

# 실험 결과 해석 과정에서 사용한 체계적 비유가 고등학생들의 효소 개념 변화에 미친 영향

이원경<sup>1</sup> · 김희백\*

<sup>1</sup>양재고등학교 · 서울대학교

## The Influence of the Systematic Analogies Used at the Interpretation of Experimental Results on High School Students' Conceptual Change of Enzymes

Won-Kyung Lee<sup>1</sup> · Heui-Baik Kim\*

<sup>1</sup>Yangjae High School · Seoul National University

**Abstract:** Chemical reactions in cells are so complicated and abstract that students have difficulty in understanding them. In this study, classes with the application of systematic analogies used at the interpretation of experimental results were taught to 10th-grade students in order to help them to understand the concept of enzymes, which play an important role in chemical reactions in cells. Effects of the classes on their understanding of the concept of enzymes and the role of systematic analogies were analyzed. The gap of understanding between the test group and the control group was significant at 0.05, indicating that systematic analogies are effective for students' understanding of the concept of enzymes. Looking into the concept of enzymes by individual element, the effect of systematic analogies was shown to be large for equilibrium-like processes, such as the enzyme structure change caused by temperature and pH; and the continuous and random actions of enzymes, which students have difficulty in understanding. For these processes, systematic analogies played a positive role in improving their conceptual status. The visualizations and familiarity of analogs increased their intelligibility regarding the concept of enzyme. Also, the systematic analogies increases their plausibility by helping to connect phenomena, taking place in the enzyme reaction experiments, with scientific concepts as scaffold. Accordingly, it was possible to explain experimental results as scientific concepts in a consistent manner. In addition, analogies familiar to students played a positive role from the affective perspective by promoting students' interest and helping them to approach hard scientific concepts.

Key words: systematic analogies, equilibrium-like processes, conceptual status, intelligibility, plausibility, affective perspective

### I. 서 론

과학 교육에서 개념이 차지하는 비중이 매우 높다. 실제로 거의 모든 과학과 관련된 학습 활동이 개념을 대상으로 하고 있으며, 이를 이해하기 위한 활동이라고 할 수 있다. 생물 교육 연구에서도 생물학 개념에 대한 연구가 많이 이루어져 왔는데 그 중에서 물질대사는 생물학 학습에서 중요한 주제 중 하나로(조희형, 1985) 광합성과 호흡 개념에 대한 연구들이 주로 수행되었다

(박강훈 등, 1992; Haslam & Treagust, 1987). 하지만 이러한 물질대사에 대한 이해를 위해 반드시 필요한 효소 개념에 대한 연구는 지금까지 보고된 바 없다. 효소의 작용은 학생들이 전혀 경험할 수 없는 세포 내에서의 미시적 현상으로 평형 범주의 속성을 지니고 있기 때문에 학생들이 이해하기 어려워하는 개념이다. 그러므로 학생들은 효소 개념에 대해 어떤 선개념을 가지며, 학생들이 효소 개념의 이해를 어려워하는 이유가 무엇이고, 그런 장애물을 극복하고 효소 개념의 이해를

\*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

\*\*2007.08.28(접수) 2007.10.08(1심통과) 2007.10.18(최종통과)

향상시킬 수 있는 교수·학습 전략이 무엇인지에 대한 연구가 필요하다.

Duit(1991)는 개념 변화 수업에서 비유가 효과적인 도구로 사용될 수 있다고 하였다. 구성주의 관점에서 볼 때 비유는 학습자의 인지 구조와 경험과의 상호 작용을 통해 학습자가 가지고 있던 이전의 경험을 과학 개념과 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 과정이라고 할 수 있다(Witrock & Alesandrini, 1990). 자발적 전이의 경우에는 표면적 유사성이 높은 비유물이 낮은 비유물에 비해 효과적이거나 일단 비유물과 목표물의 관련성을 인식한 경우에는 체계적 유사성에 따라 전이의 차이가 나타난다(Holyoak & Koh, 1987). 그러므로 효소 개념과 같이 학생들이 직접 눈으로 관찰하거나 경험할 수 없어 이해하기 어려운 과학 개념의 경우, 학생들이 실생활에서 친숙하게 경험할 수 있고 목표 개념과 체계적 유사성을 지닌 비유물은 학생들의 개념 이해를 도울 것으로 기대된다. 그러나 비유가 구체적으로 개념 변화에 어떤 역할을 했는지에 대한 연구는 많지 않다.

Treagust *et al.*(1996)은 10학년 학생들을 대상으로 비유를 사용하여 빛의 굴절에 대한 개념을 가르쳤다. 연구 결과 비유 수업을 받은 학생들의 개념 지위가 그렇지 않은 학생보다 높았으며, 비유는 학생들로 하여금 굴절에 대해 배운 것을 기억나도록 하였고, 추상적 아이디어를 분명하게 설명할 수 있는 언어를 제공하였다. Bryce, MacMillan(2005)은 15세의 21명 학생을 3개의 하위 그룹으로 나누어 작용/반작용에 대한 개념을 가르칠 때 제시한 연결 비유가 개념 변화에 미치는 영향을 조사하였다. 개념 변화를 일으키는데 있어 비유적 방법이 전통적인 방법보다 더 낫다는 정량적 자료는 제시하지 못했지만 많은 학생들의 인터뷰 내용은 비유가 개념 변화에 효과적이었으며 학생들의 개념 지위 향상에 도움을 주었음을 뒷받침하였다.

실험 활동은 학생의 동기 유발, 개념 이해 촉진, 탐구적 사고력 향상, 과학 본성 이해 등에서 효과를 보인다는(Friedler & Tamir, 1990; Klopfer, 1990) 점에서 다른 과목과 달리 과학 수업에서 강조하고 있다. 그러나 실험이 교육적 효과, 목적, 학습 결과 등의 측면에서 제 역할을 하지 못한다는 많은 비판을 받고 있다(Wellington, 1998). 실험은 어느 정도 실험과 관련한 기술을 가르칠 수 있거나(Hart *et al.*, 2000) 이미 학습한 개념을 시각화하는 것을 도와주지만(Millar, 1998),

과학 개념을 가르치기 위한 도구로는 거의 효과가 없다는 부정적 견해가 제시되고 있다. 고등학교와 대학생을 대상으로 한 유럽 여러 나라들의 실험에 대한 연구를 보면(Ticberghien *et al.*, 2001) 학생들은 관계를 탐색하고, 예상을 테스트하고, 개념을 발견하기 위한 질문은 거의 하지 않고, 관찰 결과를 기록하는데 초점이 맞춰져 있고, 실험 주제와 개념 간의 관계에 관한 학습이 거의 강조되지 않았다고 보고하였다. 학생들은 실험 활동의 목적을 알고 실험 활동을 개념과 잘 연결시킬 수 있어야 하는데, 실험 결과를 과학 개념으로 해석하지 못하는 학생들이 과학 개념과 연결짓도록 하는데 있어서 비유가 발판의 역할을 담당할 수 있다(Yerrick *et al.*, 2003). 이는 비유가 실험에서 나타난 현상을 과학 개념과 연결짓는 과정에서 발판 역할을 함으로써 실험 결과를 해석하는데 유용한 교수·학습 도구로 사용될 수 있음을 시사한다.

