

고등학생들의 물 순환 과정과 구성 요소에 대한 이해

이동은 · 정진우* · 김윤지

한국교원대학교

Understanding the Water Cycle Process and Composition Elements of High School Students

Dong-Eun Lee · Jin-Woo Jeong* · Yun-Ji Kim

Korea National University of Education

Abstract: This study aims at examining the concepts that apply in understanding the water cycle, to inquire into the concept related to the unit of earth structure that are taught in the Earth Science I. Analysis of word association, drawing and questionnaires showed that it was difficult for them to understand the water cycle within the earth system, and to put components into one integrated system together. In other words, it showed that they have a low standard of understanding in connection with the water cycle, that their understanding of water cycle are simple thoughts rather than systematic thought. It showed that they had an understanding of the atmosphere and hydrosphere to some extent, but they took no notice of the effect of the lithosphere or biosphere, nor do they have an understanding of its effect. Analysis of questionnaires showed that they have no well understanding of water cycle of cyclic nature, and that they have low standard of understanding of the components of water cycle.

Key words: water cycle, earth system, earth science

I. 서론

과학에서 다루어지는 자연 현상은 다양한 요인들이 상호 작용하여 하나의 현상으로 표현되는 복잡한 시스템의 특성을 가지고 있다(Mayer, 1997). 특히 인간에게 필수 불가결한 환경으로서 지구는 물질과 에너지를 소통할 수 있는 하위계인 암권, 수권, 기권과 인간을 포함한 생물권으로 구성되어 유기적으로 연결되고 상호 작용하며 피드백의 영향이 작용되는 지구 시스템으로 인식하고 지구계교육의 관점으로 과학 교육을 실천해야 한다는 논의가 이루어지고 있다(정진우 등, 1999; 임은경 등, 2000). 그러나 단편적이고 제한된 원인과 결과의 맥락에서 자연 현상을 해석하는 전통적인 교육 방식으로 훈련된 학생들은 단선적 사고에 길들여져 있어 복잡한 상호 작용과 연관성에 대해 인지하기 어렵다(Resnick, 1996). 따라서 시스템의 특성을 갖는 자연 현상을 전체적이고 종합적인 측면에서 인식하기 위해 역동적 사고(Dynamic thinking), 조작적 사고(Opera-

tional thinking), 피드백 사고(Feedback thinking)를 이용하는 시스템 사고(system thinking)가 시스템의 특성을 통찰하는데 매우 효과적인 사고의 기술로 밝혀져 있다(Ison, 1999; Sweeney, Sterman, 2000; Maani, Maharaj, 2004).

시스템 사고에 대한 연구는 Forrester(1961)가 시스템 특성의 이해를 측정하는 도구로서 시스템 다이내믹스를 소개하면서 시스템의 특성을 분석하는 방법으로 활용되기 시작하였고, Senge, Sterman(1992)이 시스템의 구성 요소들 사이의 인과지도를 작성하여 시스템 사고를 분석하였다. 이후 Ossimitz(1998)이 시스템 사고 모델을 모형적 사고, 연관된 사고, 역동적 사고, 조정적 사고로 정의하고, 사고 모델의 핵심 요소를 인과적 다이어그램과 저장-흐름 다이어그램 및 평형으로 제시하였다. 지구의 시스템 구조에 대한 논의가 증가하면서 지구과학 영역에서 시스템 사고의 적용과 분석에 대한 연구로 Sterman, Sweeney(2002)가 탄소 순환에 대해 시스템 사고의 관점에서 인과 지도를 제시하였고,

*교신저자: 정진우(jeong@knu.ac.kr)
**2007.06.10(접수) 2007.09.20(1심통과) 2008.01.14(최종통과)

문병찬 등(2004)이 지구과학 예비 교사들의 탄소 순환에 대한 지구 시스템 관련 개념과 사고의 적용을 분석하였다. 또한 Kali *et al.*(2003)이 중학생들을 대상으로 암석의 순환에서 시스템 구성 요소들의 인과 관계와 순환적인 특성에 대한 이해를 조사하였으며, Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005a; 2005b)에 의해 물의 순환에 대한 고등학생들의 인식과 시스템적 사고 기술의 발달에 대한 연구가 이루어졌다.

