



학생들의 시스템 사고 수준 측정을 위한 Framework와 Rubric의 개발

이효녕¹, 전재돈¹, 이현동^{2*}

¹경북대학교, ²한국교육과정평가원

Development of Framework and Rubric for Measuring Students' Level of Systems Thinking

Hyonyong Lee¹, Jaedon Jeon¹, Hyundong Lee^{2*}

¹Kyungpook National University, ²Korea Institute for Curriculum and Evaluation

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 April 2018

Received in revised form

7 May 2018

12 May 2018

Accepted 16 May 2018

Keywords:

Systems Thinking, Level of Systems Thinking, Definition of Systems Thinking, Rubric of Systems Thinking Evaluation

ABSTRACT

The purposes of this study are 1) to identify systems thinking level and definition, 2) to develop a framework for the assessment of systems thinking level, and 3) to develop a rubric for scoring open-ended written responded test. In order to achieve these purposes, a total of 60 articles were analyzed by using the literature analysis framework. The systems thinking level and definition are identified through the results of systems thinking literature analysis. Based on the systems thinking level and definitions, the research derived a framework that includes the core ideas and evaluation content of each level. In addition, rubric for the scoring of open-ended response test items was revised and supplemented. It is concluded that a content validity test on the tools (systems thinking level and definition, framework for item development, rubric) has been developed in the study. The content validity was verified by 7-science education experts. According to the result of CVI, it was found to be more than .95 in all three tools. Based on the results of this study, the research will develop items that can measure students' level of systems thinking. The construct validity and criterion validity of the developed items should be verified systematically. The research could carry out a validation study for the systems thinking measurement related to the core competence emphasized in the 2015 revised curriculum.

1. 서론

Mayer(1995)는 과학교육이나 지구과학교육을 실시함에 있어서 시스템적인 접근이 중요하다고 강조하였다. 또한 시스템적인 접근은 이러한 분야의 교육과정을 통합하는 매우 중요한 플랫폼(Platform)이 될 수 있다(Orion, 2002). 이와 같이 시스템적인 접근이 학교 교육과 교육과정에서 강조되면서, 학습 내용을 직관적으로 이해하고 학습한 지식을 통합하기 위한 효율적인 전략인 시스템 사고에 대한 관심이 증가하고 다양한 연구가 체계적으로 수행되고 있다(Brooks, 2016). 시스템 사고(Systems thinking)는 시스템과 그 시스템을 구성하는 하위 요소들에 대한 인식, 시스템 내의 상호작용에 대한 인식, 시스템의 역동성과 시간에 따른 변화를 직관적으로 파악하고 나아가 앞으로 나타날 시스템의 변화를 성공적으로 예측할 수 있는 고등 사고 능력을 말한다. 이러한 시스템 사고는 경영, 사업, 정치 분야에서 의사 결정 및 합의 등 다양한 분야에서 적용되어 왔다(Jackson, 2003; Maani & Maharaj, 2004; Serman 2000; Walker *et al.*, 2009). 또한 매우 다양한 사회적 이슈에서 적절한 문제 해결 방법을 찾는 과정에 필요한 사고방식으로 제시되었으며 나아가 교육 분야에서도 학생들의 고등 사고 능력 향상 및 시스템적 학습 요소에 대한 정의적 가치 함양, 평가까지 그 분야가 확대되고 있다(Bosch *et al.*, 2013; Hung, 2008).

