Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

시스템 사고 평가 루브릭을 활용한 예비교사들의 지구 시스템 내 탄소 순환에 대한 시스템 사고 수준 분석

박경숙[1], 이현동[2*], 이효녕[1], 전재돈[1]
[1]경북대학교, [2]대구교육대학교

Analysis of Systems Thinking Level of Pre-service Teachers about Carbon Cycle in Earth Systems using Rubrics of Evaluating Systems Thinking

Kyungsuk Park[1], Hyundong Lee[2*], Hyonyong Lee[1], Jaedon Jeon[1]
[1]Kyungpook National University, [2]Daegu National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:
Received 18 September 2019
Received in revised form
25 October 2019
30 October 2019
Accepted 30 October 2019
Keywords:
Systems Thinking, Systems Thinking Level, Carbon Cycle, Earth Systems

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the systems thinking level of pre-service teachers using rubrics of evaluating systems thinking. For this purpose, systems thinking level model, which can be applied to education or science education, was selected through literature analysis. Eight pre-service teachers' systems thinking were investigated through the systems thinking analysis tool used in domestic research. The systems thinking presented by the pre-service teachers were transformed into the box type causal map using Sibley *et al*. (2007). Two researchers analyzed the systems thinking using rubrics of evaluating systems thinking. For data analysis, quantitative analysis was performed through correlation analysis using SPSS. In addition, the qualitative analysis of the box type causal map was conducted and the consistency with the quantitative analysis results was verified. The results indicated that the correlation between the 5-Likert systems thinking measurement instrument and the rubrics score was highly correlated with the Pearson product-moment of .762 ($p < .05$). In the hierarchical correlation of the systems thinking level, the STH model was analyzed with a very high correlation with the Pearson product-moment of .722~.791, and 4-step model was analyzed .381~.730. The qualitative analysis suggested the concept to be included in the low level of system thinking, the higher the level, the less the concept that is presented properly. In conclusion, the level of systems thinking can be derived as a result of research that there is clearly, a hierarchical part. Based on the results of this study, it is necessary to develop a systems thinking level model applicable to science education and develop and validate items that can measure the level of systems thinking.

Ⅰ. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

2015 개정 교육과정에서는 4차 산업시대를 대비하여 학생들의 핵심 역량의 함양을 제시하고 있다. 과학과 교육과정에서도 총론에 제시된 핵심역량과 연계하여 과학적 탐구 능력, 과학적 사고력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 문제해결 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력을 강조하고 있으며 이러한 핵심 역량을 함양하기 위한 핵심 개념 중 하나로 '시스템과 상호작용'을 도입하고 시스템의 상호작용을 과학적으로 사고하는 것을 강조하고 있다(MOE, 2015). Mayer(1995)는 과학 교육에서 시스템적 접근을 위한 주제의 하나로 '지구 시스템'을 강조하였다. 지구 시스템의 여러 요소들은 시스템을 이해하고 시스템의 상호작용을 파악하는 능력을 향상시키는데 중요한 요소로 강조하였으며 Orion(2002)은 과학 교육에서 지구 시스템을 지구, 환경 등 여러 요소를 이해하기 위한 통합적 요소로 제시하였다. 즉, 과학 교육에서 시스템적 접근은 학생들의 핵심 역량을 함양함에 있어서 과학과 관련된 주제들 사이에 상호 관계를 이해하고 통찰력을 향상하기 위하여 중요한 요소로 볼 수 있다(Assaraf & Orion, 2009).

교육에서 시스템적 요소를 이해하는데 중요한 고등 사고 능력으로 시스템 사고(Systems Thinking)가 국내외에서 지속적으로 강조되고 있다(Lee & Lee, 2017). 국내 과학교육에서는 Kim & Kim(2002)이 과학교육에서 새로운 사고 패러다임으로 시스템 사고의 중요성을 강조한 이후 Moon(2004)의 연구를 시작으로 10여 년이 지나는 동안 예비 교사, 학생들을 대상으로 시스템 사고를 적용하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 국내 시스템 사고의 흐름을 살펴보면 연구 주제 영역에서는 교육과정 내에 시스템을 다루는 생명과학과 지구과학 영역에서 생태계, 지구계, 기후계, 탄소 순환, 물 순환 등의 연구가 이루어졌다(Kang *et al*., 2008; Kwon *et al*., 2011; Lee *et al*., 2011; Moon & Kim, 2007). 그리고 연구 방법적인 측면에서는 시스템과 관련된 학습 주제에 대하여 연구 대상자들이 수행하고 있는 시스템 사고를 분석하거나 학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교육 프로그램을 개발

* 교신저자 : 이현동 (leehd@dnue.ac.kr)
** 이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2017S1A5B5A07061586)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.5.599

한 후 프로그램 투입 전 후 학습자들의 시스템 사고 변화를 분석하였다(Im & Lee, 2014; Lee & Kim, 2009; Lee *et al*., 2011; Song *et al*., 2015). 시스템 사고의 분석을 위한 도구로는 많은 연구에서 Assaraf & Orion(2005a)이 개발한 질적 분석 도구들을 연구의 주제와 방법에 맞게 수정・보완하여 적용하였다(Kang *et al*., 2008; Kwon *et al*., 2011; Lee *et al*., 2011; Lee *et al*., 2016; Moon & Kim, 2007). 또한 최근에는 3단계 마인드 맵 활동을 구성하여 학생들의 사고 향상 정도와 시스템 사고를 분석하였으며 시스템 사고의 이론적 근거에 기반한 Iceberg 모델을 활용하여 시스템 사고 분석하는 방법이 제시되었다(Lee & Lee, 2017; Son & Kim, 2016).

국내 시스템 사고 연구에서 Assaraf & Orion(2005a)이 개발한 시스템 사고를 분석하는 다양한 도구가 국내 학생들의 시스템 사고 분석에 수정・보완하여 활용하였는데, 이러한 연구 방법은 교육 분야에서 시스템 사고 연구가 활발하게 이루어지는데 큰 기여를 하였다는 것에서 긍정적인 면이 크다. 하지만 최근 국내외에서 정량적 방법으로 시스템 사고를 분석하는 연구가 진행되면서 Assaraf & Orion(2005a)의 도구에 문제점이 제시되고 있다(Dorani *et al*., 2015; Davis & Stroink, 2016; Groves & Vance, 2015; Lee *et al*., 2013; Lee & Lee, 2013; Lee & Lee, 2016; Randle, 2014). Assaraf & Orion(2005a)이 개발한 설문지들은 내용 타당도만 검증되었으며 설문지 내의 문항들에 대한 구인 타당도, 준거 타당도의 검증이 이루어지지 않아 이에 대한 검증의 필요성이 제기되었다. 또한 개발된 도구를 적용하는 국내 연구에서 단어 간 연상, 개념도, 인과 지도, 그림 그리기를 분석할 때 학생들이 제시한 개념의 수 변화를 평균 비교 검증(*t*-test)을 통해 유의 확률을 제시하는 분석이 이루어지고 있다(Jeon & Lee, 2015; Kim *et al*., 2006; Song *et al*., 2015; Yun & Wee, 2016). 이와 같은 분석에서는 학생들이 작성한 개념의 수가 등간 척도 또는 비율 척도가 아닐 수 있으므로 평균 비교를 수행하는 기본 가정을 충족시키지 못하여 통계 분석이나 그 해석에 매우 신중함이 요구된다. 최근 이러한 문제점에 대한 대안으로 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 적용하여 학생들의 데이터를 등간 척도 이상으로 변환하였으며 이를 활용하여 통계 분석의 가정을 충족시키는 근거를 제시하였다(Lee & Lee, 2017).

나아가 분석 도구의 적용이나 통계 분석과 해석의 문제점 외에도 여러 논문의 결과 해석에 언급하고 있는 시스템 사고 수준 분류의 근거에 대한 문제점도 제기된다. 최근 교육 및 과학 교육에서 이루어지고 있는 학생들의 시스템 사고 분석 연구의 결과에서는 학생들의 시스템 사고 수준(Systems Thinking Level)에 대한 언급이 나타난다. 그러나 사고 수준에 대한 이론적 배경이나 정의 없이 시스템 사고를 잘 보여준 학생들은 수준이 높고 다른 학생들에 비하여 미흡한 시스템 사고를 보여준 학생들은 수준이 낮다고 해석을 하는 경우가 있다. 이 외에도 시스템 사고의 수준을 언급함에 있어서 이론적 근거 보다는 해당 연구의 연구 설계에 기반하여 수준을 제시하여 다른 연구에 적용하기에 한계점이 나타난 경우도 있다(Kang *et al*., 2008; Lee *et al*., 2011; Oh *et al*., 2015).

이러한 단점을 보완하기 위하여 국외 연구에서 제시한 시스템 사고 수준의 분류를 도입하여 진행된 연구에서는 주로 Assaraf & Orion (2005a)이 제시한 시스템 사고 수준 분류인 Systems Thinking Hierarchical(STH) 모델을 활용하였다(Kwon *et al*., 2011; Lee *et al*., 2016; Song *et al*., 2015; Hwang *et al*., 2016). STH 모델은 시스템 사고의 이론적 근거를 토대로 제시되었으며 이스라엘의 8학년 및 고등학생을 대상으로 한 연구 결과를 기반으로 제시한 이론적 틀로써 지구계 교육 주제에서 계층적 피라미드 구조를 제시하였다(Assaraf & Orion, 2005a, 2010). 그리고 이 연구에서 제시한 시스템 사고의 8가지 정의를 기반으로 3단계 계층적 모델(분석-종합-실행)을 제시하였다. 그리고 이 모델에서는 상위 수준의 시스템 사고를 수행하는 학생들은 하위 수준의 시스템 사고도 충분히 할 수 있다는 것을 제시하고 있다. Sibley *et al*.(2007)에 의해서는 시스템 사고의 8가지 정의와 3단계 모델의 복잡성을 제시하면서 STH 모델을 수정하여 4단계로 시스템 사고 정의와 수준을 통일하여 제시하였다. 이와 같이 국외 여러 연구에 이론적 배경을 제시한 STH 시스템 사고 수준 모델은 국내 연구에서 이론적 배경으로 주로 활용되고 있으나 시스템 사고 수준 모델에 대한 정량적 자료를 통한 구인 타당도의 검증은 이루어지지 않고 있다.