우리나라의 과학교육에서는 통합 시스템으로서 지구 환경을 거시적인 관점에서 이해하고자 하는 지구 시스템에 대한 인식과 지구 시스템을 구성하는 하위 시스템들에 대한 이해를 고찰하는 연구가 미흡하며, 지구 하위 시스템의 연구 주제로서 물 순환, 암석 순환, 탄소 순환 등의 학습에 있어 지구계의 순환적 특성에 대한 이해를 돕고 시스템 사고를 적용하고자 하는 노력 역시 부족한 실정이다. 특히 Kali *et al.*(2003)은 물의 순환이 매우 복잡한 체계를 이루기 때문에 학생들의 정확한 이해를 돕기 위해서는 반드시 지구 환경 구성 요소들 사이의 관계에 대한 인식이 필요함을 주장하였고, Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005a)은 대부분의 학생들이 물의 순환을 구름과 바다 사이의 순환으로 단순화하며 물 순환 과정에서 순환적이고 역동적인 시스템의 체계를 고려하지 못함을 지적하였다.

우리의 생활권에 직접 영향을 미치는 지구 환경 시스템을 학습하기에 앞서 학습자의 시스템 구성요소와 작용에 대한 인식의 분석이 반드시 선행되어야 할 것으로 사료된다. 본 연구는 고등학교 2학년 학생들을 대상으로 지구 시스템 과학 교육의 주제로서 물 순환의 구성요소와 과정에 대한 이해를 지구 시스템의 관점에서 분석하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

충청남도 천안시에 소재하는 S고등학교에 재학 중인 2학년 학생들 중에서 지구과학 I 교과를 선택하여 지구의 구성 단원에서 물의 순환에 대한 학습을 마친 후, 본 연구에 대한 안내를 받고 적극적인 참여 의사를 밝힌 학생들 10명(A, B, C, D, E, F, G, H, I, J로 부호화하여 기재)을 공개적으로 선정하였다.

2. 연구 절차

기초 연구 단계에서 문헌 연구를 통하여 물의 순환 과정과 구성 요소에 대한 주요 개념을 추출하고, 물 순

환과 관련하여 학생들의 개념을 분석한 선행 연구들을 기초로 검사 문항 및 분석틀을 준비하였다. 예비 연구 단계에서 2회의 예비 검사를 실시하여 검사 도구와 분석틀을 수정-보완하였다. 본 연구 단계에서 5장의 질문지를 60분에 걸쳐서 10명의 연구 대상에 투입하여 검사를 실시하고, 5일이 경과된 후 질문지의 응답을 바탕으로 반구조화 된 면담을 실시하여 확인하였다. 각 연구 단계에서 지구과학교육을 전공하는 박사과정 1명과 석사과정 1명 그리고, 고등학교에 근무하고 있는 현직 교사 2명이 참여하여 연구 과정에 대한 검증과 논의가 이루어졌으며 토론을 거쳐 합의점을 찾아가는 방식으로 자료 분석 과정을 진행하였다.

3. 검사 도구

물의 순환을 주제로 지구과학 교과에서 시스템 사고 기술의 발달과 고등학생들의 물 순환에 대한 인식을 조사한 Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005a; 2005b)의 연구로부터 단어 연상과 개념 그리기 문항 및 검사지를 번안하고 수정-보완하여 적용하였다. 단어 연상 방법은 물의 순환과 관련하여 학생들의 머릿속에 떠오르는 모든 개념들을 제한 없이 질문지에 쓰도록 하였다. 개념 그리기 방법은 학생들에게 물의 순환을 그림으로 그리고 자신이 그린 그림에 설명을 덧붙이도록 하였는데, 그리기 방법을 설명하기 위해 Johnson, Reynolds(2005)의 연구로부터 참고 그림을 제시하였다. 물 순환 과정의 순환적(CT)이고 역동적(GDN)인 본질에 대한 인식을 검사한 질문지는 우리나라의 고등학교 교육과정에 적합하다고 판단되는 검사 문항을 선별하여 적용하였다(Table 1).