우리나라의 과학교육 분야에서도 시스템적 접근과 시스템 사고 능력 함양의 필요성이 2000년대 중, 후반부터 여러 연구에서 언급되기 시작했으며 최근 2015 개정 과학과 교육과정에도 시스템/시스템적 접근과 관련된 단원이 도입되면서 학생들의 시스템 사고의 함양에 대한 중요성과 필요성이 강조되고 있다(Im & Lee, 2014; Jeon & Lee, 2015; Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2017; Moon *et al.*, 2004; Park & Lee, 2014; Park *et al.*, 2018). 특히 2015 개정 과학과 교육과정에서 강조하는 핵심역량 중 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통능력 등은 학생들에게 과학적 개념을 학습하는 과정에서 주변 환경과의 상호작용을 강조하고 있으며 나아가 피드백 등을 통한 역량 증진을 강조하는데 이는 시스템 사고의 핵심 요소와도 관련된다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2009; Kang *et al.*, 2008; Kwon *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2017; MOE, 2015). 즉, 시스템 사고 능력을 향상하는 활동을 통해 학생들은 핵심 역량을 증진할 수 있을 뿐만 아니라 성공적인 학습을 경험할 수 있는 것이다. 예를 들어, Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005)과 Orion & Basis (2008)는 시스템 사고 향상과 성공적인 학습의 관련성에 대해 연구하였는데, 적절한 교육 프로그램을 활용하여 중학교 및 고등학교 학생들에게 시스템 사고를 향상시킬 수 있으며 나아가 시스템 사고 향상 프로그램을 통해 학생들의 추론 능력 향상 및 지식을 통합하는 능력이 향상될 수 있음을 제시하였다. 특히, 물 순환의 주제에서 중학교 학생들이

* 교신저자 : 이현동 (leehd@kice.re.kr)

** 본 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017S1A5A2A01026791)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.3.355>

지구 시스템과 자연 환경에 대한 직접적이고 구체적인 학습 및 탐구를 통해 지식 통합 활동으로서 단순한 물의 순환뿐만 아니라 순환 내에 숨겨진 차원까지 파악하는 능력이 향상됨을 보여주었다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005, 2010). 시스템 사고와 같은 고등 사고 능력은 학생들의 성공적인 학습 경험을 이끄는 중요한 역할을 하고 있다(Resnick & Resnick, 1992; Zeidler *et al.*, 1992; Zohar & Dori, 2003).

과거 시스템 사고에 대한 연구가 활발하지 않았을 때에는 시스템 사고가 지능과 같이 선천적인 능력일 수 있다고 가정하였고(Gudovich, 1997), 높은 성취를 보여주는 학생들의 경우에만 시스템 사고 향상이 가능하며 성취 수준이 낮은 학생들의 경우 고등 사고 능력이 향상될 가능성이 적다는 견해도 있었다(Raudenbush *et al.*, 1993). 그러나 시스템 사고와 유사한 고등 사고 능력에 대한 연구가 수행되면서, 성취 수준이 낮은 학생들의 경우 적절한 프로그램이 주어질 경우 성취 수준이 높은 학생들보다 더 높은 향상도를 보여주는 것으로 나타났다(Dori *et al.*, 2003). 예를 들어, 지식을 구성하는 요소 사이의 연결을 다루는 지식 통합 활동이나 교육 프로그램은 학습자가 시스템을 이해하기 위하여 기존에 알고 있던 지식과 새로운 지식을 통합하는 데 초점을 두고 있으며, 다양한 교육과정과 교육 환경에서 잘 적용될 수 있도록 고안되었다. 이러한 지식 통합 교육 프로그램을 통해 성취 수준이 낮은 학생들은 높은 성취 수준의 학생들보다 더 높은 향상도를 나타내었다(Dori *et al.*, 2003; Shear, 1998).

학생들이 현재의 인지적 수준보다 더 높은 인지적 수준의 학습을 수행하기 위해서는 고등 사고 능력이 필요하다(O'Connor, J. & McDermmot, I., 1997). 여러 고등 사고 능력 중에서도 시스템을 직관적으로 파악할 수 있고, 시스템의 전체와 전체를 구성하는 하위 요소 간의 상호작용을 인지할 수 있는 시스템 사고는 과학교육(예, 생명과학, 지구과학)에서 지속적으로 활용되고 있는 고등 사고 능력이다(Ison, 1999; Kali *et al.*, 2003; Senge, 2012). 과학과 관련된 주제에 대하여 체계적으로 이해하고 통합된 지식 체계를 스스로 구성하며 ‘시스템’적인 부분을 통합적으로 사고하는 능력은 시스템 사고 이론을 토대로 개발된 교육 프로그램을 통해 향상될 수 있음은 이미 여러 연구에서 언급되고 있다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2009, 2010; Hung, 2008; Senge, 2012). 그리고 다양한 연구에서 교육 프로그램에 대한 틀(Framework)은 지속적으로 수정·보완이 이루어지면서 완성도가 높아졌고 학생들의 시스템 사고를 살펴보는 다양한 질적·양적 도구들도 타당성이 검증되고 있다(Im & Lee, 2014; Jeon & Lee, 2015; Lee *et al.*, 2011; Moon *et al.*, 2004).