이와 같은 문제점은 국외에서도 제시되었으며 Stave & Hopper (2007)는 시스템 사고에 대한 단순한 정의를 내리는 것은 어려우며 또한 시스템 사고 수준을 측정하는 척도가 없을 경우 교육에서 시스템 사고를 향상시키는 연구에서도 그 성과가 한계가 있다는 것을 제시하였다. 그러나 시스템 사고 수준의 측정을 위한 조작적 정의의 필요성을 제시하면서 시스템 사고가 제시된 근본적인 이론인 시스템 다이내믹스(System Dynamics)에서 시스템 사고의 정의를 도출하여 피드백의 확인, 상호 관련성의 인식, 시스템의 동적인 특성에 대한 이해, 변수와 흐름의 차별화된 유형, 시뮬레이션 모델의 제시, 모델의 활용, 이론의 실행 이라는 7가지를 제시하였다. 그리고 시스템 사고의 정의와 블룸의 교육 목표(Bloom's Taxonomy) 사이의 공통점을 제시하며 시스템 사고를 계층화 한 모델을 제시하였다. 이 모델의 계층 사이에서 나타나는 시스템 사고 변화는 단계적으로 변화하는 것이 아닌 연속적으로 변화한다는 것을 강조하면서 Systems Thinking Continuum(STC) 모델이라 하였다. STC 모델은 STH 모델에 비하여 시스템 사고의 정의를 시스템 다이내믹스에서 강조하는 요소들로부터 이끌어 내고, 나아가 교육 평가에서 중요한 이론적 토대로 알려진 블룸의 교육 목표와의 관련성을 제시하면서 시스템 사고 모델의 타당도를 확보하고 있다. 그러나 교육 현장에서 실시하기 어려운 컴퓨터 시뮬레이션이 시스템 사고 수준을 측정하기 위한 단계에 포함되어 있다는 부분과 구체적으로 제시된 평가 요소들은 존재하지만 통계적인 검증을 거쳐 구인 타당도를 검증하지 않았다는 부분은 여전히 문제점으로 남아있다. 이에 최근 시스템 사고를 평가하기 위한 도구의 개발에서는 STH 모델 또는 STC 모델은 시스템 사고 측정 모델의 좋은 아이디어를 제시하고 있지만 이 모델뿐만 아니라 Sweeney & Sterman(2000)과 Senge(1990, 2006, 2012)가 제시한 시스템 사고의 정의와 Richmond(1993)이 제시한 비계층적 시스템 사고의 체계를 반영할 필요성도 제시하였다(Dorani *et al*., 2015).

2. 시스템 사고의 수준에 대한 정의와 모델

시스템 사고 함양 및 분석을 진행하는 연구에서 학생들의 시스템 사고를 분석한 후 결과나 결론에서 학생들의 시스템 사고 수준에 대한 해석이 언급된다(Kwon *et al*., 2011; Lee *et al*., 2016; Song *et*

al., 2015). 이와 같은 사고를 분석한 연구의 해석에서 수준을 언급할 경우, 수준의 조작적 정의를 내리지 않았거나 수준에 대한 타당도 검증이 이루어지지 않았을 경우 해석의 타당도와 신뢰도가 확보되지 않을 수 있다. 국내 과학 교육에서 이루어지고 있는 시스템 사고 연구에서 시스템 사고 수준은 주로 국외 논문에서 제시한 정의를 수정・보완하여 활용하고 있다(Lee *et al*., 2011; Lee *et al*., 2016). 또한 수준을 다루고 있는 연구에서도 시스템 사고 수준을 이론적 배경이나 서론에 제시하지 않고 결론에서 제시하는 경우도 있다(Kwon *et al*., 2011; Song *et al*., 2015).

이러한 국내외 연구의 단점을 보완하기 위해서는 시스템 사고 수준이 과연 몇 단계로 구성되어 있으며, 나아가 각 단계별 조작적 정의, 통계 분석 등을 통한 타당도 검증이 이루어져야 한다(Breslyn *et al*., 2016; Mohan *et al*., 2009; Plummer & Maynard, 2014). 이를 위한 시스템 사고 수준을 검증하는 구체적 연구를 진행하기 위하여 국외에서 제시된 시스템 사고 수준을 살펴보면 Table 1과 같다.

국외 연구에서 제시된 시스템 사고 수준을 살펴보면 Assaraf & Orion(2005a)의 STH 모델, Sibley *et al*.(2007)의 시스템 사고 4단계 모델, Stave & Hopper(2007)의 STC 모델, Dorani *et al*.(2015)의 비계층적 모델로 나누어 볼 수 있다. 국내 여러 시스템 사고 연구에서 수정・보완하여 적용 중인 Assaraf & Orion(2005a)의 STH 모델은 선행 연구 분석을 통해 지구계 교육에서 나타나는 시스템 사고를 8가지로 정의하며 나아가 분석(정의 1) - 종합(정의 2, 3, 4, 5) - 실행(정의 6, 7, 8)로 수준을 계층적으로 분류하였다. 그리고 이러한 계층적 모델을 제시하면 하위 단계의 능력을 충분히 갖출 경우 상위 단계의 시스템 사고 수준을 보여준다고 제시하고 있다.

Sibley *et al*.(2007)는 Assaraf & Orion(2005a)의 8가지 정의가 교육에 적용할 때 학습 및 평가 요소에 부담으로 작용되는 것을 지적하며 시스템 사고의 정의를 4단계로 제시하였다. 각 단계는 시스템 내에서 물질 또는 요소들의 위치와 이동, 물질과 과정의 조직(인과 관계, 상호작용), 시스템 내의 순환적 과정의 이해, 시스템의 숨겨진 차원의 인식으로 구성되어 있다.

Stave & Hopper(2007)는 시스템 사고의 단계적 계층화에 대한 비판을 제시하며 교육학적으로 증명된 계층화 모델인 Bloom의 교육목표 분류와 연계한 시스템 사고 모델을 제시하면서 Assaraf & Orion(2005a)이 간과한 시스템 사고 요소(STC 모델 4, 6, 7)를 지적하기도 하였다. 즉, 시스템 내에서 나타나는 차별화된 유형이나 흐름, 시스템 시뮬레이션의 구성과 정책의 검증 등 시스템 다이내믹스에서 유래된 시스템의 시뮬레이션과 관련된 요소의 부족을 제기한 것이다. 다만, STC 모델의 경우 상위 단계로 갈수록 컴퓨터를 활용한 시스템 시뮬레이션이나 가설 또는 정책의 검증과 같은 학교 교육에서 적용하기 어려운 부분이 있다는 단점도 제기된다.

이에 Dorani *et al*.(2015)에서는 시스템 사고 수준의 계층적인 부분도 존재할 수 있지만 하위 단계의 사고가 만족되어야 상위 단계의 사고가 이루어진다는 것은 사고를 단편적으로 보는 것이라 비판하며 Richmond(1993)의 비계층적 요소를 반영하여 6가지의 시스템 사고 능력 요소를 제시하였다. 그리고 제시한 시스템 사고 각각의 요소를 평가하기 위한 문항을 제시하며 문항들 사이의 위계나 수준은 제시하지 않았다.

위의 네 가지 모델을 토대로 살펴보면 Dorani *et al*.(2015)의 연구에서는 시스템 사고의 비계층화 모델을 지지하고 있지만 국내 여러 선행연구와 Assaraf & Orion(2005a, 2005b, 2009)의 연구 결과를 살펴보면 시스템 사고를 잘 수행하는 학생과 수행하지 못하는 학생 사이에는 분명한 위계의 차이가 나타남을 알 수 있다. 그리고 이러한 위계의 경향은 주로 시스템을 구성하는 요소의 나열, 요소와 요소 사이의 상호작용의 이해, 상호작용을 통한 피드백의 이해, 숨겨진 차원에 대한 이해와 시스템 내의 동적 과정에 대한 이해 순으로 나타남을 알 수 있다(Im & Lee, 2014; Kang *et al*., 2008; Kwon *et al*., 2011; Lee *et al*., 2011). 이와 같은 시스템 사고의 수준은 STH 모델 또는 Sibley *et al*.(2007)가 제시한 4단계 모델의 위계와 유사함을 알 수 있다. 그러나 위 국내 연구들과 STH 모델을 활용한 국외 연구에서 학생들의 시스템 사고는 정성적 분석에 의해 제시되었으며 또한 구인 타당도나 준거 타당도가 검증되지 않은 설문지를 활용하여 정량적 데이터를

Table 1. Comparison among Systems Thinking Level Model

Level	STH	Sibley *et al*(2007).	STC	Dorani *et al*(2015).
Low ↑ ↓ High	1. The ability to identify the components of a system and processes within the system	1. identify substances, locations of substances and processes that move and change matter in a system	1. Recognizing Interconnections	Non-Hierachical 1. Dynamic Thinking; 2. Cause-Effect Thinking (Time delay); 3. System as Cause Thinking; 4. Forest Thinking; 5. Closed-loop Thinking; 6. Stock-and-Flow Thinking
	2. The ability to identify relationships among the system's components		2. Identifying Feedback	
	3. The ability to organize the systems' components and processes within a framework of relationships	2. organize the substances and processes	3. Understanding Dynamic Behavior	
	4. The ability to make generalizations		4. Differentiating types of variables and flows	
	5. The ability to identify dynamic relationships within the system	3. understand the cyclic nature of a system	5. Using conceptual models	
	6. Understanding the hidden dimensions of the system			
	7. The ability to understand the cyclic nature of systems	4. to recognize parts of a system that are not readily visible or apparent	6. Creating simulation models	
	8. Thinking temporally: retrospection and prediction		7. Testing policies	

제시하였다는 부분에서 시스템 사고 수준의 위계에 타당도 문제가 제기된다(Lee & Lee, 2016, 2017).

따라서 이 연구에서는 STH 모델과 Sibley *et al*.(2007)모델에서 제시한 시스템 사고 수준에 대하여 혼합 연구(Mixed-method) 방법을 활용하여 타당도를 검증하고자 한다. 이 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 시스템 사고 평가 루브릭을 통해 분석한 예비 교사들의 시스템 사고 수준에서 계층 간 유의미한 상관관계가 나타나는가?

둘째, 예비교사들의 시스템 사고 수준을 정성적으로 분석한 결과와 정량적으로 분석한 데이터의 결과는 대체로 일치하는가?

II. 연구방법 및 내용

1. 연구 절차

본 연구는 Figure 1의 과정을 따라서 수행하였다. 먼저 국외 연구에서 제시된 시스템 사고 수준 모델에 대한 자료를 살펴보았다. 시스템 사고 수준 모델은 여러 연구에서 자주 인용이 된 모델 4개를 선정하고 각 모델에 대한 문헌 연구를 통해 검증할 모델을 선정하였다. 그래서 이 연구에서는 각 모델 중 국외 연구 및 국내 연구에서 인용 횟수가 가장 많은 STH 모델과 Sibley *et al*.(2007)을 타당도 검증 모델로 선정하였다.

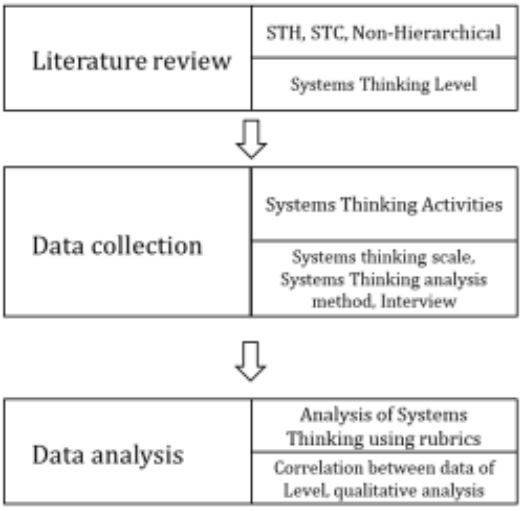

Figure 1. Process of study

그리고 예비교사들을 대상으로 탄소 순환에 대한 시스템 사고 검사 도구를 투입하여 선정한 모델의 타당도를 검증하기 위한 데이터를 수집하였다. 시스템 사고 검사 도구는 Assaraf & Orion(2005a)에서 개발하고 Im & Lee(2014), Kwon *et al*.(2011), Lee & Kim(2009), Lee *et al*.(2011), Lee *et al*.(2013), Park & Lee(2014), Lee(2019) 등의 국내 연구에서 수정・보완하여 활용된 시스템 사고 검사 도구를 활용하였으며 또한 Iceberg Model을 검사 도구 마지막에 제시함으로써 연구 대상자들이 제시하였던 시스템 사고와 관련된 내용을 정리할 수 있도록 수정하여 적용하였다. 그리고 Lee *et al*.(2013)이 개발한 시스템 사고 측정 도구 설문지도 검사 도구에 포함시켜 분석된 결과 해석의 타당도를 높이고자 하였다.