이원경, 김희백(2007a)도 중학교 영재반 학생들을 대상으로 한 연구에서 체계적 비유와 실험 활동이 효소 개념 변화에 효과적이었다고 보고한 바 있다. 학생들은 효소 실험 활동과 체계적 비유 활동을 포함한 교육 프로그램을 수행하면서, 실험 결과 해석 과정에서 비유를 활용해서 개념과 현상을 연결지었으며 효소에 대한 개념 변화도 나타났다. 이 연구는 체계적 비유 사용에 의한 효소 개념 이해와 실험 결과 해석 가능성을 보여 주었지만, 대상 학생이 영재반에 소속된 특수 집단이므로 체계적 비유의 효과를 일반화하기 위해서는 영재 학생이 아닌 일반 학생들을 대상으로 조사할 필요가 있다. 또한, 7학년에서 소화 효소에 대해서만 간단히 배운 중학생보다는 효소 작용의 특성을 본격적으로 다루고 있는 10학년 학생을 대상으로 조사할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 10학년 학생들을 대상으로 학생들의 효소에 대한 오개념을 확인한 후에, 체계적 비유와 이와 연계해서 이루어진 실험 활동이 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키는데 효과적인지를 조사하고자 한다. 아울러 체계적 비유가 실험 결과 해석과 효소 개념 변화에서 구체적으로 어떤 역할을 했는지를 분석하고자 한다. 이에 따른 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 실험 결과 해석 과정에서 사용한 체계적 비유가 10학년 학생들의 효소 개념 변화에 효과를 보였는가?
- 2) 체계적 비유가 10학년 학생들의 효소 개념 변화와 실험 결과 해석 과정에 어떤 역할을 하였는가?

표 1  
대조반과 실험반의 수업 비교

학급(명)	대조반		실험반
	2학급(62명)		2학급(55명)
수업 차시별 내용	1차시	사전 개념 검사	사전 개념 검사
	2-3차시	효소 개념에 관한 전통적 설명식 수업	체계적 비유를 사용한 효소 개념 수업
	4차시	‘온도·pH에 따른 효소 반응 속도’를 알아보는 실험	‘온도·pH에 따른 효소 반응 속도’를 알아보는 실험. 실험 결과 해석 과정에서 비유를 사용하도록 함
	5차시	사후 개념 검사	사후 개념 검사

## II. 연구 대상 및 연구 방법

### 1. 연구 대상

제7차 교육 과정에 제시되어 있는 효소 개념을 살펴 보면, 7학년의 과학에서 소화 효소의 역할에 대해 간단히 다룬 후에 10학년 과학에서 효소 작용의 특성을 깊이 있게 다루고 있다(이원경, 김희백, 2007b). 본 연구에서는 인문계 고등학교 1학년(10학년)을 대상으로 학생들의 효소 개념을 분석하고, 실험 결과 해석 과정에서 사용한 체계적 비유의 효과를 알아보기 위한 수업을 실시하였다. 대조반과 실험반은 모두 2학급씩으로 사전·사후 개념 검사지에 모두 응답한 62명과 55명을 대상으로 하였다. 대조반에서는 전통적인 설명식 수업과 교과서에 제시되어 있는 효소 작용에 영향을 미치는 요인을 알아보는 실험을 실시하였고, 실험반에서는 본 연구에서 개발한 체계적 비유를 사용한 수업과 대조반 학생들이 수행한 교과서의 효소 관련 실험 활동을 하였다. 다만, 실험반에서 수행한 실험 활동에서는 실험 결과 해석에서 비유를 이용하게 했다는 점에서 차이가 있었다(표 1).

### 2. 연구 방법

#### 1) 효소 개념 검사

본 연구에서는 제7차 교육 과정에서 효소 개념을 다루고 있는 7학년과 10학년의 과학 교과서, 생물 I과 생물 II 교과서에서 다루고 있는 효소 개념들을 추출하여 효소 개념을 구성하고 있는 내용을 표 2와 같이 정리하였다. ‘효소 역할’은 효소의 기능에 대한 단순한 지식에 해당하는 내용으로, ‘효소는 활성화 에너지를 낮추어 반응 속도를 증가시킨다’는 것과 ‘효소는 물질 대사를 조절한다’는 것을 포함한다. ‘효소 구조와 작용’은 효소 구조에 따른 효소 작용에 대한 내용으로, ‘효소는 자신의 특정한 구조와 맞는 반응물과 결합하

표 2

효소 개념 구성 요소 및 내용

효소 개념 구성 요소	효소 개념 내용
효소 역할	<ul style="list-style-type: none"> <li>효소는 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다.</li> <li>효소는 물질대사를 조절한다.</li> </ul>
효소 구조와 작용	<ul style="list-style-type: none"> <li>효소는 자신의 특정한 구조와 맞는 반응물과 결합하여 반응한다.</li> <li>온도·pH에 따라 효소 구조가 변화하여 효소 반응 속도는 변화한다.</li> </ul>
효소 행동과 작용	<ul style="list-style-type: none"> <li>효소는 무작위적으로 반응물과 결합하여 반응한다.</li> <li>효소는 반응물과 계속적으로 결합하여 반응한다.</li> </ul>

표 3

개념 검사지 문항

문항 번호	효소 개념 구성 요소
1	1-1 효소 역할
	1-2 분자운동에너지와 반응 속도
	1-3 효소 구조와 작용
	1-4 효소 행동과 작용
2	2-1 효소 역할
	2-2 효소 역할

여 반응한다’와 ‘온도·pH에 따라 효소 구조가 변화하여 효소 반응 속도는 변화한다’는 것으로 구성된다. ‘효소 행동과 작용’은 효소와 반응물과의 역동적인 결합 관계에 관한 효소 작용으로 ‘효소는 반응물과 무작위적·계속적으로 결합하여 반응한다’는 내용을 포함한다.

개념 검사지는 이러한 효소 개념을 평가할 수 있도록 이원경, 김희백(2007a)이 개발한 것을 사용하였다. 개념 검사지의 각 문항 구성은 표 3과 같으며, 모든 문항은 서술형으로 구성되어 학생들의 개념을 구체적으로

로 파악할 수 있도록 하였다.

효소 개념 검사지의 각 문항에 대한 학생들의 응답을 과학적 개념, 덜정교화된 개념, 오개념 및 무응답으로 범주화하고, 수업의 적용 효과를 통계적으로 검증하기 위해 과학적 개념으로 답한 것은 4점, 덜정교화된 개념으로 답한 것은 2점, 오개념과 무응답은 0점을 부여하여 효소 개념에 대한 학생들의 이해를 점수화 하였다. 대조반과 실험반 학생들의 사전·사후 검사 점수를 가지고 공변량 분석을 통해 체계적 비유가 효소 개념 향상에 미친 효과의 통계적 유의미성을 분석하였다.

**2) 체계적 비유 사용**

제7차 교육 과정에 의해 집필된 고등학교 과학 교과서에는 효소 개념의 이해를 돕기 위해 비유가 제시되어 있다. 언덕이 낮아졌을 때 공이나 짐을 나르기 수월하다는 그림은 효소가 활성화 에너지를 낮춰 반응 속도를 증가시킨다는 개념을 나타내고 있으며, 자물쇠/열쇠 비유는 효소의 기질특이성을 그림으로 나타내거나 간단한 문장으로 언급하고 있다. 그러나 이 비유물들은 단편적인 한 가지 목표 개념과 대응 관계를 갖고 있으며, 온도나 pH가 효소 작용에 영향을 준다거나 효소와 반응물이 계속적·무작위적으로 결합한다는 개념들을 설명하지 못하는 제한점이 있다.