그러나 교육 프로그램의 완성도는 높아진 반면, 학생들의 시스템 사고 향상을 살펴보는 연구에서 제시하는 ‘시스템 사고 향상 정도에 대한 평가’는 아직 체계적으로 정립되어 있지 않다. 최근까지도 학생들의 시스템 사고 수준을 분류하는 체계로 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)이 제시한 ‘이해-종합-실행’ 3단계인 STH(Systems Thinking Hierarchical)가 자주 인용되고 있다. STH에서 제시한 3단계 수준은 시스템 사고 정의로부터 출발하여 연구 과정에서 연구자들이 내용 타당도 검증만 진행하여 구분한 단계로 확인되고 있으며 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2009)에서는 STH의 수준을 제시한 것이 아니라 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)에서 제시한 시스템 사고 8개의 정의 각각에 대하여 시스템 사고 수준을 제시하면서 수준에 대한

일관된 관점을 제시하지 않았다. 그리고 각각의 시스템 사고 수준을 판단하기 위해 활용한 도구로는 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)에서 제시한 설문지를 활용하였다. 최근 정량적 측정 도구에 대한 연구가 진행되면서 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)에서 제시한 GDN(Groundwater Dynamic Nature), CTQ(Cyclic Thinking Questionnaire), GMQ(Global Magnitude Questionnaire)의 설문지의 타당도에 대한 문제점이 제기되고 있다(Lee & Lee, 2017). 정량적인 데이터를 활용하기 위한 설문지가 타당도를 가지기 위해서는 내용 타당도 검증뿐만 아니라 검사지가 가지고 있는 내적 일관성인 구인 타당도, 외부 준거와의 비교를 통한 준거 타당도가 추가적으로 확보되어야 한다. 하지만 GDN, CTQ, GMQ 설문지들은 내용 타당도만 검증된 후 지속적으로 활용되고 있어 추후 진행된 연구 결과의 해석에도 문제점이 제기된다.

이와 더불어 시스템 사고 수준을 알아보기 위한 설문지의 타당도가 확보되었다고 하더라도, ‘시스템 사고 수준’이 어떻게 정의되었고, 어떤 근거에 의해 수준이 분류되었는지 통계적인 근거와 함께 제시되지 않았다는 것도 문제점으로 지적되고 있다. 최근 국내외에서 활발하게 연구되고 있는 학습발달과정에서는 학생들이 개념을 이해하고 사용하는 능력, 과학적 탐구를 수행하는 능력이 점차 정교해지는 과정에 대한 발달 경로를 다루고 있으며 이는 동일한 개념에 대하여 학생의 발달과 함께 어떻게 변화해 나가는지에 대하여 경험적 근거와 통계적 근거를 함께 제시하고 있다(Breslyn *et al.*, 2016; Mohan *et al.*, 2006; Mohan *et al.*, 2009; Plummer & Maynard, 2014). 시스템 사고에서도 인지적인 영역에서 학생들이 성장해 나감에 따라 사고 능력이 어떻게 변화해 나가는지에 대하여 경험적 및 통계적인 근거를 토대로 발달의 경로를 제시할 수 있는 부분이 분명히 존재한다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2009, 2010). 이러한 부분은 선행연구에서 이미 직관적으로 제시되었기 때문에 STH의 시스템 사고 수준이 제시될 수 있었으며, 나아가 Stave & Hopper(2007)에서는 시스템 사고의 복잡성을 강조하며 Bloom의 Taxonomy에 시스템 사고 수준을 적용한 STC(Systems Thinking Continuum)도 제시될 수 있었다. STC의 경우 시스템 사고의 정의를 시스템 다이내믹스로부터 이끌어 내고 있고, 교육학에서 강조하는 교육 목표의 위계에 시스템 사고 수준을 대응시키는 것으로 타당도를 확보하고 있다. 그러나 이와 같은 근거를 제시하더라도 학생들의 사고가 발달해 가는 과정을 통계적으로 검증해 보지 않았다는 것은 여전히 문제점으로 남는다.

