

## 혈액 순환 요소별 학생들의 개념 분석 : 횡단적 연구

김미영<sup>1</sup> · 김희백\*

동작고등학교<sup>1</sup> · 서울대학교

### An Analysis of Students' Conceptions on Blood Circulation as Components: A Cross-sectional Study

Kim, Mi-Young<sup>1</sup> · Kim, Heui-Baik\*

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

**Abstract:** The concept of blood circulation is so complex, dynamic and abstract that students have difficulty in understanding it and students' preconceptions hardly change into scientific concepts even after the lessons. The purpose of this study is to examine middle school, high school, and undergraduate students' understanding of blood circulation and to find the reason why the lack of deep understanding is displayed in students' explanations for the blood circulation. The study consists of three parts. First, the test was designed to investigate students' ideas for blood circulation as components of the structure, the function, the behavior and the mechanism. Second, the test was applied to 7th, 10th and 13th graders to investigate the students' understanding of blood circulation and categorize the types of students' blood circulation model according to their academic level. Finally, the concepts the students had little understanding of were analyzed to decide which ontological category they fell into and further to inquire the characteristics of each concept. The results showed that many students comprehend the structure and the function of blood circulation components well, and there was no significant difference in students' understanding according to the academic level. In contrast, understanding the behavior and the mechanism of circulatory components has remarkably improved in high school students and undergraduates majoring in science and engineering. Also, students' blood circulation models were classified into seven different types. High school students and undergraduates majoring in science and engineering demonstrated a significantly higher percentage on the type of double-loop-branch compared to other academic levels. In addition, it was found that the lack of deep understanding was caused by students' misconceiving the 'equilibrium' category as 'event' category.

Key words: blood circulation model, structure, behavior, function, mechanism, and ontological category

#### I. 서론

생물학 영역의 여러 개념들 중 자연선택, 확산, 유전, 순환, 호흡 등은 직접 눈으로 관찰하거나 경험하기 어려운 추상적 속성을 나타내며(김미영, 2002; 민진선, 2004; 박승재, 조희형, 2001; Banet & Ayuso, 2000; Bishop & Anderson, 1990; Hafner & Stewart, 1995), Chi *et al.*(1994b)의 존재론적 범주에 의하면 과정-평형 범주의 속성을 보인다. 이런 속성의 개념들은 학생들의 이해가 어렵고 오개념이 많아 수업 후에도 과학적 개념으로 잘 변화되지 않는다고 알려져 있

다(Arnaudin & Mintzes, 1985; Ferrari & Chi, 1998). Arnaudin과 Mintzes(1985)는 5학년, 8학년, 10학년, 대학 1학년 학생 495명을 대상으로 혈액의 구조와 기능, 심장의 구조와 기능, 순환 유형, 순환과 호흡 관계, 폐쇄혈 순환 등 7가지 개념들을 확인하고 분류한 결과, 뒤의 3가지 개념들에 대해서 대학 신입생들에서도 여전히 오개념을 가지고 있음을 알아내었다. 이 순환 유형, 순환/호흡 관계, 폐쇄 순환 등의 개념에 대해서는 모세혈관, 삼투 평형, 세포의 환경의 특성, 세포의 대사적 필요성에 대한 심층적인 이해가 요구되는 반면에, 혈관이나 심장의 구조와 기능 등의 개념에

\*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

\*\*2006.06.28(접수) 2006.08.23(1심통과) 2006.10.11(2심통과) 2006.10.16(최종통과)

대해서는 단순한 관찰에 근거한 지식이나 추론 등의 과정을 필요로 한다. Chi *et al.*(1994b)은 심장에서 혈액이 나와 기관들을 순환하는 것이나, 조직세포와 모세혈관 사이에서 일어나는 물질 교환의 원리 등은 동시적이고 독립적인 과정으로 존재론적 영역의 평형 범주임에도 불구하고, 대부분의 학생들은 영양분과 산소를 전달하기 위한 순차적인 행동, 목적 지향인 사건 범주로 인식하고 있어 미시적 수준에서의 개념 이해가 어렵다고 주장하였다.

그 후 Chi와 Roscoe(2002)와 Ferrari와 Chi(1998)는 확산과 진화 개념을 대상으로 사건 범주와 평형 범주의 속성을 구체적으로 제시하였다. 사건 범주는 명확한 시작과 끝이 있어 경계가 분명하며, 일련의 연속적 순서로 일어나고, 원인에 의해 결과가 진행되며, 전체 사건에서 분명한 목적을 가진다. 이에 비해 평형 범주의 개념은 여러 제한 조건들이 상호 작용하는 계를 가지며, 몇 개의 요소들의 동시적이고 독립적인 작용의 결과로 나타난 순 효과를 반영하며, 어떤 시점에서 평형 상태를 보일 때도 각 요소들의 작용은 끊임없이 지속되는 속성을 지닌다. 이들 연구자들은 열, 진류의 흐름, 확산, 자연선택, 수요와 공급 등은 평형 범주에 속하는데, 그 설명 방식은 목적 지향적이고 연속적 순서로 다루고 있어 학생들의 개념 이해를 어렵게 만든다고 하였다.

그 후, Chi(2005)는 ‘사건 범주’에 속하는 혈액 순환의 경우에 그 구성 요소들이 혈액 흐름의 방향과 속도에 직접 영향을 준다는 점에서 ‘직접적 효과(direct)’라는 범주의 속성을 강조하였고, 이와 비교하여 ‘평형 범주’에 속한 확산 개념의 경우에는 구성 요소들이 집합적으로 작용해서 새로운 순 효과를 나타냈다는 점에서 ‘새로운 출현(emergent)’이라는 범주의 속성을 보인다고 하였다. ‘직접적 효과’의 범주에 속한 개념(예: 혈액 순환)은 고유한 구조, 행동, 기능을 보이는 하위 그룹(class)(예: 정맥, 판막 등)들로 구성되고 하위 그룹의 특성이 상위 개념에 직접적인 영향을 주지만, ‘새로운 출현’ 범주는 그 구성 요소의 상호관계나 상호작용이 독립적이고 집합적(collection)으로 나타난다고 하였다. 따라서 ‘직접적 효과’ 속성을 보이는 개념의 하위 그룹은 학생들이 지각할 수 있고, 구성원들 사이의 유사성을 직관적으로 인식할 수 있기 때문에 학습하기가 더 쉽다고 주장하였다.

