

혈액 순환 모형 기반 수업에서 고등학생들의 개념 변화 분석

김미영¹ · 김희백^{*}

¹경기여자고등학교 · 서울대학교

Analysis of High School Students' Conceptual Change in Model-Based Instruction for Blood Circulation

Kim, Mi-Young¹ · Kim, Heui-Baik^{*}

¹Kyunggi Girls' High School · Seoul National University

Abstract: The purpose of this article is to analyze the conceptual change of nine 11th graders after implementing the model-based instruction of blood circulation by multidimensional framework, and to find some implications about teaching strategies for improving conceptual understanding. The model-based instruction consisted of 4 periods: (1) introduction for inducing students' interests using an episode in the science history of blood circulation, (2) vivisectional experiment on rats, (3) visual-linguistic model instruction using the videotape of heartbeat, and (4) modeling activity on the path of blood flow. Based on the data from pre-test, post-test and interviews, we classified students' models on the path of blood flow, and investigated their ontological features and the conceptual status of blood circulation. Most students could describe the path of blood flow and the changes of substances in blood precisely after the instructions. However, the modeling activity were not sufficient to improve students' understanding of the mechanisms of the blood distribution throughout various organs and the material exchanges between blood and tissues. From the interview of 9 students, we acquired informative results about conceptual status elements that were helpful to, preventing from, or not used for students' understanding. It was also found that conceptual status of students depended on the ontological categories into which students' conceptions of blood circulation fell. The results of this study can help design the effective teaching strategy for the understanding of concept of the equilibrium category.

Key words: blood circulation, model-based instruction, conceptual status, ontological category, conceptual change

I. 서론

과학 개념 중에는 학생들이 이해하기 어려운 개념들이 있으며 과학 교육자들은 이런 개념들의 속성을 파악하여 그 어려움을 해결하려고 하여 왔다. Chi 등(1994b)은 과학 개념을 그 존재론적 속성에 따라 물질, 과정, 정신적 표상의 세 가지 범주로 구분하고, 이 중 과정 범주의 하위 범주에는 사건 범주와 평형 범주가 있다고 하였다. 과학 개념들 중 복잡하고 추상적이며 역동적인 개념들은 시작과 끝이 없고, 동시적이고 계속 진행되는 평형 범주의 속성을 지니고 있어 학생들의 이해가 어렵고 수업 후에도 과학적 개념으로 잘 변화되지 않는다고 알려져 있다.

생물학 영역의 자연선택, 확산, 유전, 순환, 호흡 등의 개념들은 직접 눈으로 관찰하거나 경험하기 어려운 추상적 속성을 가지며, 존재론적 범주의 과정-평형 범주에 속한다(김미영, 2002; 민진선, 2004; 박승재, 조희형, 2001; Arnaudin & Mintzes, 1985; Bishop & Anderson, 1990). 이 중 순환에 대해 김미영과 김희백(2006)은 7학년, 11학년, 대학 1학년 학생 242명을 대상으로 개념 이해 수준을 알아보았다. 이들은 심장의 구조와 기능, 혈관의 구조와 기능, 순환 경로 모형, 심장 박동, 혈액이 분배되는 원리, 혈액과 기관 사이의 물질 교환 원리 등을 구조, 기능, 행동, 기작의 요소로 구분하여 개념 이해를 확인하였다. 그 결과, 행동이나 기작 요소는 대학생들에서도 여전히 이해가 낮은 것을

*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

**2007.02.12(접수) 2007.05.21(1심통과) 2007.07.13(2심통과) 2007.08.10(최종통과)

알아내었다. 이런 원인으로 물질 교환, 혈관의 수축과 이완에 따른 혈류량의 변화 등의 개념은 평형적 속성을 갖지만, 학생들은 필요나 목적 지향의 개념을 보유하기 때문이라고 하였다.

한편 과학 교육에서 자연적 현상이나 과정에 대한 아이디어를 설명하거나 표상하는 도구로 많이 사용되는 것이 모형이다. 여기서 ‘모형’은 구체적 대상이나 과정을 언어적 또는 시각적 실체들로 표현하는 것, 컴퓨터 프로그래밍 같은 수학적 알고리즘, 문제해결 과정, 비유적 교수 모형 등을 의미한다(Buckley & Boulter, 2000; Harrison & Treagust, 1996). 많은 과학적 현상들 중 관찰이 어렵거나 시간과 안전상의 제약 때문에 교실에서 재현할 수 없는 것들을 설명하는데 모형이나 모형 구성하기(modeling)를 적용하는 것이 유용하며, 또한 이런 모형 기반 수업을 사용하였을 때 학생들이 과학 개념들에 쉽게 접근하며 흥미로워한다고 알려져 있다(김희백 등, 2001; Taylor *et al.*, 2003).

과학 개념에 모형을 적용한 연구로서, Chi 등(1994a)은 14명의 8학년 학생들에게 사람의 순환계에 대한 문장들을 읽은 후 순환 경로를 모형으로 표현하고 자신에게 설명하도록(self-explanations) 한 결과, 대조군보다 순환 개념을 더 깊이 이해하는 것을 확인하였다. 그는 이런 자가 설명이 학습 도구로서 도식 그리기, 요약하기, 이론을 토대로 설명하기 등의 활동을 포함하므로 학생들의 순환계 개념에 대한 존재론적 범주의 이동을 도와준다고 주장하였다. 그 후 Buckley(2000)는 학생들이 선지식이나 새로운 정보 획득을 모형으로 표현하는 것은 그들의 정신 모형 내의 과학적 개념 형성에 영향을 미친다고 하였다. 또한, SFL(Science for Learning)을 개발하여 10학년 생물 수업에 적용한 다음, 학습자가 그 표상들과 상호작용하는 활동을 조사하여 모형 기반 학습의 사례를 분석하였다. 그 결과 과학 수업에서 어떤 개념에 대한 학생들의 정신 모형을 표상해 내는 모형 구성하기(modeling)는 그들이 보유한 개념을 파악하고 수정하고 정교화하는 중요한 교수·학습 도구가 될 수 있다고 주장했다.

본 연구에서는 평형적 속성을 가진 혈액 순환 개념의 이해를 돕기 위한 전략으로서 모형 기반 수업을 개발하여 고등학생들에게 적용하였다. 이 모형 기반 수업에는 심장 박동의 시각적이고 동적 모형과 순환 경로에 대한 모형 구성하기 활동이 포함되었다. 수업 후에 면담 대상자 9명을 선정하여 그들이 구성한 순환 경로 모형을 분석하고, 또 순환 개념을 설명하는 과정에서 나타난 개념 지위와 존재론적 범주의 변화를 알아보았다. 이런 개념 지위와 존재론적 범주의 분석을 통해 대

상 학생들의 혈액 순환에 대한 개념 변화 사례를 조사하였으며, 모형 기반 수업의 어떤 요소가 개념 변화를 촉진하였는지를 구체적으로 확인하고자 하였다. 이런 연구는 혈액 순환과 같은 평형 범주의 개념 변화에 유용한 교수 전략을 고안하는데 유용한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 혈액 순환 모형 기반 수업 전후에 학생들의 순환 경로 모형의 변화를 확인한다.
- 2) 혈액 순환 모형 기반 수업 후에 학생들의 순환 개념에 대한 존재론적 범주와 개념 지위를 알아본다.
- 3) 혈액 순환 모형 기반 수업을 통한 학생들의 개념 변화 과정을 사례별로 확인한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 혈액 순환 모형 기반 수업의 개발

제7차 교과서 생물 I의 혈액 순환 단원에서 심장, 혈관, 혈액순환 관련 주제들을 추출하였으며, 김희백 등(2004)이 개발한 영재교육 교수·학습자료(생물) 중 혈액 순환 프로그램을 참고하였다. 이 혈액 순환 모형 기반 수업은 4차시로 구성하였으며, 각 차시별 수업의 초점과 활동 내용을 표 1에 제시하였다.

1차시 수업은 도입 단계로 동맥, 정맥에서의 혈액 흐름의 원동력을 생각해 보고, 과학사에서 하비의 실험을 제시함으로써 학생들의 흥미와 관심을 유도하였다. 2차시는 쥐의 해부 관찰을 통해 심장과 혈관의 연결 경로를 확인하고, 심장의 박동 과정을 학생들이 직접 경험해 보게 하였다. 이런 관찰은 학생들이 혈액 순환 경로를 이해하고 자신의 정신 모형을 구성하는데 도움을 준다. 3차시는 심장 박동의 자동성에 대한 비디오 영상 자료를 시청하고, 그 기작을 설명해 보게 하였다. 4차시는 학생들이 소집단 도의를 통해 심장과 각 기관의 혈액 순환 경로를 모형으로 나타내고, 혈액 흐름의 방향과 혈액의 성분 변화를 기술하게 하였다. 이런 모형 구성하기 활동은 학생들의 혈액 순환 개념 변화를 촉진할 수 있을 것이다.

