

실험 해석 과정에서 체계적 비유 사용에 의한 중학교 영재반 학생의 효소 개념 변화

이원경¹ · 김희백*

양재고등학교¹ · 서울대학교

Gifted Middle School Students' Conceptual Change of an Enzyme by Using Systematic Analogies during the Interpretation of Experimental Results

Won-Kyung Lee¹ · Heui-Baik Kim*

Yangjae High School¹ · Seoul National University

Abstract: Metabolism is one of the pivotal biology concepts, but many students have difficulty understanding it. The purposes of this study were (1) to explore 8th graders' conceptual change of an enzyme after classes of experimenting enzyme reaction and interpreting data using systematic analogies, (2) to discover the role of systematic analogies to enhance students' understanding, and (3) to explain students' difficulty understanding concepts as the ontological features. Systematic analogies were designed to encourage students to interpret their lab activities on enzyme reaction rates. Data were collected by using the pre-test and the post-test of open-ended form, students' worksheets, and interviews with students. After classes, the number of students to engender scientific conceptions about the function of enzyme, its structure, and its mechanism has increased. But more students failed to understand the reaction mechanisms having ontological features of equilibration processes than to understand the function of enzyme having ontological features of event-like processes. Even though the concepts of enzymes are hard to grasp owing to their ontological attributes of equilibration processes, a part of students' conceptions successfully progressed from the idea belonging to event-like processes to one belonging to equilibration processes. And systematic analogies were found to contribute in enhancing students' conceptual change of the enzyme reaction.

Key words: conceptual change, systematic analogy, ontological perspective, enzyme, interpretation of data

I. 서론

과학 개념은 오랜 기간 동안 과학자들에 의해 정의되고 수정되어 왔으며, 과학 교육에서 차지하는 비중은 매우 크다. 실제로 거의 모든 과학 학습 관련 활동들은 개념을 대상으로 하고 있으며, 이를 이해하기 위한 활동이라고 할 수 있다. 그러므로 과학 교육의 중심을 이루는 개념이 어떻게 형성되며, 어떻게 발달하는지, 또한 학습을 통해 학습자의 개념이 어떻게 변화하는지 등에 대한 연구는 매우 중요하다.

과학 개념 중에는 학생들이 이해하기 어려운 개념이 있는 것으로 알려졌으며 과학교육 연구자들은 이러한

개념들의 속성을 파악하기 위한 노력을 기울여 왔다. Chi *et al.*(1994)은 과학 개념을 물질(matter), 과정(process), 그리고 정신적 표상(mental representation)의 세 가지 존재론적 범주로 나누었다. 각 범주들은 여러 하위 범주들로 구성되는데, 과정 범주의 하위 범주로는 사건 범주와 평형 범주가 있다. 사건 범주에 속하는 개념들은 시작과 끝이 명료한 경계가 있으며, 일련의 연속적 순서로 일어나고, 인과적 관계가 형성되고, 전체 사건은 분명한 목적을 가지는 속성을 지니고 있다. 반면 평형 범주에 속하는 개념들은 시작과 끝이 없이 지속적으로 진행되며, 여러 단위 사건들은 동시적·독립적·무작위적으로 일어난다. 복잡하고 추상적이며

*교신저자: 김희백(hbkim56@xun.ac.kr)

**2006.10.18(접수) 2007.02.12(1심통과) 2007.03.21(2심통과) 2007.03.25(최종통과)

역동적인 과학 개념들은 평형 범주의 속성을 지니고 있기 때문에 학습자가 이해하기 어려워한다는 연구들이 있다(박지영, 2003; 민진선, 2004).

생물학에서 학생들이 어려워하거나 오개념을 많이 갖고 있는 분야는 자연선택, 확산, 유전, 물질대사 등으로 직접 눈으로 관찰 또는 경험할 수 없는 평형 범주에 속하는 개념들이다(Bishop, 1990; 박종석, 조희형, 1987; 정영란, 1998; Chi, 2000). 특히, 물질대사의 ‘광합성’, ‘호흡’, ‘효소’는 생물학 학습에서 중요한 주제 중 하나로(조희형, 1985), ‘광합성’과 ‘호흡’에 관한 연구는 많이 이뤄졌지만 물질대사 과정을 조절하는데 중요한 역할을 하는 ‘효소’ 개념에 관한 연구는 보고된 바가 없다. 효소의 특성 및 기작도 눈으로 관찰하거나 직접적으로 경험할 수 없는 평형 범주의 속성을 지니고 있기 때문에 학생들이 이해하기 어려워하는 개념이다. 효소 개념의 효과적 교수를 위해 학생들의 효소 개념에 대한 선개념 파악이 우선되어야 하며 그 결과에 비추어 효소 개념 이해의 향상이 적절히 일어나도록 도울 수 있는 교수·학습 전략의 개발이 필요하다.

과학 과목에서 과학 개념의 이해를 돕기 위해 다른 교과와 구분 짓는 독특한 교수·학습 방법 중 하나가 실험이다. 국민공통기본교육과정의 과학과 물질대사 관련 탐구활동을 분석한 결과를 보면 60% 이상이 실험이다(심규철 등, 2004). 실험 활동을 통해 과학 개념을 효과적으로 습득할 수 있고, 과학적 탐구 방법을 학습할 수 있으며, 과학의 본성에 대한 이해를 증진시킬 수 있다고 주장한다(Friedler & Tamir, 1990; Klopfer, 1990). 그러나 학교에서 이뤄지고 있는 실험의 교육적 효과에 대해서 많은 연구자들이 부정적인 견해를 제시해왔다.

김희정, 조연순(2001)은 교과서에 제시된 실험 방법과 지식을 그대로 수용하고 전달받으면 생물 영역에서 배워야 하는 에너지와 광합성에 대한 큰 개념을 이해하지 못하고, 나열된 지식을 연결시키지 못하며, 결과적으로 올바른 과학적 개념을 형성할 수 없거나 오개념을 배우게 된다고 하였다. 관찰과 측정은 상식적으로 이루어질 수 있으며 관찰과 사실을 구조화하고 배열한다면 설명도 가능할 것이라는 소박한 경험주의가 학교 실험의 기본 가정으로 자리 잡고 있다고 비판하였다(Millar, 1998). 현재 7차 교육과정의 교과서에서도 효소 개념의 이해를 돕기 위해 몇 가지 실험을 제시하고 있다. 하지만 앞의 연구 결과들로 비추어 볼 때 이러한 실험 활동이 학생들의 효소 개념 이해를 향상시키는데 한계가 있음을 알 수 있다. 실험 결과를 과학 개념과 연결 지어 설명할 수 있을 때 비로소 실험 수업의 목적이 달성된다고 할 수 있다. 그러므로 효소 개념의 이해

를 위해 실시하는 실험 결과를 과학 개념과 연결시켜 설명할 수 있고, 학생들이 이해하기 어려워하는 효소의 평형 범주 속성의 이해를 향상시킬 수 있는 대안적 학습 전략이 요구된다.

어려운 과학 개념을 교수·학습하는데 비유는 가치 있는 도구로 알려져 있다(Weller, 1970). 구성주의 관점에서 비유는 학습자의 인지구조와 경험과의 상호작용을 통해 학습자가 가지고 있던 이전의 경험과 과학 개념을 통합하고 재구조화함으로써 개념 변화에 중요한 역할을 한다. 이때 이미 알고 있는 것과 새로운 것, 친밀한 것과 생소한 것 사이의 유사성을 찾는 과정이 개념 변화가 일어나는 핵심적인 과정이라 할 수 있다(Wittrock & Alesandrini, 1990). 비유물과 목표물 간에 존재하는 유사성은 표면적 유사성과 체계적 유사성으로 구분되는데(Gentner & Toupin, 1986) 표면적 유사성이란 비유물과 목표물간의 색상이나 형태와 같은 속성의 유사 정도를 의미하거나 문제 해결 상황에서 목표 획득과 인과적 관련 없는 요소들 간의 유사성을 의미한다. 반면 체계적 유사성은 구조적 속성과 관련된 것으로 비유물이 목표 개념의 인과 관계에 대응되는 구조를 체계적으로 포함하고 있을 때 목표 개념의 학습에 필요한 도식이 효과적으로 도출될 수 있다(Gentner, 1989; Holyoak & Koh, 1987).