예비교사들이 나타낸 시스템 사고는 정량적 비교가 가능하도록 Hung(2008)이 개발하고 Lee & Lee(2017)에서 수정・보완하여 적용한 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 활용하여 분석하였다. 루브릭에 의한 점수의 신뢰도 확보를 위해 연구자 이외에 1인의 과학교육 전문가가 따로 점수를 부여하였으며 데이터 분석 후 연구자 간 점수의 차이가 있는 부분에 대해서는 연구 세미나를 통해 조정하여 최종 점수를 부여하였다.

그리고 루브릭 점수와 시스템 사고 측정 도구와의 상관관계 분석, 시스템 사고 수준 모델에서 제시한 사고 수준 사이의 상관관계 분석을 활용하여 정량적 분석 결과와 정성적 분석 결과를 모두 활용하여 연구 결과의 신뢰도를 높이고자 하였다.

2. 연구 대상 및 자료 수집

이 연구를 위하여 광역시 소재 국립 대학교 사범대학 4학년에 재학 중인 예비교사 8인이 검사에 참여하였다(Table 2). 예비교사들의 세부 전공은 지구와 지구 시스템을 주로 다루고 있는 지구과학교육이므로 이미 시스템과 시스템 사고와 관련된 교육을 받은 것으로 조사되었다. 8명의 연구 대상 중 남자 예비교사는 6명, 여자 예비교사는 2명으로 구성되어 있으며 연구 참여 대하여 예비교사들의 동의를 받은 후 데이터를 수집하였다. 예비 교사들의 시스템 사고를 분석하기 위한 주제는 지구과학 교육 전문가와 논의 및 선행 연구 결과를 반영하여 지구 시스템 강조되는 여러 순환적 개념 중 탄소 순환을 선정하였다(Gudovitch, 1997; Sweeney & Sterman, 2000).

시스템 사고 검사 도구를 실시하기 전 예비 교사들에게 연구의 목적과 의미를 충분히 설명한 후, Iceberg 모델과 같이 생소한 활동의 경우 이를 표현하는 방법에 대한 안내를 제시하였다. 예비 교사들이 시스템 사고를 표현하는 과정에서 연구자가 의문이 드는 부분에 대해서는 비구조화 된 간단한 물음을 제시하고 그 응답을 기록하여 데이터 분석에 반영하였다.

3. 자료 분석 도구 및 분석 방법

가. 시스템 사고 검사 도구

이 연구에서 Assaraf & Orion(2005a, 2005b, 2009)에서 개발한 후 국내 여러 연구에서 수정・보완되어 활용된 '물 순환'과 관련된 시스

Table 2. Information of Participants

Information	A	B	C	D	E	F	G	H
Gender	male	male	male	male	male	male	female	female
Age	26	28	26	25	25	25	23	24
Learned about systems	○	○	○	○	○	○	○	○

템 사고 검사 도구를 투입하였다. 국외에서 개발된 검사지는 '물 순환'에 맞추어 개발되었으므로 Lee *et al.*(2013)에서 탄소 순환에 맞추어 수정・보완하였으며, 최근 시스템 사고의 정량적 측정 도구 및 새롭게 개발된 Iceberg 모델을 검사지에 추가한 후 과학교육 전문가 2인에게 내용 타당도 검토를 의뢰하였다. 그 결과 두 전문가 모두 큰 틀에서 수정이 이루어지지 않았고, 최근 시스템 사고 연구의 흐름을 반영한 설문지로서 예비 교사들의 시스템 사고를 알아보는데 적합하다는 의견을 주었다.

수정・보완된 시스템 사고 검사 도구는 총 6개 검사지로 구성되어 있다. 첫 번째 검사는 Lee *et al.*(2013)에서 개발한 5-Likert 척도로 구성된 시스템 사고 측정 도구 20문항으로 이 도구는 3회 이상의 타당화를 거쳐 신뢰도와 타당도가 검증되었다. 또한 최근 일반인을 대상으로 한 연구에서도 신뢰도가 검증되어 예비 교사를 대상으로 한 검사 도구에 포함하였다(Cho & Hwang, 2016). 이 도구는 Lee & Lee(2017)에 활용되어 시스템 사고 측정을 위한 루브릭에 의해 채점된 점수와 상관 분석에 활용되었다. 그 결과 .856의 높은 상관을 보여주어 루브릭 채점 결과에 타당도와 신뢰도를 확인하는 도구로 활용되었는데 이 연구에서도 예비 교사들의 루브릭 채점 점수와의 상관 관계를 통해 예비 교사들의 시스템 사고 수준의 타당도와 신뢰도를 확인하는 도구로 활용하고자 하였다.

두 번째 검사는 단어 간 연상(Word Association)이다. 이 도구는 지구계에서 나타나는 '탄소 순환'과 관련하여 연상되는 개념과 그 연결 과정에서 표현되는 시스템 내 동적 과정을 표현하도록 구성되어 있다. 세 번째 검사는 개념도(Concept map)이다. 탄소 순환과 관련된 여러 개념들을 문장으로 구성하는 활동을 먼저 수행한 뒤, 탄소 순환에 대한 개념도를 작성하도록 구성되어 있다. 이때, 개념도를 표시하는 과정에서 인과 관계를 나타내도록 안내하여 시스템 사고에서 강조하는 원인과 결과, 그 영향(Cause-effect)을 확인해 볼 수 있다. 네 번째 도구는 그림 그리기(Drawing)으로 앞에서 작성한 세 설문지의 내용을 토대로 지구 시스템에서 나타나는 탄소 순환을 그림으로 표현하도록 하였다. 예비 교사들은 이 활동을 통해서 지구 시스템 내에 탄소 순환의 숨겨진 차원이나 피드백(강화적 또는 균형적), 시간 지연에 대한 효과를 표현할 수 있다. 다섯 번째 검사 도구는 숨겨진 차원 파악하기(Hidden dimension)로 지구계 하위 요소가 표현된 그림 내에서 표면으로 드러나지 않은 순환을 찾도록 구성되어 있다. 예비 교사들이 이 활동을 통해 그림 그리기에서 놓친 숨겨진 차원, 피드백, 시간 지연에 대한 내용을 표현할 수 있도록 하였다.

마지막 여섯 번째 검사 도구는 Iceberg 모델로 탄소 순환에 대하여 'Event-Pattern of Behavior-System Structure-Mental Model'을 순서대로 표현하게 된다. 이 활동을 통해 예비 교사들은 앞에서 표현한 내용들을 기반으로 하여 지구 시스템 내의 탄소 순환에 대한 큰 그림(Big Picture)을 제시할 수 있으며 나아가 활동 과정에서 알게 된 새로운 사실을 인지하고 이로 인한 자신의 생각, 관념의 변화를 표현한다.

나. 분석 방법

이 연구에서는 시스템 사고 검사 도구를 분석하기 위하여 예비교사들이 작성한 검사지를 Sibley *et al.*(2007)에서 제시한 Box 인과 지도로 변환하여 활용하였다(Figure 2).

시스템 사고 검사 도구에서 정량화 되지 않은 데이터인 단어 간 연상, 개념도, 그림 그리기, 숨겨진 차원 파악하기, Iceberg 모델로부터 예비 교사들이 작성한 개념을 추출하여 Box형 인과 지도의 주요 개념으로 작성하였다. 그리고 개념들 사이의 인과 관계, 상호작용, 시간 지연 등 시스템의 동적 과정에 대한 내용은 Box의 연결관계에서 화살표와 과정을 서술하는 행태로 작성하였다. 또한 Iceberg 모델에서 작성된 BOTG 그래프와 Mental Model과 관련된 내용은 Box형 인과지도 옆에 제시하여 예비 교사들의 시스템 사고 분석을 용이하도록 자료를 변환하였다.

변환된 자료는 Hung(2008)이 개발하고 Lee & Lee(2017), Lee *et al.*(2018)에서 수정・보완하여 적용한 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 활용하여 루브릭의 8개 문항에 대하여 각각 점수를 부여하였다. 또한 시스템 사고 수준의 각 단계에 해당하는 정량적 점수를 부여하기 위하여 Hung(2008)의 루브릭 문항과 시스템 사고 수준의 연관성을 선행 연구로부터 조사하였다. 루브릭의 1번은 시스템을 표현하는 개념을 확인하는 문항으로 이는 STH모델의 분석 수준, 4단계 모델의 경우 1단계에 해당한다. 그리고 루브릭의 2번은 상호 관련성을 확인하는 문항으로 STH 모델의 종합(정의 2), 4단계 모델에서는 1단계에 해당한다.

루브릭의 선형성, 인과 관계, 피드백 과정에 대한 문항은 STH 모델에서 종합에 해당하는 정의3, 4, 5와 그 맥락을 같이 하는 것을 파악할 수 있다. 그리고 시스템의 메커니즘에 대한 설명, 맥락화, 동적 과정(시간 지연 포함)의 문항은 STH 모델의 실행에 해당하는 정의6, 7, 8과 맥락을 같이 한다. 이와 같은 방법으로 루브릭의 문항과 모델의 관련성을 확인한 결과는 Table 3과 같다.

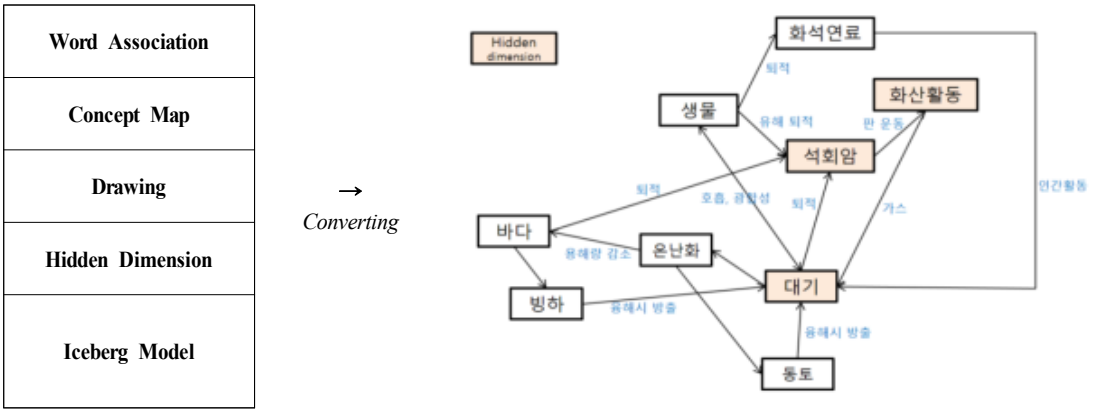

Figure 2. Example of Converting Box Diagram

Table 3. Rubrics of Evaluating systems thinking related Systems Thinking Level (Lee *et al*., 2018)

Items	STH	Sibley *et al*(2007).	1	2	3	4	5
Identification of representing system	Analysis (1)	Level 1	80% of the critical variables are unidentified		40% of the critical variables identified		All the critical variables are correctly identified
Interconnectivity	Synthesis (2)	Level 1	Most interconnections among the variables or concepts in the system are inaccurate		Some of interconnections among the variables or concepts in the system		The reasoning process and concept shows a accurate interconnections among the variables
Linearity	Synthesis (3)	Level 2	concept and reasoning process is highly linear		50% of the concept contains bi- or multiple directional		concept contains mostly bi- or multiple directional causal relationships
Cause-effect relations (causal-loop)	Synthesis (4)	Level 2	No/poor cause-effect relationships		50% of the cause-effect relationships		All the cause-effect relationships are identified and accurately
Feedback Processes (reinforce or balance)	Synthesis (5)	Level 3	Most of the feedback loop of the system are inaccurately		50% of the feedback loop of the system are inaccurately		Feedback loop processes of the system are accurately
Explanatory knowledge	Implementation (6)	Level 4	concept does not explain the nature of the part of the system		concept explain partially the nature of the part of the system		concept explain accurately the nature of the part of the system
Contextualization	Implementation (7)	Level 4	taking no context-specific consideration		taking some context-specific considerations		taking full context-specific consideration
Dynamics Processes	Implementation (8)	Level 4	View the whole system as static, No consider time delay		View the whole system as partially static, Partial consider time delay		View the whole system as dynamic entity, Consider time delay

루브릭에 의한 점수 부여는 Lee *et al*.(2018)에서 제시한 기준을 따랐으며 과학교육 전문가 1인과 연구자가 각각 점수를 부여하였다. 그리고 연구 세미나 과정에서 루브릭 문항과 시스템 사고 수준의 연관성에 대한 내용과 두 연구자가 부여한 점수의 차이 등에 대한 논의를 거친 뒤 시스템 사고 수준의 위계에 따른 최종 점수를 부여하였다.