이상의 논의들을 혈액 순환 개념에 적용해 보면, 혈액 순환의 경로나 순환 기관의 기능 같은 개념은 직접적 효과와 위계적 유형을 갖지만, 혈류량의 분배나 조직세포와 혈관 사이에서 물질교환의 원리는 새로운 속성 출현과 집합적 유형을 갖는다. 따라서 학생

들이 그 개념을 어떤 존재론적 범주로 인식하는가에 따라 개념의 이해 정도가 달라진다.

이 연구에서는 혈액순환 개념을 Buckley(2000)의 연구에 근거하여 구조, 기능, 행동, 기작의 요소별로 구분하여 학교 급별에 따라 학생들의 개념 이해가 어떻게 다른지를 알아보았고, 학생들이 나타낸 혈액 순환 모형의 유형을 구분하였다. 또한, 학생들의 이해가 낮은 개념들에 대하여 그 존재론적 범주와 특성을 조사함으로써 개념 이해가 어려운 원인을 분석해 보았다.

본 연구의 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 혈액순환 개념의 요소별로 학생들의 이해 정도가 중학생, 고등학생, 대학생 집단에서 어떻게 다른지를 알아본다.
- 2) 혈액순환 개념 중 학생들이 이해 정도가 낮은 요소들에 대해 존재론적 범주와 속성에 근거하여 그 원인을 분석한다.

## II. 연구 내용 및 방법

### 1. 연구 대상

학생들의 순환 개념의 요소별 이해와 학교 급별에 따른 이해 정도가 어떻게 변화되는지를 알아보기 위해 서울시에 위치한 중학교 1개, 고등학교 2개, 대학교 1개를 선정하여 검사지를 투입하였다.

중학교는 교육환경이 비교적 우수한 지역에 있는 U중학교 64명에게 투입하였고, 고등학교는 서울시 인문계 고등학교 D고교 65명, J고교 59명을 대상으로 하였다. 이중 D고교는 자연계열 학생들이었고, J고교는 인문계열 학생들이었다. 대학교는 사범대학 자연계열 1학년 물리, 지구과학, 화학, 생물 전공자 등을 합하여 54명에게 투입하였다(표 1). 검사 시간은 약 50분 정도가 소요되었다.

표 1  
연구 표집 학교

학교급	U중학교	J고등학교	D고등학교	사범대학	계
인원	64	59	65	54	242
전공		인문계열	자연계열	자연계열	

### 2. 혈액순환 개념검사 도구와 요소별 분석

혈액 순환 개념검사 도구는 제7차 교육과정 중학교 1학년 과학과 고등학교 생물 I의 순환 단원에서 혈액 순환에 대한 주요 개념들을 선정하였고, 사람의 혈액 순환 모형을 그리는 활동은 김희백 등(2004)이 개발한 영재교육 교수학습 자료의 혈액 순환 프로그램을

참고하여 재구성하였다.

추출된 각 개념들은 Buckley(2000)의 Science for Living: The Circulatory System(상호작용 멀티미디어 자료)에 근거하여 구조, 기능, 행동, 기작 등의 요소로 구분하였으며, 각 요소들은 다음의 내용을 포함하였다.

첫째, 구조(Structure) 요소는 순환계의 구조와 그 공간적 관계 등에 대한 것으로, 심장의 구조와 판막의 위치, 좌심실과 우심실의 근육 두께의 차이, 심장과 각 기관, 기관과 기관간의 혈관 연결, 혈관의 구조 등으로 구성된다. 둘째, 기능(Function) 요소는 순환계를 구성하는 각 기관들이 작동하는 역할에 대한 것으로, 심장의 기능, 심장 내 판막의 기능, 혈관의 기능을 그 구조적 특성과 관련지어 이해하는가, 순환 기관과 연결된 여러 기관의 기능 등으로 구성하였다. 셋째, 행동(Behavior) 요소는 순환계 구조 내의 역동적 과정과 변화 등에 대한 것으로, “심장 내 판막의 여단힘을 혈압 변화에 관련지어 이해하는가?”, “여러 기관들에 연결된 혈관에서 혈액 성분의 변화를 정확히 설명하는가?” 등이었다. 넷째, 기작(Mechanism) 요소는 각 순환 기관의 작동 원리에 관한 것으로, 심장의 박동 기작, 심장 박동 속도의 조절 원리, 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작, 혈액과 조직세포 사이의 물질교환의 원리 등을 알아보는 내용으로 구성하였다.

검사지는 선택형과 서술형 문항이 혼합되어 있으며, 행동이나 기작에 관한 문항은 대부분 서술형 문항으로 학생들의 개념을 구체적이며 심층적으로 알아볼 수 있게 구성하였다. 이 개념 검사지는 파일럿 검사와

과학교육 전문가, 생물 교사들의 의견 등을 고려하여 수정 보완하였다(표 2).

### 3. 혈액 순환 모형에 대한 분석들

개념 검사지의 2-4와 2-5 문항은 학생들이 혈액 순환의 모형을 검사지에 직접 그리고 설명하는 것으로, 그들이 혈액 순환에 대한 어떤 대안 개념들을 보유하고, 혈액 순환의 경로를 어떻게 이해하고 있는지를 구체적으로 보여준다. 이러한 혈액순환 모형의 유형 분석은 Chi *et al.*(1994a)이 사용한 ‘정신 모형의 유형’을 참고하여 표 3의 분석틀을 개발하였으며, 본 연구에서 나타난 학생들의 순환모형의 유형을 다음 세 가지 준거에 근거하여 구분하였다.

- 체순환과 폐순환의 경로를 뚜렷하게 구분하였는가
- 심장에서 나온 혈관이 각 기관으로 연결되는 경로
- 각 기관으로부터 심장으로 들어가는 혈관이 연결되는 경로

여기서 N은 순환 모형을 그리지 않거나 심장에서 나간 혈액이 되돌아오는 과정을 표시하지 않는 형태, 또 심장에서 나간 혈액이 동일한 혈관으로 되돌아오는 왕복 형(Ebb & Flow) 등 순환 모형 중 가장 낮은 단계라고 할 수 있다. 그 다음으로 의미 있는 구분은 단일 경로(single loop)와 이중 경로(double loop)의 범주이다(Chi *et al.*, 1994a). 이것은 학생들이 체순환과 폐순환 두 경로를 정확히 인식하고 있는가에 대한 정보를 제공한다. 또한 단일 경로와 이중 경로의