2. 순환 개념 검사 도구

혈액 순환의 개념 이해를 알아보는 검사 도구는 김미영과 김희백(2006)의 것을 사용하였다. 모형 기반 수업 전후에 이 개념 검사지를 적용한 후, 그 중 순환 경로 모형을 그리고 각 혈관에서의 혈액 성분의 변화를 기술하는 내용의 문항 2-4와 2-5을 분석하여 혈액순환 경로 모형을 구분하였다. 또, 혈류량의 분배 원리를 서

표 1

혈액순환 모형 기반 수업의 개요

수업 주제	수업의 초점	활동 내용
1차시: 심장과 혈관의 연결	<ul style="list-style-type: none"> • 도입: 심장의 구조와 혈액의 흐름 • 과학사: 하비의 혈액순환 가설 -동기 유발, 과학의 본성 이해 • 혈관의 구조와 기능에 대한 이해 	<ul style="list-style-type: none"> • 혈액순환의 원동력에 대한 고찰 • 정맥에서 혈액의 흐름 관찰(경험 제공) :혈액의 흐름은 혈관의 수축과 이완에 의해 일어남(과정-평형 범주의 개념)
2차시: 위의 심장과 혈관 연결	<ul style="list-style-type: none"> • 위의 해부 관찰: 구체적 경험 제공 • 학습 동기 유발 • 개념지위 요소-실험 경험, 인식론 	<ul style="list-style-type: none"> • 심장 박동과 혈관의 연결 관찰 -혈액 순환 경로에 대한 이해 촉진 • 호르몬에 의한 심장 박동 조절 관찰
3차시: 심장의 자동박동	<ul style="list-style-type: none"> • 심장 자동박동 비디오 자료 :시각적, 언어적, 동적 모형 • 심장 박동 기작에 대한 설명 • 개념지위 요소-인식론적 진술, 형이상학 요소 	<ul style="list-style-type: none"> • 관찰이 어려운 주제(심장의 자동박동, 판막의 개폐)에 대한 모형 기반 수업 • 심장 박동의 기작과 혈액의 이동방향에 대한 이해(과정-평형 범주의 개념)
4차시: 혈액 순환의 경로 모형 구성하기	<ul style="list-style-type: none"> • 학생들의 모형 구성하기 활동 • 협동 학습: 동료와의 상호작용을 통해 순환 경로 모형의 구성과 수정 • 개념지위 요소-다른 지식에서 추론, 인식론적 진술, 실제 기작 	<ul style="list-style-type: none"> • 모형 구성하기 활동: 혈액순환의 경로를 모형으로 표상하기 • 소집단 협동학습: 혈액 순환의 경로 구성 과정 교재탐색->모형구성->토의->모형수정 ->소집단 발표 및 교사의 촉진 질문. • 각 기관의 기능에 따른 혈액성분의 변화 설명하기(과정-평형 범주의 개념)

술하는 문항 3-3과 혈액과 근육 세포 사이의 기체 교환 기작을 서술하는 문항 3-4에 대한 학생들의 응답 내용을 분석하여 그 개념에 대한 존재론적 범주의 변화를 알아보았다.

3. 연구 대상

학생들의 순환에 대한 개념 변화를 개념 지위와 관련지어 분석하기 위해 모형 기반 수업을 적용한 1년 후에 면담 대상자 9명을 다음과 같이 선정하였다. 모형 기반 수업을 적용한 고등학교 이공과정 3개 반 중에서 44명의 학생들에게 혈류량 분배와 물질 교환 기작에 대한 학생들의 존재론적 범주의 변화와 개념 지위를 알아보는 면담 프로토콜을 작성하게 하였다. 이 면담 프로토콜은 9개의 서술형 문항으로 구성되었다. 그 프로토콜 분석 결과에 근거하여 이해 가능함, 이해 가능함-그럴 듯함, 이해 가능함-그럴 듯함-유용함 등 각 개념 지위에 해당하는 것으로 추정되는 예비 면담 대상자 16명을 선정하였다. 이들 중 면담에 동의한 학생 9명에 대하여 면담을 진행하였다. 각 학생들의 면담 시간은 30-40분 정도 소요되었다.

4. 자료 분석

1) 혈액순환 경로 모형 분석

순환 경로 모형의 분석틀은 Chi 등(1994a)의 ‘정신

모형의 유형’을 참고하였으며, 본 연구에서 나타난 학생들의 모형을 토대로 체순환과 폐순환의 경로를 뚜렷하게 구분하는지와 심장으로부터 각 기관으로 혈관이 나오고 들어가는 경로에 따라 그 유형을 구분하였다.

그림 1에서 미완성 모형은 순환 모형을 그리지 않거나 심장에서 나간 혈액이 되돌아오는 과정을 표시하지 않은 형태를 말한다. 또, 왕복형은 심장에서 나간 혈액이 동일한 혈관으로 되돌아오는 경로로 동맥혈과 정맥혈이 서로 섞이지 않아야 하는 기본 전제를 인식하지 못하는 것이다. 다음으로 중요한 구분은 단일 순환 경로(single loop)와 이중 순환 경로(double loop)이다. 단일 순환 경로는 심장에서 혈관이 나와 온 몸의 각 기관을 지나 돌아오는 체순환으로 폐를 따로 구분하지 않는 경로이고, 이중 순환 경로는 체순환과 폐순환의 두 경로를 정확히 구분하고 폐가 산소를 공급받는 원천임을 인식하고 있는 것이다. 단일 순환과 이중 순환의 각 유형을 다시 선형, 방사형, 분지형으로 구분하였으며, 선형에서 방사형, 분지형으로 갈수록 더 정교한 개념을 가진 것이다. 여기서 선형은 심장에서 혈관이 나와 각 기관을 차례로 지나 심장으로 들어가는 경로를 의미하며, 그 다음 방사형은 심장에서 직접 여러 개의 혈관이 나와 각 기관으로 연결되고, 각 기관에서 나온 정맥이 다시 각각 심장으로 들어가는 경로로서 대동맥이나 대정맥을 정확히 인식하지 못하고 있음을 나

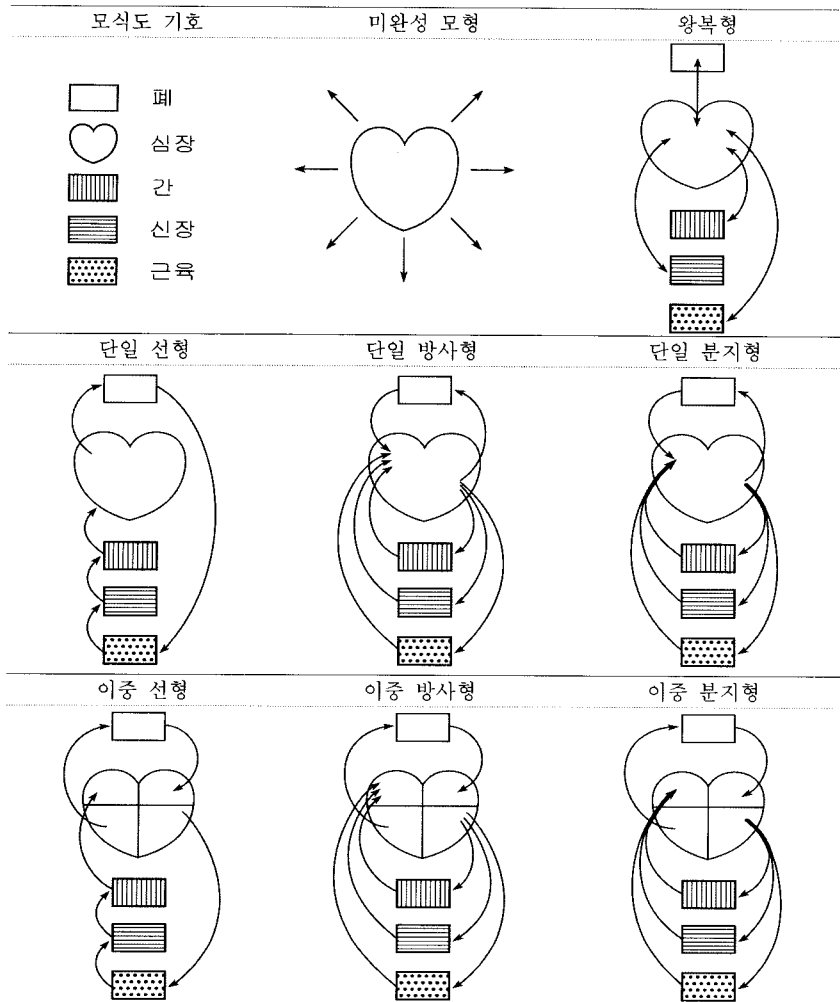


그림 1 순환 경로 모형의 종류와 특징

타낸다. 마지막으로 분지형은 심장에서 혈관이 1개 혹은 2개의 굵은 동맥으로 나온 다음 각 기관으로 갈라져 들어가고, 다시 각 기관으로부터 나온 정맥이 굵은 대정맥으로 합쳐져서 심장으로 들어가는 경로로 복잡한 체순환 과정을 가장 정교하게 나타낸 유형으로 볼 수 있다.

