이션 단계와 유도 단계에 해당된다. • 탐색할 개념과 기능에 관한 관념을 찾는다 → 주로 교실에서 학생들의 흥미와 호기심을 끌어들이는 활동이 수행된다 → 특정 현상을 탐색하고, 설명한다 → 학습할 개념에 대한 오개념의 특성과 한계를 드러낸다 → 이해한 개념을 자신의 말과 의미로 설명한다 → 교실에서 학습한 관념을 다른 맥락과 새로운 상황에 응용한다 → 학습한 개념과 개념을 바꾼 이유 등을 평가한다.
	유도-관여-탐색-설명-정교화-평가-확장의 7E	<ul style="list-style-type: none"> • 선행지식을 확인한다 → 흥미와 관심을 고조시킨다 → 관찰·변인확인·실험설계·자료해석·가설설정·결과정리 등이 이루어진다 → 교사가 모형·이론·법칙을 중심으로 소개하고, 실험의 결과를 모형·이론·법칙을 중심으로 정리한다 → 학습한 지식을 새로운 영역 또는 상황에 적용한다 → 형성평가와 총괄평가를 한다 → 학습한 내용을 응용하여 전이한다. • 평가와 확장 단계에서 학습의 전이가 강조된다.

화 및 오개념의 대체, 과학적 탐구 과정 기능의 습득

과학 교수-학습 현장에서 적용하는 교수 모형에 적절한 교수의 주제나 내용도 다르다. 그러므로 과학 교수-학습 현장에서 특정 주제나 내용을 교수하거나 그 교수 계획을 세울 때는 먼저 적절한 교수 모형을 선정해야 한다. <표 6>의 교수 모형별 특성과 목적은 그런 과정에서 준거로 이용할 수 있도록 선정해 기술하였다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 중·고등학교 과학 교수에 적용하기 적절한 교수 모형을 선택할 때 그 준거로 활용할 수 있는 교수 모형의 특성과 목적을 제시하고자 수행하였다. 교수 모형을 선정할 때 준거로 이용할 교수 모형

의 특성과 목적은 전적으로 문헌분석 결과에 바탕을 두어 제시하였다. 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하여 기술하면 다음과 같다.

- 수업 모형과 교수 모형을 교수 모형으로 통합하여 기술하였다.
- 전통적 과학철학과 행동주의 심리학에 이론적 배경이 있는 교수 모형을 전통적 모형으로 규정했다.
- 전통적 과학철학 및 심리학과 아울러 현대의 과학철학 및 심리학에도 이론적 배경이 있는 교수 모형을 과도기적 모형으로 부른다.
- 현대의 과학철학과 심리학에 이론적 배경이 있는 현대적 교수 모형을 개념변화 모형과 순환학습 모형으로 구분한다: 개념변화 모형은 순전히 과학지식의 변화에, 순환학습 모형은 순환학습 과정을

통한 개념변화와 과학적 탐구 과정 기능의 습득에 목적을 둔 교수 모형으로 구분했다.

- 8가지의 전통적 교수 모형, 6가지의 과도기적 모형, 5가지의 개념변화 모형, 14가지의 순환학습 모형을 포함한 총 33가지 과학 교수 모형의 출처 및 이론적 배경과 각 모형에 따른 과학 교수 방법 및 절차와 목적을 기술하였다.
- 순환학습 모형은 대부분 수업소개-개념탐색-개념변화-개념응용-수업평가의 다섯 단계로 확대하거나 축소하여 구성한 것을 제시하였다.
- 33가지 교수 모형의 특성과 목적을 제시하였다.

각 교수 모형의 특성과 목적은 이론적 배경과 그 모형을 적용할 상황 및 적용한 내용을 근거로 정리하였다. 각 교수 모형의 특성과 목적은 과학 교수-학습 현장에서 교수 목표와 그 주제 및 내용 등에 적절한 교수 모형을 적용할 때 유용한 근거로 이용할 수 있다. 그러나 주제와 목표에 따라서는 몇 가지 모형을 동시에 적용할 수도 있다.

국문 요약

이 연구는 현재 중·고등학교에서 적용하고 있는 교수 모형을 선택할 때 그 근거로 활용할 수 있는 교수 모형의 특성과 목적을 제시하고자 수행하였다. 교수 모형의 특성과 목적은 수업 모형과 교수 모형에 관한 문헌을 분석하고, 그 결과를 근거로 정리해 제시하였다. 이 연구에서는 지금까지 제시된 수업 모형을 교수 모형에 포함시키고, 교수 모형을 전통적 모형, 과도기적 모형, 현대적 모형으로 분류하고, 현대적 모형을 다시 그 대상에 따라 개념변화 모형과 순환학습 모형으로 구분하였다. 이 논문에서 제시한 네 가지 교수 모형의 특성과 목적을 요약하면 다음과 같다.