표 2  
개념 검사지의 내용과 구성 요소

개념	내용	구성 요소
1. 심장	심장의 구조와 기능	1-1. 좌우 심실 근육의 두께 차이(S)*
		1-2. 심장 내 판막의 위치(S)
		1-3. 심장의 기능(F)*
		1-4. 심장 내 판막의 기능(F)
		1-5. 심장 내에서 혈액의 흐름(B)*
2. 혈관	혈관의 구조와 기능	2-1. 심장과 혈관의 연결(S)
		2-2. 혈관의 구조적 특성(S)
		2-3. 혈관의 특성에 따른 기능 연결(F)
		2-4. 체순환에서 혈액 흐름의 방향(B)과 각 기관의 기능(F)
		2-5. 폐순환에서 혈액 흐름의 방향(B)과 폐의 기능(F)
3. 혈액의 순환	혈액 순환의 경로와 그 기작	3-1. 심장 박동의 원동력(M)*
		3-2. 심장 박동 속도의 조절 원리(M)
		3-3. 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작(M)
		3-4. 혈액과 기관 사이의 물질 교환 기작(M)
		3-5. 혈액과 기관 사이의 물질 교환 기작(M)

\* S. 구조; F. 기능; B. 행동; M. 기작

표 3  
혈액 순환 모형의 유형별 특징

순환 모형의 유형		특 징
N	기타 또는 무응답	모형을 그리지 않음. 심장에서 신체로 혈액이 나가서 되돌아오지 않음. 심장에서 나간 혈액이 동일한 혈관을 통해 돌아옴.
SL	단일 선형(single-linear)	체순환과 폐순환을 구분하지 못함. 심장에서 나온 혈관이 여러 기관들을 차례로 지나가면서 심장으로 돌아감.
SR	단일 방사형(single-radial)	체순환과 폐순환을 구분하지 못함. 심장에서 여러 개의 혈관이 각각의 기관으로 개별적으로 연결되고, 각각의 기관에서 심장으로 직접 들어감.
SB	단일 분지형(single-branch)	체순환과 폐순환을 구분하지 못함. 심장에서 대동맥이 나와 각각의 기관으로 갈라져가고 다시 각각의 기관에서 혈관이 나와 대정맥을 거쳐 심장으로 돌아감.
DL	이중 선형(double-linear)	체순환과 폐순환을 구분함. 심장에서 나온 혈관이 여러 기관들을 차례로 지나가면서 심장으로 돌아감.
DR	이중 방사형(double-radial)	체순환과 폐순환을 구분함. 심장에서 여러 개의 혈관이 각각의 기관으로 개별적으로 연결되고, 각각의 기관에서 심장으로 직접 들어감.
DB	이중 분지형(double-branch)	체순환과 폐순환을 구분함. 심장에서 대동맥이 나와 각각의 기관으로 갈라져가고 다시 각각의 기관에서 혈관이 나와 대정맥을 거쳐 심장으로 돌아감.

각 범주 내에서 다시 선형, 방사형, 분지형으로 나누며, 선형에서 분지형으로 갈수록 더 정교한 개념을 가진 것으로 파악할 수 있다. 방사형과 분지형의 구분은 다소 모호하지만 심장에서 혈관이 1개 혹은 2개의 동맥으로 나온 다음 갈라지면 분지형, 심장에서 직접 나온 여러 개의 혈관이 각각의 기관에 연결되어 있으면 방사형으로 분류하였다.

4. 혈액순환 개념의 존재론적 범주 분석

혈액순환 개념의 각 요소에 대한 존재론적 범주를 분석해 보고, 특히 개념의 이해 정도가 낮은 혈류량 분배 기작과 조직세포와 혈액 사이의 물질교환 기작에 대한 학생들의 존재론적 범주를 조사하였다. 존재론적 범주의 속성은 Chi(2005)와 Ferrari와 Chi(1998)의 연구에서 사용한 분석 과정을 참조하여 표 4에 제

시하였고, 순환 개념의 각 요소별로 그 존재론적 범주를 나타내었다(표 5).

III. 연구 결과 및 논의

1. 혈액순환 개념의 요소별 비교분석

개념 검사의 각 문항별로 완전한 이해, 부분적 이해, 이해하지 못함을 각각 1, 2, 3으로 코딩하여 각 항목에 답한 빈도와 %를 나타내었고, 학생들의 다양한 응답 유형을 분석하였다. 또한 학교·급별로 심장, 혈관, 혈액 순환 개념의 각 요소들에 대한 학생들의 개념 이해 수준에 유의미한 차이가 있는지  $\chi^2$  검정으로 비교하였다.

심장 개념의 구조나 기능 요소에 대해서는 대부분의 학생들이 완전한 이해에 도달한 비율이 비교적 높

표 4  
사건 범주와 평형 범주의 속성(Chi, 2005; Ferrari & Chi, 1998)

사건 범주	평형 범주
시작과 끝이 명료한 경계가 있음.	시작과 끝이 없이 지속적으로 진행됨.
단위 사건들은 연속적(절차적)으로 진행됨.	여러 단위사건들은 동시적으로 발생함.
단위 사건들은 원인-결과(인과적)가 있음.	단위 사건들은 독립적이고 무작위적임.
단위 사건은 전체적이고 목적 지향적임.	단위 사건의 발생은 순 효과로 나타남.
그 구성 요소가 직접적 효과를 나타냄.	집합적으로 작용하여 새로운 속성이 나타남.

표 5

순환 개념의 요소별 존재론적 범주 분석틀

개념	구성 요소	존재론적 범주
1. 심장	1-1. 좌우 심실 근육의 두께 차이(S)	물질
	1-2. 심장 내 판막의 위치(S)	
	1-3. 심장의 기능(F)	과정-사건-인과
	1-4. 심장 내 판막의 기능(F)	
	1-5. 심장 내에서 혈액의 흐름(B)	
2. 혈관	2-1. 심장과 혈관의 연결(S)	물질
	2-2. 혈관의 구조적 특성(S)	
	2-3. 혈관의 특성에 따른 기능 연결(F)	과정-사건-인과
	2-4. 체순환에서 혈액 흐름의 방향(B)과 기관의 기능(F)	
	2-5. 폐순환에서 혈액 흐름의 방향(B)과 폐의 기능(F)	
3. 혈액의 순환	3-1. 심장 박동의 원동력(M)	과정-사건-인과
	3-2. 심장 박동 속도의 조절 원리(M)	
	3-3. 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작(M)	과정-평형-독립적, 순효과
	3-4. 혈액과 조직세포 사이의 물질 교환 기작(M)	