2) 순환 개념에 대한 개념 지위 분석

학생들의 개념 변화를 심층적으로 파악하기 위해서 순환에 대한 개념 지위를 분석하였다. 이 개념 지위 분석을 위해 사전사후 검사, 순환 경로 모형, 개별 면담 결과 등을 활용하였다. 개별 면담은 1년 후에 진행하였는데, 학생들의 개념이 1년 후까지 이해 가능성과 그럴듯함의 지위를 유지하는지와 다른 과목의 학습이나 일상의 문제 해결에 잘 적용되는지를 알아봄으로서 유용함에 대한 증거 자료를 얻고자 하였다. 이 과정에서 다

른 학습의 효과를 배제할 수는 없지만, 유용함의 지위를 알아보기 위해서는 어느 정도 시간의 경과가 필요하다고 판단되었다.

개념 지위의 분석들은 Hewson과 Lemberger(2000)와 Thorley(1990)의 것을 사용하였다(표 2). 이 분석들은 학습자가 새 개념이 무엇을 의미하는지를 알고 그것을 표상할 수 있는가(이해 가능성); 새 개념이 사실이라고 믿고 그것이 다른 아이디어들과 일치함을 아는가(그럴 듯함); 새 개념이 문제를 해결하거나 새로운 가능성과 방향을 제시하는데 유용하게 사용되는가(유용함) 등을 다루고 있다. 각 지위 요소들은 학생들의 개념을 분류하고 그 개념 지위가 없는지, 이해할 만하지, 이해할 만하고 그럴듯한지, 이해할 만하고 그럴듯하고 유익한지를 판단할 수 있는 근거를 제시한다.

학생들이 면담에서 혈류량 분배 기작과 조직세포와 혈관 사이의 물질교환 원리를 설명하는 데 언급한 표

표 2
개념 지위에 따른 지위 요소

개념 지위	지 위 요소
이해 가능함 (Intelligibility)	표상 유형 이해 가능한 비유(개념을 표현하는 비유나 은유) 이미지(그림이나 다이어그램 사용) 예시(개념의 실제 예시)
그럴듯함 (Plausibility)	일관성 요인 다른 지식(다른 높은 지위의 지식이나 추론과의 일치성) 실험의 경험(실험 데이터나 관찰과 일치성) 과거의 경험(개념과 일치하는 특별한 사건) 인식론(인식론적 진술과의 일치성) 형이상학(대상이나 신념의 존재론적 지위에 관한 것) 그럴듯한 비유나 다른 개념을 적용 다른 요인들 실제 기작(인과 기작)
유용함 (Fruitfulness)	적용력(개념의 다양한 적용 가능성) 가능성(새 개념이 갖는 가능성) 경쟁(두 경쟁 개념의 명확한 비교)

상 유형이나 지적 근거, 다른 개념에의 적용 등에 대하여 각 지위 요소별로 그 빈도를 측정하였다. 형이상학 지위 요소의 경우에 평형 범주의 설명은 “+”, 사건 범주의 설명은 “-”로 나타내었다. 응답 내용의 분석에 있어 오류를 방지하기 위해 동일 면담 내용을 동료 연구자와 2회씩 교차 분석하였다. 각 학생들이 어떤 개념 지위 요소를 많이 제시했는가에 따라 이해 못함, 이해 가능함(I), 이해 가능함- 그릴 듯함(IP), 이해 가능함-그릴 듯함- 유용함(IPF) 등으로 구분하였다.

3) 순환 개념에 대한 존재론적 범주 분석

존재론적 범주의 분석들은 Chi 등(1994b)과 Ferrari와 Chi(1998)의 것에 근거하였으며, Chi(2005)가 혈액 순환과 확산 개념에 적용한 ‘직접적 효과(direct)’와 ‘창발적 효과(emergent)’의 속성을 포함시켰다. 여기서 ‘창발적 효과’는 각 구성 요소의 공유된 속성들이 아니라 구성 요소들의 상호관계나 상호작용에 의해 일련의 사물의 속성이 새롭게 나타나는 것을 의미한다. 또, ‘직접적 효과’는 각 구성 요소들이 모두 어떤 특징이나 정의된 속성 등을 공유하는 것으로 이런 개념은 학생

들이 지각할 수 있고, 구성 요소들 사이의 유사성을 직관적으로 인식할 수 있기 때문에 학습이 더 용이하다고 여겨진다. 이렇게 재구성한 사건 범주와 평형 범주의 속성을 표 3에 제시하였다.

학생들이 개념 검사의 문항 3-3과 문항 3-4에 대해 수업 전후에 서술한 내용과 1년 후의 면담에서 설명한 내용을 분석하여 순환 개념의 존재론적 범주의 변화를 알아보았다. 학생들의 존재론적 범주는 과정-사건 범주, 전이 단계, 과정-평형 범주의 세 단계로 구분되었다. 표 4에 각 존재론적 범주의 속성과 학생들이 면담에서 언급한 예를 제시하였다. 위의 속성 중 그 구성 요소가 직접적 효과를 나타낸다거나 새로운 속성이 나타난다 등의 속성은 학생들이 언급하지 않았으므로 표 4에서 제외하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 학생별 혈액 순환 경로 모형

면담 대상자의 순환 경로 모형을 표 5에 제시하였다. 이 연구에서 면담 대상자의 이름은 모두 가명으로

표 3
사건 범주와 평형 범주의 속성

사건 범주	평형 범주
· 시작과 끝이 명료한 경계가 있음	· 시작과 끝이 없이 지속적으로 진행됨
· 단위 사건들은 연속적으로 진행됨	· 여러 단위사건들은 동시에 발생함
· 단위 사건들은 원인과 결과가 있음	· 단위 사건들은 독립적이고 무작위적임
· 단위 사건들은 전체적이고 목적 지향적임	· 단위 사건의 발생은 지엽적이고 분산된 행동이 순효과로 나타남
· 그 구성요소가 직접적 효과를 나타냄	· 그 구성요소가 집합적으로 작용하여 새로운 속성이 나타남

표 4 학생들이 언급한 순환 개념에 대한 존재론적 범주의 예

범주	속 성	혈류량 분배 기작	물질교환 원리
사건범주 (Event)	<ul style="list-style-type: none"> 시작과 끝이 명료함 사건의 연속성 사건의 인과성 전체적이고 목적지향적 	<ul style="list-style-type: none"> 근육운동이 활발하면 산소가 많이 필요해 혈액을 많이 빨아들임 	<ul style="list-style-type: none"> 기관이 산소를 필요로 하는 양에 따라 확산으로 이동됨
전이단계 (Shift)	<ul style="list-style-type: none"> 두 범주의 속성을 혼합하여 설명함 	<ul style="list-style-type: none"> 산소나 영양소를 필요로 하는 곳으로 혈관의 두께를 조절하여 혈액을 많이 보냄 	<ul style="list-style-type: none"> 분압차로 이동함 물질대사에 산소가 필요해서 지속됨
평형범주 (Equilibrium)	<ul style="list-style-type: none"> 사건이 지속적으로 진행 여러 사건들이 동시적임 독립적이고 무작위적임 사건의 발생은 순효과로 나타남 	<ul style="list-style-type: none"> 신경이나 호르몬에 의해 기관에 전달되는 혈류량이 독립적으로 조절됨 	<ul style="list-style-type: none"> 세포는 계속 산소를 소모하고 그래서 분압차가 생기니까 물질 교환은 지속됨 양쪽의 농도가 같을 때는 동적 평형 상태임

표 5 مرد단 대상자의 사전 사후 순환 경로 모형의 변화

학 생	사전 검사	사후 검사
승준	미완성 모형: 순환 경로를 거의 연결하지 못함.	단일 방사형
주희	미완성 모형: 정맥을 그리지 않음.	
우연	이중 방사형	
은영	미완성 모형: 정맥을 연결하지 않음	
소현	단일 방사형: 폐순환, 동맥, 정맥을 구분하지 않음.	이중 분지형
연주	이중 분지형: 폐순환 구분, 혈액 성분의 변화도 기술함.	
승하	이중 분지형: 정맥을 부분적으로 명확히 그리지 못함.	
수진	왕복형: 폐를 혈액 순환의 중심으로 여김.	
대영	이중 분지형	

제시하였다. 그림 1에 제시한 8가지 순환 경로 모형 중에서 혈액 순환의 경로를 가장 정확하게 나타낸 것은 이중 분지형이다. 이 유형은 체순환과 폐순환의 경로와 목적을 명확히 구분하며, 심장에서 혈관이 대동맥으로 나와 각 기관으로 갈라져 들어가고 나온 다음 다시 대정맥으로 합쳐져서 심장으로 들어가는 경로를 보여준다. 9명의 학생들 중 수업 전에는 미완성 모형이 3명, 왕복형 1명, 단일 방사형 1명, 이중 방사형 1명, 이중 분지형 3명이었고, 혈관의 연결이나 혈액 성분의 변화에 대하여는 세밀하게 기술하지 못했다. 그러나 사후 검사에서는 단일 방사형 1명을 제외한 나머지 8명이 모두 이중 분지형으로 변화되었으며, 혈관의 연결이나 혈액 성분의 변화를 기술한 내용도 수업 전에 비해 매우 정확하게 표현하였음을 확인할 수 있다.