Holyoak, Koh(1987)는 자발적 전이의 경우에는 표면적 유사성이 높은 비유물이 낮은 비유물에 비해 효과적이거나 일단 비유물과 목표물의 관련성을 인식한 경우에는 체계적 유사성에 따라 전이의 차이가 나타난다고 하였다. 그러므로 효소 개념과 같이 학생들이 직접 눈으로 관찰하거나 경험할 수 없어 이해하기 어려운 과학 개념의 경우, 학생들이 실생활에서 친숙하게 직접 경험할 수 있고 목표 개념과 체계적 유사성을 지닌 비유물은 학생들의 개념 이해를 도울 뿐 아니라 실험 결과를 과학 개념과 쉽게 연결 지어 설명하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

이상의 논의에 기초하여 본 연구에서는 효소 개념의 이해를 향상시키고 온도·pH에 따른 효소의 반응 속도를 알아보는 실험을 과학 개념과 연결 지어 설명할 수 있도록 하기 위해 체계적 비유를 개발하여 수업에 적용하고자 하였다. 체계적 비유가 실험 결과를 과학적 개념과 연결 지어 설명하도록 도와 수업 후 학생들의 효소 개념이 어떻게 변화하였는지 분석하고, 효소 개념의 존재론적 속성에 따라 학생들의 이해 정도가 어떠한지 살펴본다 학생들의 효소 개념의 발달 단계를 제시하고자 하였다. 이에 따른 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 효소 기능, 효소 구조, 효소 기작에 대한 학생들

의 개념은 체계적 비유를 적용한 후 어떻게 변화하였는가?

- 2) 학생들의 개념 변화 및 실험 결과 해석 과정에 기여한 체계적 비유의 역할은 무엇인가?
- 3) 효소 개념의 존재론적 속성에 따른 학생들의 개념 이해 정도의 차이는 어떠한가?

II. 연구 대상 및 연구 방법

1. 연구 대상 및 방법

본 연구는 서울대학교 영재교육원에 참여한 화학분과(19명), 지학분과(15명) 학생을 대상으로 실시하였다. 대상 학생들은 서울 소재 중학교 2학년에 재학 중이었으며, 선발에 의해 영재교육원에 입학한 학생들이었다. 본 연구에서 개발한 체계적 비유를 이용하여 효소 내용을 설명하고 온도·pH에 따른 효소 반응 속도를 측정하는 실험을 실시하였다. 실험 결과 온도에 따라 효소 반응 속도가 변화하는 이유를 수업 시간에 배운 비유를 이용하여 설명하도록 하였다.

본 연구에서 개발한 효소 개념 검사지에 대한 학생들의 사전·사후의 응답을 분석하여 범주화하고, 학생들의 효소 개념이 어떻게 변화하였는지 조사하였다. 수업 후에는 개념 변화가 뚜렷이 나타난 4명의 학생들(학생A, B, C, D)을 대상으로 면담을 실시하여 체계적

비유가 효소 개념의 이해와 실험 결과를 해석하는 데 미친 효과를 분석하였다. 또한 존재론적 관점에서 효소 개념이 지니고 있는 속성에 따라 학생들의 이해 정도를 살펴보았다.

2. 체계적 비유 개발

비유물은 목표물의 인과 관계에 대응되는 구조를 체계적으로 포함하고 있을 때 목표 개념의 학습에 필요한 도식을 효과적으로 도출할 수 있다(Gentner, 1989; Holyoak & Koh, 1987). 따라서 본 연구에서는 목표물과 체계적 유사성을 지닌 비유물을 새롭게 개발하거나 기존 교과서의 비유를 수정·보완하였다. 팝콘이 튀겨지는 현상을 효소의 기능에 대응시킨 팝콘 비유와 문에 달린 자물쇠를 열쇠로 여는 과정을 효소의 구조와 기작에 대응시킨 자물쇠 비유를 개발하여 수업에 사용하였다. 본 연구에서 개발한 비유물과 목표물의 대응 및 대응 속성은 표 1과 같다.

3. 효소 개념 검사지 개발

학생들이 효소에 관해 이해해야 할 내용을 기능(F), 구조(S), 기작(M)으로 나누고 각 항목의 내용을 표 2와 같이 세분하였다. 개념 검사지는 각 효소 개념을 포함하도록 구성되었으며 파일럿 검사와 전문가의 의견

표 1 비유물과 목표물의 대응 및 대응 속성

	비유물	목표물	대응 속성
비유 1 : 팝콘	옥수수	반응물	체계적 유사성
	바깥으로 나온 팝콘	생성물	
	팝콘이 튀는 높이	반응물의 운동에너지	
	그릇의 높이	활성화 에너지	
	팝콘이 그릇 밖으로 튀어나온다	화학반응	
비유 2 : 자물쇠	자물쇠	효소	체계적 유사성
	열쇠	반응물	
	녹슨 자물쇠	효소의 변성	
	잠긴 문이 열린다	화학반응	

표 2 효소 개념

효소	기능 (F)	구조 (S)	기작 (M)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다(F1). ▪ 효소는 물질대사를 조절한다(F2). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 효소는 특정한 구조를 갖는다(S1). ▪ 효소의 구조는 온도와 pH에 따라 변한다(S2). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 효소는 반응물과 계속적으로 결합한다(M1). ▪ 효소는 무작위적으로 반응물과 결합한다(M2).

표 3
개념 검사지 문항

문항 번호	효소 개념
1	1-1 효소 기능(F1)
	1-2 분자운동에너지
	1-3 효소 구조(S1, S2)
	1-4 효소 기작(M1, M2)
2	2-1 효소 기능(F2)
	2-2 효소 기능(F2)

등을 통해 수정·보완 되었다. 개념 검사지의 각 문항 구성은 표 3과 같다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 학생들의 효소 개념 변화

1) 효소의 기능

(1) 효소의 촉매 작용

반응물에 효소를 넣었을 때 반응 속도가 증가하는 이유가 무엇인가에 관한 학생들의 응답은 표 4와 같이 과학적 개념과 오개념으로 범주화할 수 있었다. 과학적 개념으로 범주화된 학생들의 응답을 살펴보면 효소는 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 증가시킨다고 답하거나 ‘활성화 에너지’라는 용어 대신 ‘장애물’이란 용어를 사용하여 답하였다. 활성화 에너지라는 용어는 기억하지 못했지만 화학 반응이 일어나지 위해서는 반응물이 넘어야 할 에너지 장벽이 있음을 이해하고 있음을 알 수 있다.

또한 학생들은 다양한 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다. 촉매라는 용어를 기억하여 사용하긴 했지만 촉매의 역할에 대해 잘못 이해하고 있는 경우가 있었으며, 효소가 어떻게 반응 속도를 빠르게 하는지에 대해 잘못 이해하고 있는 경우도 있었다. 이는 효소의 촉매 기능을 제대로 이해하지 못했음을 의미한다.

표 4
효소의 촉매 작용에 대한 학생들의 개념

범주	학생들의 응답
과학적 개념	<ul style="list-style-type: none"> 효소는 촉매 역할을 하여 활성화 에너지를 낮춰주기 때문에... 반응물이 넘어가는 장애물을 낮춰주기 때문이다.
오개념	<ul style="list-style-type: none"> 우리가 어떤 일을 할 때 한꺼번에 하는 것보다 조금씩 나누어 하는 것이 더 빠르다. 촉매도 이런 것처럼 열을 나누어주는 역할을 한다. 효소가 반응 단계를 여러 개로 나눠서...

그림 1은 사전 검사의 각 범주에 속한 학생들이 사후 검사에 어떤 범주로 변화하였는지를 나타낸 것으로 굵은 화살표는 그 중 가장 높은 비율로 변화한 경로를 나타낸 것이다. 수업 후 과학적 개념은 61.8%(21명)에서 88.2%(30명)로 증가하였다. 또한 사전 검사에서 오개념과 무응답에 속했던 학생들 중 많은 학생들이 과학적 개념으로 변화한 것을 알 수 있다. 사후 검사에서 과학적 개념을 지닌 학생이 88.2%(30명)인 것은 학생들이 효소 기능에 대한 이해를 쉽게 받아들임을 의미한다.