본 연구에서는 효소의 미시적 작용 이해에 도움이 되도록 목표 개념의 인과 관계에 대응되는 구조를 체계적으로 포함하는 체계적 비유를 개발하였다. 개발된 비유는 기존 교과서의 비유를 수정·보완한 것으로, 비유물의 하위 속성과 목표 개념과의 대응 관계가 표 4

**표 4**  
체계적 비유 및 목표 개념

비유 1: 팝콘	
체계적 비유	목표 개념
<ul style="list-style-type: none"> <li>그릇 높이보다 높게 튀겨지는 옥수수가 그릇 밖으로 나와 팝콘이 된다.</li> <li>높이가 낮은 그릇을 사용하면 더 많은 옥수수가 그릇 밖으로 튀어 나와 팝콘이 된다.</li> <li>온도가 높아질수록 옥수수가 그릇 밖으로 튀어 나와 팝콘이 되는 양이 증가한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>활성화 에너지를 넘는 반응물만이 생성물이 될 수 있다.</li> <li>활성화 에너지가 낮아지면 반응 속도가 증가한다.</li> <li>온도가 높아질수록 반응 속도가 증가한다.</li> </ul>

비유 2: 자물쇠/열쇠	
체계적 비유	목표 개념
<ul style="list-style-type: none"> <li>특정한 모양을 한 열쇠만이 자물쇠와 결합하여 문을 열 수 있다.</li> <li>녹이 슨 자물쇠는 열쇠와 맞지 않아 문을 열 수 없다.</li> <li>문을 열고 난 후에도 자물쇠의 모양은 변하지 않아 다른 식구들이 가지고 있는 열쇠로도 계속 문을 열 수 있고 이때 순서와 상관없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>효소는 특정한 구조를 하고 있으며 자신의 구조와 맞는 반응물과만 결합하여 화학반응을 돕는다.</li> <li>온도나 pH에 의해 효소의 구조가 변화하면 반응물과 결합하지 못해 반응을 돕지 못한다.</li> <li>효소는 반응 후에도 모양이 변하지 않아 반응물과 계속적으로 결합할 수 있고 이때 무작위적으로 결합한다.</li> </ul>

에 제시되어 있다.

실험 결과 해석 과정에서 사용한 체계적 비유가 학생들의 효소 개념 변화 및 실험 결과 해석에 미친 영향을 분석하기 위해 실험반 학생들을 대상으로 반구조화된 인터뷰를 실시하였으며 인터뷰 내용은 모두 녹음된 후 전사되었다.

**III. 연구 결과 및 논의**

**1. 체계적 비유 수업의 효과**

**1) 효소 개념 변화에 미친 체계적 비유 수업의 효과**

체계적 비유를 실험 결과 해석에 적용하도록 한 수업이 효소 개념 변화에 준 효과를 알아보기 위해서 학생들이 응답한 효소 개념 검사지를 분석하였다. 표 5에서 보듯이 대조반의 사전 평균 점수가 실험반에 비해 높았지만 사후 평균 점수는 실험반이 더 높았다.

대조반과 실험반의 효소 개념 성취도가 통계적으로 차이가 있는지 알아보기 위해 통계 분석을 하였다. 대조반과 실험반의 사전 점수가 달랐기 때문에 사전 점수를 공변인으로 하는 공변량 분석을 한 결과, 대조반과 실험반의 효소 개념 성취도는 유의수준 0.05에서

**표 5**  
대조반과 실험반의 효소 개념 성취도

	인원수 (명)	사전		사후	
		평균	표준편차	평균	표준편차
대조반	62	8.10	4.529	10.45	5.822
실험반	55	6.11	4.673	10.98	4.942

표 6  
대조반과 실험반의 효소 개념 성취도 공변량 분석

변인	제곱합	자유도	평균 제곱	F	p
공변인	964.793	1	964.793	45.420	.000
주효과	88.411	1	88.411	4.162	.044
오차	2421.544	114	21.242		
전체	16792.000	117			

통계적으로 유의미한 차이를 나타냈다(표 6). 즉, 체계적 비유 수업이 학생들의 효소 개념 향상에 효과적임을 알 수 있었다.

2) 효소 개념별 체계적 비유 수업의 효과

앞에서 전체 효소 개념에 대한 학생들의 이해를 살펴보았다면 이 절에서는 효소 개념 내용을 ‘효소 역할’, ‘효소 구조와 작용’, ‘효소 행동과 작용’으로 세분하고 각 효소 개념에 미친 체계적 비유 수업의 효과를 분석하였다. 표 7은 각 효소 개념에 대한 대조반과 실험반의 각 범주에 해당하는 학생 수를 비교한 것이다.

(1) 효소의 촉매 작용

반응물에 효소를 넣었을 때 반응 속도가 증가하는 이유가 무엇인가에 관한 학생들의 응답은 과학적 개념과 오개념으로 범주화할 수 있었다. 과학적 개념으로 답한 학생들의 응답을 살펴보면 ‘활성화 에너지’를 낮

추어 반응 속도가 증가한다고 답하거나, ‘활성화 에너지’란 용어가 생각나지 않아 ‘반응에 필요한 에너지’란 용어로 대신 표현하기도 하였다. 반면 오개념으로는 효소에 반응을 촉진시키는 물질이 있다, 효소가 반응물의 온도를 높인다 등이 있었다. 이렇게 답한 학생들은 효소의 촉매 기능을 전혀 알지 못하고 있음을 알 수 있었다.

사전 검사에서 대조반과 실험반 모두 50%가 넘는 학생들이 과학적 개념을 지니고 있었으며, 수업 후에는 각각 77.4%와 78.2%로 향상되어 다른 문항에 비해 가장 높은 비율의 학생들이 과학적 개념을 지녔다(표 7). 이는 중학교 영재반 학생들이 사전 범주의 속성을 지닌 효소 역할에 대한 이해를 가장 쉽게 했다는 이원경, 김희백(2007a)의 연구 결과와도 일치한다. 사전·사후 과학적 개념으로의 변화 비율이 대조반과 실험반의 차이가 거의 없었는데, 이는 비유 사용의 효과가 크게 나타나지는 않은 것으로 비유의 사용 여부와 상관없이 학생들이 효소의 촉매 작용에 대한 이해를 쉽게 하기 때문이라고 생각된다.

(2) 효소의 물질대사 조절

효소의 촉매 작용에 대한 내용은 한 단계의 화학 반응에서의 효소 역할에 대한 것이다. 그러나 실제 세포 안에서 일어나는 물질대사는 대부분 여러 단계의 반응

표 7  
효소 개념에 대한 사전·사후 학생 수 비교 단위: 명(%)

효소 개념 내용	응답	대조반(n=62)		실험반(n=55)	
		사전	사후	사전	사후
(1)촉매 작용	과학적개념	36(58.1)	48(77.4)	30(54.5)	43(78.2)
	오개념	21(33.9)	12(19.4)	21(38.2)	10(18.2)
	무응답	5 (8.1)	2 (3.2)	4 (7.3)	2 (3.6)
효소 역할	과학적개념	25(40.3)	28(45.2)	13(23.6)	23(41.8)
	덜정교화된개념	5 (8.1)	4 (6.5)	1 (1.8)	6(10.9)
	오개념	24(38.7)	25(40.3)	28(50.9)	19(34.5)
(2)물질대사 조절	오개념	24(38.7)	25(40.3)	28(50.9)	19(34.5)
	무응답	8(12.9)	5 (8.1)	13(23.6)	7(12.7)
	과학적개념	19(30.6)	23(37.1)	16(29.1)	29(52.7)
효소 구조와 작용	효소 구조 변화와 반응 속도	30(48.4)	35(56.5)	24(43.6)	20(36.4)
	무응답	13(21.0)	4 (6.5)	15(27.3)	6(10.9)
	과학적개념	17(27.4)	27(43.5)	14(25.5)	28(50.9)
(4)온도에 따른 반응 속도 변화	오개념	45(72.6)	32(51.6)	40(72.7)	26(47.3)
	무응답	0 (0.0)	3 (4.8)	1 (1.8)	1 (1.8)
	과학적개념	16(25.8)	20(32.3)	5 (9.1)	15(27.3)
효소 행동과 작용	(5)계속적·무작위적 작용	20(32.3)	28(45.2)	11(20.0)	22(40.0)
	오개념	13(21.0)	9(14.5)	11(20.0)	5 (9.1)
	무응답	13(21.0)	5 (8.1)	28(50.9)	13(23.6)