루브릭에 의해 부여된 점수를 이용하여 예비교사들의 시스템 사고 수준에 대한 타당도 검증을 다음과 같이 실시하였다. 첫째, 시스템 사고 측정 도구와 루브릭 결과 사이의 상관관계를 SPSS 23.0을 이용하여 분석하였다. Lee & Lee(2017)에서 고등학생들의 루브릭에 의한 점수와 시스템 사고 측정 도구 사이의 상관이 .856 (p < .05)에서 유의미한 결과가 나타났다. 그러므로 이 연구에서도 예비교사들의 시스템 사고 측정 도구의 결과와 루브릭에 의한 점수 사이에 유의미한 상관이 나타날 경우 루브릭에 의한 채점 결과가 타당하다는 것을 정량적으로 지지할 수 있다.

둘째, 시스템 사고의 하위 수준에 해당하는 점수와 시스템 사고의 상위 수준에 해당하는 점수 사이에 Pearson 적률상관계수를 활용한 상관분석을 실시하였다. 상관분석은 척도와 척도 사이 또는 요인과 요인 사이에 정적 및 부적 상관을 통해 타당도를 검증하는 통계적 방법 중 하나이다(Davis & Stroink, 2016; Groves & Vance, 2015). 예비교사들이 높은 수준의 시스템 사고를 수행한다고 가정할 경우, 낮은 수준의 시스템 사고를 측정하는 문항에서 높은 수준의 시스템 사고 측정 문항으로 갈수록 점차 점수가 낮아질 것으로 예측된다. 연구에 참여한 예비 교사들이 이러한 점수 경향을 보여 주는지 보여주는지를 상관관계 분석을 통해 정량적으로 확인할 수 있고, 유의미한 상관관계가 나타날 경우 시스템 사고 수준의 타당도를 정량적으로 검증하는 근거로 제시할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 분석에 활용하는 두 변수가 양적 변수이므로 Pearson 적률상관계수를 활용하여 상관분석을 실시하여 두 변수 사이의 관련성을 분석하였다.

셋째, Box형 인과 지도로 변환한 예비 교사들의 시스템 사고를 각 수준별로 질적 분석을 실시하였다. 질적 분석은 시스템 사고 수준의 각 단계별로 정리하였으며 질적 분석 결과와 정량적 분석 결과의 경향이 일치하는지 연구자와 교과교육 전문가 1인이 각각 결과에 대해 개별적으로 판단을 내렸다. 다음으로 연구 세미나를 통해 결과를 논의하고 합의를 도출하였으며 시스템 사고 수준의 타당도 및 신뢰도를 확인하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 예비교사들의 시스템 사고 측정 도구와 시스템 사고 측정을 위한 루브릭 점수의 상관관계

예비 교사들의 시스템 사고 측정 도구와 루브릭에 의한 채점 결과

Table 4. Correlation result between rubric and systems thinking scale

	A	B	C	D	E	F	G	H	Mean	SD.	Correlation
Rubric	26	27	26	25	24	31	30	34	27.87	3.44	.762*
Systems Thinking Scale	72	77	67	64	63	69	76	82	71.25	6.71	

* p < .05

의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다.

이 연구에서 예비교사들의 시스템 사고 측정 도구의 점수는 평균(표준편차)이 71.25(6.71)로 나타났으며 Box형 인과 지도로 변환한 시스템 사고 검사 결과를 루브릭으로 채점한 결과의 평균(표준편차)은 27.87(3.44)이었다. 두 결과 사이의 상관은 .762($p < .05$)로 높은 상관관계가 나타났다. 즉, 정량적 도구인 시스템 사고 측정 도구에서 높은 점수를 보여준 예비교사가 정성적 도구인 시스템 사고 검사 도구에서도 탄소 순환에 대한 시스템 사고를 더 잘 나타냈다고 볼 수 있다.

2. 예비교사들의 STH 모델 또는 4단계 모델에서 위계 간 상관 분석 결과

이 연구에서는 교육 또는 과학 교육 분야에 시스템 사고를 적용한 연구에서 주로 인용되고 있는 STH 모델과 Sibley *et al*.(2007)이 제시한 4 단계 모델을 시스템 사고 수준의 타당도 검증 모델로 선정하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 등을 포함하는 STC 모델이나 비계층적 모델의 경우도 시스템 사고를 교육에 적용하는 부분에서 많은 시사점을 제공하고 있다. 그러나 선정된 두 모델은 교육에서 필요로 시스템 사고 요소인 시스템을 구성하는 요소의 나열, 요소와 요소 사이의 상호작용의 이해, 상호작용을 통한 피드백의 이해, 숨겨진 차원에 대한 이해와 시스템 내의 동적 과정에 대한 이해를 포함하고 있다. 또한 각 시스템 사고 요소에 대한 계층화에서도 유사한 부분이 많다는 근거를 바탕으로 두 모델에서 제시한 위계 간 상관관계를 Table 3에서 분류한 문항으로 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

루브릭의 문항과 시스템 사고 수준에 대한 문항의 관계를 Table 3에 제시하였다. 각 모델에서 제시한 수준의 정의와 루브릭에서 제시한 정의를 근거로 문항 간 관계를 살펴보았으며 STH 모델의 경우 분석 단계에는 루브릭의 1번 문항, 종합 단계에는 루브릭의 (2, 3, 4, 5)문항, 실행 단계에서는 루브릭의 (6, 7, 8)번 문항이 해당하는 것으로 제시하였다. 그리고 4단계 모델의 경우 수준 1에는 루브릭의 (1, 2)문항, 수준 2에는 루브릭의 (3, 4)문항, 수준 3에는 루브릭의 5번 문항, 수준 4에는 루브릭의 (6, 7, 8)문항이 해당하는 것으로 제시하였다.

연구자와 과학교육 전문가 1인이 각각 루브릭의 문항에 대하여 채점을 진행한 후 연구 세미나를 통해 최종 점수를 부여하였으며 그 결과는 Table 5에서 제시하였다. 그리고 STH 모델과 4 단계 모델의 각 수준의 점수에 대하여 상관 분석을 실시하였다(Table 6). STH 모델의 상관관계를 분석한 결과 분석과 종합은 .791($p < .05$), 종합과 실행은 .722($p < .05$)로 유의미한 높은 상관을 보여 주었다. 분석과 실행은 .274로 상관이 낮았지만 두 수준은 계층적 모델로 보았을 때, 한 단계 떨어진 수준이므로 상관이 낮은 것으로 판단된다.

Sibley *et al*.(2007)에서 제시한 4단계 모델로 분석한 결과는 각 수준 사이에 상관이 .381～.730까지 상관을 보여주었다. 특히 Level 1의 문항과 Level 2는 .730($p < .05$), Level 3과 Level 4는 .715($p < .05$)로 매우 높은 상관을 보여주었다. Level 2와 Level 3에서 비록 .381의 상관이 나타났지만 이는 상관이 있다고 해석할 수 있는 값이다. 또한 이 연구에서 활용한 루브릭에서 Level 3에 해당하는 문항 수가 하나인 것도 정량적 분석 결과에 영향을 미칠 수 있기 때문에 이는 추후 시스템 사고 수준을 측정하는 문항 개발에서 고려되어야 할 사항으로 볼 수 있다. 따라서 4단계 모델은 STH 모델에 비하여 제시된 조작적 정의는 4개가 부족하지만 시스템 사고 수준의 각 단계에 대한 정의는 명확하게 제시되어 있으며 시스템 사고 수준을 제시한 다른 선행 연구에서와 같이 과학교육에서 포함되어야 할 필수적인

Table 5. Descriptive Result of Systems Thinking Level

	Items of Rubrics								STH			4-Level			
	1	2	3	4	5	6	7	8	Analysis	Synthesis	Implementation	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
A	4	4	2	3	3	4	3	3	4.00	3.00	3.33	4.00	2.50	3.00	3.33
B	5	5	3	3	3	3	3	2	5.00	3.50	2.67	5.00	3.00	3.00	2.67
C	5	5	2	4	2	3	3	2	5.00	3.25	2.67	5.00	3.00	2.00	2.67
D	4	4	3	3	2	3	3	3	4.00	3.00	3.00	4.00	3.00	2.00	3.00
E	4	4	2	3	3	3	3	2	4.00	3.00	2.67	4.00	2.50	3.00	2.67
F	5	5	3	4	3	3	4	4	5.00	3.75	3.67	5.00	3.50	3.00	3.67
G	5	5	2	4	4	3	4	3	5.00	3.75	3.33	5.00	3.00	4.00	3.33
H	5	5	3	4	5	4	4	4	5.00	4.25	4.00	5.00	3.50	5.00	4.00

Table 6. Correlation result among Systems Thinking Level

		1	2	3	4	5	6	7
STH	Analysis	1						
	Synthesis	.791*	1					
	Implementation	.274	.722*	1				
4-Step	Level 1				1			
	Level 2				.730*	1		
	Level 3				.383	.381	1	
	Level 4				.274	.625	.715*	1

* $p < .05$

요소들은 모두 반영되어 있으며 각 수준은 적절한 계층을 구성하고 있다고 볼 수 있다.

즉, 두 모델 모두 시스템의 요소를 고려하는 능력을 살펴보는 하위 단계에서부터 시스템 내의 상호 과정과 인과 관계, 순환적 관계를 살펴보는 종합 단계, 시스템의 숨겨진 차원이나 시간 지연 효과까지 살펴보는 상위 단계까지 시스템 사고 수준에 포함되어 있으며 예비 교사들의 시스템 사고 분석으로부터 하위 단계에서 상위 단계로 갈수록 점차 낮은 점수가 나오는 것으로부터 시스템 사고의 계층적 모델의 타당도를 확인할 수 있다. 게다가 각 계층 간 상관이 Pearson 적률 상관 계수가 .381~.791($p < .05$) 까지 유의미한 정량적 결과가 나타난 것도 이에 대한 타당성을 뒷받침하는 근거가 될 수 있다.