표 6

심장 개념의 각 요소에 대한 학교별 이해 수준 비교

요소	문항 내용	이해 수준*	빈도 (%)			
			U중	J고	D고	S대
1. 좌우 심실의 근육은 어떻게 다른가?	1	16(25.0)	27(45.8)	2 (3.1)	13(24.1)	
	2	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	
	3	48(75.0)	32(54.2)	63(96.9)	41(75.9)	
			$\chi^2 = 30.985$	P=.000		
2. 심장 내 판막의 위치는?	1	5 (7.8)	19(32.2)	6 (9.2)	11(20.4)	
	2	26(40.6)	21(35.6)	0 (0.0)	29(53.7)	
	3	33(51.6)	19(32.2)	59(90.8)	14(25.9)	
			$\chi^2 = 75.436$	P=.000		
3. 심장은 우리 몸에서 어떤 일을 하는가?	1	22(34.4)	11(18.6)	6 (9.2)	2 (3.7)	
	2	1 (1.6)	0 (0.0)	7(10.8)	0 (0.0)	
	3	41(64.1)	48(81.4)	52(80.0)	52(96.3)	
			$\chi^2 = 38.573$	P=.000		
4. 심장 내 판막은 어떤 기능을 수행하는가?	1	6 (9.4)	8(13.6)	4 (6.2)	2 (3.7)	
	2	5 (7.8)	1 (1.7)	2 (3.1)	0 (0.0)	
	3	53(82.8)	50(84.7)	59(90.8)	52(96.3)	
			$\chi^2 = 10.734$	P=.097		
5. 심장 내 각 부분의 혈압 변화에 따른 판막의 여단힘을 설명하라.	1	38(59.4)	28(47.5)	18(27.7)	17(31.5)	
	2	19(29.7)	20(33.9)	22(31.75)	12(22.2)	
	3	7(10.9)	11(18.6)	25(39.68)	25(46.3)	
			$\chi^2 = 115.387$	P=.000		
계			64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)

\*1: 이해 못함, 2: 부분적 이해, 3: 완전한 이해

게 나타났다. 특히 심장 내 판막의 기능에 대한 것은 모든 학교 급에서 80%이상의 학생들이 완전한 이해에 도달하여 유의미한 차이가 없었다. 하지만 행동 요소는 지식의 단순한 암기보다는 혈압 차의 그래프를

분석하여 판막의 여단힘 과정을 서로 관련지을 수 있는 사고 과정이 필요하기 때문에, 고등학교 자연계열인 D고교와 과학교육 전공 대학생들이 다른 학교 급에 비해 더 높은 이해 수준을 나타냈다고 할 수 있다.

표 7  
혈관 개념의 각 요소에 대한 학교별 이해 수준 비교

		빈도 (%)					
요소	문항 내용	이해 수준*	U중	J고	D고	S대	
구조	1. 동맥과 정맥은 심장에 어떻게 연결되어 있는가?	1	16(25.0)	27(45.8)	3 (4.6)	3 (5.6)	
		2	24(37.5)	18(30.5)	14(21.6)	18(33.3)	
		3	24(37.5)	14(23.7)	48(73.9)	33(61.1)	
				$\chi^2= 69.768$	P=.000		
	2. 동맥, 정맥, 혈관의 구조적 특징을 설명하여라.	1	31(48.4)	29(49.2)	6 (9.2)	14(25.9)	
		2	26(40.6)	26(44.1)	12(18.5)	29(53.7)	
3		7(10.9)	4 (6.8)	47(72.3)	11(20.4)		
			$\chi^2= 93.474$	P=.000			
기능	3. 각 혈관의 구조와 관련지어 그 기능을 설명하여라.	1	38(59.4)	37(62.7)	35(53.8)	20(37.0)	
		2	18(28.1)	17(28.8)	13(20.0)	21(38.9)	
		3	8(12.5)	5 (8.5)	17(26.2)	13(24.1)	
				$\chi^2= 15.412$	P=.017		
	4. 체순환 경로를 그리고, 혈액의 흐름 방향과 혈액 성분의 변화를 설명하여라.	1	55(85.9)	54(91.5)	20(30.8)	37(68.5)	
		2	9(14.1)	4 (6.8)	27(41.5)	13(24.1)	
3		0 (0.0)	1 (1.7)	18(27.7)	4 (7.4)		
			$\chi^2= 73.146$	P=.000			
행동-기능	5. 폐순환 경로를 그리고, 혈액의 흐름 방향과 혈액 성분의 변화를 설명하여라.	1	46(71.9)	49(83.1)	43(66.2)	27(50.0)	
		2	17(26.6)	6(10.2)	16(24.6)	13(24.1)	
		3	1 (1.6)	4 (6.8)	6 (9.2)	14(25.9)	
				$\chi^2= 27.719$	P=.000		
	계			64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)

\*1: 이해 못함, 2: 부분적 이해, 3: 완전한 이해

다음으로 혈관 개념에 대한 학교별 이해 수준을 표 7에 제시하였다.

혈관 개념에 대하여는 전반적으로 학교 급이 높아질수록 완전한 이해에 도달한 비율이 높아졌으며, 단순 지식보다 구조적 특징과 기능에 대한 이해나 자료 해석을 요구하는 행동 요소에 대한 학교 급별 차이가 더 크게 나타난 것을 알 수 있다.

혈관 개념 중 혈관의 연결, 구조에 대한 문항은 자연계열인 D고교가 완전한 이해에 도달한 학생들이 가장 많았고(73.9%), 그 다음 대학생, 중학교, 인문계열 J고교 순이었다. 이 문항은 혈관의 구조와 그 특성을 정확히 알고 있어야 하므로 자연계열을 택한 학생들이 중학교나 인문계열의 학생들보다 더 높은 흥미와 이해를 보인 것으로 생각된다. 다음으로 3번 문항은 단순한 구조나 기능을 암기하는 것이 아니라 혈관의 구조적 특성과 그것의 기능을 유의미하게 연결짓기를 요구하므로 모두 학교 급에서 거의 비슷하게 낮은 이해를 나타냈다. 문항 4의 경우는 전체 체순환 경로를 직접 그리고, 단순한 지식 암기가 아닌 심장과 각 기관의 작용에 대한 통합적인 이해를 필요로 하는 내용이다. 따라서 중학교에서는 완전한 이해에 도달한 학

생이 거의 없었고, 자연계열 D고교와 대학생들에서 완전한 이해의 비율의 다소 높아졌지만 아직도 낮은 수준에 머물러 있는 것으로 나타났다. 또한 문항 5는 폐순환 경로와 심방이나 심실의 연결을 정확히 알고 있어야 답할 수 있기 때문에 대학생들도 매우 낮은 이해 수준을 보였다.