이 연쇄적으로 이루어지고 각 단계의 효소 작용에 의해 전체 물질대사가 조절된다. 이러한 내용은 10학년 과학 교과서에서는 다루지고 있지 않고 심화 과정인 생물Ⅱ에서 다루지고 있기 때문에(이원경, 김희백, 2007b) 본 연구에서도 이에 대응하는 체계적 비유를 개발하여 수업에 적용하지는 않았다. 하지만 이에 대한 학생들의 이해가 어느 정도인지 알아보기 위해 개념 검사지 항목에 넣었으며 그 결과를 분석하였다. 연쇄적인 세 단계(1:첫 단계, 2:중간 단계, 3:마지막 단계)의 화학 반응으로 이루어진 물질대사에서 중간 단계(2 단계)를 조절하는 효소에 돌연변이가 일어나 최적 pH가 변화한 경우에 물질대사가 어떻게 조절되는지를 질문하였다.

돌연변이가 일어난 2 단계의 반응이 일어나지 않아 결국 물질대사에 지장을 준다는 과학적 개념으로 답한 학생들도 있었지만 각 단계의 반응 조절에 대한 언급 없이 막연하게 반응 속도가 느려진다고 답한 학생들도 있었다. 이런 경우는 각 단계의 반응 속도 변화를 전체 반응 속도와 구체적으로 연결시키지 못한 경우로 덜정교화된 개념으로 범주화 하였다. 다음은 돌연변이가 일어난 2 단계의 반응만 느려진다고 답한 오개념이 있었다. 일련의 화학 반응 과정에서 중간 단계에 이상이 생겼을 때 그 이후의 반응에 미치는 영향을 생각하지 못하는 경우로 물질대사의 유기적 관계에 대한 이해가 부족함을 알 수 있었다. 그 밖에 문제의 뜻을 전혀 이해하지 못하고 답하였거나 효소의 물질대사 조절에 대한 이해가 부족한 다양한 오개념을 볼 수 있었다.

대조반은 사전에 40.3%, 실험반은 23.6%가 과학적 개념을 가지고 있었는데 이 비율은 효소의 촉매 역할에 대한 이해보다 낮은 것으로 효소의 전체 물질대사 조절에 대한 이해를 향상시킬 수 있는 교수·학습 방법의 필요성을 보여준다(표 7). 사후에는 대조반은 4.9% 포인트, 실험반은 18.2% 포인트씩 향상되어 과학적 개념을 지닌 학생의 비율이 각각 대조반은 45.2%, 실험반은 41.8%가 되었다. 체계적 비유를 사용한 실험반의 향상이 대조반에 비해 높은 것을 볼 때 효소의 전체 물질대사 조절에 대한 이해에 체계적 비유가 도움이 되었음을 알 수 있다.

### (3) 온도·pH에 따른 효소 구조의 변화와 반응 속도

효소 구조와 관련한 효소 작용에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위해서 온도에 따른(a:낮은 온도, b:최적 온도, c:높은 온도) 효소 반응 속도의 그래프를 보고 각 온도 구간에서의 효소 구조를 반응 속도와 연관지어 설명하라고 하였다. 학생들의 응답은 과학적 개념, 오개념, 기타, 무응답으로 범주화할 수 있었다. 과

학적 개념으로 응답한 학생들은 각 온도 구간에서의 효소 구조와 반응 속도를 연결시켜 온도가 증가함에 따라 반응 속도가 점점 증가하지만 높은 온도에서는 단백질 변성으로 인한 효소의 구조 변화로 반응 속도가 감소한다는 내용을 잘 설명하고 있었다. 온도에 따라 효소의 구조가 반응하기 좋은 구조로 서서히 바뀐다, 최적 온도에서는 효소가 여러 개로 분할되어 반응이 빠르게 된다 등 다양한 오개념을 볼 수 있었다.

사전에 대조반과 실험반의 학생 중 과학적 개념을 가지고 있는 학생은 각각 30.6%와 29.1%였으나 수업 후 대조반의 경우는 37.1%, 실험반의 경우는 52.7%로 향상되었다(표 7).

수업 후에 과학적 개념으로 향상된 정도가 실험반은 23.6% 포인트, 대조반은 6.5% 포인트로, 실험반의 향상 정도가 다른 문항에 비해 가장 높은 비율을 나타내고 있어 체계적 비유가 온도에 따른 효소 구조의 변화와 이것이 효소 반응 속도에 미치는 영향에 대한 이해를 향상시키는데 매우 효과적이었음을 보여준다.

### (4) 온도에 따른 반응 속도 변화

효소와 반응물과의 역동적인 결합 관계에 관한 효소 작용 개념을 이해하기 위해서는 분자운동에너지 개념에 대한 이해가 필요하기 때문에 온도에 따른 반응 속도 변화를 분자운동에너지 개념으로 설명할 수 있는지를 알아볼 필요가 있다. 그래서 효소가 없는 경우에 온도 증가에 따라 반응 속도가 어떻게 변화하는지를 질문하였다. 온도가 증가할수록 반응 속도가 증가한다고 답한 과학적 개념을 가지고 있는 학생들도 있었지만 다양한 오개념을 가지고 있는 학생들도 있었다. 대표적인 오개념은 반응율은 효소가 있을 때 보다 낮지만 효소가 있을 때와 같은 형태의 반응 속도 그래프를 나타낼 것이라고 답한 경우이다. 그 외에도 ‘증가하다 일정해진다’ ‘일정하다’ ‘반응이 일어나지 않는다’와 같은 오개념을 볼 수 있었다. 이런 응답들은 분자운동에너지에 대한 학생들의 이해가 없음을 보여주었다.

사전에 대조반은 27.4%, 실험반은 25.5%가 과학적 개념을 가지고 있었는데 이는 다른 문항에 비해 낮은 비율로 분자운동에너지에 대한 개념을 학생들이 잘 이해하지 못하고 있음을 보여준다(표 7). 사후에는 대조반은 43.5%, 실험반은 50.9%로 향상되었는데 실험반의 향상 정도가 더 큼을 알 수 있다.

### (5) 효소의 계속적·무작위적 작용

효소 역할에 대한 개념은 활성화 에너지 감소에 의한 반응 속도 증가라는 단순한 인과 관계에 대한 이해

를 필요로 하며, 효소 구조에 따른 효소 작용에 대한 개념은 온도·pH에 따른 효소 구조의 변화와 효소 구조 변화에 따른 반응 속도 변화라는 두 단계의 인과 관계에 대한 이해를 필요로 한다. 이와 같은 인과 관계는 Chi *et al.*(1994)이 제시한 사건 범주에 속하는 개념 속성에 해당한다. 그러나 효소가 작용할 때 반응물과 어떻게 결합하는지, 즉 효소와 반응물과의 역동적인 결합 관계에 관한 효소 행동과 관련한 작용 개념은 평형 범주에 속하는 개념이다. 이에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위해 효소와 반응물이 서로 어떻게 작용하는지 질문하였다. 학생들의 응답을 과학적 개념, 덜정교화된 개념, 오개념, 무응답으로 범주화할 수 있었다. 과학적 개념은 효소들이 반응 후에도 구조가 변화하지 않기 때문에 반응물과 계속적으로 반응하며 무작위적으로 반응한다고 답한 경우이다. 덜정교화된 개념은 ‘반응물이 효소의 구조와 딱 맞는 모양으로 되어 있어서 반응이 빨라진다’라고 쓰거나 효소와 기질이 결합되어 있는 그림으로 답한 경우이다. 이는 역동적인 관계를 언급하지 않은 경우로 효소의 구체적인 행동에 대한 설명이 부족한 경우이다. 학생들의 오개념은 반응물과 효소가 서로 열을 내면서 반응하여 사라진다거나 효소를 첨가해서 반응물이 서로 떨어져서 작용한다는 등 다양하였다.