3. 예비교사들의 시스템 사고 분석

최근 학생들의 개념 발달 단계와 수준을 정량적으로 검증하는 학습 발달과정 연구로부터 학습자들의 개념 발달 수준의 단계를 나누어 놓은 결과를 살펴보면 주로 4~5단계의 수준을 제시한다(Breslyn *et al.*, 2016; Mohan *et al.*, 2009; Plummer & Maynard, 2014). 시스템 사고의 경우 학습 개념의 발달 경로를 조사하는 연구 방법을 모두 적용하기에는 한계가 있지만 시스템 사고 수준의 단계나 수준에 대한 조작적 정의 제시, 분석 방법에서는 학습 발달과정의 연구 방법이나 연구의 결과를 인용할 수 있다. 시스템 사고 모델에서 수준 간의 상관관계에서는 3단계 모델이나 4단계 모델이 모두 정량적으로 유의미한 결과가 나타났다. 시스템 사고 수준에 대한 구체적 조작적 정의와 함께 학생들의 시스템 사고 수준을 측정하는 문항 구성 등을 위해서 4~5단계의 수준 제시가 적절할 것이라는 선행 연구의 결과를 바탕으로 예비 교사들의 데이터(Figure 3~Figure 10)에 대한 정성적 분석은 4단계 모델의 수준을 따라 진행하였다.

가. 시스템 내에서 물질 또는 요소들의 위치와 이동 - Level 1

시스템과 시스템을 구성하는 하위 요소들의 제시 및 이들 사이의 관계를 나타내는 것은 여러 선행 연구에서 시스템 사고 수준의 하위 단계에 포함되는 것으로 제시한다(Assaraf & Orion, 2005a, 2010;

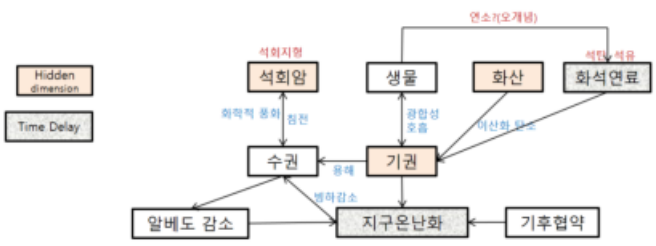

Figure 3. Box Diagram of Pre-service Teacher A

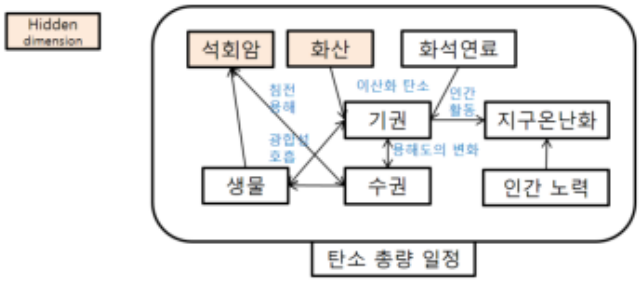

Figure 4. Box Diagram of Pre-service Teacher B

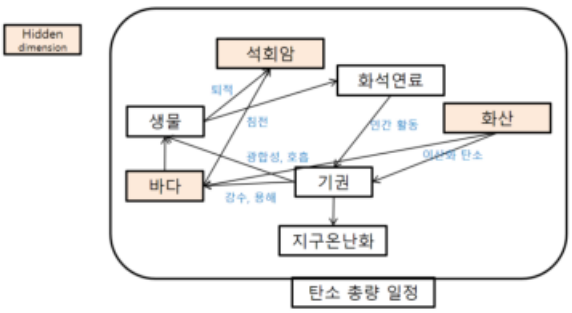

Figure 5. Box Diagram of Pre-service Teacher C

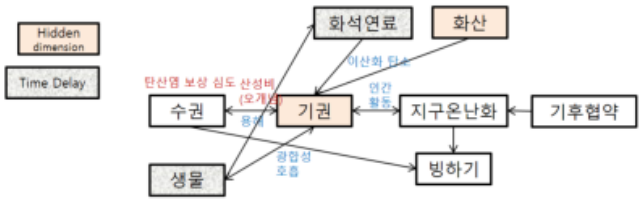

Figure 6. Box Diagram of Pre-service Teacher D

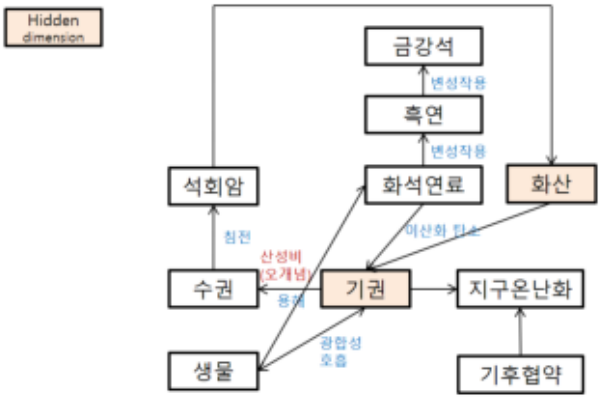

Figure 7. Box Diagram of Pre-service Teacher E

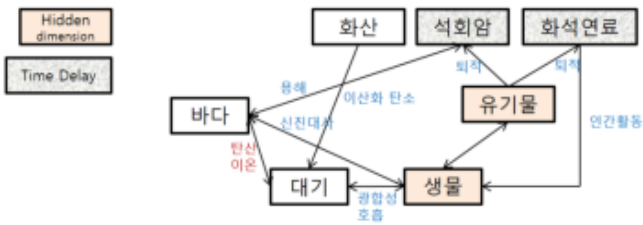

Figure 8. Box Diagram of Pre-service Teacher F

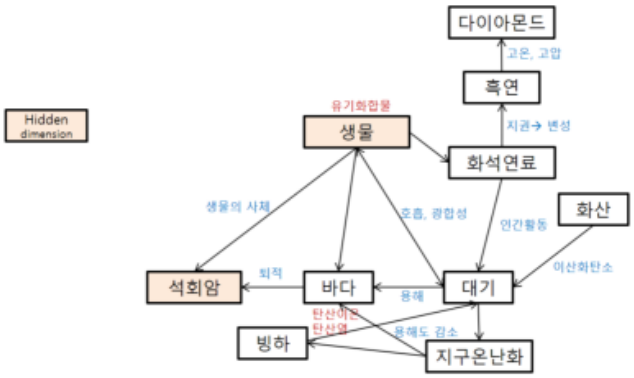

Figure 9. Box Diagram of Pre-service Teacher G

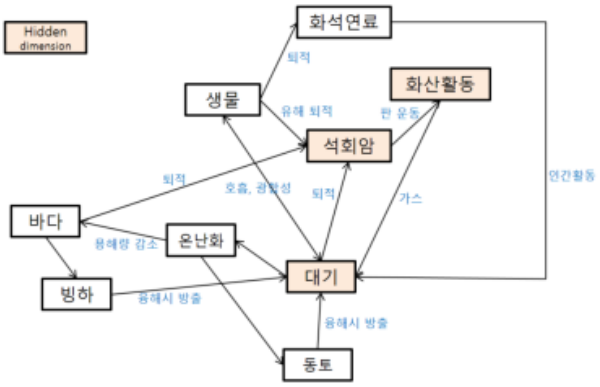

Figure 10. Box Diagram of Pre-service Teacher H

Davis & Stroink, 2016; Hung, 2008; Sibley *et al*., 2007). 이러한 개념들의 제시와 개념 간의 상관은 단어 간 상관, 개념도 등에서 파악할 수 있다. 이때, 연구 대상자들이 제시한 개념 수보다는 시스템을 구성하는 하위 시스템을 다양하게 고려하여 개념을 제시하고 있는지, 그리고 개념들 사이의 관계에 의미있는 연결이 나타나는지가 더 중요하다. 예비 교사들을 나타낸 시스템 사고를 살펴보면 이들은 지권, 수권, 기권, 생물권에 해당하는 개념들을 1개 이상 제시하고 있으며 제시한 개념의 수는 7~10개까지 제시하고 있다. 이러한 결과는 Moon *et al*.(2004)에서 예비 교사들을 대상으로 탄소 순환에 대한 인과지도를 분석한 연구 결과와 유사하다. 그리고 예비 교사들이 공통적으로 기권의 이산화탄소, 지권의 석회암, 화석연료, 화산 활동, 생물권의 동·식물, 수권의 바다·빙하 개념을 제시하였다. 그리고 8명의 연구 대상자 중 7명은 기후 변화와 관련된 지구 온난화 개념도 제시하였으며 2명의 예비교사는 지구 시스템 내의 탄소 총량이 일정하다는 개념을 같이 제시하고 있었다.

개념과 개념 사이의 연결 과정, 탄소가 이동하는 것을 표현에서는 예비교사들 대부분이 과학적으로 타당한 내용을 나타내었다. 기권에서 수권으로의 변화는 용해, 수권에서 지권으로 가는 과정에서는 퇴적, 기권과 생물권은 호흡과 광합성, 지권에서 기권은 화산활동에 의한 이산화탄소 방출, 화석 연료에서는 인간 활동, 지구 온난화에서는 수권의 온도 변화에 따른 용해도 감소 등을 공통적으로 제시하였다. 그리고 2명의 예비 교사들에게서는 지권의 탄소가 변성을 받을 경우 흑연이나 다이아몬드로 바뀌는 과정도 제시하였다. 예비 교사 D와 E에서는 기권에서 수권으로 가는 과정에서 산성비를 제시하였는데, 이 과정에서 단순히 이산화탄소가 빗물에 녹는 것으로 산성비가 유발된다는 것을 나타낸 것인가에 대하여 물어보았다. 두 예비 교사는 이 과정을 표현함에 있어서 화산활동과 관련지어 대기 중에 탄소와 관련된 많은 화합물이 기권으로 유입될 경우 산성비가 내리는 것으로 응답하여 오개념을 제시한 것은 아닌 것으로 판단되었다. 예비 교사 A는 생물권에서 화석연료를 연소로 연결하였는데 이 과정은 예비 교사가 시스템 사고 검사 도구를 작성하는 과정에서 두 하위 시스템의 상호과정을 혼동하여 제시한 것으로 파악되었다.

Lee *et al*.(2013)의 연구에서는 고등학생들의 경우 탄소 순환에서 지구계의 모든 하위 요소에 대한 개념을 제시하지 못하였다. 또한 비과학적인 개념과 연결 과정에서도 비과학적 연결을 보여주는 결과가 나타났다. 그러나 예비 교사들의 경우 제시한 개념들과 개념들 사이의 관계 대부분이 과학적으로 타당하였으며 지구 시스템의 모든 하위 요소를 다양한 관점에서 제시하고 있었다. 즉, 시스템 사고 수준에서 하위 단계에 해당하는 시스템 내의 물질 또는 요소들의 위치와 과정에서는 정성적 분석 결과와 루브릭의 채점 결과 사이에 높은 정적 상관이 있다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 시스템 사고의 상위 수준에 해당하는 것으로 예측되는 예비 교사들은 시스템 사고 수준의 하위 단계에서는 모두 높은 사고 수행 능력을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

나. 물질과 과정의 조직(인과 관계, 상호 작용) - Level 2

두 번째 단계는 시스템 내 물질과 과정의 조직이며 이는 개념과 개념 사이에 과정을 과학적으로 타당한 인과 관계와 상호작용으로 나타낼 수 있는 수준으로 제시된다. 특히, 인과 관계와 상호 작용을 제시함에 있어 다음 단계에 해당하는 순환보다 낮은 단계로 고려되는 것이 선형성이다. 선형성은 개념과 개념 사이의 연결 과정(→)을 1개 이상으로 제시하여 다양한 하위 요소 사이의 상호 작용을 표시할 수 있는지를 살펴보는 것으로 비선형성이 강할수록 높은 수준의 시스템 사고를 하는 것으로 볼 수 있다. 그리고 이는 순환적 과정을 표현하기 위한 전 단계로 볼 수 있으며 이러한 비선형이 강할 경우 다양한 순환적 고리를 나타낸다(Groves & Vance, 2015; Hung, 2008).