- 전통적 모형: 강의를 통한 과학지식의 교수, 발견법을 통한 과학지식의 습득, 탐구중심 교수-학습 과정을 통한 과학적 탐구 과정 기능의 습득 및 과학적 방법과 탐구 방법을 적용한 문제해결
- 과도기적 모형: 시범실험, 발견법, 탐구적 접근법을 통한 탐구 과정 기능의 습득, 과학지식의 습득과 분화 및 발달
- 현대적 모형

- 개념변화 모형: 탐구중심 접근법을 통한 과학지식의 분화, 과학개념에 의한 과학 대체 개념의 교환
- 순환학습 모형: 발견 및 탐구를 통한 개념의 분화 및 대체 개념의 교환, 과학적 탐구 과정 기능의 습득

이와 같은 과학 교수 모형의 영역별 특성과 목적은 교수-학습의 목표와 주제에 적절한 교수 모형의 범주를 확인할 때 적용할 수 있다. 과학 교수-학습 현장에서 실제로 적용할 교수 모형을 선정할 때는, 교수할 주제 및 내용과 그 목표에 적절한 영역별 교수 모형의 특성과 목적을 확인한 다음, 그 영역에서 적절한 교수 모형을 선정하는 것이 바람직하다. 이 논문에는 실제의 교수 모형을 선정할 때 적용할 수 있는 준거가 각 교수 모형의 특성과 목적의 형태로 기술되어 있다.

참고 문헌

- 조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영 (2009). 과학교육의 이론과 실제, 제3판. 교육과학사.
- Abell, S. K. & Lederman, N. G. (eds.) (2007). Handbook of research on science education. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Abraham, M. R. (1992). Instructional strategies designed to teach science concepts. In F. Lawrenz, K. Cochran, J. Krajcik, & P. Simpson (eds.) Research matter...to the science teacher, NARST mo, graph, no. 5. Manhattan, KS: NARST.
- Alexander, P. A. & Winne, P. H. (2006) (eds.). Handbook of educational psychology, 2nd ed. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Alsop, S. & Hicks, K. (2001). Teaching science: A handbook for primary & secondary school teachers. London: Kogan page Limited.
- Anderson, R. D. (2007). Inquiry as an organizing theme for science curricula. In S. K. Abell & N. G. Lederman (eds.) Handbook of research on science education. Mahwah, New

York: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Arends, R. I. (2009). *Learning to teach*, 8th ed. Boston: McGraw Hill.

Atkin, J. M. & Karplus, R. (1962). Discovery or invention? *The Science Teacher*, 29(5), 45-47. In R. G. Fuller, ed. (2002). *A love of discovery: Science education—The second career of Robert Karplus*.

Ausubel, D. P. (2000). *The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view*. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Barman, C. R. (1996). Bridging the gap between the old and the new: Helping teachers move towards a new vision of science education. In J. Rhoton, & P. Bowers, (eds.) *Issues in science education*. NSTA.

Bentley, M., Ebert, C., & Ebert, E. S. (2000). *The natural investigator: A constructivist approach to teaching elementary and middle school science*. Belmont, CA: Wadsworth.

Bereiter, C. & Scardamalia, M. (2006) *Education for the knowledge age: Design-centered models of teaching and instruction*. In P. A. Alexander & P. H. Winne (eds.) *Handbook of educational psychology*, 2nd ed. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Biological Science Curriculum Study(BSCS) (1993). *Developing biological literacy: A guide to developing secondary and post-secondary biology curricula*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company.

Bruner, J. S. (1960). *The process of education*. Cambridge: Harvard University Press.

Bruner, J. S. (1968). *Toward a theory of instruction*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.

Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*.

Portsmouth, NH: Heinemann.

Bybee, R. W., Powell, J. C., & Trowbridge, L. W. (2008). *Teaching secondary school science: Strategies for developing scientific literacy*, 9th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson.

Cain, S. E. (2002). *Sciencing*, 4th ed. Columbus, OH: Merrill.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. London: A Bradford Book.

Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. (1985). Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena. In L. H. T. West & A. L. Pines, (eds.) *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, Inc.

Champagne, A. B., Klopfer, L. E., & Anderson, J. H. (1980). Factors influencing the learning classical mechanics. *American Journal of Physics*, 48(12), 1074-1076.

Chiappetta, E. L. & Koballa, T. R. (2010). *Science instruction in the middle and secondary schools*, 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.

Cosgrove, M. & Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In R. Osborne & P. Freyberg. *Learning in science: The implications of children's science*. London: Heinemann..

Driver, R. (1982). Children's learning in science. *Educational Analysis*, 4(2), 69-79.

Driver, R. (1987). *Changing conceptions*. Prepared for international seminar, adolescent development and school science, King's College, London, September 13-17.