본 연구에서는 효소의 기능에 대한 이해를 촉진시키기 위하여 수업 시간에 팝콘 비유를 사용하였다(표 5). 옥수수가 팝콘으로 튀겨지는 현상은 화학 반응에 대응시켰으며, 팝콘이 튀겨져 나오는 그릇의 높이를 활성화 에너지에 대응시켰다. 이때 그릇의 높이가 낮아지면 그릇 밖으로 튀겨져 나오는 팝콘의 양이 많아지는 것처럼 효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다고 설명하였다.

비유는 과학 개념을 향상시키는데 효과적일 뿐 아니라 과학 개념을 자신의 언어로 쉽게 설명하도록 하는데 유용하다는 것은 여러 연구에서 제시된 바 있다(Dupin & Johsua, 1989; Brown & Clement, 1989; Treagust *et al.*, 1996). 또한 학생들의 시각적 상상력을 발휘하여 과학 개념을 쉽게 회상하는데 도움을 준다고 하였다(Treagust, 1993; Duit, 1991). 비유의 이러한 효과는 학생의 인터뷰에서 확인할 수 있었다.

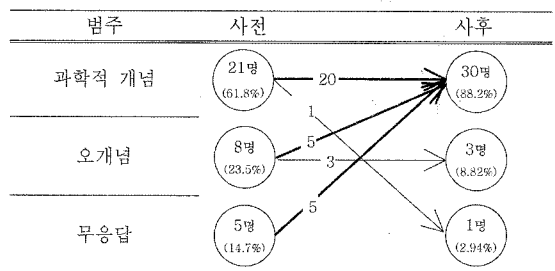


그림 1 효소의 촉매 작용에 대한 개념 변화

표 5
효소 기능 이해를 위해 사용한 비유

팝콘 비유	과학적 개념
<ul style="list-style-type: none"> 그릇 높이보다 높게 튀겨지는 팝콘이 그릇 밖으로 나올 수 있다. 높이가 낮은 그릇을 사용하면 더 많은 팝콘이 그릇 밖으로 튀어 나온다. 	<ul style="list-style-type: none"> 활성화 에너지를 넘는 반응물만이 생성물이 될 수 있다. 활성화 에너지가 낮아지면 반응 속도가 증가한다.

수업 전에 학생A는 효소의 개념을 명확하게 알지 못해 효소의 기능에 대한 물음에 응답하지 않았다. 그러나 사후 검사지에서는 비록 ‘활성화 에너지’라는 과학적 용어를 기억하지 못했지만 주변에서 쉽게 경험할 수 있고 머리 속으로 그려볼 수 있는 팝콘 비유를 회상하여 효소 개념을 잘 설명하였다.

교 사: (사전 검사에서는 답을 하지 못했는데) 사후 검사 1번 질문에서 ‘장애물을 낮춰요’라고 그랬는데 장애물의 용어를 잘 몰라 그냥 쓴 것 같은데 장애물이란 말을 어디서 생각나서 쓰거니?
 학생A: 팝콘할 때 그릇의 높이가 생각나서 장애물이라고 썼어요.
 교 사: 팝콘 비유가 잘 떠올랐단 말이지?
 학생A: 쉽게 상상할 수 있어요.

(2) 효소의 물질대사 조절

표 4는 한 단계의 화학반응에서 효소의 역할이 무엇인지에 대한 학생들의 응답을 살펴본 것이다. 그러나 실제 세포 안에서 일어나는 물질대사는 대부분 여러 단계의 반응이 연쇄적으로 이루어지고 각 단계의 효소 작용에 의해 전체 물질대사가 조절되기 때문에 학생들이 이에 대해 어떻게 이해하고 있는지 알아보았다. 연쇄적인 세 단계(Γ:첫 단계, Λ:중간 단계, ς:마지막 단계)의 화학 반응으로 이루어진 물질대사에서 중간 단계(Λ 단계)를 조절하는 효소에 돌연변이가 일어나 최적 pH가 변화한 경우에 물질대사가 어떻게 조절되는지를 질문하였다. 이에 대한 학생들의 응답은 표 6과 같았다.

돌연변이가 일어난 단계의 반응이 일어나지 않아 결국 물질대사에 지장을 준다는 과학적 개념으로 답한 학생들도 있었지만 각 단계의 반응 조절에 대한 언급 없이 막연히 반응 속도가 느려진다고 답한 경우도 있

었다. 이런 경우는 각 단계의 반응 속도 변화를 전체 반응 속도와 구체적으로 연결시키지 못한 경우라고 할 수 있다. 다음은 돌연변이가 일어난 단계의 반응만 느려진다고 답한 경우이다. 일련의 화학 반응 과정에서 중간 단계에 이상이 생겼을 경우 그 이후의 반응에 미치는 영향을 생각하지 못한 경우로 물질대사의 유기적 관계에 대한 이해가 부족함을 알 수 있다. 그 밖의 오개념을 살펴보면 학생들이 화학 반응에 대한 일반적인 이해가 부족함을 알 수 있다.

과학적 개념을 지닌 학생의 수는 20.6%(7명)에서 47.1%(16명)로 증가하였지만(그림2) 이 비율은 효소는 ‘활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가 시킨다’는 개념의 이해가 61.8%(21명)에서 88.2%(30명)로 증가한 것에 비해 낮다. 이는 학생들이 효소의 역할을 단순한 단계 반응의 촉매작용으로 이해하고 있으며 아직 효소에 의해 물질대사 전체가 조절된다는 이해를 어려워하고 있음을 보여준다. 이에 대한 학생들의 이해를 향상시키기 위한 교수·학습 전략이 필요함을 알 수 있다.

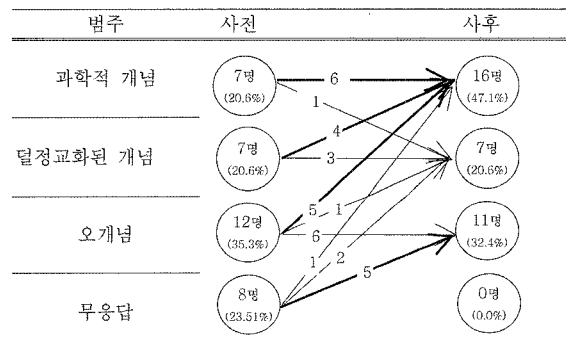


그림 2 효소의 물질대사 조절에 대한 개념 변화

표 6 효소의 물질대사 조절에 대한 학생들의 개념

범주	학생들의 응답
과학적 개념	<ul style="list-style-type: none"> Γ 반응은 아무 관계없이 잘 진행된다. Λ 반응의 반응 속도가 느려서 ς 반응은 Λ 반응의 영향으로 활발히 일어나지 않을 것이다. Γ은 정상적으로 진행되나, Λ은 반응 속도가 점점 더 느려지고, ς은 거의 진행되지 않을 것이다.
덜정교화된 전체적으로 반응이 느리다	<ul style="list-style-type: none"> 모두 pH7일 때 보다 느린 속도로 반응할 것이다. 최적 pH가 달라졌기 때문에 덜 활발하게 진행될 것이다.
한 단계만 느리다	<ul style="list-style-type: none"> Γ 단계에서는 정상적으로 반응하지만 Λ 단계에서는 효소의 pH 때문에 반응 속도가 매우 느려질 것이다. 하지만 반응은 여전히 ς 단계로 가고 그 후 생성물은 정상적으로 변화한다. Γ, ς은 잘 일어나는데 Λ 과정은 효소의 최적 pH가 변했으므로 일어나지 않는다.
기타	<ul style="list-style-type: none"> ... 효소가 반응하는데 조건을 맞추기 위해 시간이 오래 걸릴 것이다. Γ과 ς은 그대로 이고, Λ만 반대 방향으로 돌아갈 것이다.

2) 효소의 구조

(1) 온도·pH에 따른 효소 구조의 변화

온도에 따른(a:낮은 온도, b:최적 온도, c:높은 온도) 효소 반응 속도를 효소의 구조와 연관 지어 설명하라는 질문에 대한 학생들의 응답을 살펴보면 사전에 20.6%(7명)의 학생들이 과학적 개념을 가지고 있었다(그림 3). 이 학생들은 온도가 증가함에 따라 반응 속도가 점점 증가하지만 높은 온도에서는 단백질 변성으로 인한 효소의 구조 파괴로 인해 반응 속도가 감소한다는 내용을 잘 설명하고 있었다(표 7).