4. 분석 방법

단어 연상 검사와 개념 그리기 검사는 Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005b)의 연구로부터 분석틀을 번안하여 본 연구에 적용하였다. 단어 연상 검사는 물의 순환과 관련하여 학생들이 인지하는 개념들을 대기권, 수권, 암석권, 생물권, 지구, 환경 문제, 인간 활동, 상태 변화, 과정으로 분류하여 그룹화 하고 각 그룹에 속하는 개념의 수를 조사하였다(Table 2). 개념 그리기 검사는 학생들이 그린 물의 순환 그림에 대해 물 순환의 과정과 물 순환의 구성요소로 구분하여 학생들의 인식을 조사하였다(Table 3). 또한 학생들이 작성한 4가지 유형의 검사지 응답에서 동의 여부를 판별하고 학생들이 근거로 제시한 내용을 분석하였다.

Table 1

Questionnaires for the water cycle

A cyclic thinking questionnaire (CT)	
1.	In the water cycle, the beginning point is the oceans and its end point is the underground water.
2.	The amount of water in the ocean grows from day to day because rivers are flowing into the ocean continually.
3.	The increase in waste that man produces causes an increase in the Earth mass (weight).
4.	Massive mining (quarrying) of minerals causes a decrease in the Earth's mass (weight).
5.	The increased evaporation as result of the Earth's global warming effect, may lead to a decrease in the amount of water on Earth.
6.	If the population on Earth will continue to grow, water consumption will increase, thus the amount of water will decrease.
A ground-water dynamic nature questionnaire (GDN)	
1.	Most of the underground water remains in the small pores of the rock, similar to a well-watered sponge.
2.	Underground water is similar to underground lakes: It's located in deep spaces under ground.
3.	The composition of rocks do not influence the composition of the water that passes through them.
4.	Water can penetrate rocks only through cracks.
5.	Ground water can be found only in rainy climate areas.
6.	Many industrial plants allow their sewage to flow into streams and thus pollute the water.

Table 2

Concepts of category in the word association task

1. Atmosphere	rain, moisture, precipitation, cloud, snow, hail, water evaporation, sky
2. Hydrosphere	fall, waves, puddles, underground water, oceans, rivers, streams, icebergs
3. Geosphere	limestone, mountains, soil, rocks, cracks, mineral water
4. Biosphere	food, life, thirst, human beings, organisms, plants, tears, nature
5. Earth	recurrence, earth, winter, summer, wind, climate, weather
6. Environment quality	contamination, purification, sewage water, acid rain, economizing
7. Human activities	boiling, drinking water, cooking, agriculture, shower, kettle, tap
8. Change of state	gas, liquids, solids, temperature, cold, heat
9. Processes	evaporation, condensation, precipitation, water flow, defrost, flood

Table 3

The water cycle in the drawing

Process	Components
1. Evaporation	1. Plant
2. Condensation	2. Human
3. Precipitation	3. Animal
4. Penetration	4. Ocean
5. Underground flow	5. River
6. Surface flow	6. Glacier
7. Melting	7. Spring
8. Freezing	8. Soil
9. Dissolution	9. Rock
10. Transpiration	10. Groundwater
11. Capillarity	11. Clouds
12. Pollution	12. Rain
	13. Sun
	14. Water pollution
	15. Water consumption
	16. Well
	17. Sewage

III. 결과 및 논의

1. 물의 순환과 관련하여 인식하는 개념

학생들이 물의 순환과 관련하여 인식하는 모든 개념들을 단어 연상 검사를 통해 기권, 수권, 암권, 생물권, 지구, 환경 문제, 인간 활동, 상태 변화, 과정의 개념 그룹으로 범주화하였다(Table 4). 학생들은 물의 순환을 이해하는 데 있어서 구성 요소 중 일부인 기권(개념의 수 ; 20)과 수권(개념의 수 ; 14)에 편중하여 인식하고 있었는데, 특히 기권에서 구름과 비를 대부분의 학생들이 물 순환의 구성요소로 답하였고 수권에서는 바다를 주로 답하였다. 지구 시스템의 관점에서 기권과 수권을 제외한 하위계인 암권(개념의 수 ; 3)과 생물권(개념의 수 ; 3)에 대해서는 물의 순환 구성요소로서의 작용을 무시하거나 그 영향을 축소하여 이해하고 있었다. 또한 연구 대상자 중 1명(학생 C)을 제외하고는 물의 순환이 인간의 활동에 영향을 주고 또한 영향을 받