이런 결과는 김미영과 김희백(2006)의 연구에서 고등학생들의 순환 경로 모형이 수업 후에도 이중 분지형의 비율이 매우 낮게 나타난 것과 비교해 볼 때, 이 모형 기반 수업에서 학생들이 스스로 자신의 순환 경로 모형을 작성하고, 평가하고, 잘못된 부분을 수정하

는 활동을 통해 혈액 순환의 경로와 혈액 성분의 변화에 대한 이해가 향상되었음을 의미한다.

다음은 각 유형별로 학생들이 구성한 순환 경로 모형을 나타낸 것이다. 그림 2에서 승준의 미완성 모형은 순환 경로를 거의 그리지 못했다. 수진의 모형은 폐를 순환의 중심으로 잘못 생각하였으며, 심장에서 동일한 경로를 거쳐 혈관이 나오고 들어가게 그렸으므로 왕복형에 해당한다고 볼 수 있다. 그림 3은 방사형의 두 유형을 비교한 것이다. 방사형은 심장에서 각각의 혈관이 나와 각 기관으로 연결되는 경로로, 폐순환과 체순환을 명확히 구분하는지에 따라 단일 경로와 이중 경로로 구분하였다. 단일 방사형인 승준은 폐순환을 따로 구분하지 않았다. 이에 비해, 이중 방사형인 우연은 폐와 연결되는 혈관을 심장의 우심실과 좌심방으로 명확히 표시한 것을 볼 수 있다.

그림 4의 두 학생은 모두 이중 분지형을 나타내지만, 각 혈관에서 혈액 성분의 변화에 대한 설명은 차이가 있었다. 승하는 동맥에 산소와 양분, 정맥에 이산화탄소와 물 등의 성분만 표시하였다. 또한 신정맥에는

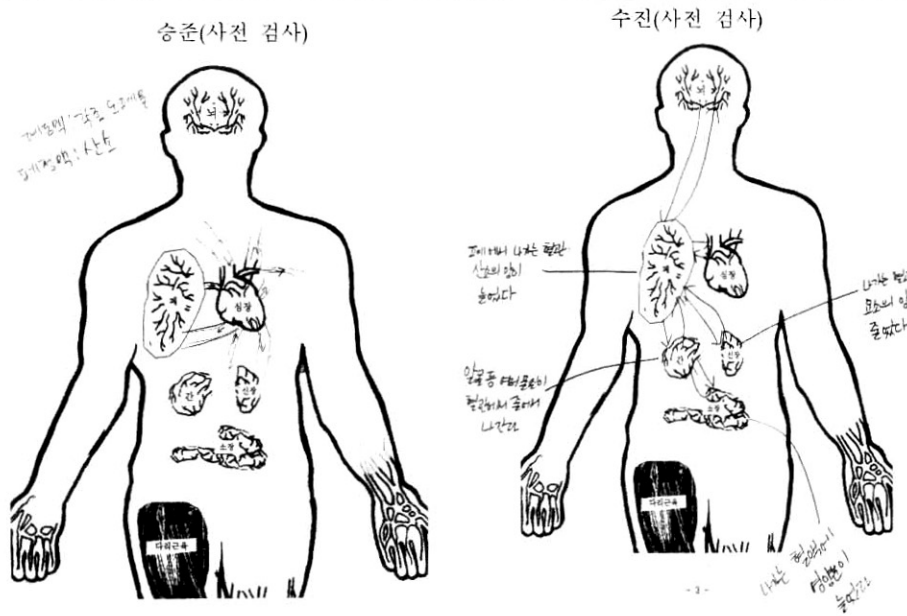


그림 2 비완성 모형과 왕복형

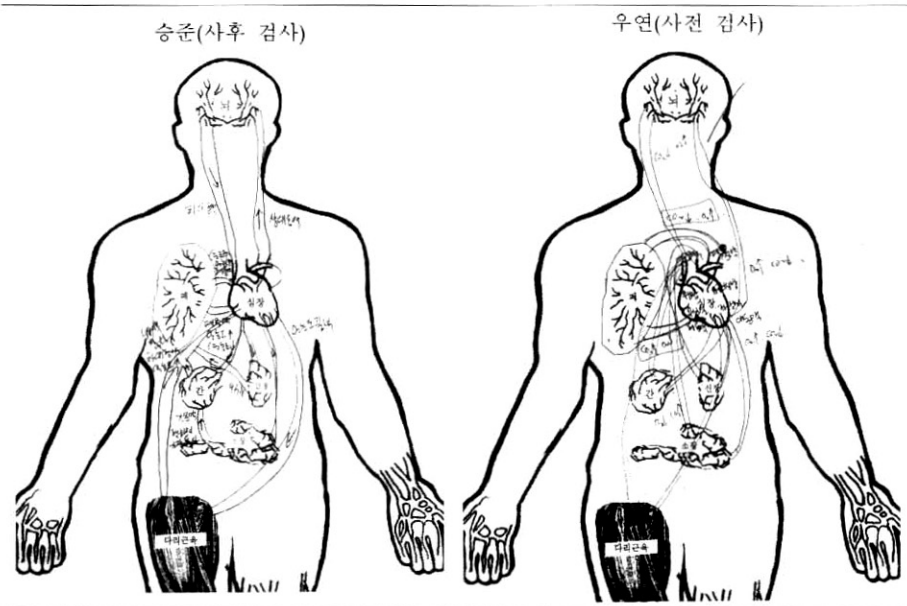


그림 3 단일 방사항과 이중 방사항

요소만, 간장맥에는 혈당량만 표시함으로써 각 혈관의 성분 변화에 대해 그 기관의 작용에 따라 특정 성분을 전달하는 목적 지향적 개념으로 설명하고 있다. 이와 비교하여 수진은 각 기관에 연결된 혈관에서 혈액의 여러 가지 성분(산소, 이산화탄소, 양분, 노폐물)과 각 기관에 관련된 특정 성분의 변화(예, 요소, 양분 등)를

모두 표시하여, 각 성분들이 독립적이고 동시적이며 지속적으로 이동하고 있다는 평형 범주의 개념을 나타내고 있다.

먼담 학생들의 혈액 순환 경로 모형 분석 결과, 단일 선형과 이중 선형, 단일 분지형은 발견하지 못했다. 특히 선형은 심장에서 나온 혈관이 각 기관을 순차적

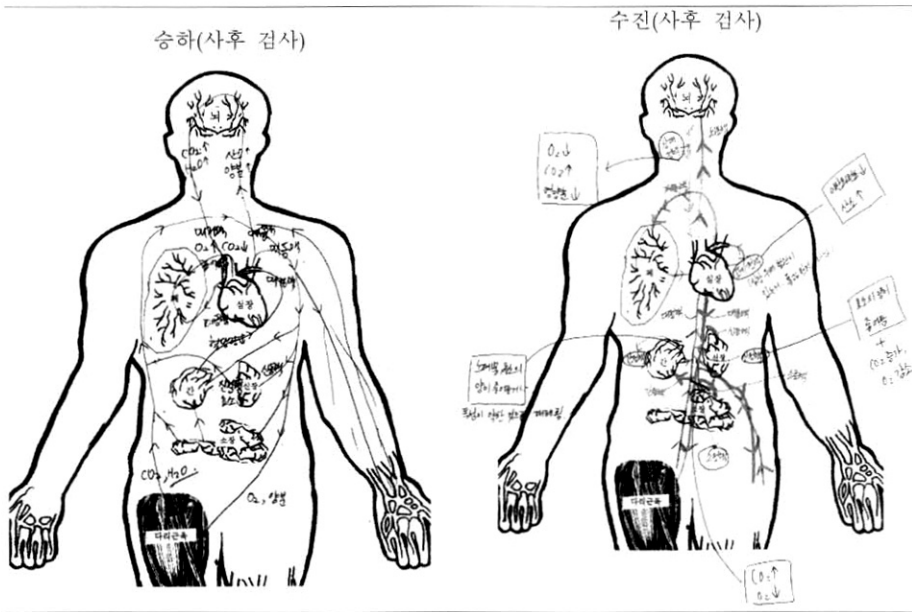


그림 4 이중 분지형

으로 지나는 경로인데, 이것은 순환 경로의 이해가 매우 낮은 상태를 나타내는 것으로 면담 학생들은 대부분 분지형이나 방사형을 보유하고 있었다. 이런 결과는 혈액 순환의 경로에 대한 이해가 수업 후에 비교적 쉽게 교정된다는 Chi(2000)의 연구와 일치함을 보여준다.