하지만 사전 검사에서 41.2%(14명)의 학생들이 잘못된 오개념을 지니고 있거나 38.2%(13명)의 학생들이 몰라서 답을 하지 못했다(그림 3). 학생들이 지니고 있는 다양한 오개념은 표 8과 같다. 첫 번째는 효소의

구조가 효소의 반응 속도와 관련 있음을 생각하지 못하고 효소의 구조나 반응 속도 중 한 가지만 언급한 경우이다. 이런 경우는 효소의 구조가 효소의 반응 속도와 밀접한 관계가 있음을 알지 못할 뿐 아니라 효소의 구조와 반응 속도에 대해서도 각각 오개념을 가지고 있었다. 두 번째는 효소의 구조와 반응 속도를 연결시켜 설명은 하였지만 효소 구조에 대한 오개념을 가지고 있는 경우와 효소 구조/반응 속도에 대해 모두 오개념을 가지고 있는 경우이다.

사후 검사에서는 과학적 개념으로 변화한 학생이 41.2%(14명)로 사전에 비해 약 2배로 증가하였으나 여전히 오개념을 가지고 있는 학생들이 많음을 알 수 있다(그림 3).

온도에 따른 효소 반응 속도의 변화에 대한 이해를 높이기 위해 일반적으로 교실에서는 실험이 수행되지만 학생들은 실험 결과 얻게 되는 그래프(온도에 따라

표 7
효소 구조에 대한 학생들의 과학적 개념

범주	학생들의 응답
과학적 개념	<ul style="list-style-type: none"> a와 b에서는 효소의 모양이 서로 같으나 c에서는 효소의 모양이 변형되어 반응물과 서로 결합하기 힘들어진 모양이 되어 반응 속도가 갑자기 떨어진다. a에서는 ... 분자운동이 활발하지 못하다. b에서는 온도가 높아짐에 따라 운동이 활발해진다. c에서는 효소가 단백질 덩어리인데 온도가 너무 높으면 단백질이 파괴되어...

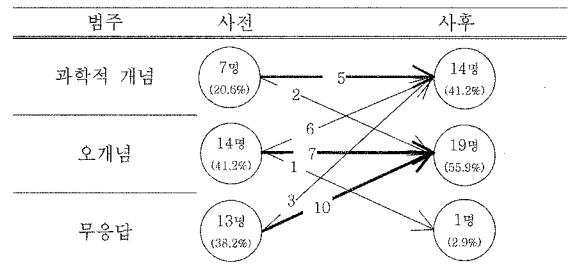


그림 3 효소 구조에 대한 개념 변화

표 8
효소 구조에 대한 학생들의 오개념

오개념 범주	학생들의 응답
효소 구조와 반응 속도를 연결시키지 못하는 경우	<ul style="list-style-type: none"> 모든 온도 구간에서 (효소의 구조는) 똑같다. a: 적은 결합부 b: 결합부가 매우 많다 c: 결합부가 거의 없다. a: 바뀐다... b: 거의 바뀌지 않는다... c: 안바뀐다. 그 상태를 유지하면서 온도가 높아져서 죽었으므로 a: 속도가 느림 c: 반대로 빨라짐 a: ... 운동이 활발하지 못하고 규칙적인 것이다. b: 반응 속도가 가장 높다... c: 반응 후이므로 a 단계처럼 규칙적으로 되돌아갈 것이다.
효소 구조와 반응 속도를 연결시키는 경우	<ul style="list-style-type: none"> a: 구조 점점 좋아짐(속도도 증가) b: 최적의 온도. 분해하기 좋은 구조(속도 빠름) c: 구조가 변성되어 효소가 미치는 영향 없음(속도 최하) ... b에서는 단면적이 넓어져 반응 속도가 급격히 증가한다. c에서는 효소가 조그맣다. 작아서 활동이 느리다. a, b, c 부분 모두 구조는 미세하게 다를 것이다. 하지만 b에서 가장 반응 속도가 활발하므로 b 부분은 쉽게 반응물에 따라 모양이 바뀔 수 있는 구조를 가질 것이다.
효소 구조와 반응 속도에 대해 모두 오개념을 가진 경우	<ul style="list-style-type: none"> a: 원래 다르다. 반응을 돕지 않는다. b: 원래 모양. 반응을 돕는다. c: 원래와 다르다. 반응을 돕지 않는다. a: 변화. 활성화 에너지를 낮춘. b: 고정. 반응하지 않음. c: 고정. 반응하지 않음.

반응 속도가 증가한다)의 의미를 알지 못한다. 교사도 이 실험으로부터 학생들에게 전달하고자 했던 개념을 확인하지 못한 채 실험을 마무리하는 경우가 많다. 이처럼 과학 수업에서 개념의 이해를 돕기 위해 보편적으로 실시되는 실험이 과학 개념과 연결되지 못하고 마무리 되는 경우가 많다(Hodson, 1990; Wallace *et al.*, 2003). 이런 경우, 실험은 단순히 ‘온도에 따라 반응 속도가 증가하다 감소한다’는 사실을 확인하는 활동으로 끝난다. 김희정, 조연순(2001)이 지적하였듯이 실험을 통한 학생들의 직접적인 경험을 과학적 개념과 연결하여 설명하도록 하는 과정이 없으면 실험 결과가 의미하는 것이 무엇인지 이해하지 못하고 하나의 단편적 지식으로 머물게 된다.

본 연구에서는 실험 후 결과를 해석하는 과정에서 수업 시간에 사용한 자물쇠 비유를 이용하여 설명하도록 하였다. 특정한 모양을 한 열쇠만이 자물쇠와 결합하여 문을 열 수 있다는 비유를 통해 효소의 기질 특이성을 이해하도록 하였으며, 녹이 슨 자물쇠는 열쇠와 맞지 않아 문을 열 수 없다는 비유를 이용하여 온도나 pH에 의해 구조가 변한 효소가 반응을 돕지 못한다는 설명을 하였다(표 9).

학생들에게 효소의 반응 속도 실험의 목적과 비유의 효과에 대해 인터뷰하였다. 학생B에게 이 실험의 목적이 무엇인지 질문했을 때 환경에 따른 효소의 반응 속도를 알아보기 위한 것이라고 대답하였다. 이것은 목적이 보다는 목표에 대한 답이라고 할 수 있다. Hart *et al.*(2000)는 실험을 통해 의미 있는 학습이 거의 일어나지 못하는 이유 중 하나는 학생들이 활동의 목적을 알지 못하기 때문이라고 하였다. 이 학생의 경우에도 효소 실험의 목적을 인식하지 못하고 단지 실험을 통해 온도나 pH에 따른 반응 속도의 변화만을 확인하는 것으로 알고 있었다. 하지만 좀 더 깊은 질문을 통해 실험의 목적을 인식하게 되었고, 실험 결과만으로는 과학 개념을 설명해주지 못한다고 생각하게 되었다

표 9
효소 구조 이해를 위해 사용한 비유

자물쇠 비유	과학적 개념
▪ 특정한 모양을 한 열쇠만이 자물쇠와 결합하여 문을 열 수 있다.	▪ 효소는 특정한 구조를 하고 있으며 자신의 구조와 맞는 반응물과만 결합하여 화학반응을 돕는다.
▪ 녹이 슨 자물쇠는 열쇠와 맞지 않아 문을 열 수 없다.	▪ 온도나 pH에 의해 효소의 구조가 변화하면 반응물과 결합하지 못해 반응을 돕지 못한다.

(Wallace *et al.*, 2003). 이때 비유가 실험 결과를 설명하는데 도움이 되었다고 하였다(Yerrick *et al.*, 2003).