이 문항에 대한 학생들의 과학적 개념의 비율은 대조반의 경우 25.8%, 실험반의 경우 9.1%로 다른 문항에 비해 가장 낮은 응답률을 보였다(표 7). 이는 효소 행동에 따른 효소 작용은 실험으로 확인할 수도 없고, 눈으로 직접 관찰할 수도 없는 개념이기 때문에 학생들이 이해하기 어려워함을 보여준다. 즉, 학생들이 평형 범주의 속성을 지닌 효소 행동에 대한 이해를 어려워하는 것을 알 수 있다(김미영, 김희백, 2006; Venville & Treagust, 1998). 이와 같은 결과는 중학교 영재반을 대상으로 효소 개념을 조사한 이원경, 김희백(2007a)의 연구 결과와도 일치한다. 수업 후에 이 문항에 대해 과학적 개념을 보인 학생은 대조반의 경우에 32.3%, 실험반의 경우에 27.3%로 향상되었는데, 그 향상 정도가 대조반의 6.5% 포인트에 비해 실험반의 경우의 18.2% 포인트가 월등히 높음을 알 수 있다. 체계적 비유는 평형 범주의 속성을 지닌 효소 작용 개념을 이해하는 데 효과적임을 알 수 있었다.

## 2. 체계적 비유가 효소 개념 변화 및 실험 결과 해석 과정에 미친 역할

이상에서는 체계적 비유가 학생들의 효소 개념 이해

에 미친 효과를 살펴보았다. 이러한 효과가 체계적 비유에 의해 어떻게 나타났는지 학생들의 검사지, 인터뷰 자료, 실험 보고서 등을 통해 살펴보았다.

### 1) 인식론적 관점

Hewson, Hewson(1992)은 학습자가 지니고 있는 개념 지위(status)의 상대적 변화에 의해 개념 변화가 일어난다고 하였고, Hewson, Lemberger(2000)는 개념 지위가 개념 변화의 근거를 찾는 중요한 요소라고 하였다. 본 연구에서도 학생들의 효소 개념 이해가 학생들의 개념 지위 향상으로 나타났으며 체계적 비유가 학생들의 효소 개념에 대한 이해가능성(Intelligibility)과 그럴듯함(Plausibility)의 향상에 긍정적 역할을 하였음을 확인할 수 있었다.

#### (1) 이해가능성(Intelligibility)의 향상

이해가능성은 새로운 개념이 무엇을 의미하는지를 알고 그것을 표상할 수 있는가를 나타낸 것이다(Hewson & Hewson, 1992). Thorley(1990)는 어떤 개념의 이해가능성은 그 개념을 나타내기 위해 그림을 사용하는가, 언어로 표현할 수 있는가 등으로 판단할 수 있다고 하였다. 수업 전에 효소 역할에 대한 질문에 답을 하지 못해 개념 지위가 없었던 학생A는 사후 검사에서 ‘활성화 에너지를 낮추어 주기 때문에 반응이 빨라진다’라고 답하여 효소 역할에 대한 개념이 이해가능한 것으로 향상되었음을 보였다. 이 학생은 인터뷰에서 수업 전에는 효소가 무엇이고 어떤 역할을 하는지 잘 몰랐는데 수업 후 효소의 촉매 작용을 알게 되었으며 팝콘 비유는 재미있었고 머릿 속으로 상상이 잘 되었다고 하였다.

교사: 처음 검사할 때는 답을 적지 않았더라.

학생A: 들어는 봤는데 정확히 몰라서요.

교사: 수업 후에는 답을 잘 적었는데 혹시 수업 시간에 이것을 설명할 때 했던 비유가 생각났니?

학생A: 팝콘이 튀기는 비유요.

교사: 이해하는 데 도움이 되었다고 생각하니?

학생A: 좀 특이하고 재미있었어요. 머릿 속으로 잘 그려져요.

온도에 따른 분자운동에너지 개념에 대한 이해를 묻는 문항에서 수업 전에는 효소가 없을 때에도 단지 반응 속도 그래프의 기울기만 작아지지만 그래프의 형태는 효소가 있을 때와 동일하다고 생각한 학생B를 대상으로 인터뷰 하였다. 이 학생은 자신이 잘 알고 있는 팝콘을 사용하여 설명하였을 때 자신이 잘못 알고 있었던 내용을 발견하게 되었고 이해하기 쉬웠다고 하였

다. 학생B에게 온도에 따른 분자운동에너지 개념은 사전에는 개념 지위가 없었지만 팝콘 비유는 이해가능한 것으로 향상시키는데 효과적이었다.

학생B: 효소가 반응 속도를 증가시킨다고 하니까 효소가 없을 때는 기울기만 작아진다고 생각했어요.  
 교사: 그럼, 너의 생각이 틀린 것을 알았니? 어떻게?  
 학생B: 뜨거우면 팝콘이 많이 튀거진다고 설명하셨잖아요. 효소는 그것을 낮게 해서 빠르게 해 주는 거고, 이 경우는 뜨거워지면 팝콘이 빨리 튀겨지는 거요. 말로만 했을 때는(수업 시간에 이론적으로만 설명하면) 어려운데 그림으로 아는 것을 이야기 하니까 이해하기 쉬워요.

효소 행동과 작용에 대한 사전 검사에서 무응답이었던 학생C는 수업 후 효소는 반응 후에도 모양이 변하지 않아 반응물과 계속적으로 반응할 수 있다고 답하였다. 즉, 수업 후 그에게 이해가능한 개념으로 향상되었다. 이 학생은 다음과 같이 비유의 역할에 대해 말하였다.

학생C: 효소, 반응물과 같은 것들이 실제 어떻게 생겼고 물체인지 뭔지 아무 생각이 없이 모르겠는데 비유를 드니까 쉬운 것 같아요. 자물쇠 열쇠 이야기를 하니까 아~ 그런 거구나 하는 생각이 들고요. 교과서에는 설명이 없는데 선생님께서 계속 반응할 수 있다는 것으로 설명해 주셔서 기억에 남아요.

본 수업에서 사용한 체계적 비유는 눈으로 확인할 수 없고 경험할 수 없는 세포 내에서의 미시적 현상을 학생들이 주변에서 친숙하게 접할 수 있는 팝콘이나 자물쇠/열쇠 비유를 통해 쉽게 가시화할 수 있고 머릿속에서 그림으로 그릴 수 있게 하여 이해를 쉽게 하였음을 알 수 있었다. 이는 비유가 새로운 정보를 좀 더 분명하게 하고, 상상하기 쉽게 만들며, 가시화 시킴으로써 학습을 돕는다는 다른 연구 결과들을 뒷받침한다(Duit, 1991). 체계적 비유의 이러한 역할은 학생들의 개념 지위를 개념 지위가 없는 것에서 이해가능한 것으로 향상시키는데 도움을 주었음을 보여준다.