표 8에서와 같이 심장과 혈관의 연결(구조)에 대하여는 1번, 4번에 둘 다 응답한 경우가 자연계열이 D고교와 대학생들에서 비교적 높게 나타났고, U중과 인문계열인 J고는 상대적으로 적었다. 하지만 모든 학교 급에서 1번이나 4번에 대부분 응답하였으므로 구조 요소의 개념은 비교적 쉽게 이해하고 있음을 알 수 있다.

다음으로 혈관 요소의 문항 4와 5(행동)에서 학생들이 그린 순환 모형의 특성을 분석하여 7가지 유형으로 구분하였다(표 9). 그 7가지 유형의 기준은 앞의 표 3에 제시하였다. 과학 교육에서 모형은 어떤 아이디어, 대상, 사건, 과정 등의 표상으로, 과학 수업에서 모형과 모형 그리기(modelling)는 교사들과 학생들이 자신의 아이디어를 설명하거나 표현하는 과정에 중요한 역할을 하고 있다고 알려져 있다(Buckley & Boulter,

표 8  
심장과 혈관의 연결에 대한 응답

응답 내용	빈도 (%)			
	U중	J고	D고	S대
1. 동맥은 심장에서 나가는 혈액이 흐르며, 심실에 연결되어 있다.	14(21.9)	15(25.4)	7(10.8)	12(22.2)
2. 동맥은 심장으로 들어오는 혈액이 흐르며, 심방에 연결되어 있다.	5 (7.8)	10(17.0)	0 (0.0)	1 (1.9)
3. 정맥은 심장에서 나가는 혈액이 흐르며, 심실에 연결되어 있다.	2 (3.1)	9(15.2)	0 (0.0)	0 (0.0)
4. 정맥은 심장으로 들어오는 혈액이 흐르며, 심방에 연결되어 있다.	11(17.2)	8(13.6)	7(10.8)	5 (9.3)
1, 4번에 동시에 답한 경우	23(35.9)	14(23.7)	48(73.9)	33(61.1)
5. 심장에 연결된 혈관은 특별한 구분이 없다.	8(12.5)	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (3.7)
기 타	1 (1.6)	3 (5.1)	3 (4.6)	1 (1.8)
계	64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)

표 9  
학교별로 나타난 순환 유형의 빈도

순환 유형	빈도 (%)			
	U중	J고	D고	S대
N 기타 또는 무응답	47(73.44)	32(54.24)	29(44.62)	29(53.70)
SL 단일 선형	2 (3.13)	11(18.64)	2 (3.08)	1 (1.85)
SR 단일 방사형	1 (1.56)	1 (1.69)	0 (0.00)	0 (0.00)
SB 단일 분지형	0 (0.00)	1 (1.69)	2 (3.08)	0 (0.00)
DL 이중 선형	8(12.50)	10(16.95)	2 (3.08)	7(12.96)
DR 이중 방사형	3 (4.69)	0 (0.00)	1 (1.54)	2 (3.70)
DB 이중 분지형	3 (4.69)	4 (6.78)	29(44.62)	15(27.78)
계	64(100.00)	59(100.00)	65(100.00)	54(100.00)

2000; Coll, 2005; Duit, 1991; Harrison & Treagust, 1996). 따라서 학생들이 표현한 순환 모형의 유형과 설명 내용을 분석해 보면, 그들이 혈액 순환의 경로와 각 기관의 작용을 어떻게 이해하고 있는지 파악할 수 있다. 분석 결과, 많은 수의 학생들이 순환 모형을 그리지 못하였거나, 심장에서 동일한 혈관으로 혈액이 나가고 들어오는 왕복 형을 나타내었다. 이에 비하여 자연계열인 D고교와 대학생들은 기타나 무응답의 비율이 상대적으로 작게 나왔으며, 이중 분지형의 비율은 각각 44.62%, 27.78%였다. 즉 자연계열 고교생과 대학생들은 폐순환과 체순환 경로와 그 작용을 비교적 더 잘 이해하고 있음을 보여준다. 하지만 이들의 순환 경로에 대한 이해도 역시 매우 미흡한 수준이다. 따라서 이 결과는 학생들이 혈액 순환의 경로와 작용에 대한 통합적 이해를 촉진시킬 수 있는 좀 더 구체적이고 효율적인 수업 전략의 고안이 필요함을 시사한다.

표 10은 기작 요소로 구성된 혈액 순환 개념에 대

한 분석 결과이다. 문항 1과 2에서 중학생은 두 문항 모두 거의 답하지 못했고, 고등학생이나 대학생들 역시 완전한 이해에 도달한 비율이 매우 낮았다. 또한, 문항 3과 4는 대부분의 중학생과 고등학생들이 완전한 이해에 도달한 비율이 10%이하로 매우 낮은 수준이었고, 이공계열인 D고에서만 문항 4에 대한 완전한 이해의 비율이 15.4%로 나타났다. 이에 비해 사범대 학생들은 혈액 순환의 모든 문항에서 다른 학교 급에 비해 부분적 이해나 완전한 이해의 비율이 뚜렷이 높았다. 이러한 혈관의 수축 이완에 따른 혈류량 변화, 기체 분압 차에 의한 확산, 기체 이동 량의 차이, 세포 내 물질교환이 지속되는 과정 등의 기작 요소는 Chi(2005)가 주장한 ‘새로운 출현(emergent)’ 범주로서 그 구성 요소의 상호작용과 집합적 속성을 인식할 수 있어야 그 원리의 이해가 가능하기 때문으로 여겨진다.