예비 교사들의 선형성은 제시한 개념에 대하여 연결 고리가 2개 이상인 개념에 대한 비로 선형성을 분석하였다. 예비 교사들 대부분은 하나의 개념에서 두 개 이상의 개념으로 연결되는 과정을 2~3개 정도 제시하였다. 다만 선형성의 분석 값이 낮은 것은 제시된 전체 개념의 수가 상대적으로 많기 때문인데 이는 예비 교사가 나타내는 시스템 내에서 선형성이 상대적으로 강하게 나타나는가를 판단하는 것이다. 예비 교사들이 대부분 2~3개 이상의 과정으로 연결한 개념은 생물권으로 기권에서의 호흡과 광합성, 지권으로의 화석 연료, 수권과의 상호 작용이다. 그리고 예비 교사들 대부분이 탄소 순환의 첫 시작을 이산화탄소로 제시하는 경향이 있었으며 기권에서부터 시작되는 연결이 2~3개로 제시되는 경우가 다음 순으로 제시되었다.

또한 이러한 상호 관련성을 표현한 과정의 인과 관계가 화살표 아래에 광합성 또는 호흡, 퇴적, 용해량 감소 등으로 제시하고 있다. 예비 교사들이 제시한 인과 관계는 대부분 과학적으로 나타낸 것으로 '대기의 탄소가 수권에 **용해되고**, **퇴적 과정**을 거쳐 석회암으로 형성되며 **판 운동**을 통해 화산 활동을 일으킬 수 있으며 이때 다시 기권으로 **이산화탄소가 방출**된다.' 와 같이 용해, 퇴적, 판 운동, 이산화탄소

방출 등과 같은 과정을 원인과 결과 사이에 나타나는 현상으로 제시하고 있다. 다만, 인과 관계 사이의 숨겨진 부분(탄산염의 형성, 용해량과의 관계 등)에 대한 표현 등 2단계 보다 상위 수준에 속하는 요소가 포함된 과정의 경우 예비 교사 D와 H의 경우 일부 제시하고 있으나 다른 예비 교사들의 시스템 사고에서는 나타나지 않았다.

다. 시스템 내의 순환적 과정의 이해 - Level 3

시스템을 표현한 개념과 개념을 연결한 과정이 타당한 인과 관계를 가지고 있고 과정의 연결 고리가 다시 시작된 개념 또는 하위 시스템으로 연결되면 하위 시스템은 다른 하위 요소와의 상호작용으로 변화하는데 이를 피드백이라 정의한다. 이러한 피드백을 통해 연결된 순환 내의 변화가 지속적으로 증폭되거나 감소할 경우 강화적 피드백, 순환 내의 변화가 감소하는 방향으로 나타날 경우 균형적 피드백이라 한다. 이러한 피드백을 이해하는 것은 시스템 내의 개념들 사이의 인과 관계를 명확하게 인지하고 있을 경우 가능하며 이를 통해 인과 관계, 상호작용보다 상위의 시스템 사고 수준으로 볼 수 있다(Dorani *et al*., 2015; Dori *et al*., 2003; Nguyen *et al*., 2011, 2012; O'Connor & McDermmot, 1997).

예비 교사들의 경우 기권, 수권, 지권, 생물권 중 3개 권 이상에 대하여 인과 관계를 통해 상호 작용을 표현하고 있으며 나아가 이러한 과정에 대하여 피드백을 나타내고 있다. 또한 이러한 피드백 과정에 대하여 Iceberg 모델의 BOTG 그래프를 활용하여 강화적 또는 균형적으로 피드백이 나타나는 것을 표현하였다. 예비교사 H의 경우 지권, 기권, 수권, 생물권에서 탄소의 경우 모두 균형적 피드백의 결과로 표현하였는데 이에 대하여 '지구에 존재하는 탄소의 총량은 일정하기 때문에 어느 한 하위계에서 지속적으로 늘어나거나 줄어들지 않을 것'이라 하였다. 즉, 시스템 사고 수준의 Level 4에서 나타날 요소인 지구 시스템 내에서 나타나는 단기적인 변화 뿐만 아니라 장기적인 시간 지연 부분도 고려하는 것으로 보인다(Benson & Marlin, 2017). 이 외에도 예비 교사들은 기권의 이산화탄소를 중심으로 수권(바다) → 생물권 → 지권(화석 연료) → 기권(이산화탄소, 인간 활동)의 영향을 고려한 피드백을 주로 제시하고 있다.

Lee *et al*.(2011)이나 Lee *et al*.(2013)에서 고등학생들의 경우 순환의 개념을 표현할 때 연구 대상자 중 지구 시스템 내에서 3개 이상의 하위 시스템 사이의 피드백 사고를 보여주는 학생들은 1~2명으로 적다는 결과와 비교해 볼 때, 예비 교사들은 상대적으로 Level 3에 해당하는 시스템 내의 순환적 사고를 할 수 있음을 알 수 있다. 또한 순환적 사고 단계까지 제시하는 과정에서도 탄소 순환에 대한 과학 개념을 상당한 수준으로 가지고 있으며 나아가 이들 사이에 인과 관계를 과학적인 근거를 토대로 제시하고 있다.

라. 시스템의 숨겨진 차원 인식(시스템 내에 숨겨져 있거나 명백하지 않은 부분에 대한 고려) - Level 4

여러 연구에서 제시된 이론적 근거를 토대로 시스템을 파악할 때 드러나지 않은 차원에 대한 이해는 높은 수준의 시스템 사고를 수행하고 있다는 것으로 볼 수 있다(Assaraf & Orion, 2005a, 2010; Benson & Marlin, 2017; Bosch *et al*., 2013; Kali *et al*., 2013; Kim, 1999, 2005; Nguyen *et al*., 2011, 2012; O'Connor & McDermmot, 1997; Senge, 2012). 시스템 사고 능력의 필요성으로 시뮬레이션 모델의 설정과 실행, 정책(가설)의 검증까지 컴퓨터 모델링을 이용한 시스템 사고를 수행하는 단계까지 고려하지 않을 경우 시스템의 동적인 과정에 대한 이해와 함께 숨겨진 차원(시간 지연 포함)을 고려하는 것이 가장 상위 단계로 간주된다. 이러한 관점은 STH 모델이나 4단계 모델에서 공통적으로 제시하고 있으며 예비 교사들의 시스템 사고 분석에서도 근거를 찾을 수 있다(Assaraf & Orion, 2005a, 2010; Benson & Marlin, 2017; Sweeney & Sterman, 2000).

예비 교사들은 시스템 사고 도구 중 '숨겨진 차원 파악하기'에서 탄소 순환과 관련하여 2~5개의 숨겨진 차원에 대한 개념을 제시하였다. 개념들은 주로 기권의 이산화탄소, 수권 내에서 형성되고 있는 석회암, 지권 내에 형성된 화석 연료를 주로 제시하고 있으며 유기화합물이라는 표현으로 생물권도 제시하였다. 예비 교사 D, F, G는 수권에서 석회암 생성과 관련하여 탄산염, 탄산 이온을 제시하였고 화산에서 대기로의 탄소 이동에서도 이산화탄소만 제시하지 않고 대부분 인간 활동과 관련된 과정을 제시하였다. 예비 교사들은 사범교육을 받기 때문에 고등학생들보다는 더 과학적인 개념을 가지고 있을 수 있지만 개념들 사이의 통합적인 사고를 수행하는 것은 높은 시스템 사고를 수행하고 있을 가능하다고 볼 수 있다(Kali *et al*., 2003; Lee *et al*., 2011; Moon *et al*., 2004).

그리고 개념 사이의 연결 과정 및 인과 관계에서 대부분은 동적인 과정(융해, 퇴적, 호흡, 광합성)을 제시한 것은 Level 1과 2에서 나타났으며 이를 토대로 시스템 전체를 동적인 과정으로 살펴보고 있다는 것에서 예비 교사들은 고등학생들 보다 높은 수준의 시스템 사고를 수행하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 동적인 과정에 포함된 시간 지연과 관련된 부분의 고려에서는 예비교사 F만 지구계의 탄소 순환에서 이동 속도는 모두 다르며 시간에 대한 효과도 고려해야 한다고 제시하였다. 면담 과정에서 시간 지연과 관련한 물음에서 대부분의 예비 교사들의 경우 바다에서 석회암이 형성되는 과정에서의 시간 규모처럼 탄소 순환이 물 순환과 달리 빠른 변화가 나타나지 않다는 것에는 모두 동의하였다. 하지만 이를 시스템 사고 검사 도구를 작성하는 동안에는 크게 고려하지 않았다고 하였다. 이를 토대로 보면 예비교사들은 시스템 사고 수준의 낮은 단계에서 요구되는 능력은 매우 우수하게 제시하였지만, 상위 단계로 갈수록 각 수준에서 요구하는 내용이 부족한 모습을 보여주었다. 이는 시스템 사고 수준의 4단계 분석에서도 나타났으며 이를 토대로 시스템 사고 수준의 4단계에 숨겨진 차원의 파악 및 동적 과정(시간 지연)이 포함되는 것은 정량적 분석 결과뿐만 아니라 정성적 분석 결과에서도 흐름을 같이 한다.

Ⅳ. 결론 및 제언

이 연구에서는 예비 교사 8명을 대상으로 시스템 사고 검사 도구를 활용하여 시스템 사고의 수준에 대한 타당도를 검증해 보았다. 이를 위하여 시스템 사고 수준 모델에 대한 이론적 근거로부터 STH 모델과 Sibley *et al*.(2007)이 제시한 4단계 모델을 타당도 검증을 위한 모델로 선정하였다. 그리고 시스템 사고 측정 도구, 루브릭을 활용한 시스템 사고 검사를 통해 시스템 사고의 계층화에 대한 타당도 검증을 위한 상관 분석을 실시하였으며 예비 교사들의 시스템 사고에 대

한 정성적 분석 결과와 정량적 분석 결과를 비교하여 시스템 사고 수준의 타당도에 대한 근거를 얻을 수 있었다. 이 연구의 결과를 토대로 도출한 결론과 제언은 다음과 같다.