(2) 그럴듯함(Plausibility)의 향상

그럴듯함은 새로운 개념이 사실이라고 믿고 그것이 다른 아이디어들과 일치함을 발견하는가를 나타내는 것으로(Hewson & Hewson, 1992), Thorley(1990)는 실험 자료나 관찰과 일관성이 있는지, 자신의 경험과 일관성이 있는지로 판단할 수 있다고 하였다. Brown, Clement(1989)는 비유가 학생들의 초기 설명이나 짐작에 대해 그럴듯함을 제공한다고 하였다.

과학 수업에서 과학 개념의 이해를 돕기 위해 실험

을 실시하는 경우가 많다(Gunstone & Champagne, 1990). 본 연구에서도 실험반과 대조반에서 온도·pH에 따른 효소 반응 속도의 변화에 대한 이해를 높이기 위해 교과서에 제시되어 있는 실험을 수행하였다. 실험이 단지 현상 확인에 그치는 것이 아니라 과학 개념과 연결시켜 설명할 수 있는 것이 실험의 중요한 목적이기 때문에(Hart et al., 2000) 실험 후 학생들에게 실험 결과를 해석하도록 하였다. 표 8에서 보듯이 대조반의 대부분의 학생들은 실험 결과 얻은 그래프를 그대로 읽거나 실험 결과 나타난 현상-온도가 효소 작용에 영향을 미친다-만을 언급하였다. 이런 경우, 실험은 단순히 현상을 확인하는 활동으로 끝나고 과학 개념과 연결되지 못하고 마무리 하게 된다(Wallace et al., 2003; Hodson, 1990). 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.

온도가 높아질수록 반응 속도가 증가하다 감소한다고 답한 학생D는 자신의 답이 왜 잘못되었는지 의아해했으며 실험 결과를 어떻게 해석해야 할지 어려워하였다. 이 학생의 경우 실험 결과를 수업 내용과 연결시키지 못하고 실험을 통해 알아야할 과학 개념이 무엇인

학생D: 실험 결과를 제대로 쓴 것 같은데요.  
 교사: 그래, 이 그래프가 왜 이렇게 나왔는지 알고 있니?  
 학생D: 어느 온도가 지나면 반응이 감소하기 때문이에요.  
 교사: 이 실험은 감소한다는 것만 확인하면 되는 걸까?  
 학생D: 음...(망설이면서 대답하지 못함)  
 교사: 수업 시간에 배운 내용과 연결 지어 왜 이런 결과가 나왔을지 생각해봐.  
 학생D: 음...(망설이면서 대답하지 못함)

표 8 효소 실험 결과에 대한 학생들의 해석 단위: 명(%)

학생들의 해석	대조반	실험반
온도가 올라감에 따라 반응 속도가 증가하다가 어느 온도 이상에서는 단백질의 변성으로 인해 반응 속도가 감소한다.	4(6.5)	10(18.2)
온도가 올라감에 따라 반응 속도가 증가하다 어느 온도 이상에서는 감소한다.	22(35.5)	18(32.7)
효소 작용은 온도의 영향을 받는다. 최적 온도가 있다.	24(38.7)	16(29.1)
무응답	5(8.1)	4(7.3)
기타	7(11.3)	7(12.7)
계	62(100.0)	55(100.0)



지 명확하게 설명하지 못하였다. 대부분의 학교에서 실험으로부터 학생들에게 전달하고자 했던 개념이 무엇인지 확인하지 못하고 실험을 마무리하는데 초점이 맞춰지기 때문에(Tieberghien *et al.*, 2001) 이러한 질문에 학생들이 당혹해 함을 알 수 있었다.

실험반의 경우도 현상만을 언급한 학생들이 많았으나 대조반에 비해 실험 결과를 과학 개념과 연결지어 설명한 학생의 비율(18.2%)이 높았다(표 8). 이것은 비유가 실험 결과를 과학 개념과 연결시켜 해석하는데 도움이 된다는 것을 보여준다(Yerrick *et al.*, 2003). 실험반 학생들에게 실험을 통해 알게 된 것을 비유를 사용하여 설명해보라고 하였을 때 학생들은 수업 시간에 배운 비유들을 기억하여 기록하였다(그림 1). 실험 결과 해석 과정에서 비유를 사용하도록 교사가 안내하였을 때 학생들로 하여금 비유를 통해 실험 결과를 효소 개념과 연결지어 해석하도록 도왔을 것으로 생각된다.

효소 개념 형성에 실험과 비유가 어떤 영향을 주었는지 알아보기 위해 인터뷰한 학생B는 실험은 알고 있었던 것을 정리하고 다시 눈으로 확인하기 위해 하는 것이라고 하였다. 이는 실험 결과를 과학 개념과 연결시켜 해석해야 한다는 인식을 하지 못하고 있음을 보여준다. 실험 과정에서 어려웠던 것이 무엇이나는 질문에 실험은 재미있었지만 실험 결과 그래프가 의미하는 것이 무엇인지 등을 생각하는 것이 어려웠다고 하였다. 하지만 자물쇠/열쇠 비유와 연관지어 왜 실험 결과가 그렇게 나왔는지 설명할 수 있었다고 하였다.

교사: 효소 실험의 목적은 무엇이라고 생각하니?  
 학생B: 그냥 알고 있었던 것을 정리하고 다시 한 번 눈으로 직접 보는 것, 재미를 부각시키는 것이요.  
 교사: 실험을 하면서 어떤 과정이 어려웠니?

학생B: 실험하는 것이 재미있었어요. 실험 결과 그래프가 무엇을 의미하는지 답하는게 어려웠어요.  
 교사: 보고서에 잘 썼던데.  
 학생B: 자물쇠가 녹이 슬어 안 열린다는 것과 연관이 있다고 생각했어요.

과학 실험은 어떤 조작에 의해 결과가 나타는 사건 범주의 속성을 가지지만 실험 결과는 평형 범주의 속성으로 설명해야 하는 경우가 많다. 그러므로 감각적인 관찰만으로는 인식론적 변화를 가져오지 못한다. 이때 실험으로 나타난 현상을 과학 개념과 연결시켜주는 발판(scaffold)이 필요하며, 발판 역할이 효과적이었을 때 그 실험을 과학 개념과 일관성 있게 해석할 수 있게 되어 그 과학 개념을 그럴듯한 것으로 받아들이게 한다. 학생B의 인터뷰 내용은 비유가 효소 실험의 의미를 깨닫는데 매우 효과적인 발판 역할을 하였음을 보여준다(Harrison & Treagust, 2000). 체계적 비유는 실험 결과를 과학 개념과 연결지어 일관성 있게 해석할 수 있도록 도와 결국 학생들의 개념 지위를 그럴듯함으로 향상시키는데 긍정적 역할을 하였음을 알 수 있었다.

## 2) 정의적 관점

효소 작용은 세포 내에서 일어나는 화학 반응의 조절에 대한 것으로 눈으로 관찰할 수 없고 역동적인 개념이기 때문에 학생들이 어려워한다. 일단 어렵다고 느끼는 것은 학생들로 하여금 그 주제에 다가가기 힘들게 하는 요소 중 하나이다. 이러한 심리적 요소들도 개념 변화를 연구할 때 중요한 영향을 미친다(Hidi, 1990). 이때 학생들에게 친숙한 비유를 사용하면서 접근하는 것은 추상적인 과학 개념에 대해 학생들의 흥미를 끌어들이는데 매우 효과적이다.