학생들이 혈류량 분배 기작과 물질교환 원리에 대하여 어떤 개념을 보유하고 있는지를 각각 표 11과

표 10 혈액 순환 개념의 각 요소에 대한 학교별 이해 수준 비교

요소	문항 내용	이해 수준*	U중	J고	D고	S대	빈도 (%)
1. 심장 박동의 원리 (자동성)		1	64(100.0)	40 (67.8)	40 (61.5)	20 (37.0)	
		2	0 (0.0)	14 (23.7)	23 (35.4)	18 (33.3)	
		3	0 (0.0)	5 (8.5)	2 (3.1)	16 (29.6)	
			$\chi^2 = 71.522$	$P = .000$			
2. 심장 박동 속도의 조절 원리		1	64(100.0)	45 (76.3)	29 (44.6)	40 (74.1)	
		2	0 (0.0)	9 (15.3)	25 (38.5)	11 (20.4)	
		3	0 (0.0)	5 (8.5)	11 (16.9)	3 (5.6)	
			$\chi^2 = 51.920$	$P = .000$			
기작	3. 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작	1	53 (82.8)	54 (91.5)	56 (86.15)	21 (38.9)	
		2	11 (17.2)	4 (6.8)	8 (12.31)	18 (33.3)	
		3	0 (0.0)	1 (1.7)	1 (1.54)	15 (27.8)	
			$\chi^2 = 52.425$	$P = .000$			
4. 혈액과 조직세포 사이의 기체교환 원리		1	42 (65.6)	37 (62.7)	40 (61.54)	7 (13.0)	
		2	22 (34.4)	18 (30.5)	15 (23.08)	31 (57.4)	
		3	0 (0.0)	4 (6.8)	10 (15.38)	16 (29.6)	
			$\chi^2 = 83.739$	$P = .000$			
계			64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)	

\*1: 이해 못함, 2: 부분적 이해, 3: 완전한 이해

표 12에 제시하였다. 중학교와 고등학교 학생들은 대부분 “산소나 영양분이 필요한 곳에서 혈액을 빨아들이거나 혈액이 찾아간다.”는 개념을 많이 보유하고, 대학생들은 “혈관의 두께를 조절하여 흐르는 혈액의 양을 조절한다.”에 53.7%가 응답하였다. 또한 근육 세포를 지나는 혈액에서 각 기체가 이동하는 방향에 대해서는 산소의 이동만을 표시한 경우가 많았고, 산소와 이산화탄소의 이동을 각각 표시한 것은 대학생들에서만 81.5%로 높게 나타났다. 이런 결과는 학생들이 혈액의 흐름 방향과 조직세포에서의 기체의 이동 원리를 뚜렷하게 구분하지 못하고 있음을 보여준다.

표 11 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작에 대한 응답

응답 내용	U중	J고	D고	S대	빈도 (%)
혈액이 산소나 영양분을 필요로 하는 곳으로 찾아간다.	5 (7.8)	12 (20.3)	10 (15.4)	1 (1.9)	
산소나 영양소를 필요로 하는 곳에서 혈액을 빨아들인다.	9 (14.1)	7 (11.9)	6 (9.2)	6 (11.1)	
혈관의 두께를 굵거나 가늘게 해서 흐르는 혈액의 양을 조절한다.	10 (15.6)	8 (13.6)	8 (12.3)	29 (53.7)	
심장이 산소나 영양소를 필요로 하는 곳으로 혈액을 많이 보낸다.	23 (35.9)	23 (39.0)	29 (44.6)	13 (24.1)	
기 타	17 (26.6)	9 (15.3)	12 (18.5)	7 (9.2)	
계	64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)	

### 3. 혈액 순환 개념의 존재론적 범주 분석

개념의 요소별 분석 결과, 혈액순환 기작에 대하여 많은 학생들이 매우 낮은 이해 수준을 나타냈다. 그 원인을 알아보기 위해 학생들의 서술형 답안을 근거하여 혈액순환 기작에 대한 존재론적 속성을 분석하였다. 그 분석틀은 앞의 표 5에 제시하였다.

혈액순환 문항 1~ 2는 각각 심장이 스스로 박동하는 기작과 심장 박동 속도의 조절 기작으로 둘 다 과정-사건-인과, 절차적 속성을 갖는다. 그러나 개념검사 결과로는 학생들이 어떤 존재론적 범주를 갖고 있는지 명확히 드러나지 않았다.



표 12

근육세포를 지나는 혈액에서 각 기체가 이동하는 방향에 대한 응답

응답 내용	빈도 (%)			
	U중	J고	D고	S대
1.혈액이 흐르는 방향을 따라 움직인다.	9 (14.1)	4 (6.8)	8 (12.3)	1 (1.9)
2.혈액에서 근육 조직으로 움직인다.	13 (20.3)	12 (20.3)	2 (3.1)	1 (1.9)
3.근육 조직에서 혈액으로 움직인다.	9 (14.1)	13 (22.0)	3 (4.6)	3 (5.6)
2, 3번에 동시한 답한 경우	10 (15.6)	23 (39.0)	33 (50.8)	44 (81.5)
기 타	23 (35.9)	7 (11.9)	19 (29.2)	5 (9.3)
계	64(100.0)	59(100.0)	65(100.0)	54(100.0)

문항 3은 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작에 대한 것으로 과정-평형-순 효과 범주에 속한다. 각 구성 요소들이 독립적이고 지엽적인 목적으로 작용한 결과, 각 기관에 연결된 혈관이 수축 이완됨에 따라 혈류량의 변화가 새롭게 나타나게 된 것이다(emergent). 하지만 많은 학생들이 전체적인 목적을 위해 필요한 기관으로 산소를 보낸다는 과정-사건-목적 범주로 인식하는 경우가 많았다(그림 1). 중학생과 고등학생들은 평형-순 효과 범주에 속한 학생들이 거의 없었지만, 대학생의 경우, 평형-독립적 범주에 속한 학생들도 20%정도로 상당히 높게 나타났다. 각 범주별로 학생들의 응답한 예를 나타내면 다음과 같다.

- 사건-목적: 심장이 영양소나 산소를 필요로 하는 곳으로 혈액을 많이 보낸다.  
운동하면 산소와 양분이 부족해지므로 혈액을 더 많이 보낸다.
- 전이 단계: 각 혈관의 굵기가 달라져서 기능을 수행한다.
- 평형-독립적: 운동 시 피부근처의 혈관이 혈액이 많이 흐르게 된다.  
추우면 혈관이 수축하여 혈액의 양이 줄어든다.

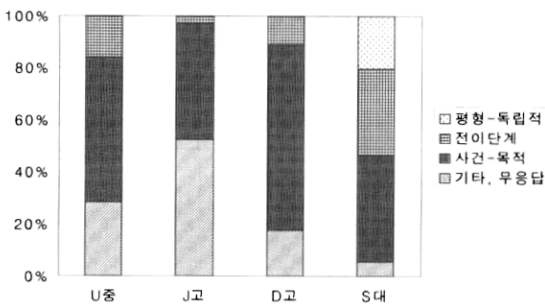


그림 1 혈액 분배기작에 대한 존재론적 범주 비교

문항 4는 혈액과 조직세포 사이의 물질 교환 기작에 대한 것으로 과정-평형-독립적 범주에 속한다. 여기서 산소나 이산화탄소 등의 성분은 동등한 지위를 갖고, 각각의 분압 차에 따라 이동하며, 이들의 지속적인 독립적인 행동이 기체 교환으로 나타나게 된 것이다.