이를 해결하기 위해서는 전문가의 지식이나 개별적인 연구의 결과에 의해 제기되는 주관적인 의견뿐만 아니라 통계적으로 검증된 타당화 절차에 근거하여 시스템 사고의 수준을 확인해야 한다. 이 연구에서는 학생들의 시스템 사고 수준을 정의하고 검증하기 위한 연구를 시작하는 첫 단계로 시스템 사고 교육 및 시스템 사고에 대한 정의와 수준을 제시한 논문을 체계적으로 분석하여 시스템 사고의 수준이 단계적으로 제시될 수 있는가에 대한 이론적 토대를 구축한다. 그리고 선행 연구로부터 시스템 사고 수준을 구분하고 각 단계에 대한 구체적인 조작적 정의를 도출한다. 이를 바탕으로 조작적으로 정의된 시스템 사고 수준을 측정할 수 있는 평가 도구를 제작하기 위한 Framework 및 채점을 위한 루브릭을 작성하고 내용 타당도 검증을 받고자 한다. 이 연구의 구체적인 연구 내용은 다음과 같다.

1. 2000년 이후 교육 분야에서 이루어진 시스템 사고 연구에 대해

- 여 수준과 정의를 중심으로 한 분석 및 종합
2. 학생들의 시스템 사고 측정을 위한 시스템 사고 수준과 각 수준에 대한 조작적 정의 도출
 3. 시스템 사고 수준 측정 문항 개발을 위한 Framework과 열린 응답형 검사지 채점을 위한 Rubric 개발

II. 연구방법 및 내용

1. 문헌 선정 기준 및 절차

이 연구는 다음의 기준에 따라 분석 대상 문헌을 선정하였다. 첫째, 교육 또는 과학교육과 관련된 시스템 사고 연구 동향을 살펴보기 위하여 2000년부터 2017년까지 발행된 국외의 연구 문헌을 선정하였다. 둘째, 시스템 사고의 정의, 수준을 제시하였거나 언급하고 있는 논문을 선정하였다. 검색한 논문에서 시스템 사고의 정의 도출한 근거나 논문에서 제시한 시스템 사고 정의를 활용하여 결과를 도출하는 내용이 있는지, 시스템 사고 수준을 제시한 근거와 수준의 검증 방법, 시스템 사고 수준의 타당도와 신뢰도를 어떻게 제시하였는지를 분석하는 것이 문헌 연구의 주된 목적이었다.

이 연구를 위하여 지구과학교육과 시스템 사고 전공 교수 1인, 과학 교육과 시스템 사고 전공 박사 1인 및 박사 수료생 1인 총 3인이 연구를 진행하였다. 앞서 제시한 문헌 선정 기준에 따라 연구 목적에 적합한 문헌을 찾기 위하여 학술 검색 엔진인 Google Scholar, Wiley, Springer 등에서 문헌 검색을 실시하였다. 시스템 사고의 정의, 수준과 관련하여 검색 키워드는 「Systems Thinking, Systems Thinking Education, Earth System, Development Systems Thinking, Systems Thinking Improving, Systems Thinking Evaluation, Systems thinking Scale, Systems Thinking Level, Level of Systems Thinking」 등의 용어를 다양하게 조합하여 검색을 실시하였다. 연구자들은 검색 엔진을 이용하여 일차적으로 문헌들을 추출하고 다시 이 연구들의 참고 문헌을 검토하면서 분석에 활용할 논문을 이차적으로 추출하였다. 그리고 연구자 3인이 문헌의 초록과 연구 방법 및 연구 대상자를 검토함으로써 시스템 사고 수준과 정의를 도출하기 위한 논문 60편을 선정하였다.

2. 문헌 분석 과정

연구 목적에 따라서 선정된 논문들에서 인용하거나 직접 제시한 시스템 사고 수준과 정의를 분석하였다. 분석을 위해 연구자 3인이 연구 세미나를 통해 공통된 분석 틀을 만들었다(Table 1). 분석 틀은 시스템 사고의 정의, 시스템 사고 수준, 학생들의 시스템 사고를 검증하기 위해 활용한 도구, 연구의 시사점에 대한 내용을 작성하는 내용을 포함하도록 하였다. 연구자 3인은 분석 틀을 이용하여 개별적으로 시스템 사고 수준과 정의를 찾아 표를 작성한 다음, 연구 세미나에서 각자 분석된 내용을 비교·종합하여 최종 분석 결과를 정리하였다.