- 교 사: 이 실험의 목적은 무엇이라고 생각하니?
 학생B: 어떤 온도, 어떤 pH에서 반응 속도가 느린지, 환경에 따라 효소의 반응 속도를 알아 보기 위한 거예요.
 교 사: 이 실험을 통해 알아야 할 것이 그것이면 된다고 생각하니?
 학생B: 음... 왜 반응 속도가 빨라지는 이유와 온도가 높아지면 왜 반응 속도가 떨어지는가를 알아야 해요.
 교 사: 실험 결과로 그 이유를 알 수 있을까?
 학생B: 실험 결과가 이유를 말해주지는 않아요.
 교 사: 결과를 설명하기 위해 비유가 도움이 된다고 생각하니?
 학생B: 된다고 생각해요... 반응 속도가 갑자기 느려지는 경우에 아이들이 반응 속도가 느려지는 이유를 효소가 없어졌다든지, 기질이 바뀌었다든지 여러 가지로 생각할 수 있는데 비유를 들어 설명하면 주변 생활에서 볼 수 있는 것으로 이해하기 쉽게 설명하기 때문에 그 이유를 자물쇠가 녹이 슬어서 그렇다고 했으니까 효소가 변형되어서 반응이 일어나지 않는구나하고 이해할 수 있어요.

학생 C의 경우, 효소 개념을 이해하는데 실험과 비유가 모두 도움이 되었지만 실험의 결과를 설명하는데 비유의 도움이 컸음을 이야기 하였다. 이러한 인터뷰 내용은 비유가 실험 결과로 얻은 그래프를 효소 구조와 연결 지어 설명하는데 매우 유용했음을 보여준다.

- 교 사: 실험을 해서 왜 그렇지 설명할 수 있을까? 비유가 도움이 되었다고 생각하니?
 학생C: 비유를 들어 설명하면 편하고, 이해하기 쉽고, 실험에서 나온 결과가 효소의 어떤 특징에 맞는 건지 알 수 있어요.
 교 사: 효소 개념을 이해하는데 실험과 비유는 어떤 도움이 되었니?
 학생C: 둘 다 괜찮았던 것 같아요. 수업 시간에 설명하는 것은 비유가 간단하게 설명하기 좋고 이해도 빠르고, 실험은 자기가 한번 해보고 다루면서 느끼는 거잖아요. 둘 다 좋다고 생각해요.

이상에서 살펴본 바와 같이 비유는 실험의 결과 해석 및 개념 설명에 사용함으로써 개념 변화를 돕는 유용한 도구가 될 수 있음(Osborne & Freyberg, 1985; Yerrick *et al.*, 2003)을 알 수 있었다.

3) 효소의 기작

(1) 온도에 따른 반응 속도 변화

온도에 따른 반응 속도 변화를 분자운동에너지 개념으로 설명할 수 있는지를 알아보기 위해 효소가 없는 경우에 온도 증가에 따라 반응 속도가 어떻게 변화하는지를 질문하고 학생들의 응답을 조사하였다. 표 10에서 보듯이 온도가 증가할수록 반응 속도가 증가한다

표 10

온도에 따른 반응 속도 변화에 대한 학생들의 개념(효소가 없을 때)

범주	학생들의 응답
과학적 개념	<ul style="list-style-type: none"> 온도가 높을수록 분자의 활동이 증가하여... ... 효소를 없애면 효소가 변형되어 반응 속도가 갑자기 떨어지는 일은 없고 계속 증가할 것이다.
오개념	<ul style="list-style-type: none"> 증가하다 감소한다 <ul style="list-style-type: none"> 효소를 넣지 않으면 반응 속도는 느려지고... 그래프 형은 비슷하게 나오나 반응 속도만 느리게 나올 것이다. 증가하다 일정해진다 <ul style="list-style-type: none"> ... 온도가 아무리 높아도 한계가 있기 마련이므로 처음에는 속도가 빨라지나 온도가 높으면 그대로 지속된다. 일정하다 <ul style="list-style-type: none"> 효소가 없으면 반응 속도가 거의 변화가 없을 것이다. 반응이 일어나지 않는다 <ul style="list-style-type: none"> 효소가 없으면 반응이 일어나지 않는다. 기타 <ul style="list-style-type: none"> ... 높은 온도 구간에서는 낮은 온도 구간의 영향으로 그래프가 낮아진다.

고 답한 학생도 있었지만 다양한 오개념을 가지고 있는 학생들도 있었다. 가장 많은 오개념은 ‘증가하다 감소한다’는 개념이다. 반응율은 낮아지지만 효소가 있을 때와 같은 형태의 반응 속도 그래프를 나타낼 것이라고 생각하는 경우이다. 분자운동에너지에 대한 개념이 부족하거나 높은 온도에서 효소 반응 속도가 왜 감소하는지에 대한 이해가 부족하기 때문이라고 해석할 수 있다. ‘증가하다 일정해진다’와 ‘일정하다’는 오개념을 지닌 학생들은 분자운동에너지 개념이 부족하여 온도가 증가할수록 반응 속도가 증가한다는 생각이 없는 경우라고 할 수 있다. ‘반응이 일어나지 않는다’라고 답한 경우는 효소가 없으면 반응이 전혀 일어나지 않을 거라는 잘못된 개념을 가지고 있는 경우이다.

학생들의 오개념이 분자운동에너지 개념의 부족으로 인한 경우가 많기 때문에 팝콘 비유를 사용하여 학생들의 이해를 돕고자 하였다(표 11). 온도가 높아지면 튀어 오르는 팝콘이 많아지는 현상을 통해 반응물의 분자운동에너지가 커져 반응 속도가 증가한다는 과학적 개념을 설명하였으며 학생들은 쉽게 분자운동에너지 개념과 연결 지어 이해하였다.

비유를 사용하여 수업을 한 후 학생들의 이해가 35.3%(12명)에서 50.0%(17명)로 증가하였으며 사전 검사에서 각 오개념 범주에 속했던 학생들 중 사후에 과학적 개념으로 변화한 학생들이 있었다(그림 4).

사전 검사지에서는 효소가 없을 때도 효소가 있을

표 11

분자운동에너지 이해를 위해 사용한 비유

팝콘 비유	과학적 개념
<ul style="list-style-type: none"> 옥수수는 온도가 높아질수록 그릇 밖으로 튀어 나오는 팝콘의 양이 증가한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 온도가 높아질수록 반응물의 운동 에너지가 높아져 반응 속도가 증가한다.

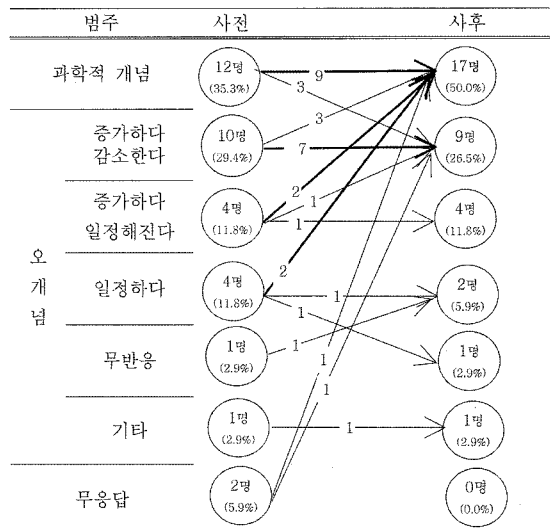


그림 4 온도에 따른 반응 속도 변화에 대한 개념 변화(효소가 없을 때)

때와 마찬가지로 온도가 증가할수록 반응 속도가 증가하다가 어느 온도 이상에서는 감소한다고 답하였으나 사후 검사지에서는 과학적 개념으로 바르게 답한 학생 D를 대상으로 인터뷰하였다. 학생D는 비유가 수업 전에 자신이 잘못 이해하고 있던 부분을 바르게 이해하는데 도움이 되었으며 오랫동안 기억하는데 도움이 되었다고 답하였다(Treagust et al., 1996).

교 사: 효소가 없을 때 화학 반응이 어떻게 일어날까?...

학생D: 이론 수업을 할 때 맨 처음에는 효소가 있을 때와 똑 같다고 생각했었는데 맨 마지막 예 효소가 끝날 때는 ... 계속 쪽 증가하는구나라고 생각했어요.

교 사: 수업 시간에 들은 비유하고 연결된 부분은 없을까?

학생D: 에너지 장벽을 넘을 때 온도가 높을수록 냄비 밖으로 많이 터져 나온다는 비유와 같다고 할 수 있죠.