하지만 순환 경로 모형의 분석만으로는 혈액의 분배 기작이나 물질 교환 원리에 대한 학생들의 개념 변화를 상세히 파악하기 어려우므로 면담을 통해 학생들의 개념 지위와 존재론적 범주를 알아볼 필요가 있었다.

2. 순환 개념에 대한 존재론적 범주 분석

학생들의 순환 개념에 대한 이해가 어려운 원인을

알아보기 위해 모형 기반 수업 전후와 면담에서 나타난 순환 개념의 존재론적 속성을 분석하였다. Chi와 Roscoe(2002)와 Thagard(1992)는 각 구성 요소들의 지엽적이고 독립적 작용의 결과 새로운 행동이 나타남을 이해하는 것은 존재론적 속성의 재 개념화를 요구하므로 보다 견고한 오개념이 지속된다고 주장하였다. 이것을 순환 개념에 적용해 보면, 심장의 수축과 판막의 작용으로 혈액의 흐름 방향이 결정되는 것은 그 구성 요소들이 직접적 효과를 나타내는 것으로 순차적이고 제한적이며, 전체적인 목적을 위해 순환한다는 고유의 특성을 갖는다. 이와 비교하여, 각 기관으로 혈액이 분배되는 것은 호르몬과 신경계의 조절에 의해 각 혈

표 6

학생별 혈액순환 개념의 존재론적 범주

		빈도								
존재론적 속성		승준*	주희**	우연*	은영*	소현**	연주*	승하**	수진***	대영***
사건 범주	시작과 끝이 명료								1	
	사건이 순차적	1	2	1	2	3	2	2	1	1
	사건이 인과적						2	2		
	전체적 목적지향	7	4	9	4	3	8	4	3	2
소 계		8	6	10	6	6	12	8	5	3
평형 범주	지속적으로 진행			1	2	1		1	1	1
	사건이 동시발생					1				1
	독립적 무작위적		4	1	1	4	3	4	5	6
	순효과로 나타남		1					2	2	2
소 계		0	5	2	3	6	3	7	8	10

*사건 범주, **전이단계, ***평형 범주

관이 수축 이완됨에 따라 혈류량이 달라지는 것이다. 또, 혈관과 조직세포 사이에서 물질이 교환되는 원리는 각 성분의 분압 차에 따라 각기 다른 방향으로의 물질 이동이 일어나는 것으로 볼 수 있다. 이런 개념은 각 구성 요소들이 각기 독립적이며 동시에 작용하며, 사물의 속성이 새롭게 나타남을 의미하는 것이다(Chi, 2005).

표 6은 면담에서 각 학생들이 위 두 개념에 대한 존재론적 속성을 언급한 빈도를 통합하여 나타낸 것이다. 먼저 과정-사건 범주는 혈액 성분의 변화에 대해 전체적인 목적을 지향하는 것으로 일관되게 설명하고 있다. ‘운동시 각 기관에 산소가 필요하면 심장 박동이 빨라지고 그 운동 기관으로 혈액을 많이 보낸다’ 나 ‘몸에 피를 전체적으로 다 보내주기 위해 심장이 수축을 한다’ 등으로 기술한다. 부분적으로 물질 교환에 대하여 확산 개념을 언급하지만, 전체적인 맥락에서 평형적 속성으로 설명하지 않는 경우에는 사건 범주에 포함시켰다. 이 범주에 속한 학생들은 승준, 우연, 은영, 연주 등이었다.

두 번째로 전이 단계에는 주희, 소현, 승하 등이 속한다. 이들은 개념을 설명하면서 사건 범주와 평형 범주를 거의 비슷한 빈도로 언급하였다. 혈류량의 분배 기작은 혈관의 수축과 이완에 의한 독자적인 작용이라는 것과 함께, 심장이 수축을 통해 전체적으로 혈액을 보낸다는 혼재된 개념으로 설명하고 있었다. 주희는 ‘각 기관이 많이 필요한 걸 감지하고 혈관의 수축과 이완에 의해 보내는 거예요’라고 하였다. 또 물질 교환에 대해서도 ‘산소가 필요해서’와 동적 평형의 개념을 모두 갖고 있었다.

마지막으로 평형 범주에 속한 대영이와 수진은 사건 범주에 비해 평형 범주의 빈도가 훨씬 높게 나타났으며, ‘각각의 기관의 독립적 작용으로 혈류량이 조절된다’거나 동적 평형을 물질 교환 원리에 적용하여 설명하였다. ‘평형 상태인 것 같은데, 물질 이동이 지속된다’거나 ‘식물의 보상점에서 광합성과 호흡이 계속 진행되고 있는 것과 동일해요’라고 다른 개념에도 일관되게 적용하였다. 이들은 다음의 개념 지위 분석에서도

유일하게 이해 가능함-그럴 듯함-유용함에 도달한 학생들이었다. 이런 결과는 개념의 적합한 존재론적 범주의 이해가 개념 지위의 향상에 관련이 있음을 의미한다.

3. 순환 개념에 대한 학생들의 개념 지위 분석

1) 이해 가능함(Intelligibility)

이 개념 지위는 새 개념이 무엇을 의미하는지 알고, 그것을 표상해 내는 것이다. 표 7에서 면담 대상자 9명 모두가 이해 가능함의 각 지위 요소를 다양하게 언급하고 있으므로 이해 가능함의 지위에 있다고 판단하였다. 지위 요소 중 **비유나 은유**의 빈도가 가장 적었다. 이것은 그 개념을 완전히 이해하고 다른 영역의 것에 비교할 수 있는 능력이 필요하기 때문에 가장 적게 언급한 것으로 생각된다. 그 예로 심장 내 혈액의 흐름 방향을 설명할 때, “물이 위에서 아래로 가는 것처럼, 혈액도 우심방에서 우심실로 가는 게 아닌가요?”(우연)와 혈류량의 변화를 “큰 구멍과 작은 구멍이 있으면 큰 구멍에 물이 더 많이 들어가잖아요, 하수구에서도 그렇구요”(승하)로 설명하는 것을 들 수 있다.

그림이나 다이어그램 요소는 그림을 그려가며 설명해보라는 요구 때문인지 비교적 많이 제시되었다. 특히 혈액과 조직 세포에서의 확산 과정을 설명할 때 그림을 사용한 경우가 많았다. 그림 5와 그림 6은 각각 수진과 승준의 확산 원리를 나타낸 것이다.

그림 5는 혈액과 조직 세포 사이에서 O₂, CO₂가 양쪽 방향으로 동시에 이동하면서 화살표의 길이로 이동량의 차이를 표현하였고, 양분이나 노폐물의 경우는 각각 조직세포나 혈관 한쪽으로부터 이동하는 것으로 나타내었다. 이에 비해 그림 6은 CO₂와 노폐물은 혈관으로, O₂와 양분은 조직으로부터 이동하는 것으로 그렸다.

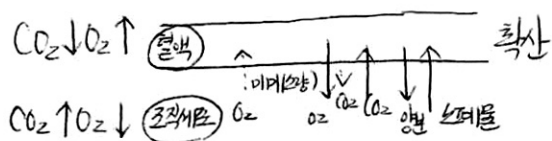


그림 5 수진의 확산 원리

표 7

이해 가능함의 개념지위 분석

지위 요소	승준	주희	우연	은영	소현	연주	승하	수진	대영	빈도
비유나 은유			1				1			
그림이나 다이어그램	1	1	2	3		2	2	2		
실제 예시	6	8	6	5	5	6	6	4	2	
언어나 기호	4	1	1	4				2	4	

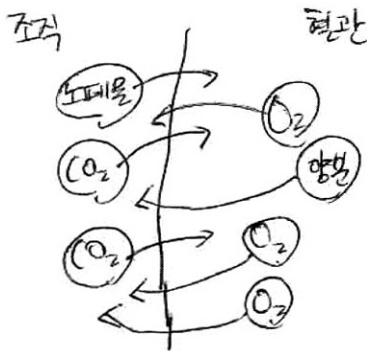


그림 6 승준의 확산 원리

이것은 수진은 확산 원리를 평형적 개념으로 인식하지만, 승준은 그것이 필요한 기관으로 전달하기 위한 목적 지향적 개념을 보유하고 있음을 보여준다.

실제 예시의 요소는 가장 높은 빈도를 나타냈다. 혈액의 양을 조절하는 것에 대하여 “뇌에서 감지를 해서 신경을 통해 조절해요”(연주)나 모세 괄약근을 조절하는 것은 “신경계”(주희)를 언급했다. 또한 확산으로 물질 교환이 되는 예에 대하여 “아세틸콜린 같은 신경전달물질이요”(승하) 라고 답하기도 했다.

언어나 기호의 요소는 다른 요소와 겹치는 측면이 있지만, 실제 예시나, 그림, 비유 등을 사용하지 않고 개념을 설명하는 경우만 포함시켰다. 그 예로 “체순환은 좌심방에서 시작해서 좌심실로 와서 대동맥으로 나가서 온몸을 거쳐 대정맥을 거쳐서 우심방으로 들어와요”(승준)를 들 수 있다.