분석 결과, 중학생과 고등학생들 중 많은 수가 무 응답이나 사건-목적 범주에 속하였고, 평형-독립적 범주에 속한 경우는 없었다. 이에 비해 대학생들은 사건-목적 범주는 매우 적었고, 전이 단계가 50%이상 차지하였으며, 평형-독립적 범주에 응답한 학생이 20%정도로 나타났다(그림 2). Chi(2000)의 Self-explaining 연구에서도 High-ability 학생들이 선행 지식과의 통합을 통해 더 높은 수준의 추론 과정을 보인 것처럼, 사범대 자연계열 학생들이 확산에 의한 기체 교환 과정을 어떤 목적이나 필요가 아닌 무작위적인 평형 원리로 더 잘 인식하고 있음을 알 수 있었다. 각 범주별 학생들이 응답한 예는 다음과 같다.

- 사건-목적: 기체 교환이 안 일어나면 근육세포가 죽을, 살기 위해 항상 기체 교환이 필요. 혈액의 흐름 방향으로 함께 이동함.
- 전이 단계: 산소 분압 차에 의해 이동, 확산, 운동 시는 혈액과 근육간의 산소분압차가 더 커짐, 생명 유지를 위해 기체 교환이 지속됨.
- 평형-독립적: 세포는 항상 호흡을 하며, 산소와 이산화탄소 분압이 계속해서 변하기 때문에, 기체 이동은 시작과 끝이 없이 분압 차에 의해 항상 지속됨.

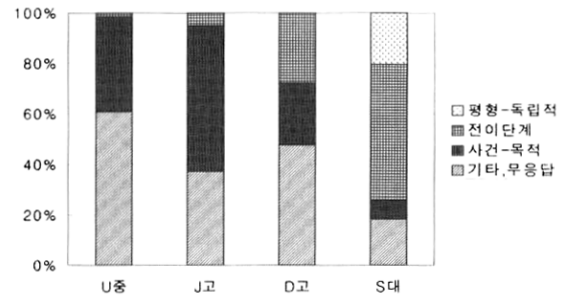


그림 2 혈액과 조직 사이의 물질교환 기작에 대한 존재론적 범주 비교

또한 문항 3, 4에 대한 학생들의 존재론적 범주들 표 9에서의 개념 이해 결과와 비교해 보면, 전이 단계나 평형-독립적 범주에 속한 비율이 높은 대학생들에게서 완전한 이해에 도달한 비율도 상대적으로 높

게 나타났다. 이것은 학생들이 혈액 순환 기작의 개념을 어떤 존재론적 범주로 인식하는가가 그 개념의 이해와 밀접한 관련이 있음을 의미한다.

따라서 혈액순환 기작 요소에 대한 이해를 촉진하기 위해서는 개념의 존재론적 속성에 근거한 새로운 수업 전략의 개발이 필요하다. 그것에는 교과서에 제시된 혈액 순환 개념들을 사건 범주와 평형 범주로 구분해 보는 것, 평형 범주로의 개념 이해를 저해하는 원인들을 탐색해 보는 것, 실제 수업에서 각 개념들의 존재론적 속성을 표현할 수 있는 방안을 모색하는 것 등이 포함되어야 할 것이다.

## IV. 결론 및 제언

### 1. 혈액순환 개념의 각 요소에 대한 학교 급별 개념 이해 비교

혈액순환 개념의 각 요소에 대한 학생들의 개념 이해를 알아보기 위해서 학교 급별에 따른 개념 검사 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

심장의 구조와 기능 요소는 대부분의 학생들이 완전한 이해에 도달한 비율이 비교적 높았다. 그러나 판막의 여닫힘을 알아보는 행동 요소에 대해서는 혈압과 판막의 여닫힘을 서로 관련지어 해석하는 능력이 요구되므로, 고등학교 자연계열인 D교과와 과학교육 전공 대학생들의 이해 수준이 다른 학교급과 비교하여 상당히 높게 나타난 것으로 생각된다.

다음으로 혈관의 단순한 구조에 대한 문항은 학교급이 높아질수록 이해 수준이 높아졌지만, 혈관의 구조적 특성과 기능을 연결짓는 내용은 학교급이 높아져도 이해 수준이 낮게 나타났다. 또한 혈액순환 경로를 그리고 각 기관에서의 혈액 성분의 변화를 묻는 행동 요소는 자연계열 고등학생과 대학생들이 중학교나 고등학교 인문계열에 비하여 완전한 이해에 도달한 비율이 다소 높게 나타났지만, 전체적으로는 매우 낮은 수준을 보였다.

순환 모형은 학생들의 보유한 순환 경로와 관련 개념에 대한 정신 모형을 표현한 것으로서, 개념 검사 결과를 보완하고 순환 경로의 이해에 대한 세밀한 정보를 제공해 주는 도구이다. 순환 모형의 분석 결과, 중학생과 인문계열 고등학생들은 많은 수가 순환 모형을 그리지 못하거나 동일한 혈관으로 들어오고 나가는 왕복 유형을 나타냈지만, 자연계열 고등학생과 대학생들은 이중 분지형의 비율이 상대적으로 높은 것으로 보아, 폐순환과 체순환 과정과 그 작용을 비교적 더 잘 이해하고 있음을 알 수 있다. 따라서 중등학교 학생들이 혈액 순환의 경로를 파악하고, 그 작용에

대한 정교한 이해를 촉진시킬 수 있는 좀 더 구체적인 효율적인 수업 전략의 개발이 필요하다고 여겨진다.

마지막으로 혈액 순환 개념의 기작 요소는 4개 문항 모두에서 학생들이 이해가 전반적으로 매우 낮게 나타났다. 중학생들이 상당히 어려워했고, 답안을 완전하게 작성한 학생이 거의 없었다. 이에 비하여 과학교육 전공 대학생들은 혈액이 각 기관으로 분배되는 기작이나 혈액과 조직세포 사이의 물질교환 원리에 대한 이해가 다른 학교 급에 비해 상당한 차이를 나타냈다. 이런 혈류량 분배나 물질교환 기작의 개념은 존재론적 관점에서 그 구성 요소들의 상호작용과 집합적 유형을 인식할 수 있어야 그 원리에 대한 이해가 가능하기 때문이다.