교 사: 답을 쓸 때 그런 비유가 회상이 되었나?

학생D: 네, 떠올라요. 이론보다도 특히 비유가 훨씬 잘 떠올

라요. 이론은 매우 중요한 거 할 때는 생각하는데 비
유 같은 것은 생각하다가 떠오를 수 있고 훨씬 잘...

(2) 효소의 계속적 · 무작위적 작용

온도에 따른 효소 반응 속도를 측정하는 실험을 하
고 그 결과를 분자운동에너지 개념 및 효소의 구조와
관련지어 설명할 수 있다 하더라도 궁극적으로 학생들
이 이해해야 할 개념은 효소와 반응물이 서로 어떻게
작용하는가이다-즉, 효소 기작. 효소 기작에 관한 물음
에 대한 학생들의 응답을 다음과 같이 범주화할 수 있
었다-과학적 개념, 덜정교화된 개념, 오개념, 무응답(표
12). 과학적 개념은 효소들이 반응 후에도 구조가 변화
하지 않기 때문에 반응물과 계속적으로 반응하며 무작
위적으로 반응한다고 답한 경우이다. 하지만 그림5에
서 보듯이 사전 검사에서 과학적 개념을 가지고 있던
학생이 한 명도 없었다.

덜정교화된 개념은 오개념은 아니지만 과학적 개념
이라고 하기에는 구체적인 기작에 대한 설명이 부족한
경우이다. 즉, 반응물과 효소가 활발하게 움직인다고만
설명한 경우로 아직 과학적 개념으로 정교화되지 않은
상태라고 할 수 있다. 학생들이 가지고 있는 오개념의
예는 표 12에서 볼 수 있듯이 기작에 대해 잘못된 이
해를 하고 있음을 볼 수 있다. 또한 사전 검사에서 오
개념을 지닌 학생 수(3명)보다 무응답자 수(16명)가 많
은 것은 효소 기작에 대해 전혀 모르는 학생들이 많음
을 의미한다(그림 5).

그림 6은 효소 기작에 대해 학생들이 가지고 있는
과학적 개념과 오개념을 그림을 표현한 것이다. (a)의
경우는 반응 후에도 효소의 모양이 변하지 않고 계속
적으로 다른 반응물과 결합하는 것을 그린 것이고, (b)
는 온도가 증가함에 따라 하나의 반응물에 작용하는
효소의 수가 많아져 반응 속도가 증가한다고 생각하여
그린 그림이다.

수업 전에는 과학적 개념을 가진 학생이 한 명도 없
었는데 수업 후 20.6%(7명)로 증가하였다. 하지만 그
림 5에서 보듯이 사전에 덜정교화된 개념이나 오개념,

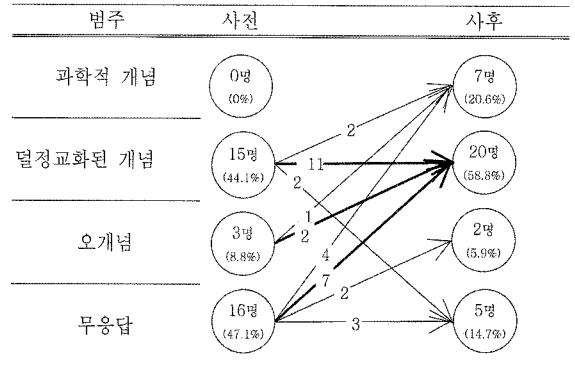
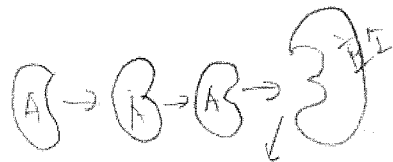


그림 5 효소 기작에 대한 개념 변화



(a) 과학적 개념



(b) 오개념

그림 6 효소 기작에 대한 학생들의 그림

무응답에 속한 학생들의 많은 수가 과학적 개념보다는
덜정교화된 개념으로 변화하였으며, 과학적 개념을 지
닌 학생 수가 앞에서 살펴본 다른 문항에서의 과학적
개념을 지닌 학생 수에 비해 낮은 것은 효소 기작에 대
한 이해가 어려움을 뒷받침한다.

효소의 기작은 실험으로도 확인할 수 없고, 눈으로
직접 관찰할 수 없는 개념이기 때문에 사전 검사 결과
에서 알 수 있듯이 학생들이 이해하기 어려워한다. 하

표 12

효소 기작에 대한 학생들의 개념

범주	학생들의 응답
과학적 개념	<ul style="list-style-type: none"> 서로 일정한 규칙 없이 마구잡이로 반응할 것이다. 매우 활발하다. 반응물A가 효소와 반응해 B가 되고 나가면 그 다음 A가 들어와 B가 되는 과정이 계속 반복된다.
덜정교화된 개념	<ul style="list-style-type: none"> 활발히 반응하는 모습을 볼 수 있다. 서로 골고루 섞여 있을 것 같다.
오개념	<ul style="list-style-type: none"> 더 많은 작용기와 반응물이 결합하여 반응하고 있다. 효소가 반응물의 작용을 도와주면서 원래의 모습을 잃어가면서 분해되고... 효소에서 반응물이 빠르게 붙었다가 나가면서 변형되고 있을 것 같다.

표 13

효소 기작 이해를 위해 사용한 비유

자물쇠 비유	과학적 개념
<ul style="list-style-type: none"> 문을 열고 난 후에도 자물쇠의 모양은 변하지 않아 다른 식구들이 가지고 있는 열쇠로도 계속 문을 열 수 있고 이때 순서와 상관이 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> 효소는 반응 후에도 모양이 변하지 않아 반응물과 계속적으로 결합할 수 있고 이때 무작위적으로 결합한다.

지만 수업 시간에 실시한 온도에 따른 효소 반응 속도에 대한 실험 결과를 온전히 설명하기 위해서 뿐 아니라 효소의 작용을 설명하기 위해서는 효소 기작에 대한 이해가 필요하다. 그래서 본 수업에서는 자물쇠 비유를 통해 효소 기작에 대한 학생들의 이해를 돕고자 하였다(표 13). 효소 기작을 설명해줄 비유가 기존 교과서에는 없었는데 본 연구에서 수정·보완한 자물쇠 비유를 이용하여 반응 후에도 효소의 구조가 변하지 않으며 반응물과 계속적으로 무작위적으로 반응한다는 내용을 설명할 수 있었다.

비유가 효소 기작을 이해하는데 미친 효과를 묻는 인터뷰에서 학생들은 아래와 같이 답하였다. 학생A는 효소 기작을 설명할 때 수업 시간에 사용한 비유가 생각나서 설명하기 쉬웠다고 말하였다. 비유는 구체적인 예시를 사용하여 학생들로 하여금 추상적인 현상을 이해하도록 도와준다고 말한 Heywood(2002)의 주장처럼 자물쇠 비유는 추상적인 효소 기작을 이해하는데 효과적이었다.

교 사: 수업 후에 검사한 검사지에 그린 이 그림은 효소에 반응물이 계속적으로 반응한다는 그림을 나타내주는 것인데 무엇을 회상하면서 그렸나?

학생A: ... 비유한 것이 많이 생각났어요.

사전에 이해가 부족했던 학생B는 교사가 학생 스스로 자신의 비유를 구성해보라고 격려했을 때(Pittman, 1999) 자신이 스스로 만든 비유물을 이용하여 설명하였다. 학생 스스로 만든 비유는 잘못 이해하고 있는 부분이나 부족한 부분을 알 수 있도록 해주어 학생으로 하여금 자신의 이해를 반성하여 더 깊이 있게 이해할 수 있도록 하는데 도움이 되었다(Wong, 1993a; Wong, 1993b; Pittman, 1999).

교 사: 반응물과 효소는 어떤 모습으로 반응하고 있을까?

학생B: 효소는 반응물과 반응해서 생성물로 바뀌주고 반응물의 양이 많아지니까 효소는 쉬지 못하고 계속해서 반응물과 반응하고...