2) 그럴 듯함(Plausibility)

그럴 듯함의 개념 지위는 학생들이 자신의 개념의 타당함을 어떻게 전달하는가에 대한 것이다. 표 8은 각 학생별로 언급한 그럴 듯함에 대한 지위 요소의 빈도를 나타낸 것이다. 학생들이 순환 개념을 자신의 지적 구조 내에 타당하고 일관된 체계를 구성한 정도에 따

라 이 지위 요소의 종류와 빈도가 다양하게 나타났다. 인식론과 형이상학 요소에 속하는 응답이 매우 높은 빈도로 나타났고, 그 다음으로 실제 기작에 속하는 응답이 많이 나타났다. 학생들이 순환 개념을 설명하는데 이 두 요소를 많이 언급한 점은 개념 변화를 파악하는데 존재론적 관점과 인식론적 관점에서의 탐색이 중요하며, 이 두 관점은 서로 관련되며 중복이 있다고 주장한 Venville과 Treagust(1998)의 연구 결과와 일치한다.

여기서 **형이상학 요소**는 그 개념의 존재론적 지위에 관한 것이다. 학생들이 혈관의 수축과 이완에 따른 변화나 각 성분의 분압 차에 따른 독립적이고 무작위적 속성으로 설명하면 평형 범주(+)로, 산소나 양분을 기관으로 전달하기 위해서나 살기 위해서라는 목적 지향적인 설명을 하면 사건 범주(-)로 구분하였다. 학생들은 대부분 그 기관의 필요나 목적의 관점에서 설명하였는데, 이것이 학생들에게 더 쉽게 이해되기 때문으로 생각된다.

실험 경험이나 **과거 경험**은 승준, 승하, 수진이란 각각 1회씩 언급했다. 그 예로 “운동을 하면 열이 나고, 혈관이 늘어나서 피가 많이 흐르게 되면, 얼굴이 빨개지는 거예요”(승하)를 들 수 있다. 운동했을 때 열이 나서 몸이 더워진 경험을 설명한 것이다. 이 빈도가 가장 낮은 것은 학생들이 혈류량 분배나 물질 교환 원리의 개념적 과정을 직접 경험한 경우가 적거나 자신의 경험을 이 개념과 관련짓지 못하기 때문이다.

다른 지식에서 추론은 비교적 어려운 지위 요소로 그 사용 빈도가 적었다. 수진은 능동 수송이 어떻게 일어나는가에 대하여, “세포에서 호흡에 의해 에너지가 생성되고, 그것을 이용해 물질을 이동시키게 돼요”로 세포 호흡으로 생성된 에너지와 물질 이동을 관련지었다. 또 대영이는 기체 교환이 항상 지속되는 과정에 대해, “겉으로 볼 때 변화는 없는데 항상 일어나고 있는 거예요” 라고 화학에서 배운 ‘동적 평형’의 개념으로 설명하였다.

표 8

그럴 듯함의 개념지위 분석

지위 요소	승준	주희	우연	은영	소현	연주	승하	수진	대영
다른 지식에서 추론	1	2		2	1	3	4	4	4
실험 경험								1	
과거의 경험	1						1		
인식론		3	5	2	9	6	3	7	7
형이상학*	-10 +1	-4	-10	-5	-3	-9	-2	-3 +1	+2
실제 기작		1	4	2	5	5	6	5	10

*-: 사건 범주의 설명, +: 평형 범주의 설명

인식론 요소는 지식의 본성과 이해, 설명의 일관성에 대한 것으로 학생들이 가장 많이 언급하였다. 한 예로 은영이는 심장 내에서 혈액의 흐름은 혈압 때문이라고 일관성 있게 설명하였다. 또 모형 구성하기 활동은 전체적인 혈관의 연결과 흐름을 파악하고, 잘못된 점을 수정하는데 큰 도움이 되었으며, 과학사를 제시한 수업에 대하여 과학의 본성에 대한 언급을 하였다.

실제 기작 요소는 학생들이 비교적 많이 언급하였다. 대영이는 혈류량 조절에 대하여, “활동할 때 소화관보다 근육에서 에너지나 양분을 많이 소모하니까 그 소모량에 따라 혈액을 많이 보내 양분이나 산소를 보충한다” 와 같이 그 인과 기작을 단계적으로 설명하였다. 또 소현이는 운동할 때 얼굴이 빨개지는 이유에 대하여, “운동 시에 이화작용으로 발열반응, 몸이 더워져서 열들을 내보내야 하고, 그래서 혈관을 넓혀서 혈액을 많이 보내므로 빨개진다” 로 인과 기작과 형이상학 요소(목적)를 동시에 언급하였다. 여기서 소현이의 설명은 혈액을 많이 보내기 위한 목적을 실현하는 과정을 언급한 것으로 대영이의 것과 달랐다.

그럴 듯함의 지위 요소 분석 결과, 승준이는 이 지위 요소의 빈도가 매우 적었고, 형이상학 요소에 대해 대부분 사건 범주로 잘못된 설명을 하고 있어 그럴 듯함의 지위를 갖지 못한 것으로 판정하였다. 다른 8명의 학생들은 모두 이해 가능함- 그럴 듯함의 개념 지위에 도달한 것으로 파악되었다.

3) 유용함(Fruitfulness)

유용함의 개념 지위는 새 개념이 유용하다고 생각하는 근거에 대한 것으로, 면담 학생들 중 이해 가능함-그럴 듯함- 유용함에 도달한 것은 대영, 수진 두 학생뿐이었다. 면담에서 연주나 승하도 일부 언급하기는 했지만 실제 그 개념의 유용함에 도달한 것은 아니었다(표 9). 이 유용함의 지위 요소는 Hewson과 Lemberger (2000)의 분석틀에 근거하였다. 이들은 유용함을 사회 정의적 차원에서 접근했지만, 여기서는 인식론적 차원에서 그 개념을 유용하게 적용하고 그 가능성을 설명할 수 있는지에 초점을 두었다. 따라서 이해 가능함-그럴 듯함- 유용함의 개념 지위는 혈액 순환 개념을 구성하는 각 성분들의 작용과 관련성을 정확하게 이해하

고, 다른 개념에의 적용이나 추론에 확장할 수 있어야 가능한 것이었다.

다양한 적용 요소는 대영이의 것으로, “혈액과 조직 세포 간의 기체의 이동은 각 기체의 분압 차에 따라 확산된다(그럴 듯함-실제 기작). 양분의 경우에는 우선 소화된 양분이 그 농도 차에 의해 확산되고, 특정 조직에서 특정 양분을 많이 필요로 할 때 에너지를 소비하면서 능동 수송으로 가져온다(유용함-적용)” 를 들 수 있다. 대영이는 이 개념을 설명하는 데 그럴 듯함과 유용함의 지위를 함께 언급하였다. 또 모형 구성하기를 하면서 혈액이 순환할 때 이런 동적 평형 과정이 일어나는 것을 알게 되었다고 진술했다.

또한 수진은 동적 평형에 대하여, “평형 상태인데 계속 물질 교환이 일어나고 있는 거요, 그 예로 식물의 보상점에서 광합성과 호흡이 계속 일어나는 상태를 들 수 있어요” 라고 하였다. 이것은 수진이가 물질 교환의 평형적 개념을 설명하는데 광합성과 호흡의 보상점 개념을 적절히 적용할 수 있는 유용함에 도달했음을 보여준다. 수진이 역시, 혈액 순환 경로를 그리고 각 기관에서의 작용을 서로 생각하고 토의하면서 작성한 것이 개념 이해를 촉진하였다고 하였다. 또 모형 구성하기 수업은 매우 흥미롭고 효과적이었다고 하였다.

경쟁 개념과의 비교의 예는 다음과 같다. 혈액의 흐름 방향을 설명하는데, “혈류가 흐르는 방향은 의도적으로 결정되어 있지 않고, 각각의 압력 차에 따라 무작위로 일어나는 거예요. 방향이 미리 결정되어 있다면 관막이 있을 필요가 없지요”(수진)라고 말했다. 이것은 의도적 목적보다는 순 효과에 의한 무작위적 과정이라는 평형적 개념이 더 우위를 차지하고 있음을 나타낸다.

4. 혈액 순환에 대한 개념변화 사례 분석

면담 대상자 9명의 사전 검사, 사후 검사, 면담 결과를 표 10에 제시하였다. 사후 검사는 모형 기반 수업을 끝난 직후에 투입하였고, 면담은 1년 후에 실시하여 존재론적 범주의 변화와 개념 지위를 알아보았다. 또한 존재론적 범주의 변화와 개념 지위 향상이 어떻게 관련되는지 알아보았다.