Table 6
Students' perceptions of the components as shown in the drawing

Components	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	Total
1. Plant										○	1
2. Human								○		○	2
3. Animal										○	1
4. Ocean	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10
5. River	○	○	○	○	○		○	○		○	8
6. Glacier											
7. Spring											
8. Soil		○	○	○				○			4
9. Rock											
10. Groundwater		○	○		○			○		○	5
11. Clouds	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	10
12. Rain	○	○	○	○		○	○	○	○	○	9
13. Sun		○		○		○	○	○			5
14. Water pollution								○			1
15. Water consumption								○			1
16. Well											
17. Sewage								○			1

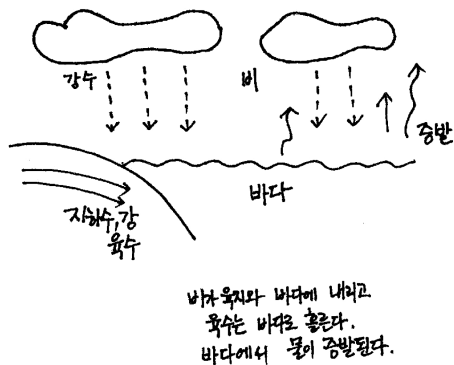


Fig. 1 A drawing that reflects a native perception

의 순환 작용에서 인간의 활동이 구성요소로 작용한다는 측면을 인식하는 학생은 1명(학생 H)에 지나지 않았다.

3. 물 순환의 본질적 특성에 대한 인식

학생들이 물 순환 과정의 순환성과 역동성에 대해 인식하고 있는 정도를 알아보기 위해서 선행연구를 통해 개발된 검사 도구인 CT와 GDN에서 우리나라의 교육 실정에 적합하다고 판단되는 문항을 선별하고 수정·보완하여 검사를 실시하였다. 학생들은 물 순환의 순환적·역동적 본성에 대한 인식을 검사하고자 제시된 문항에 대해 긍정의 의사로 표현한 경우에 “Y”를, 부정의 의사로 표현한 경우에 “N”을, 모르겠다는 등의

응답 불능 상황을 “?”로 표기하였으며, 학생들이 응답의 근거로 제시한 내용들을 바탕으로 하여 물의 순환에 대한 고등학생들의 사고를 정성적으로 분석하였다 (Table 7, 8).

(1) 물 순환의 순환적 본성에 대한 인식

물 순환의 순환적 본성에 대한 인식을 검사한 CT의 1번 문항 “바다에서 물의 순환이 시작되어 지하수로 순환이 끝난다”에 대해 학생 F는 ‘애초에 바다가 먼저 생성되어’, 학생 H는 ‘바다에서 가장 많이 증발되므로’ 바다에서 물의 순환이 시작된다는 문항에 긍정으로 답하였다. 학생 D가 ‘물의 순환이 끝나는 지점은 시작점과 같은 바다’라고 응답하였고, 학생 B는 근거를 제시하지 못한 채 긍정하였는데, 이는 물의 순환 과정에 시작과 끝이 있다는 학생들의 생각이 표출된 결과로 보인다. 근거로서 물의 끝없는 순환을 설명한 학생 G와 남은 5명의 학생들은 물의 순환 과정에서 ‘시작과 끝이 어디라고 딱 잘라 말하기 어려우며’, ‘물의 순환에는 끝이 없다’고 응답하여 물의 순환성에 대한 이해를 나타내었다.

2번 문항 “강물이 끊임없이 바다로 흘러들어가기 때문에 바닷물의 양은 점점 많아진다”에서는 모든 학생들이 부정의 응답을 하였다. 그러나, 응답의 근거로 제시한 내용을 분석해보면 학생 B는 ‘빙하가 녹아서 해수면이 높아진다’고 답하였고, 학생 E는 ‘강물은 지구

의 물 중에서 1%도 되지 않으므로 큰 영향을 끼치지 못한다'고 답하고 있어서 바닷물의 양이 증가할 것이라는 비과학적 개념을 표출하고 있다. 남은 8명의 학생들은 바다에서의 '증발'을 근거로 설명하며 지구계에서 물의 순환으로 인한 물수지의 '평형'을 이해하고 있는 것으로 판단되었다.