첫째, 시스템 사고 수준의 타당도 검증을 위하여 먼저 측정 도구의 타당도를 확인하였다. 시스템 사고 수준의 정량적 분석을 위해서 예비 교사들이 작성한 시스템 사고 검사지의 내용을 분석에 적합하도록 Box형 인과 지도로 변환하였다. Box형 인과 지도는 국내외에서 학생들의 시스템 사고 분석에 활용되는 도구로 검증되었다(Lee *et al*., 2017; Sibley *et al*., 2007). 변환된 Box형 인과 지도는 Hung(2008)이 개발하고 국내에 Lee *et al*.(2018)이 수정・보완하여 적용한 시스템 사고 측정 루브릭을 활용하여 연구자와 과학교육 전문가 1인이 점수를 부여하였으며 그 결과 평균(표준편차)이 27.87(3.44)가 나왔다. 이 결과 값과 예비 교사들이 응답한 5-Likert 척도인 시스템 사고 측정 도구와의 상관관계를 분석한 결과 Pearson 적률 상관계수가 .762(p < .05)로 매우 높은 상관이 도출되었다. 즉, 예비 교사들이 자기 보고식으로 응답한 문항의 결과 값과 루브릭에 의해 부여된 점수 사이에 높은 상관관계가 있으며 이러한 결과는 Lee & Lee(2017)의 연구의 결과와도 일치한다. 즉, 연구자에 의해 부여된 루브릭의 점수는 다른 정량적 척도와 매우 높은 정적 상관을 나타내고 있으며 이에 의해 루브릭에 의해 부여된 점수의 타당도와 신뢰도가 높다고 볼 수 있다.

국내에서 학생들의 시스템 사고의 정도를 분석하거나 시스템 사고 향상을 위한 교육 프로그램의 실시 전 후 학생들의 변화를 살펴보는 연구가 Moon *et al*.(2004)이후로 활발하게 이루어지고 있다. 이때 시스템 사고 능력을 학생들이 제시하는 개념의 수 변화 또는 제시한 과정의 수 변화를 데이터로 하여 t-검증을 수행한 후 유의확률과 함께 해석하는 경우가 있다(Jeon & Lee, 2015; Kim *et al*., 2006; Song *et al*., 2015; Yun & Wee, 2016). 이 경우 학생들이 제시한 개념의 수가 서열 척도인지, 등간 척도인지에 대한 근거가 불분명다. 이 때, 등간 척도임을 증명하는 근거 없이 t-검증을 실시하면 통계의 기본 가정을 위배하는 오류를 범하게 된다. 그러나 Lee & Lee(2017)의 연구와 같이 루브릭을 활용할 경우 작성된 시스템 사고에 대하여 루브릭의 각 문항에 대한 등간 척도의 점수화가 가능하며, 이러한 점수를 활용할 경우 시스템 사고 분석에서 타당도 높은 정량적 결과를 도출할 수 있다.

둘째, STH 모델 또는 4단계 시스템 사고 수준 모델에서 각 수준의 위계에 따른 상관관계를 분석하였다. STH 모델의 각 위계에서 제시하고 있는 분석-종합-실행 단계, 4단계 시스템 사고 수준 모델에서 제시하는 각 Level에 해당하는 루브릭의 문항을 분류한 후, 각 수준에 대한 점수를 합산하고 그 평균값을 산출하였다. 그리고 STH 모델의 각 위계에 따른 상관을 분석한 결과 .791, .722로 유의확률 .05미만의 유의미한 상관관계가 도출되었다. 4단계 모델에 대해서도 상각 위계에 따른 상관을 분석한 결과 .381～.730까지 유의미한 상관관계가 도출되었다. 8명의 예비 교사들 모두 낮은 수준의 점수에서 높은 수준의 점수로 갈수록 대체로 낮은 점수가 도출되었으며 이러한 점수의 상관이 매우 높은 정적 상관을 보여주고 있다. 2003년 이후 국외에서는 시스템 사고 수준과 관련된 연구가 진행되고 있었으나 시스템 사고 수준을 이론적 근거에 의해서 제시한 후, 수준에 대한 구인 타당도나 준거 타당도 검증이 이루어지지 않았다. 그리고 연구 대상자들의 시스템 사고 수준을 판별할 때에는 학생들이 검사 도구에 응답한 점수의 분포로 분류하였다(Assaraf & Orion, 2005a, 2010). 그러나 2010년 이후 시스템 사고를 정량적으로 분석하고자 하는 국내외 연구들에서 시스템 사고 수준 분류에 대한 타당도와 신뢰도 검증의 문제를 제기하게 되었으며 정성적 분석 이외에도 정량적 분석 도구를 활용한 시스템 사고 수준의 검증에 대한 필요성이 제기되었다(Dorani *et al*., 2015; Davis & Stroink, 2016; Groves & Vance, 2015; Lee *et al*., 2013; Lee & Lee, 2017). 이 연구에서는 예비 교사들이 응답한 결과를 루브릭으로 정량화 할 수 있었으며, 계층적 모델의 이론적 근거를 토대로 상관분석을 실시하였으며 그 결과 시스템 사고 수준이 계층적으로 나타나는데 타당한 근거를 제시할 수 있다.

셋째, 최근 개념 발달 수준을 검증하는 연구들의 결과를 토대로 시스템 사고를 4개 수준으로 나눈 Sibley *et al*.(2007)모델을 토대로 예비 교사들의 시스템 사고 수준을 정성적으로 분석하였다. 그 결과 예비 교사들은 연구 문제에서 가정한 것과 같이 Level 1～4까지 높은 수준의 시스템 사고를 할 수 있음을 보여주었다. 예비 교사들의 시스템 사고를 살펴보면 계층적으로 나타나는 사고의 패턴을 분명하게 살펴볼 수 있다. Level 1의 경우 대부분의 예비 교사들이 루브릭에서 높은 점수를 받았으며 탄소 순환에 대하여 지구 시스템의 다양한 요소를 고려하고 연결되는 과정도 대부분 과학적으로 타당한 연결을 제시하였다. 그리고 Level 2～4로 갈수록 예비 교사들이 보여주는 시스템 사고는 그 단계에서 제시되어야 할 사고의 요소를 모두 반영하지 못하였으며 Level 4에서 시간 지연의 요소는 예비 교사 중 1명만 시스템 사고 검사 도구에 표현하였다.

다만, Assaraf & Orion(2005a)은 시스템 사고는 계층적 모델을 제시하면서 하위 단계를 성공적으로 수행할 수 있어야 상위 단계의 시스템 사고를 수행할 수 있다고 제시하였다. 그러나 이 연구 결과를 살펴보면 하위 단계에서 낮은 점수를 받더라도 상위 단계에서 보여주어야 할 시스템 사고 수준의 요소를 표현하는 경우(예: 예비 교사 F – 시간 지연)도 있음을 확인할 수 있다. 즉, 시스템 사고는 분명한 계층적인 요소가 존재하지만 더 나아가 시스템 사고의 수준은 연속적인 패턴으로 나타날 수 있다는 것으로 해석할 수 있으며 나아가 계층적인 부분과 함께 비계층적인 부분도 존재할 수 있다는 해석도 가능하다.

이 연구를 통해 얻을 수 있는 분명한 결론은 시스템 사고에도 개념 발달 수준과 같은 사고의 발달 수준이 나타난다는 것과 함께 적절한 분석 도구를 활용할 경우 이러한 수준의 검증이 가능하다는 것이다. 위 결론을 바탕으로 앞으로 진행될 연구에 대한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 시스템 사고 수준에 대한 조작적 정의를 통해 교육 또는 과학 교육에서 적용 가능한 시스템 사고 수준을 제시하고 이에 대한 타당도 검증이 이루어질 필요가 있다. 이미 국외에서는 STH 모델, STC 모델 등과 같은 시스템 사고 수준에 대한 모델을 다양한 관점에서 제시하고 있다. 그러나 위에서 언급하였듯이 이러한 모델들은 수준의 위계가 통계적으로 검증되지 않았거나 교육에 적용하기에는 컴퓨터 프로그램을 활용해야 하는 번거로움 등이 있다. 국내에서도 2015 개정 과학과 교육과정의 통합과학에 시스템적 요소가 도입되는 등 시스템 사고의 함양과 이와 관련된 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 이러한 연구들에서 학생들의 시스템 사고 수준을 나눌 수 있는 분석 도구는 연구의 결과 분석이나 해석에서 매우 유용하게 활용될 수 있다. 이 연구에서는 국외에서 제시된 STH 모델이나 4단계 모델을 근거로 시스템 사고 수준의 타당성을 검증한 것이다. 이에 국내 교육 및 과학

교육에서 적용 가능한 시스템 사고 수준에 대한 조작적 정의를 통해 시스템 사고 수준을 4~5단계로 재정립할 필요성이 있다. 그리고 각 수준에서 요구되는 시스템 사고의 요소나 능력을 정의하고 이러한 수준을 평가할 수 있는 문항이 개발되어야 한다. 또한 개발된 문항을 학생들에게 투입하여 Rasch 모델이나 다른 통계적인 기법을 통해 그 타당도를 검증해야할 것이다.

둘째, 수직, 수평적으로 더 다양한 연구 대상들 표집하여 시스템 사고의 수준에 대한 타당도를 검증할 필요가 있다. 현재까지 시스템 사고를 분석하는 연구들을 살펴보면 질적 분석을 기반으로 한 연구에서는 주로 연구 대상이 10미만이었으며(Kang *et al*., 2008; Lee *et al*., 2011; Lee *et al*., 2013; Moon *et al*., 2004), 시스템 사고 향상을 위한 교육 프로그램 적용 연구에서도 그 대상이 100명이 넘지 않았다. 이와 같은 경우 연구 표집 대상이 적어 연구의 결과를 일반화하는데 어려움이 제기된다. 이 연구에서도 예비 교사들이 8명이 참여하여 연구의 결과를 도출하였으며 선행 연구와의 비교를 통해 연구의 타당도를 검증하기는 하였으나 연구 결과를 일반화하는 것에는 여전히 어려움이 있다.

앞으로 시스템 사고 수준의 타당도 검증이 지속적으로 연구되어 진다면 학년별로 더 다양한 집단과 수평적으로 많은 연구 대상자들이 연구에 참여해야 정량적으로도 타당한 결과가 도출될 것이다. 그리고 이러한 타당도는 최소한 2회 이상 검증을 거치는 절차가 필요하고 나아가 다른 척도나 분석 도구와의 상관관계를 통해 준거 타당도가 확보되어야 할 필요가 있다.

국문요약

이 연구의 목적은 예비 교사들을 대상으로 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 활용하여 지구 시스템 내에서 나타나는 탄소 순환에 대한 시스템 사고 수준을 분석하는 것이다. 이를 위하여 문헌 분석을 통해 교육 또는 과학 교육에 적용 가능한 시스템 사고 수준 모델을 선정하였다. 그리고 Lee *et al*.(2013)이 개발한 5-Likert 시스템 사고 측정 도구, Assaraf & Orion이 개발하고 국내에서 수정・보완하여 활용하고 있는 시스템 사고 검사지를 이용하여 8명의 예비 교사들로부터 시스템 사고를 조사하였다. 예비 교사들이 작성한 시스템 사고 검사지는 Sibley *et al*.(2007)에서 활용한 Box형 인과 지도로 변환하고 Hung(2008)이 개발하고 Lee & Lee(2017)에서 수정하여 적용한 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 활용하여 연구자와 과학 교육전문가 1인이 분석하였다. 그리고 루브릭을 통해 정량적 데이터로 변환된 자료를 이용하여 시스템 사고 측정 도구와의 상관관계, 그리고 시스템 사고 수준의 위계에 따른 상관관계 분석을 실시하여 시스템 사고 수준의 타당도를 정량적으로 분석하였으며 Box형 인과지도에 대한 정성적 분석 결과와의 일치성 여부를 분석하여 타당도를 검증하였다. 연구 결과, 5-Likert 시스템 사고 측정 도구와 루브릭 점수와의 상관은 Pearson 상관계수가 .762($p < .05$)로 높은 상관이 나타났다. 그리고 시스템 사고 수준의 각 위계별 상관관계에서는 STH 모델에서 Pearson 상관계수가 .722와 .791로, 4단계 모델에서는 .381~.730으로 각 위계별로 매우 높은 정적 상관이 나타났다. 이러한 결과와 정성적 분석을 비교해본 결과 예비 교사들은 시스템 사고의 하위 단계에 포함되어야 할 요소들을 매우 과학적으로 타당하게 잘 제시하였으며 상위 단계로 갈수록 그 단계에 포함될 요소들이 감소하는 경향을 보여주었다. 결론적으로 시스템 사고의 수준은 계층적인 부분이 분명히 존재하고 있음을 연구의 결과로 도출할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 우리나라 과학 교육에 적용 가능한 시스템 사고 수준 모델의 개발과 함께 시스템 사고 수준을 측정할 수 있는 문항 개발 및 타당화가 이루어져야 할 것이다.