### 2. 혈액순환 개념의 기작 요소에 대한 존재론적 범주 분석

혈액순환 기작 요소는 학생들이 그 개념을 어떤 존재론적 범주로 인식하고 있는가에 따라 그 기작에 대한 이해 수준이 달라졌다.

중·고등학생들 대부분은 혈류량 분배나 기체 교환의 원리를 독립적이고 지속적인 행동의 수집으로 나타난 평형·독립적 범주로 인식하지 못하고 있었다. “심장의 수축에 의해 산소나 영양분이 필요한 기관으로 혈액을 보낸다.”나 “살기 위해서는 기체 교환이 항상 필요하다.”는 등의 사건-목적 범주의 인식을 보유한 경우가 많았으며, 개념 이해 수준도 매우 낮았다. 이에 비하여 대학생들은 평형·독립적 범주나 진이 단계에 있는 비율이 상당히 높았고, 개념의 완전한 이해를 성취한 비율도 중·고등학생들이 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이것은 교과서에 제시된 혈액순환 기작에 대한 설명이나 그림들이 평형-독립적 범주의 속성을 적절하게 기술하지 못하고, 전체적인 목적을 지향하거나 순차적인 과정으로 표현한 경우가 많아 학생들이 그 개념을 잘못된 존재론적 범주로 인식하게 되었기 때문으로 여겨진다. 학생들의 응답 내용도 개념의 존재론적 속성을 드러내기 보다는 교과서에 제시된 순차적인 과정을 그대로 기술한 경우가 많아서 정확한 존재론적 범주를 구분하기 어려웠다. 학생들의 존재론적 범주 분석을 위해서는 검사 문항의 적절한 보완과 함께 교과서에 제시된 개념들에 대한 분석이 우선되어야 할 것이다.

이 연구는 서울시에 소재한 일부 학교를 대상으로 학교 급별 개념검사 결과만을 토대로 학생들의 개념 이해와 존재론적 범주를 분석하였기 때문에, 정확한 분석이나 일반화에는 한계가 있다. 또한, 학생들이 순

환 개념의 각 요소를 사건·목적범주나 평형·독립적 범주의 속성에 어떻게 연결 지어 이해하는지를 구체적으로 알아보기는 어려웠다. 하지만 학교 급별로 따른 순환 개념 요소별 이해의 경향을 비교하고, 개념이 해가 낮은 원인을 학교 급별로 학생들이 보유한 개념의 존재론적 속성에서 찾아보는데 의미를 두었다.

본 연구 결과를 토대로 후속 연구에서는 학생들의 혈액순환 개념 이해를 촉진하기 위한 새롭고 다양한 교수 학습 자료의 개발이 요구된다. 특히 혈액 순환 기작 요소에 대하여, 교과서나 학생들이 보유한 존재론적 범주를 분석해 보고, 주요한 혈액 순환 개념들을 추출하여 사건·목적 범주와 평형·독립적 범주로 구분하여 그 속성들을 알아보는 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 학생들에게 개념의 사건 범주와 평형 범주의 속성들을 비교하여 각 개념 요소들에 적용해 보는 활동이 구현된 수업 전략의 개발이 필요하다고 여겨진다.

### 국문 요약

생물학 영역에서 혈액 순환은 복잡하고 추상적인 개념으로 학생들이 이해하기 어렵고, 오개념이 많아 수업 후에도 쉽게 변화하지 않는 것으로 알려져 있다. 본 연구는 혈액 순환 개념의 존재론적 속성에 따른 학생들의 개념 이해도를 학교 급별로 조사·분석하고, 혈액 순환에 대한 학생들의 이해 향상을 위한 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

이 연구는 세 부분으로 나누어 진행하였다. 첫째로, 순환 개념을 심장, 혈관, 혈액 순환으로 구분하여, 각 개념의 구조, 기능, 행동, 기작 요소별로 학생들의 이해를 알아보기 위한 개념 검사지를 개발하였다. 두 번째로 개념 검사지를 중학교, 고등학교, 대학교 학생들에게 적용하여 순환 개념의 요소별로 학교 급에 따라 개념 이해 수준이 어떻게 다른지를 비교하고, 학생들의 순환 경로의 유형을 구분하였다. 마지막으로 개념 이해가 낮은 요소에 대한 개념의 존재론적 범주를 분석하여 그 특성을 파악함으로써, 개념의 범주 간 이동을 촉진시키는 수업 전략을 구성하는데 도움을 주고자 하였다.

본 연구 결과, 혈액순환 개념 중 구조나 기능 요소는 중학생, 고등학생, 대학생이 모두 높은 이해 수준을 보였고 학교 급별로 큰 차이가 없었으나, 행동이나 기작 요소에 대한 이해는 자연계열 고등학생과 대학생들에서 뚜렷하게 높아졌다. 학생들의 혈액 순환 모형은 7가지 유형으로 구분할 수 있었으며, 자연계열 고등학생들과 대학생들은 이중 분지형의 비율이 다른

학교 급에 비해 상대적으로 높았다. 또한 학생들의 순환 기작에 대한 존재론적 범주를 분석한 결과, 평형·독립적 범주의 개념을 사건·목적 범주로 인식하는 경우가 많아, 개념에 대한 잘못된 존재론적 범주의 인식이 개념 이해를 어렵게 한 원인으로 여겨진다.

### 참고 문헌

김미영 (2002). 생식과 유전 개념 학습에 대한 고등학생의 개념 생태 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.

김희백, 김영수, 김재근, 이준규, 전상학, 김병인, 동효관, 문용준, 이원경, 민진선 (2004). 영재교육 교수학습 자료 - 중학교 2학년 과학(생물) -. 서울특별시교육과학연구원 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.

Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: a strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313-351.

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

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

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. 161-237). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

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

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

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, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

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, 27-43.

Coll, R. K. (2005). Role of models and analogies. *International Journal of Science Education*, 27, 183-198.

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

Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The Nature of naive explanations of natural selection. *Science Education*, 20(10), 1231-1256.

Hafner, R., & Stewart, J. (1995). Revising explanatory models to accommodate anomalous genetics phenomena: problem solving in the "context of discovery". *Science Education*, 79(2), 111-146.

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.