3번 문항 "사람들이 만들어내는 쓰레기가 많아지면, 지구의 무게가 증가한다"와 4번 문항 "사람들이 광물을 많이 채취하면, 지구의 무게가 감소한다"는 물질의 순환으로 인한 지구계 내에서의 보존성에 대한 인식을 묻는 문항으로 학생 A, C, J는 지구계에서 물질이 순환하여 보존된다는 관점으로 이해하였다. 그러나, 학생 B, D, F, G는 쓰레기와 광물은 '지구의 무게에 비해 소량이고', '지구 자체의 무게도 어마어마하므로' 영향이 크지 않을 것이라고 답하여 증가 또는 감소할 것이라는 비과학적 개념을 나타내었고, 남은 3명의 학생들은 문항에 따른 응답과 근거로 제시한 설명이 일관되지 않아서 지구계 내에서 물질의 순환성에 대한 혼란을 보였다.

5번 문항 "지구의 온실 효과 때문에 물의 증발이 많아지면, 지구에 있는 물의 양이 감소할 것이다"와 6번 문항 "지구의 인구가 계속 늘어나서 물의 소비가 많아지면, 지구에 있는 물의 양이 줄어들 것이다"는 문항은 지구 시스템의 관점에서 물의 순환으로 인한 보존성의 인식을 묻는 문항에 해당하는데, 학생 A와 J만이 물이 순환하여 지구계에서 물의 총량이 보존된다는 관점으로 이해하고 있었다. 학생 C, F, G는 온실효과로 인해 '빙하가 녹아'오히려 물의 양이 증가할 것이라 답하여 물의 순환에 따른 보존성을 이해하지 못하는 것으로 판단되었다. 학생 B와 D는 6번 문항에 대해 인간의 물 소비가 많아져도 '빙하가 녹아서' 물의 양이 줄어들지 않는다고 답하였으며, 학생 E와 H는 5번 문항에 대해서 물의 순환적 본질을 이해하고 설명하였으나 6번 문항에서는 모르겠다고 응답하여 물의 순환적 본성에 대해 정립되지 않은 사고의 혼란을 나타내었다.

(2) 물 순환의 역동적 본성에 대한 인식

물 순환의 역동적 본성에 대한 인식을 검사한 GDN의 1번 문항 "지하수의 대부분은 바위틈 속에 들어 있다"와 2번 문항 "지하수는 땅 밑에 고여 있는 호수와 같다"는 지하수의 존재 형태를 통해 물의 역동성에 대한 인식을 묻는 문항이다. 학생 C는 지하수가 '강처럼 하나의 층을 이루면서 흘러간다'고 답하였고, 학생 G는 '많은 물이 유입된 고여 있는 호수 같다', 학생 H 역시 '지하수는 한 번 발견되면 많은 물을 얻을 수 있다'고 표현하여 지하수가 지하에서 호수나 강줄기와 같은 형태로 작용할 것이라는 비과학적 개념을 표출하였으며, 지하수의 존재와 작용에 대한 명확한 이미지를 떠올리지 못하거나 자신의 응답에 대한 근거를 제시하지 못하는 학생들이 대부분이었다.

3번 문항 "바위의 구성 성분은 물의 성분에 영향을 미치지 않는다"에 대해 학생 B가 '바위와 물은 성질이 다르다'고 답하였고, 4번 문항 "물은 오직 틈이 있어야만 바위를 뚫을 수 있다"에 대해 학생 D가 '바위에 틈이 없다면 수십 년이 지나도 구멍을 뚫을 수 없다'고 답하여 일부 학생들이 물의 역동성에 대한 이해가 부족함을 나타내었으나, 대부분의 학생들은 물의 작용과 영향에 대한 기본적인 개념을 이해하고 설명할 수 있는 것으로 판단하였다.

5번 문항 "지하수는 비가 많이 오는 지역에서만 존재할 수 있다"는 물 순환의 역동적 특성을 묻는 전형적인 문항인데, 학생 H의 불응답을 제외하고 남은 9명의 학생들이 '비가 적게 와도', '사막에도', '물은 순환하기 때문에' 지하수가 존재할 수 있다고 응답하여 물 순환의 역동성에 대한 학생들의 기본적인 이해를 확인할 수 있었다.