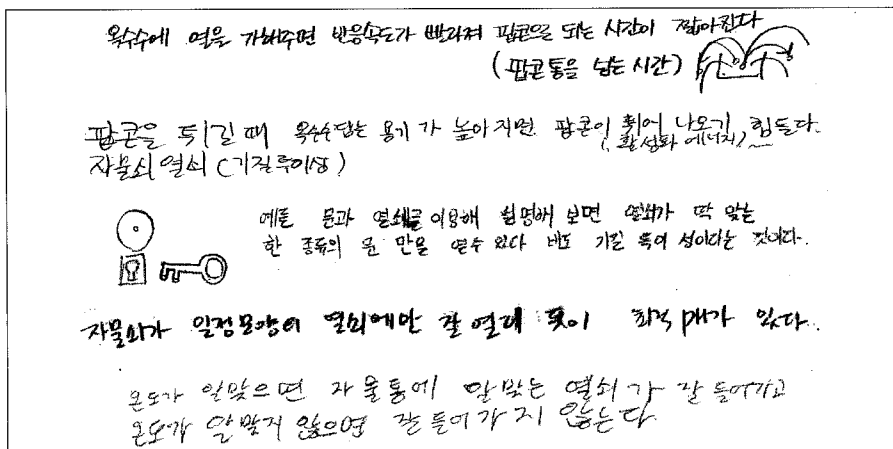


그림 1 실험 결과 해석 과정에서 학생들이 사용한 비유

교사: 수업 후에는 답을 잘 적었는데 혹시 수업 시간에 이것을 설명할 때 했던 비유가 생각나니?

학생A: 팝콘이 튀기는 비유요.

교사: 이해하는 데 도움이 되었다고 생각하니?

학생A: 좀 특이하고 재미있었어요. 머릿 속으로 잘 그려져요.

학생E: 재미있었고 도움이 되었어요. 처음에는 프린트만 받아 그림과 글이 있어 뭘까 그런 생각이 들었는데 자물쇠가 열쇠가 맞춰져서 반응하는거다 이런 식으로 설명이 되니까 설교 재미있었어요.

비유 사용에 대한 학생들의 반응은 대부분 재미있었다는 것이다. 학생A는 팝콘 비유가 재미있었다고 직접적으로 언급하면서 비유가 특이하다고 말하였다. 특이하다는 생각은 과학 개념을 일상 생활에서 경험할 수 있는 현상으로도 설명할 수 있다는 새로운 경험을 표현한 것으로 생각된다. 학생A에게 있어서의 팝콘 비유는 이전의 과학 수업에서 듣지 못했던 매우 특이한 것으로 학생A에게 흥미를 제공하기에 충분한 것이었다. 학생E의 경우에도 비유가 재미있었고, 비유 사용으로 인해 쉽게 이해할 수 있었다고 하였다. 낯설게 느껴지는 과학적 용어보다 일상 생활에서 친숙한 자물쇠, 열쇠와 같은 용어들을 사용했을 때 훨씬 편안한 마음으로 쉽게 과학 개념으로 다가가는 것을 볼 수 있었다. 비유가 학생들에게 주는 이러한 친숙함과 편안함도 개념 변화에 매우 긍정적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 이처럼 체계적 비유는 딱딱하고 생소한 과학 용어를 일상 생활에서의 친근한 용어로 대체하므로써 과학 개념에 대한 흥미를 높여 이해를 향상시키는데 도움을 주었음을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

생명 현상을 이해하기 위해서는 세포 내의 화학 반응에 대한 학습이 필수적으로 요구된다. 그러나 이 현상은 매우 복잡하고 추상적이어서 학생들이 이해하는데 큰 어려움을 갖고 있다. 본 연구에서는 세포 내 화학 반응에서 중추적 역할을 하는 효소 작용에 대한 이해를 돕기 위해 실험 활동과 체계적 비유가 포함된 수업을 계획하고, 10학년 학생들을 대상으로 이 수업이 효소 개념 이해에 미친 효과와 그 과정에서 체계적 비유가 어떤 역할을 하였는지 분석하였다.

먼저 체계적 비유를 학습하고 이를 사용해서 실험 결과를 해석하도록 한 실험반 학생들과 대조반 학생들의 효소 개념 이해를 정량화해서 비교했을 때, 실험반 학생의 이해 정도가 대조반에 비해 높게 나타났으며, 그 차이는 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미했다.

이는 체계적 비유를 사용한 수업이 학생들의 효소 개념 변화에 효과가 있음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

체계적 비유를 사용한 수업이 학생들의 개념 이해에 어떻게 도움이 되었는지를 구체적으로 파악하기 위해 효소 작용에 대한 개념을 내용별로 세분해서 학생의 이해 정도를 알아보고, 각 내용의 이해에서 체계적 비유가 어떤 역할을 했는지를 분석하였다. 대부분의 학생들은 효소의 작용을 활성화 에너지를 낮춤으로 인한 반응 속도의 증가로 이해하고 있었다. 이 때 학생들의 개념은 활성화 에너지의 크기와 반응 속도를 단순히 인과적 관계로 연결짓는 정도로서, Chi *et al.*(1994)의 사건 범주의 속성을 지닌다고 할 수 있다. 이처럼 단순한 인과관계를 보이는 사건 범주에 속한 개념에 대한 학생의 이해도는 매우 높았으며, 이 경우에 체계적 비유는 개념 이해에 별다른 역할을 하지 못했다. 이에 비해 ‘온도·pH에 따른 효소 구조 변화와 반응 속도’, ‘효소의 계속적·무작위적 작용’에 대한 개념 이해에서는 체계적 비유의 효과가 매우 크게 나타났다. 이러한 효소 작용 개념은 효소의 미세 구조와 관련하여 효소 분자의 역동적 행동 속성에 대한 이해를 필요로 한다. 효소는 무작위적이며 지속적인 행동을 보이는 분자로서, 효소 행동에 대한 이해를 포함하는 개념은 Chi *et al.*(1994)의 평형 속성 범주에 해당한다. 학생들은 이와 같은 평형 범주의 개념을 잘 이해하지 못했으며, 이는 중학교 영재반 학생들을 대상으로 효소 개념을 연구한 결과(이원경, 김희백, 2007a)와도 일치한다. 이처럼 학생들은 평형 범주의 속성을 지닌 개념의 이해를 어려워하기는 했지만, 체계적 비유를 이용한 실험반 학생들은 대조반에 비해 상당히 높은 수준의 이해를 보임으로써 체계적 비유가 평형 범주의 개념 이해에 효과가 있음을 보였다.

학생들의 인터뷰 자료와 실험 보고서 자료 등은 본 연구에서 사용한 체계적 비유가 학생들의 개념 지위를 향상시키는데 긍정적 역할을 했음을 보여주었다. 다른 연구에서도 이와 같은 비유의 효과를 유사하게 제시한 바 있다(Treagust *et al.*, 1996). 체계적 비유는 학생들이 일상 생활에서 경험하기 어려운 평형 범주의 효소의 행동을 가시화함으로써 이해하기 쉽게 했을 뿐 아니라, 생소한 과학적 용어를 생활 속의 친근한 용어로 대체해서 사용함으로써 이해하기 쉽게 하였다. 체계적 비유는 이처럼 이해가능성을 높임으로써 개념 지위를 향상시키는데 도움을 주었다.

또한, 대조반 학생들은 효소 반응 실험에서 대부분 독립 변인과 종속 변인 사이의 관계만을 제시한데 비

해, 체계적 비유를 사용한 실험반에서는 많은 학생들이 변인들 간의 관계를 파악하는 데 그치지 않고 실험 결과를 과학 개념과 연결 지어 설명하였다. 이때 체계적 비유는 실험에서 나타난 현상을 과학 개념과 연결짓는데 발판 역할을 하였음을 보여주었다. 체계적 비유는 실험 결과를 과학 개념으로 일관성 있게 설명함으로써 개념 지위에서 그럴듯함을 향상시켰음을 알 수 있었다.