학생들이 수업 전후와 면담에서 혈액 순환 개념을 설명하는데 언급한 존재론적 범주가 변화되는 경로를

표 9
유용함의 개념지위 분석

지위 요소	승준	주희	우연	소현	은영	연주	승하	수진	대영	빈도
다양한 적용						1	2	2	4	
경쟁 개념과의 비교								1	1	

표 10
면담 대상자 9명에 대한 정보

학생	사 전 검 사			사 후 검 사			면 담**		개념 지위
	순환유형	존재론적 범주		순환유형	존재론적 범주		존재론적 범주		
		혈류량 분배	물질 교환		혈류량 분배	물질 교환	혈류량 분배	물질 교환	
승준	미완성 모형	사건-목적지향	무응답	단일 방사형	사건-필요, 목적	무응답	사건-목적지향	사건-산소의 필요 정도	이해 가능함
주희	미완성 모형	사건-목적지향	사건-산소 공급의 목적	이중 분지형	사건-필요, 목적	무응답	전이-혈관의 수축이완	사건-산소의 필요, 목적	
우연	이중 방사형	사건-목적지향	틀린 설명	이중 분지형	사건-필요, 목적	사건-목적, 확산	사건-목적지향	사건-필요, 목적	
은영	미완성 모형	사건-목적지향	무응답	이중 분지형	사건-필요	사건-필요, 목적	사건-목적지향	사건-필요, 확산	이해 가능함
소현	단일 방사형(-)	전이-혈관두께 조절	틀린 설명	이중 분지형	전이-혈관 두께 조절	사건-목적	전이-혈관의 확장, 목적	전이-분압차	-그럴 듯함
연주	이중 분지형	사건-목적지향	전이-분압차	이중 분지형	사건-필요, 목적	전이-분압차, 목적	사건-목적지향	사건-필요, 확산	
승하	이중 분지형(-)	사건-목적지향	전이-분압차	이중 분지형	사건-필요, 목적	전이-확산, 필요	전이-혈관 두께 조절	전이-분압차	
수진	왕복형	전이-혈관두께 조절	사건-필요, 시작과 종결	이중 분지형	평형-혈관의 두께 조절	전이-분압차, 산소 필요	평형-혈관 두께 조절, 독립적	평형-분압차, 독립적	이해 가능함
대영	이중 분지형	사건-목적지향	전이-분압차	이중 분지형	평형-혈관의 두께 조절	전이-각 성분의 농도 차	평형-혈관확장, 독립적	평형-확산, 독립적	-유용함

(-) 부정확한 형태, **면담은 모형 기반 수업 적용 1년 후에 실시하였음.

나타내면 표 11, 표 12와 같다.

학생들의 혈류량 분배 기작에 대한 존재론적 범주는 사전, 사후, 면담으로 진행됨에 따라 점차 사건 범주가 감소하고 전이 단계나 평형 범주가 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나 면담에서도 여전히 사건 범주에 있는 경우가 9명 중 4명이었고, 평형 범주는 2명에 불과했다.

물질 교환 원리에 대한 학생들의 존재론적 범주는 표 11과 달리 기타나 무응답이 사전과 사후에 각각 4명, 2명이었는데, 이것은 학생들이 질문을 제대로 이해하지 못해 틀린 설명을 하거나 어려워해서 답하지 못한

경우였다. 또한 사전과 사후 검사 모두 평형 범주에 속한 학생이 없었다. 면담에서는 사건 범주가 5명이고, 전이 단계와 평형 범주가 각각 2명씩이었다. 또한 예외적으로, 사전 검사의 사건 범주 중 1명이 사후에 기타나 무응답으로 이동했는데(점선 표시), 이는 그 학생(주희)이 다른 답안을 작성하다가 시간이 부족해서 응답하지 못한 것이었다. 또 사후 검사의 전이 단계 중 1명이 면담에서 오히려 사건 범주로 이동했는데(점선 표시), 이것은 면담에서 여러 질문을 통해 그 학생(연주)의 존재론적 속성을 정확히 알아낸 결과였다. 이 학

표 11
학생들의 혈류량 분배 원리에 대한 존재론적 범주의 변화

존재론적 속성	사 전	사 후	면 담
사건 범주	7	6	4
전이 단계	2	1	3
평형 범주	0	2	2

표 12
학생들의 물질 교환 원리에 대한 존재론적 범주의 변화

존재론적 속성	사 전	사 후	면 담
기타나 무응답	4	2	0
사건 범주	2	3	5
전이 단계	3	4	2
평형 범주	0	0	2

생은 사건 범주의 개념을 계속 보유하고 있어, 개념 검사나 혈액 순환 경로 모형을 정확히 작성했음에도 불구하고 개념 지위가 여전히 이해 가능함-그럴 듯함(IF)에 머물러 있었다.

표 10의 면담 분석에서 주희의 존재론적 범주는 혈류량 분배 원리에 대하여 전이 단계였고, 물질 교환 기작에 대해서는 사건 범주에 해당하지만, 앞의 표 6의 분석을 참고하여 최종적으로 전이 단계로 판단하였다. 따라서 면담에서 학생들의 존재론적 범주는 사건 범주 4명, 전이 단계 3명, 평형 범주 2명으로 구분되었다.

면담에서 밝혀낸 학생들의 존재론적 범주와 개념 지위의 관계를 통합하여 2차원적으로 나타내면 그림 7과 같다. 가로 축은 개념 지위로서 이해 가능함(I), 이해 가능함-그럴 듯함(IP), 이해 가능함-그럴 듯함-유용함(IPF)을 의미하며, 세로 축은 존재론적 범주로서 아래서부터 사건 범주, 전이 단계, 평형 범주를 나타낸다. 그 위에 각 영역에 해당하는 학생들을 표시하였다. 사건 범주에 속한 학생들 중 승준은 이해 가능함에, 우연, 연주, 은영 등은 이해 가능함-그럴 듯함(IP)의 개념 지위에 도달했다. 또한 전이 단계 중 소현, 주희, 승하는 이해 가능함-그럴 듯함(IP)의 개념 지위를 나타냈다. 마지막으로 평형 범주에 속한 수진과 대영은 둘 다 이해 가능함-그럴 듯함-유용함(IPF)의 개념 지위에 도달했음을 알 수 있다. 이 결과는 학생들이 보유한 개념의 존재론적 범주가 개념 지위의 획득에 깊이 관련되어 있음을 보여 준다.

면담 분석 결과, 혈액 순환에 대하여 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 개념 지위에 도달하기 위해서는 그것의 존재론적 범주가 전이 단계나 평형 범주로 이동해야 가능한 것임을 알 수 있었다. 즉, 혈류량 분배나 물질 교환 원리는 그 개념의 평형적 속성을 알아야만 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 개념 지위에 도달할 수 있고, 이것은 개념 변화가 일어났음을 의미한다고 할 수 있다. 이는 Chi와 Roscoe(2002)와 Chi(2005)가 주장한 것처럼, ‘존재론적으로 잘못 범주화된 개념

들은 잘 분화되지 않고 견고하여 학습을 통해 잘 해결되지 않는다’를 지지하며, 또한 Simpson과 Marek(1988)의 연구에서 물질 이동에서의 확산 개념은 10학년 학생들이 수업 후에도 단지 3% 정도가 적절한 이해를 했다는 결과와 일치한다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 11학년 학생들에게 혈액 순환 개념에 대한 모형 기반 수업을 적용한 후, 면담자 9명의 개념 변화 과정을 다차원적으로 분석하여 구체적인 개념 변화 사례를 제시하고자 하였다.

모형 기반 수업 전후에 학생들이 작성한 혈액 순환 경로의 모형은 폐순환과 체순환의 구분 여부, 심장에서 혈관이 나오고 들어가는 경로에 따라 미완성 모형, 왕복형, 단일 선형, 단일 방사형, 단일 분지형, 이중 선형, 이중 방사형, 이중 분지형 등 8가지 유형으로 구분할 수 있었다. 또한 학생들의 모형은 수업 전에는 다양한 형태를 나타냈으나 수업 후에는 대부분 이중 분지형으로 변화되었고, 혈액 성분의 변화에 대해서도 보다 정교하게 기술하였다. 따라서 학생들이 능동적으로 순환 경로 모형을 구성해 보는 활동은 혈액 순환의 경로나 혈액 성분의 변화에 대한 이해를 향상시켰음을 알 수 있다. 또한 동일한 이중 분지형이라도 혈액 성분의 변화를 어떻게 기술하는가에 따라 혈액 순환의 개념 지위 향상에 차이가 있었다. 하지만 모형 기반 수업의 각 요소가 혈액 순환의 개념 변화에 어떤 도움을 주었는지 구체적으로 파악하기 어려웠다. 이를 알아보기 위해 면담을 통해 학생들이 순환 개념을 설명하는 과정에서 나타난 존재론적 범주, 개념 지위와 함께 모형 기반 수업의 효과를 탐색하였다.