6번 문항 "수많은 산업시설에서 나오는 폐수로부터 물이 오염된다"에서 학생 F는 산업시설의 폐수가 아닌 또 다른 오염원을 추정하여 정확한 원인을 알기 어렵다고 답하였고, 학생 A는 근거를 제시하지 못한 채 문항을 부정하였다. 그러나, 남은 8명의 학생들은 폐수가

Table 7
Students' perceptions as shown in the Cyclic Thinking (CT) questionnaire

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	N	Y	N	N	N	Y	?	Y	N	N
2	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
3	N	N	N	N	N	?	N	?	N	N
4	N	N	N	N	?	?	N	N	Y	N
5	N	Y	N	N	N	N	N	N	Y	N
6	N	N	N	N	?	Y	N	?	Y	N

Table 8
Students' perceptions as shown in the Ground-water Dynamic Nature (GDN) questionnaire

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Y	Y	N	N	?	N	Y	N	?	?
2	N	Y	N	Y	Y	N	Y	Y	Y	N
3	N	Y	?	Y	N	N	N	N	N	N
4	N	?	N	Y	N	N	N	N	N	Y
5	N	N	N	N	N	N	N	?	N	N
6	N	Y	Y	Y	Y	?	Y	Y	Y	Y

‘물의 자정 능력보다’ 물을 오염시키고 있다고 응답하여 물의 순환 작용에 있어서 인간 활동의 영향에 대해 일 부분은 인식하고 있는 것으로 해석하였다.

IV. 결론 및 제언

과학 교과와 제재로서 자연 현상은 단순한 원인이나 법칙만으로 해석되는 것이 아니라 현상으로 표면화되는 구성 요소들과 그에 영향을 미치는 요인들의 상호 작용과 피드백 효과를 반영한 복잡한 구조로 이루어져 있다. 따라서 단편적인 사고를 통해 복잡한 지구 환경 시스템의 역동적인 체계와 본질을 반영하는 개념 및 상호 작용을 이해하기는 어려울 것으로 생각된다. 이러한 지구 환경 시스템의 관점에서 고등학생들의 물 순환 과정과 구성요소에 대한 이해, 그리고 순환적이며 역동적인 물 순환의 특성에 대한 인식을 알아보고자 하였다.

학생들이 물의 순환 과정에서 인식하는 구성요소를 지구계의 하위계로 분류하면 주로 기권과 수권에 편중하여 암권과 생물권에서의 작용 및 인간 활동으로 인한 영향을 연관시키지 못하였으며, 수권 내에서도 강과 바다를 물의 순환 요소로 인식하는 학생들은 많지만 지하수를 인식하는 학생은 적었다. 물의 순환 과정에 대해 대부분의 학생들이 증발과 강수만을 물의 순환 과정으로 한정하고 있으며, 지표에서의 흐름에 비해 지하에서의 흐름에 대한 인식이 낮은 것으로 나타났다. 이는 이스라엘의 고등학생들을 대상으로 물의 순환에 대한 인식을 조사한 Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005a)의 연구에서 학생들이 주로 기권에서의 증발, 응결, 강수 작용을 물의 순환 작용으로 인식하고, 약 70%의 학생들이 지하수를 인식하지 못하며, 약 10% 내외의 학생들이 물의 순환에서 생물권과 인간 활동의 영향을 인식한다는 점에서 유사한 결과로 판단되었다.

물 순환의 역동적이고 순환적인 본성에 대한 인식을 살펴보면 대부분의 학생들로부터 역동성에 대한 인식과 물의 작용 및 영향에 대한 이해를 확인할 수 있었으며, 다수의 학생들이 물의 순환성과 수권에서 물의 순환으로 인한 평형을 이해하고 있는 것으로 판단되었으나, 지구계에서 순환으로 인한 물의 보존성에 대해서는 사고의 혼란을 나타내었다. Ben-Zvi Assaraf, Orion(2005a)의 연구에서는 대부분의 학생들이 물의 순환을 구름과 바다 사이의 순환으로 단순화하여 약 1/3의 학생들만이 물의 역동적 순환 작용을 인식하고 있을 뿐, 지하수는 항상 땅 밑에 고여 있는 것으로 이해하여 인간 활동과 연관시키지 못하고 있음이 밝혀졌다. 우리나

라의 고등학생들이 물의 순환 과정에서 보존성 측면에 대한 이해는 부족하지만, 이는 선행 연구의 물 순환 과정에서 순환적이고 역동적인 시스템의 체계를 고려하지 못한다는 결론과는 차이가 있는 것으로 물의 순환 작용과 과정에서의 역동적인 본성에 대해서는 보다 높은 이해를 나타내는 것으로 판단할 수 있었다.