교 사: 네가 만든 비유를 보면 전전자 비유를 만들었어. 병사 종류마다 사용하는 무기의 종류가 다르다고 설명하였

는데 이는 효소의 기질 특이성을 잘 설명해주는 것 같다. 하지만 반응 물과 효소가 계속적으로 무작위적으로 반응한다는 설명은 하지 않고 있는데 이것을 설명할 수 있는 다른 비유를 생각해봤니?

학생B: 무기를 반응물로 보고 병사를 효소로 보면 무기는 계속 쓰다가 보면 닳으니까 다른 무기를 병사가 또 가지고 계속 싸울 수 있으니까...

교 사: 이해하지 못했던 부분이 수업 후에 명확해진 부분이 있다면 무엇이니?

학생B: 효소가 한번 사용하여 버려진다는 생각을 했었는데, 자물쇠 비유를 들으면서 머릿 속에서 개념이 바뀌어야 계속 사용된다는 개념이 들어오고...

2. 학생들의 효소 개념 발달

앞에서 효소 개념 검사지에 응답한 34명 학생들의 개념을 분석한 결과 효소 개념의 존재론적 속성에 따라 학생들의 이해 정도가 다음을 알 수 있다. 사전 검사에서 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다’(효소 기능)라고 응답한 학생의 비율은 61.8%(21명)였다. ‘효소는 온도·pH에 따라 구조가 변화하며 반응 속도에 영향을 준다’(효소 구조)라고 응답한 학생은 20.6%(7명), ‘효소는 반응물과 계속적·무작위적으로 반응 한다’(효소 기작)라고 응답한 학생은 0%(0명)였다. 그림 7에서 보듯이 효소 기능, 효소 구조, 효소 기작의 순으로 학생들의 이해가 낮아짐을 볼 수 있다. 이런 현상은 사후 검사에서도 마찬가지이다. 이는 학생들이 효소 기능을 활성화 에너지 감소에 의한 반응 속도 증가라는 단순한 인과관계로 쉽게 이해하는데 비해, 계속적·무작위적으로 일어나는 효소 기작에 대한 이해는 어려움함을 의미한다.

학생들은 효소 기능을 활성화 에너지 감소에 의한 반응 속도 증가라는 단순한 인과관계로 이해하는 경우에 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다’고 응답하였다. 이와 같은 인과관계는 Chi *et al.*(1994)이 제시한 사건 범주에 속하는 개념 속성에 해당하며, 그림 7에서 보듯이 다른 개념에 비해 가장 많은 학생들이 가장 쉽게 받아들이고 있었다. 사건 범

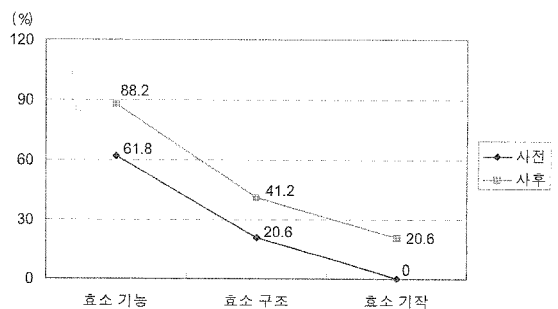


그림 7 효소의 기능·구조·기작에 대한 개념 이해

주의 개념에 대한 이해도가 평형 범주의 개념보다 높다는 것은 여러 연구들에서 제시된 바 있다(박지영, 2003; 민진선, 2004). ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다’라는 개념은 학생들이 가장 보편적으로 잘 이해하고 있다고 볼 수 있는 개념으로 효소에 관한 학생들의 존재론적 개념 발달을 생각하는 적절한 출발점이라고 생각한다.

효소의 구조와 연관지어 ‘효소는 온도·pH에 따라 구조가 변화하며 반응 속도에 영향을 준다’는 개념은 온도와 pH에 따른 효소 구조의 변화와 효소 구조 변화에 따른 반응 속도 변화라는 두 단계의 인과관계에 대한 이해를 필요로 한다. 이 개념 역시 인과적 속성을 보이는 사건 범주에 속한다. 그러나 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가 시킨다’는 개념보다 복잡하며, 같은 사건 범주에 속하는 개념이라 하더라도 좀 더 정교화된 이해를 필요로 한다. 이는 학생들이 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가 시킨다’는 이해보다 어려워하는 것으로 뒷받침된다(그림 7). 수업 전에는 단순히 효소가 활성화 에너지를 낮춰 반응을 촉진시킨다고 이해했던 학생들이 수업 후에는 온도와 pH에 따라 효소의 구조가 변화하고 이러한 변화는 반응 속도에 영향을 미친다는 개념으로 발달하였다.

다음은 효소가 촉매로써 반응 속도를 증가시키고, 온도·pH에 따라 효소 구조가 변화하여 반응 속도가 다르다는 것을 알 뿐 아니라 그런 작용이 어떻게 일어나는지를 이해하는 단계라 할 수 있다. ‘효소는 반응물과 계속적·무작위적으로 반응 한다’는 개념은 평형 범주에 속하는 개념으로 효소의 작용을 온전히 설명하기 위해서 알아야 할 개념이다. 수업 전에 이에 대한 과학적 개념을 지니고 있던 학생은 한 명도 없었으며, 수업 후에는 20.6%(7명)의 학생만이 바르게 답하였다. 이는 다른 문항의 정답자 수에 비해 훨씬 적은 것으로 학생들이 이해하기 어려워하는 개념임을 보여준다. 적은 수(7명)의 학생이지만 수업 후에 ‘효소는 반응물과 계속적·무작위적으로 반응 한다’는 개념으로 발달함을 보였다. 그림 8은 이러한 학생들의 효소 개념 발달 단계를 나타낸 것이다.

다른 연구에서 사건 범주에서 평형 범주로의 이동이 어렵다고 지적되었지만(Chi, 1992; Treagust et al., 1996, Venville et al., 1998), 이를 위한 교수 방법에 대한 제안이 거의 이루어지지 않았다. 이런 상황에서

비록 많은 수는 아니지만 학생들의 효소 개념을 사건 범주에서 평형 범주로 이동하게 하는데 실험과 체계적 비유가 효과적이었다는 결과는 중요한 의의를 갖는다고 할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

효소 개념은 학생들이 직접 눈으로 관찰하거나 경험할 수 없어 이해하기 어려운 과학 개념으로 학생들의 개념 이해 향상을 위한 교수·학습 전략이 필요하다. 과학 수업에서 실험은 과학 개념을 돕기 위한 독특한 교수·학습 방법 중 하나이긴 하지만 실험 결과를 과학 개념과 연결하지 못한다는 비판이 있어왔다. 따라서 본 연구에서는 효소 개념과 체계적 유사성을 지닌 비유가 학생들의 개념을 어떻게 변화시켰으며 실험 결과를 해석하는 과정에 어떤 영향을 미쳤는지 알아보고자 하였다. 또한 효소 개념의 존재론적 속성에 따른 학생들의 개념 이해 정도의 차이를 분석하고자 하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 사전 검사에서 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가 시킨다’는 개념(효소 기능)을 이해한 학생이 21명(61.8%), ‘효소는 온도·pH에 따라 구조가 변화하며 반응 속도에 영향을 준다’는 개념(효소 구조)을 이해한 학생은 7명(20.6%), ‘효소는 반응물과 계속적·무작위적으로 반응 한다’는 개념(효소 기작)을 이해한 학생은 0명(0%)이었다. 그러나 실험 및 비유 수업을 실시한 후에 조사한 사후 검사에서 각각의 효소 개념을 이해한 학생은 30명(88.2%), 14명(41.2%), 7명(20.6%)으로 증가하였다. 각각의 효소 개념이 수업 후에 향상되었음을 알 수 있다.

둘째, 본 연구에서 개발한 팝콘 비유와 자물쇠 비유는 효소의 기능, 구조, 기작에 대한 학생들의 이해를 향상시키고, 특히 온도·pH에 따른 효소 반응 속도를 측정하는 실험을 실시한 후 실험 목적을 달성하고 실험 결과를 과학적 개념과 연결시켜 설명하는데 매우 효과적이었다.