체계적 비유의 또 다른 역할로 학생들의 흥미 유발을 들 수 있다. 체계적 비유는 어렵고 추상적인 과학 개념에 좀 더 쉽게 다가갈 수 있도록 함으로써 학생들의 흥미가 유지될 수 있도록 하였다. 학습은 학생들의 개인적 흥미에 영향을 받는다는(Pintrich *et al.*, 1993) 것을 고려할 때 학생들에게 친숙한 비유의 사용은 정의적 측면에서 매우 긍정적인 역할을 하였음을 알 수 있다. 이상에서 살펴본 바와 같이 체계적 비유는 학생의 흥미 유발과 아울러 새로운 개념의 이해 가능성과 그럴듯함을 높임으로써 학생의 개념 지위를 향상시켜 개념에 대한 이해를 도왔다. 이는 비유가 개념 변화 학습에서 가치 있는 도구라고 한 Duit(1991)의 연구와도 맥을 같이 한다.

본 연구 결과는 학생들이 이해하기 어려워하는 평형 범주의 속성을 지닌 효소 개념의 이해 향상 뿐 아니라 실험 결과를 과학 개념과 연결지어 해석하는 데 있어서 체계적 비유가 중요한 발판으로써의 역할을 하였음을 보여주었다. 이는 체계적 비유의 사용이 학생들의 효소 개념 변화를 위한 유용한 교수·학습 전략이 될 수 있음을 시사한다.

그러나 학습은 집단이 아닌 각 개인에게 일어나는 것이므로 추후 연구에서는 각 학생 개인에게 일어난 개념 변화를 추적해 가면서 체계적 비유의 효과와 역할을 분석한 사례 연구가 필요하다고 생각한다. 개인에 따라 비유의 효과와 역할에는 어떤 차이가 있는지, 있다면 어떻게 다른지 정성적 연구가 이뤄질 필요가 있다. 이 과정에서 비유로 인한 오개념 유발이나 비유 사용시의 유의할 점 등에 관한 논의가 깊게 이뤄질 수 있다. 또한 본 연구에서는 체계적 비유에 의한 학생들의 효소 개념에 대한 이해가능성과 그럴듯함의 향상에 대해 논의하였는데 유용성에 대한 증거는 제시하지 못하였다. 추후에 체계적 비유 사용으로 인한 학생들의 효소 개념에 대한 유용성 향상에 관한 연구가 이뤄질 필요가 있으며, 이는 학생들의 효소 개념 변화를 돕는 효과적인 교수·학습 도구로서의 체계적 비유의 가능성을 더욱 증가시킬 것으로 기대한다.

## 국문 요약

세포 내의 화학 반응은 매우 복잡하고 추상적이어서 학생들이 이해하는 데 어려움을 갖고 있다. 본 연구에서는 이러한 세포 내 화학 반응에서 중요한 역할을 하는 효소 작용에 대한 이해를 돕기 위해 실험 결과 해석 과정에서 체계적 비유를 사용한 수업을 계획하고 10학년 학생들을 대상으로 이 수업이 효소 개념 이해에 미친 효과와 그 과정에서 체계적 비유가 어떤 역할을 하였는지 분석하였다. 실험반 학생들의 효소 개념 이해 정도가 대조반에 비해 유의수준 0.05에서 통계적으로 유의미한 차이를 보여 체계적 비유가 효소 개념 이해에 효과적임을 나타내었다. 효소 작용 개념을 내용별로 세분하여 살펴보면 특히 ‘온도·pH에 따른 효소 구조 변화와 반응 속도’, ‘효소의 계속적·무작위적 작용’과 같이 학생들이 이해하기 어려워하는 평형 범주의 속성을 지닌 개념에 대한 이해에서 체계적 비유의 효과가 크게 나타났다. 이 과정에서 체계적 비유는 학생들의 개념 지위를 향상시키는데 긍정적인 역할을 하였다. 비유물의 가시화와 친숙성은 학생들의 효소 작용 개념에 대한 이해가능성을 높였으며, 효소 반응 실험에서 나타난 현상을 과학 개념과 연결짓는데 발판 역할을 함으로써 실험 결과를 과학 개념으로 일관성 있게 설명할 수 있게 하여 개념 지위를 그럴듯함으로 향상시켰다. 또한 학생들에게 친숙한 비유는 학생들의 흥미를 유발시키고 어려운 과학 개념에 쉽게 다가갈 수 있도록 함으로써 정의적 측면에서도 매우 긍정적인 역할을 하였다.

## 참고 문헌

- 김미영, 김희백 (2006). 혈액 순환 요소별 학생들의 개념 분석: 횡단적 연구. 한국과학교육학회지, 26(6), 753-764.
- 김희정, 조연순 (2001). 초등학생의 광합성 개념학습에서 TWA 비유 수업모형의 효과. 한국과학교육학회지, 21(2), 444-458.
- 박강훈, 이선경, 장남기 (1992). 중등학교 학생들의 호흡에 관한 개념 조사. 한국생물교육학회지, 20(2), 115-132.
- 이원경, 김희백 (2007a). 실험 해석 과정에서 체계적 비유 사용에 의한 중학교 영재반 학생의 효소 개념 변화. 한국과학교육학회지, 27(3), 212-224.
- 이원경, 김희백 (2007b). 제7차 교육과정에 제시된 효소 개념 및 학생들의 효소 개념의 이해에 대한 횡단적 연구. 한국생물교육학회지, 35(3), 337-350.
- 조희형 (1985). 고등학교 생물과정에 필요한 기본개

념의 확인 및 결정. 한국과학교육학회지, 5(1), 11-17

Brown, D. E., & Clement, J. (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction. *Instructional Science*, 18(4), 237-261.

Bryce, T., & MacMillan, K. (2005). Encouraging conceptual change: The use of bridging analogies in the teaching of action-reaction forces and the 'at rest' condition in physics. *International Journal of Science Education*, 27(6), 737-763.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. A. (1994). From things to processes: A Theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75(6), 649-672.

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.

Gunstone, R. F., & Champagne, A. B. (1990). Promoting conceptual change in the laboratory. In E. Hegarty-Hazel (Ed.), *The student laboratory and the science curriculum*, (pp. 159-182). London: Routledge.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.

Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Lougharn, 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.

Haslam, F., & Treagust, D. F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using tow-tier multiple choice instrument. *Journal of Biology Education*, 21(3), 203-211.

Hewson, P. W., & Hewson, M. G. A. B. (1992). The status of students' conceptions. In R. Duit, F. Goldberg, and H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, (pp. 59-73). Kiel: IPN.

Hewson, P., & Lemberger, J. (2000). Status as the hallmark of conceptual learning. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education*, (pp. 110-125). Buckingham, UK: Open University Press.

Hidi, S. (1990). Interest and its contribution as a mental resource for learning. *Review of Educational Re-*

search, 60(4), 549-571.

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. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in science: Which way now?*, (pp. 16-31). New York: Rutledge.

Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.

Thorley, N. R. (1990). 'The role of the conceptual change model in the interpretation of classroom interactions', unpublished doctoral dissertation, University of Wisconsin-Madison.

Tiberghien, A., Veillard, L., Le Marechal, J. F., Buty, C., & Millar, R. (2001). An analysis of lab work tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, 85(5), 483-508.

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(2), 213-229.

Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Education*, 35(9), 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(10), 986-1024.

Wellington, J. J. (1998). Practical work in science: time for a reappraisal. In J. J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science*, (pp. 3-15). NY: Routledge.

Wittrock, M. C., & Alesandrini, K. (1990). Generation of summaries and analogies and analytic and holistic abilities. *American Educational Research Journal*, 27(3), 489-502.

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(5), 443-463.