Dunkhase, J. A. (2003). The coupled-inquiry cycle: A teacher concerns-based model for effective student inquiry. *Science Educator*, 12(1), 11-15.

Dykstra, D. I. (2005). cited from J. Hassard & M. Dias (2009). *The art of teaching science:*

Inquiry and innovation in middle school and high school, 2nd ed. New York and London: Routledge.

Ebenezer, J. V. & Haggerty, S. M. (1999). *Becoming a secondary school science teacher*. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.

Eggen, P. D. & Kauchak, D. P. (2006). *Strategies and models for teachers: teaching content and thinking skills*, 4th ed. Boston: Pearson.

Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E model: A proposed 7E model emphasizes “transfer of learning” and the importance of eliciting prior understanding. *The Science Teacher*, 70(6), 56–59.

Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221–230.

Freyberg, P. & Osborne, R. (1985). Assumptions about teaching and learning. In R. Osborne & P. Freyberg. *Learning in science: The implications of children's science*. London: Heinemann.

Gallagher, J. J. (2007). *Teaching science for understanding: A practical guide for middle and high school teachers*. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.

Gunter, M. A., Estes, T. H., & Mintz, S. L. (2007). *Instruction: A models approach*, 5th ed. New York: Pearson.

Hashweh, M. (1986). Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8(3), 229–249.

Hergenbahn, B. R. & Olson, M. H. (2005). *An introduction to theories of learning*, 7th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

Herr, N. (2008). *The sourcebook for teaching science: Strategies, activities, and instructional resources*. San Francisco, CA: John Wiley & Sons, Inc.

Hill, A. M. & Smith, H. A. (2005). Problem-

based contextualized learning. In S. Alsop, L. Bencze, E. Pedretti (eds.) *Analyzing exemplary science teaching*. Berkshire, Open University Press.

Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2009). *Models of teaching*, 7th ed. Boston: Pearson.

Karplus, R. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(2), 169–175. In R. G. Fuller (ed.) (2002) *A love of discovery: Science education – The second career of Robert Karplus*. New York: Kluwer Academic.

Lawson, A. E. (1991). Exploring growth (& mitosis) through a learning cycle. *The American Biology Teacher*, 53(2), 107–110.

Lawson, A. (1995). *Scientific teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.

Lawson, A. E. (2002). The learning cycle. In R. G. Fuller (ed.) (2002) *A love of discovery: Science education – The second career of Robert Karplus*. New York: Kluwer Academic.

Lawson, A. E. (2010). *Teaching inquiry science in middle and secondary schools*. Los Angeles: SAGE.

Lee, C. A. (2003). Learning cycle inquiry into plant nutrition. *The American Biology Teacher*, 65(2), 136–141.

Lunetta, V. N., Hofstein, A., & Clough, M. P. (2007). Learning and teaching in the school science laboratory: An analysis of research, theory, and practice. In S. K. Abell & N. G. Lederman (eds.) *Handbook of research on science education*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Martin, R., Sexton, C., & Franklin, T. (2009). *Teaching science for all children*, 5th ed. Boston: Pearson.

Martin, R., Sexton, C., & Gerlovich, J. (2002). *Teaching science for all children: Methods for constructing understanding*. 2nd ed. Boston: Allyn and Bacon.

Nussbaum, J. & Novick, S. (1982). Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: Towards a principled teaching strategy. *Instructional Science* 11, 183-200.

Osborne, R. J. & Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67(4), 489-508.

Pavitt, C. & Curtis, E. (1994). Small group discussion: A theoretical approach, 2nd ed. Scottsdale, Arizona: Gorsuch Scarisbrick, Publisher.

Renner, J. (1982). The power of purpose. *Science Education*, 66(5), 709-716.

Schwab, J. J. (1966). The teaching of science as inquiry. In J. J. Schwab & P. F. Brandwein(eds.) *The teaching of science*. Cambridge: Harvard University Press.

Science Curriculum Improvement Study(SCIS) (1974). *SCIS teacher's handbook*. Berkley, CA: University of California.

Settlage, J. & Southerland, S. A. (2007). *Teaching science to every child: Using culture as a starting point*. New York: Routledge.

Treagust, D. F. (2007). General instructional methods and strategies. In S. K. Abell & N. G. Lederman (eds.) *Handbook of*

research on science education. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J. (1996). *Improving teaching and learning in science and mathematics*. New York: Teachers College Press.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.

West, L. H. T. & Pines, A. L. (1985). Introduction. In L. H. T. West & A. L. Pines, (eds.) *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, Inc.

White, T. T. (1988). *Learning science*. Oxford: Basil Blackwell.

White, R. & Gunstone, R. (1992). *Probing understanding*. London: The Falmer Press.

Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative processes. *Educational Psychologist*, 11(2), 87-95.

Wittrock, M. C. (1985). Learning science by generating new conceptions form old ideas. In L. H. T. West & A. L. Pines, eds. *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, Inc.