셋째, 존재론적 관점에서 학생들은 ‘효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가 시킨다’는 사건 범주의 개념에서 출발하여 ‘효소는 온도·pH에 따라 구조가 변화하며 반응 속도에 영향을 준다’는 좀 더 정교화된 사건 범주의 개념으로, 마지막으로 ‘효소는 반응물

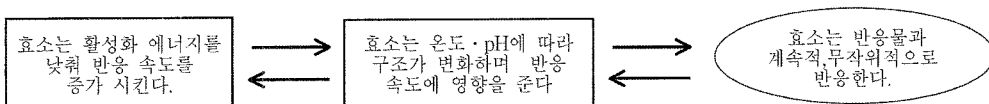


그림 8 효소 개념의 존재론적 발달 단계 (□: 사건 범주 속성, ○: 평형 범주 속성)

과 계속적·무작위적으로 작용한다'는 평형 범주의 개념으로 발달하였다.

본 연구 결과를 토대로 추후에 연구되어야 할 과제를 제안하고자 한다.

첫째, 본 연구는 존재론적 관점에서 효소 개념 변화를 살펴보았다. 그러나 Tyson *et al.*(1996)의 주장에 따라 학생들의 개념 변화에 대한 깊은 이해를 돕기 위해서 인식론적, 사회적/정의적 관점에서의 분석이 이뤄질 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서는 비유가 효소 개념 변화에 미친 긍정적인 효과를 살펴보았지만 Thiele, Treagust(1991)가 지적하였듯이 비유의 부정적 결과도 분석할 필요가 있다. 본 연구 결과 적은 수의 학생이긴 하지만 사전에는 과학적 개념을 가지고 있던 학생이 사후에 오개념으로 변화한 학생들이 있었다. 이러한 학생들에 대한 사례 분석이 이뤄질 필요가 있다.

셋째, 본 연구는 영재교육원에 참여한 학생들을 대상으로 개념 변화가 어떻게 일어났는지 분석하였다. 그러나 이러한 개념 변화가 영재 학생이 아닌 일반 학생의 경우에는 어떠한지 기존의 전통적 수업과 비교하여 얼마나 효과가 있는지에 대한 사후 연구가 필요하다.

국문 요약

물질대사는 생명 현상을 이해하는데 중추적 위치를 차지하고 있지만, 개념의 추상적 성격으로 인해 학생들이 이해하기 어려운 내용으로 알려져 있다. 이 연구의 목적은 (1) 효소 반응 실험의 결과 해석 과정에서 체계적 비유를 적용한 후에 나타난 학생의 개념 변화를 알아보고, (2) 학생들의 개념 변화에 기여한 체계적 비유의 역할을 확인하며, (3) 개념의 존재론적 속성에 따른 학생들의 개념 이해 정도 차이를 알아보는 것이다. 이러한 연구 목적을 위해 중학교 과학영재 34명을 대상으로 실시한 사전검사와 사후검사 결과, 실험보고서 내용, 수업 후에 뚜렷한 개념 변화를 보인 4명의 학생들을 대상으로 한 면담 결과 등의 자료를 수집하여 분석하였다. 그 결과 수업 후에 활성화 에너지 감소에 의한 효소 반응 촉진 기능 이해, 효소 구조에 따른 반응 속도 변화 이해, 효소 작용 기작에 대한 이해 정도가 전반적으로 향상되었지만, 개념의 존재론적 속성에 따라 학생의 이해 정도에 차이가 있는 것으로 나타났다. 사건 범주에 속하는 효소의 기능에 대한 이해 정도는 높았지만, 평형 범주에 속하는 효소 반응 기작에 대한 이해 정도는 낮게 나타났다. 효소 개념은 이처럼 평형 범주의 속성을 가지고 있어 학생들의 이해가 어렵지만, 본 연구에서 일부 학생들이 사건 범주의 효소 개념에

서 평형 범주의 효소 개념으로 변화를 보였으며, 이러한 개념 변화에 체계적 비유가 기여한 것으로 나타났다.

참고 문헌

- 김희정, 조연순 (2001). 초등학생의 광합성 개념학습에서 TWA 비유 수업모형의 효과. 한국과학교육학회지, 21(2), 444-458.
- 민진선 (2004). 유전과 진화에 관한 학생들의 대안 개념 분석. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 박지영 (2003). 고등학교 학생들의 생태계 개념에 대한 존재론적 평가. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문.
- 박종석, 조희형 (1987). 고등학생들의 유전에 대한 오인의 확인 및 유전학 지도 방향. 과학교육, 2월호, 68-74.
- 심규철, 안중임, 김현섭 (2004). 국민공통기본교육과정 과학과 생명영역 물질대사 관련 탐구 활동 분석. 한국과학교육학회지, 24(2), 202-215.
- 정영란 (1998). 광합성의 기본 개념에 관한 학생들의 이해도 조사 및 오개념 분석. 한국생물교육학회지, 26(1), 1-7.
- 조희형 (1985). 고등학교 생물과정에 필요한 기본개념의 확인 및 결정. 한국과학교육학회지, 5(1), 11-17
- Bishop, B. A. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. Journal of Research in Science Teaching, 27(5), 415-427.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. Instructional Science, 18, 237-261.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere (Ed.), Cognitive model of science. University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H. (2000). Cognitive understanding levels. In, Kazdin, A. E.(Ed.). Encyclopedia of psychology, Vol. 2, pp. 172-175. Oxford University Press.
- Chi, M. T. H., Slotka, J. D., & de Leeuw, N. A. (1994). From things to processes: A Theory of conceptual change for learning science concepts. Learning and Instruction, 4, 27-43.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. Science Education, 75, 649-672.
- Dupin, J., & Johsua, S. (1989). Analogies and "modeling analogies" in teaching: Some examples in basic electricity. Science Education, 73, 207-224.
- Friedler, Y., & Tamir, P. (1990). Life in science laboratory classroom at secondary level. In E. Hegarty-Hazel (Ed.). The student laboratory and the science curriculum (pp. 337-354). London: Routledge.

- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou & A. Ortony(Eds.). *Similarity and analogical reasoning*(pp. 197-241). Cambridge: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Toupin, C. (1986). Systematicity and surface similarity in the development of analogy. *Cognitive Science*, 10, 277-300.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments?. *Journal of Research in Science teaching*, 37(7), 655-675.
- Heywood, D. (2002). The place of analogies in science education. *Cambridge Journal of Education*, 32(2), 233-247.
- Hodson, D. (1990). A critical look at practical work in school science. *School Science Review*, 71(256), 33-40.
- Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition*, 15(4), 332-340.
- Klopfer, L. E. (1990). Learning scientific inquiry in the school laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Ed.). *The student laboratory and the science curriculum* (pp. 95-118). London: Routledge.
- Millar, R. H. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science* (pp. 16-31). NY: Routledge.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (Eds.) (1985). *Learning in science: The implications of children's science*. Auckland, New Zealand: Heinemann.
- Pittman, K. M. (1999). Student-generated analogies: Another way of knowing? *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 1-22.
- Thiele, R. B., & Treagust, D. F. (1991). Using analogies in secondary chemistry teaching. *The Australian Science Teachers Journal*, 37(2), 4-14.
- Treagust, D. F. (1993). The evolution of an approach for using analogies in teaching and learning science. *Research in Science Education*, 23, 293-301.
- Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. T. (1996). Using an analogical teaching approach to engender conceptual change. *International Journal of Science Education*, 18, 213-229.
- Tyson, L. M., Venville, G. J., Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education*, 81, 387-404.
- Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 1031-1055.
- Wallace, C. S., Tsoi, M. Y., Calkin, J., & Darley, M. (2003). Learning from inquiry-based laboratories in non-major biology: An interpretive study of the relationships among inquiry experience, epistemologies, and conceptual growth. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 986-1024.
- Weller, C. M. (1970). The role of analogy in teaching science. *Journal of Research in Science Teaching*, 7, 113-119.
- Witrock, M. C., & Alesandrini, K. (1990). Generation of summaries and analogies and analytic and holistic abilities. *American Educational Research Journal*, 27, 489-502.
- Wong, E. D. (1993a). Self-generated analogies as a tool for constructing and evaluating explanations of scientific phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 367-380.
- Wong, E. D. (1993b). Understanding the generative capacity of analogies as a tool for explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 1259-1272.
- Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J. S., Parke, H. M., & Crawley, F. E. (2003). Social interaction and the use of analogy: An analysis of preservice teacher's talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 443-463.