주요어 : 시스템 사고, 시스템 사고 수준, 탄소 순환, 지구 시스템

References

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

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005b). A Study of Junior High Students' Perceptions of the water cycle. Journal of Geoscience Education, 53(4), 366-373.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2009). A Design Based Research of an Earth Systems Based Environmental Curriculum. Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education, 5(1), 47-62.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2010). Four Case Studies, Six Years Later: Developing System Thinking Skills in Junior High School and Sustaining Them over Time. Journal of Research in Science Teaching, 47(10), 1253-1280.

Benson, T., & Marlin, S. (2017). The Habit-Forming Guide to Becoming a Systems Thinker. Pittsburgh, USA: Systems Thinking Group, Inc.

Bosch, O. J., Nguyen, N. C., Maeno, T., & Yasui, T. (2013). Managing complex issues through evolutionary learning laboratories. Systems Research and Behavioral Science, 30(2), 116-135.

Breslyn, W., McGinnis, R., McDonald, R., & Hestness, E. (2016). Developing a learning progression for sea level rise: A major impact of climate change. Journal of Research In Science Teaching, 53(10), 1471-1499.

Cho, O., & Hwang, K. (2016). The Effects of Simulation-based Education on Nursing Students' Presence in Education, Systems Thinking and Proactivity in Problem Solving. Journal of Korean Academic Society of Home Health Care Nursing, 23(2), 147-154.

Davis A., & Stroink, M. (2016). The Relationship between Systems Thinking and the New Ecological Paradigm. Systems Research and Behavioral Science, 33, 575-586.

Dorani, K., Mortazavi, A., Dehdarian, A., Mahmoudi, H., Khandan, M., & Mashayekhi, A. N. (2015). Developing Question Sets to Assess Systems Thinking Skills. Paper presented at the International Conference of the System Dynamics Society, Cambridge, Massachusetts, USA.

Dori, Y. J., Tal, R. T., & Tsaushu, M. (2003). Teaching biotechnology through case studies - Can we improve higher order thinking skills of nonscience majors? Science Education, 87(6), 767-793. doi:10.1002/sce.10081.

Groves, K. S., & Vance, C. M. (2015). Linear and Nonlinear Thinking: A Multidimensional Model and Measure. The Journal of Creative Behavior, 49(2), 111-136. doi:10.1002/jocb.60.

Gudovitch, Y. (1997). The global Carbon cycle as a model for teaching 'earth systems' in high school: Development, implementation, and evaluation. Unpublished master's thesis, the Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel [in Hebrew].

Hung, W. (2008). Enhancing systems thinking skills with modelling. British Journal of Educational Technology, 39(6), 1099-1120.

Hwang, Y., Han, M., & Kim, H. (2016). Exploring Middle School Students' System Thinking revealed in Small Group Activity using Analogical Eye Models. Biology Education, 44(4), 749-762.

Im, Y. & Lee, H. (2014). Development and analysis of effects of writing educational program for improving system thinking ability. Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction, 14, 407-427.

Jeon, J. & Lee, H. (2015). The development and application of STEAM education program based on systems thinking for high school students. Journal of the Korean Association for Science Education, 35(6), 1007-1018.

Kali, Y., Orion, N., & Eylon, 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.

Kang, C., Lee, H., Yoon, I., & Kim, E. (2008). Analysis of conceptions related to Earth system and systems-thinking of high school student

about water cycle. Journal of Science Education, 32(1), 61-72.
Kim, D. (1999). Introduction to Systems Thinking. Sydney: Pegasus Communications.
Kim, D. (2005). Introspecsive reflection on applying systems thinking: Toward an incremental systems thinking. Journal of Institute of Governmental Studies, 11, 63-85.
Kim, D., Yi, M., Hong, Y., & Choi, A. (2006). Analysis of Thinking Expansion Effect as a Basis of Creativity through Systems Thinking Education. Korean System Dynamics Review, 7(1), 51-65.
Kim, M., & Kim, B. (2002). A Comparative Study of the Trends of Current Science Education and the System Thinking Paradigm. Journal of the Korean Association for Science Education, 22(1), 64-75.
Kwon, Y., Kim, W., Lee, H., Byun, J., & Lee, I. (2011). Analysis of Biology Teachers' Systems Thinking about Ecosystem. BIOLOGY EDUCATION, 39(4), 529-543.
Lee, D., Oh, E., Kim, H., & Jeong, J. (2013). Analysis of Carbon Cycle Concepts based on Earth Systems Perspective of High School Students. Journal of Science Education, 37(1), 157-169.
Lee, H. & Kim. S. (2009). The Recognition Characteristics of Science Gifted Students on the Earth System based on their Thinking Style. Journal of Science Education, 33(1), 12-30.
Lee, H. & Lee, H. (2013). Revalidation of measuring instrument systems thinking and comparison of systems thinking between science and general high school students. Journal of the Korean Association for Science Education, 33, 1237-1247.
Lee, H., & Lee, H. (2016). Effects of Systems Thinking on High School Students' Science Self-Efficacy. The Journal of The Korean Earth Science Society, 37(3), 133-145.
Lee, H., & Lee, H. (2017). Analysis and Effects of High School Students' Systems Thinking Using Iceberg(IB) Model. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(4), 611-624.
Lee, H., Jeon, J., & Lee, H. (2018). Development of Framework and Rubric for Measuring Students' Level of Systems Thinking. Journal of the Korean Association for Science Education, 38(3), 355-367.
Lee, H., Kim, T., & Lee, H. (2017). An Analysis of High School Student's Systems Thinking and Understanding of the Earth Systems through their Science Writing. The Journal of The Korean Earth Science Society, 38(1), 91-104.
Lee, H., Lee, Y., & Lee, H. (2014). Development and Application of s Rubric for Assessing Scientific Inquiry Process. Secondary Education Research, 65(1), 145-172.
Lee, H., Kwon, Y., Oh, H., & Lee, H. (2011). Development and application of the educational program to increase high school students' systems thinking skills: Focus on global warming. Journal of the Korean Earth Science Society, 32, 784-797.
Lee, H., Kwon, H., Park, K., & Lee, H. (2013). An instrument development and validation for measuring high school students' systems thinking. Journal of the Korean Association for Science Education, 33, 995-1006.
Lee, H. (2019). Validity Verification of Systems Thinking Measuring Instrument of Elementary School Students' and Middle School Students' : Using Item Response Analysis. Secondary Education Research, 67(2), 249-277.
Ministry of Education[MOE]. (2015). Science curriculum[no. 9]. Sejong: Author.
Mohan, L., Sharma, A., Jin, H., Cho, I., & Anderson, W. (2006). Developing a carbon cycling learning progression for K-12. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research on Science Teaching (San Francisco, CA).
Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 675-698.
Moon, B., Jeong, J., Kyung, J., Koh, Y., Youn, S., Kim, H., & Oh, K. (2004). Related conception s to earth system and applying of systems thinking about carbon cycle of the preservice teachers. Journal of the Korean Earth Science Society, 25, 684-696.
Moon, B., & Kim, H. (2007). A Study on the Abilities and Characteristics of the Systems Thinking for Pre-service Elementary Teachers. Korean System Dynamics Review, 8(2), 235-252.
Mayer, V.J. (1995). Using the Earth system for integrating the science curriculum, Science Education, 79, 375-391.
Nguyen, N., Bosch, O., & Maani, K. (2011). Creating 'Learning Laboratories' for Sustainable Development in Biosphere: A Systems Thinking Approach. Systems Research and Behavioral Science, 28, 51-62.
Nguyen, N., Graham, D., Ross, H., Maani, K., & Bosch, O. (2012). Educating Systems Thinking for Sustainability: Experience with a Developing Country. Systems Research and Behavioral Science, 29(1), 14-29.
O'Connor, J. & McDermmot, I. (1997). The art of systems thinking: Essential skills for creativity and problem solving. London, UK: Thorsons Publishers.
Oh, H., Lee, K., Park, Y., Maeng, S. & Lee, J. (2015). An Analysis of Systems Thinking Revealed in Middle School Astronomy Class: The Case of Science Teacher's Teaching Practices for the Unit of Stars and Universe. Journal of the Korean Earth Science Society, 36(6), 591-608.
Orion, N. (2002). An Earth Systems curriculum development model. In V.J. Mayer(Ed.), Global Science Literacy (pp.159-168). Kluwer Academic Publishers.
Park, B. & Lee, H. (2014). Development and application of systems thinking-based STEAM Education Program to improve secondary science gifted and talented students' systems thinking skill. Journal of Gifted/Talented Education, 24, 421-444.
Plummer, J., & Maynard, L. (2014). Building a learning progression for celestial motion: An exploration of students' reasoning about the Season. Journal of Research in Science Teaching, 51(7), 902-929.
Randle, J. M. (2014). The Systems Thinking Paradigm and Higher-Order Cognitive Processes. Unpublished master of degree thesis, Lakehead University, Thunder Bay, ON.
Richmond, B. (1993). Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. System Dynamics Review, 9, 113–133.
Senge, P. M. (1996). The fifth discipline: Fieldbook. New York: Broadway Business.
Senge, P. M. (2006). The fifth discipline : The art & practice of the learning organization. New York: Crown Business.
Senge, P. M. (2012). Schools that learn(Updated and Revised): A fifth discipline fieldbook for educators, parents, and everyone who cares about education. New York: Doubleday.
Sibley, D., Anderson, C., Heidemann, M., Merrill, J., Parker, J., & Szymanski, D. (2007). Box Diagrams to Assess Students' Systems thinking about the Rock, Water and Carbon Cycle. Journal of Geoscience Education, 55(2), 138-146.
Son, J., & Kim, J. (2016). Effects of 3-Steps Mind Map Activities on the System Thinking of Science Gifted Students: Focused on the Astronomy Contents. Journal of Gifted/Talented Education, 26(2), 257-280.
Song, J., Moon, B., & Kim, J. (2015). The Development and Application of the Teaching-Learning Program for Systems Thinking Learning in Elementary Science Classes. Journal of Korean Society of Earth Science Education, 8(3), 318-331.
Stave, K., & Hopper, M. (2007). What Constitutes Systems Thinking? A Proposed Taxonomy. Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society. Boston, MA, July 29-August 3, 2007.
Sweeney, L. & Sterman, D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. System Dynamics Review, 16, 4, 249–286.
Yun, T. & Wee, S. (2016). An analysis of system thinking using mind map in middle school student for the gifted and the general. Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction, 16(7), 79-95.

저자 정보

박경숙(경북대학교 연구원)
이현동(대구교육대학교 조교수)
이효녕(경북대학교 교수)
전재돈(경북대학교 연구원)