Mayer(1997)는 지구 환경 시스템 체계를 하나의 과학 교육과정으로 통합하여 물리, 화학, 생물 과정을 지구계로 포용한 교육의 필요성을 주장하였다. 학생들은 지구 시스템 안에서 물의 순환 과정과 구성요소들을 하나의 통합된 체계로 종합하는 것을 어려워하며 단선적인 사고로 물의 순환을 이해하고 있다. 현행 교과서에서 제시되고 있는 물의 순환에 대한 그림은 지나치게 단순화되었고 몇 문장의 설명만으로 물 순환의 역동적이고 순환적인 본성과 순환 체계를 전달하기에는 한계가 있다. 따라서 교과서와 교육과정을 재구성하여 창의적으로 교수할 수 있는 교사들의 역할이 강조되어야 할 중요한 측면으로 생각된다. 지구과학 내용 영역을 포함하여 과학을 교수하는 교사들이 먼저 총체적 지구가 아닌 지구시스템의 관점에서 지구를 인식하고, 지구 하위계에서의 상호작용으로 물의 순환이라는 교육 소재를 인지하여 물의 역동적인 순환 시스템을 교실에서 구현할 수 있도록 효과적인 교수-학습 전략을 개발하여야 할 것이다. 지구 환경을 통합 시스템으로서 거시적인 관점에서 인식하고자 하는 시대의 요구에 부응하여 학생들의 시스템 사고를 발달시킬 수 있는 방향으로 과학 교육이 전향되어야 할 것으로 사료된다.

국문 요약

본 연구는 고등학교 지구과학 I에서 다루고 있는 지구의 구성 단위 중에서 물의 순환을 이해하는데 적용하는 개념들을 분석하고자 하였다. 학생들은 물 순환의 과정과 구성요소들을 하나의 체계로 통합하는 지구 시스템 관점에서 인식하기 어려워하며 단선적 사고로 물의 순환을 이해하고 있었다. 물의 순환 과정에서 기권과 수권의 작용에 대한 인식은 높으나 암권과 생물권에서의 영향에 대한 인식이 매우 부족한 것으로 나타났다. 물 순환의 순환적인 본질에 대한 이해가 부족하였다.

참고 문헌

문병찬, 정진우, 경제복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호 (2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스

템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학학회지, 25(8), 684-696.

임은경, 홍상욱, 정진우 (2000). 지구계 교육의 현장 적용에 관한 연구. 한국지구과학학회지, 21(2), 93-102.

정진우, 우종욱, 김찬중, 임청환, 이연우, 소원주, 정남식, 이경훈, 이항로, 홍성일, 윤선진, 정철, 박진홍 (1999). 지구과학교육론. 서울: 교육과학사.

Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005a). A Study of Junior High Students' Perception of the Water Cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.

Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005b). Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.

Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. Cambridge, M.I.T. Press, MA, 464.

Ison, R. (1999). Applying System Thinking to Higher Education. *Systems Research and Behavioral Science*, 16, 107-112.

Johnson, J. K., & Reynolds, S. J. (2005). Concept Sketches - Using Student - and Instructor - generated, Annotated Sketches for Learning, Teaching, and Assessment in Geology Courses. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 85-95.

Kali, Y., Orion, N., & Eylon, S. B. (2003). Effect of knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as a Cyclic System. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.

Maani, K. E., & Maharaj, V. (2004). Links between systems thinking and complex decision making. *System Dynamic Review*, 20(1), 21-48.

Mayer, V. J. (1997). Global science literacy. An Earth System View. *Journal of research in Science Teaching*, 34(2), 101-105.

Ossimitz, G. (1998). The Development of System Thinking Skills, In Maier E. et al. (eds.), *Selected Papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics*, Electronic Journal, Cohors-Fresenborg, 90-104.

Resnick M. (1996). Beyond the Centralized Mindset. *The Journal of The Learning Science*, 5(1), 1-22.

Senge, P. M., & Sterman, J. D. (1992). System Thinking and Organizational Learning: Acting Locally and Thinking Globally in the Organization of the future. *European Journal of Operations Research*, 59(1), 137-150.

Sterman, J. D., & Sweeney, L. B. (2002). Cloudy skies: assessing public understanding of global arming. *System Dynamics Review*, 18(2), 207-240.

Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinkings inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249-286.