혈액의 분배 원리와 물질 교환 원리를 이해하기 위해서는 심장과 혈관의 수축과 이완, 호르몬과 신경계의 조절, 혈액의 이동, 물질의 이동 등이 각기 독립적이고 무작위로 작용하여 그 순 효과가 발생한다는 평형적 개념을 인식해야 한다. 면담 대상자 9명의 존재론적 범주의 변화는 사전, 사후, 면담으로 갈수록 사건 범주가 감소하고, 평형 범주가 증가하는 경향을 보였다. 최종적으로 면담에서는 사건 범주 4명, 전이 단계 3명, 평형 범주 2명으로 여전히 사건 범주가 많게 나타났다. 이들 중 평형 범주에 속한 학생들만이 확산에 의한 물질 이동의 지속성, 각 기관의 독립적 작용의 결과 무작위적 과정이라는 설명을 하였다.

또한, 학생들의 개념 지위는 다양하게 나타났는데,

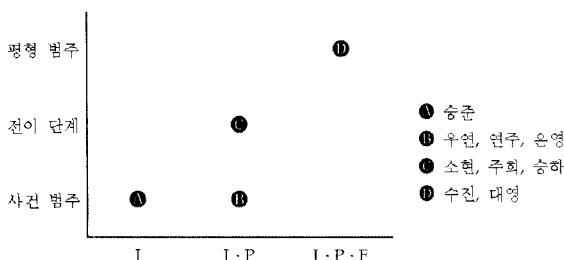


그림 7 존재론적 범주와 개념 지위와의 관계

승준은 이해 가능함의 지위에, 주희, 우연, 은영, 소현, 연주, 승하 등 6명이 이해 가능함-그럴 듯함의 지위에, 그리고 수진과 대영 2명이 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 지위에 도달했음을 확인하였다. 이들이 언급한 개념 지위 요소는 다양했으며, 모두 올바른 개념 지위 요소만을 언급하지는 않았다. 하지만 학생들이 언급한 개념 지위 요소들은 학생들이 혈류량 분배나 물질 교환 원리를 이해하는데 있어 어떤 지위 요소가 도움을 주는지, 잘못된 지위 요소는 무엇인지, 잘 사용되지 않는 지위 요소는 무엇인지 등에 대한 세밀한 정보를 제공해 주었다. 이것은 개념 이해를 촉진시키는 수업 전략을 구성하는데 중요한 정보가 될 수 있다.

순환 개념에 대한 존재론적 경로와 개념 지위 분석을 종합해 보면, 학생들의 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 개념 지위 획득은 혈액 순환 개념에 대하여 어떤 존재론적 속성을 갖는지에 따라 달라짐을 알 수 있다. 혈액 순환에서 물질 교환의 원리는 확산이다. 이 개념은 그 구성 요소들의 평형적 속성이나 창발적 효과의 속성을 이해해야만 그릴 듯함의 형이상학 요소를 올바르게 언급할 수 있고, 유용함의 적용력이나 경쟁 개념과의 우위성 등을 설명할 수 있게 된다. 결론적으로 9명의 학생들에 대한 개념 변화 사례분석을 통해 개념의 존재론적 경로와 개념 지위는 서로 밀접한 관련이 있으며, 개념 변화를 확인하는 유용한 도구임을 알 수 있었다. 즉, 혈액 순환에 대한 개념 변화는 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 개념 지위 획득과 존재론적으로 평형 범주로의 이동이 필수적임을 보여주었다.

본 연구를 통해 혈액 순환 모형 기반 수업은 몇 가지 측면에서 유용한 교수 전략이었음을 확인하였다. 첫째로, 혈액 순환 개념의 이해를 위한 다양한 학습 기회를 제공하였다. 심장과 혈관의 연결에 대한 과학사, 쥐의 심장과 혈관 연결 관찰, 심장의 자동박동 비디오 자료, 혈액 순환 경로 구성하기 등으로 구성된 활동은 혈액 순환에 대한 흥미를 유도하고, 관찰이 어렵고 추상적인 내용을 시각적 언어적 모형으로 표상해 내고, 학생들의 정신 모형을 드러내어 토의 수정하는 경험을 갖게 하였다. 둘째로, 학생들이 모형을 구성하는데 능동적인 협동 학습은 잘못된 개념을 수정하고 이해하는데 도움이 되었다. 면담에서 학생들은 소집단 별로 모형을 구성하는 활동을 통해 자신이 간과한 내용을 여러 명이 함께 토의하고 작성하면서 보완했던 것이나, 발표를 하면서 교사나 동료의 질문에 답하는 과정에서 중요한 개념을 이해하게 되었다고 하였다. 마지막으로, 순환 경로 모형 구성하기 활동은 학생들의 순환 경로

와 혈액 성분의 변화에 대한 이해를 세밀히 파악하고 피드백을 줄 수 있는 평가 도구로서 교수 현장에서 활용할 수 있다.

혈액 순환 모형 기반 수업의 이런 장점에도 불구하고, 개념 변화 사례 분석은 학생들의 개념을 평형 범주로 이동시키는 데는 여전히 한계가 있으며, 이해 가능함-그럴 듯함-유용함의 개념 지위 획득에 어려움을 보여주었다. 따라서 앞으로의 연구는 혈액 순환 개념 이해의 원인을 다양한 관점에서 파악하고 해결 방안을 모색해 보는 것과 함께, 그 개념 요소들의 과정-평형적 속성을 보다 잘 표상하여 적용할 수 있는 모형 기반 수업의 보완이 필요하다고 생각된다.

국문 요약

이 논문의 목적은 혈액 순환 모형 기반 수업을 적용한 후에 11학년 학생들의 개념 변화를 다차원적 틀로 분석하는 것과 개념 이해를 향상시키기 위한 교수 전략에 대한 시사점을 찾아내는 것이다. 그 모형 기반 수업은 4차시로 구성되었다: (1) 혈액 순환에 관한 과학사를 적용하여 학생들의 흥미를 유도하는 도입 부분, (2) 쥐의 해부 실험, (3) 심장의 자동 박동에 관한 비디오 자료, (4) 혈액 순환의 경로 모형 구성하기 활동.

사전 검사, 사후 검사, 면담 자료에 근거하여, 학생들의 혈액 순환 경로 모형을 구분하였고, 혈액 순환 개념에 관한 학생들의 존재론적 속성과 개념 지위를 조사하였다. 대부분의 학생들은 수업 후에 혈액 순환의 경로와 그 혈액 성분의 변화를 정확히 기술하였다. 그러나 그 모형 구성하기 활동은 심장에 연결된 각 기관으로의 혈류량 분배와 혈액과 조직세포 사이의 물질 교환 기작의 이해를 향상시키는데 충분하지 못했다. 면담에서 학생들이 언급한 개념 지위 요소 분석을 통해, 학생들의 개념 이해에 어떤 개념 지위 요소가 도움을 주는지, 잘못된 개념 지위 요소는 무엇인지, 잘 사용되지 않는 지위 요소는 무엇인지 등의 정보를 얻을 수 있었다. 또한 학생들의 각 개념 지위 획득은 혈액 순환 개념에 대한 어떤 존재론적 속성을 갖는가에 따라 달라짐을 발견하였다. 이런 연구 결과는 혈액 순환과 같은 평형 범주의 개념 변화를 촉진하기 위한 교수 전략을 고안하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

참고 문헌

김미영 (2002). 생식과 유전 개념 학습에 대한 고등 학생의 개념 생태 분석. 한국국원대학교 대학원 석사학

위 논문.

김미영, 김희백(2006). 혈액 순환 요소별 학생들의 개념 분석: 횡단적 연구. *한국과학교육학회지*, 26(6), 753-764.

김희백, 김성하, 이선경, 김형련 (2001). 호르몬 작용 이해를 위한 동적 비유 모형 수업의 효과. *한국생물교육학회지*, 29(1), 57-64.

김희백, 김영수, 김재근, 이준규, 전상학, 김병인, 동효관, 문용준, 이원경, 민진선 (2004). *영재교육 교수학습 자료 - 중학교 2학년 과학(생물) -*. 서울: 서울특별시 교육과학연구원 영재교육지원센터.

민진선 (2004). 유전과 진화에 관한 학생들의 대안 개념 분석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

박승재, 조희형 (2001). *과학론과 과학교육*, 제2판. 서울: 교육과학사

Arnaudin, M. W., & Mintzes, J. J. (1985). Students' alternative conceptions of the human circulatory system: A cross-age study. *Science Education*, 69(5), 721-733.

Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Students conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427.

Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895-935.

Buckley, B. C., & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 105-122). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Chi, M. T. H. (2000). Self-explaining: The dual processes of generating inferences and repairing mental models. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (pp. 161-238). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Science*, 14(2), pp.161-199.

Chi, M. T. H., & Roscoe, R. D. (2002). The processes and challenges of conceptual change. M. Limon

& L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change* (pp. 3-27). Issues in theory and practice. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H., & LaVancher, C. (1994a). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18(3), 439-477.

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

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.

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

Simpson, W. D., & Marek, E. A. (1988). Understandings and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 361-374.

Taylor, I., Baker, M., & Jones, A. (2003). Promoting mental model building in astronomy education. *International Journal of Science Education*, 25(10), 1205-1225.

Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

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

Tsui, C.-Y., & Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: Analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(2), 205-235.

Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.