3. 시스템 사고 측정을 위한 Framework와 루브릭 개발

이 연구에서는 수집된 시스템 사고 연구의 문헌 분석 결과를 토대로 두 번째 연구 목적에 따라서 학생들의 측정 가능한 시스템 사고 수준을 나누고 각 수준에 대한 정의를 제시하였다. 최근 Lee & Lee(2017)에서는 교육과 관련된 시스템 사고 연구에서 언급하는 ‘시스템 사고’의 정의가 다양하게 서술되는 것에 대한 문제점을 제시하였다. 시스템 사고 관련 연구에서 하나의 정의만을 적용해야 하는 것은 아니지만, 학생들의 성장과 관련된 연구에서 일관된 ‘시스템 사고’의 수준과 정의를 활용할 경우 학생들의 고등 사고 능력 발달 경로를 체계적으로 추적할 수 있으며 나아가 다른 사고 능력이나 인지적 부분들과의 관련성 연구도 수행할 수 있다.

이와 같은 필요성을 근거로 60여 편의 시스템 사고 문헌에서 제시한 시스템 사고의 수준과 정의를 분석하여 학생들의 사고 발달 경로를 살펴볼 수 있는 체계적인 수준 단계와 각 수준에 대한 정의를 도출하였다. 그리고 학생들의 시스템 사고 수준을 측정할 수 있는 문항을 제작하기 위하여 각 수준에서 4~5개의 핵심 개념(Core idea)과 평가 요소를 문헌들로부터 추출하여 평가 도구 Framework에 적용하였다. 나아가 학생들이 작성하는 열린 응답형 검사지를 통해 수준을 측정할 경우 자료의 정량화가 가능하도록 Hung(2008)이 개발하고 Lee & Lee(2017)에서 활용한 시스템 사고 측정 루브릭도 이 연구의 목적에 맞도록 수정·보완하여 제시하였다.

이 연구에서는 개발된 평가 도구 Framework의 타당도 검증 절차 중 첫 단계로 내용 타당도 검증까지 실시하였다. 문헌 연구로부터 도출한 시스템 사고 수준과 정의, 시스템 사고 수준 측정을 위한 평가 도구 Framework, 시스템 사고 측정을 위한 루브릭에 대하여 과학교육으로 박사학위를 취득한 전문가 7인에게 내용 타당도 검증을 받았다. 내용 타당도는 Fehring(1987)이 제시한 내용 타당도 지수(Content Validity Index: CVI) 계산 방법을 활용하여 산출하였는데, 5점 척도에 대한 가중치(1점 = 0.00, 2점 = 0.25, 3점 = 0.50, 4점 = 0.75, 5점 = 1.00)를 부여하여 각 항목별 점수와 범주별 점수를 구하고, 전체 내용 타당도 지수를 구하여 검토하였다. 선행연구에서 CVI는 0.75 이상이면 타당한 것으로 연구되었기 때문에 이 연구에서도 0.75를 기준으로 검증하였다. 그리고 전문가 집단이 제시한 CVI 값, 검토 의견을 반영하여 시스템 사고 수준 측정을 위한 Framework을 수정·보완하고자 하였다.

III. 연구 결과

1. 교육 분야의 연구에서 제시한 시스템 사고 정의 분석

시스템 사고는 경영학이나 정치학 등에서 정책의 결정에 활용하였던 시스템 다이내믹스(System Dynamics)에 뿌리를 두고 있다(Kim, 2005). 시스템 다이내믹스는 정책이나 시스템의 변화를 컴퓨터 모델

Table 1. Analysis Framework for Literature Review

Information about Literature	definition	Basis of definition	Level	Basis of level	Analysis tool	Analysis method	Research result	Implication
------------------------------	------------	---------------------	-------	----------------	---------------	-----------------	-----------------	-------------

링을 통해 시뮬레이션해서 그 효과를 검증하는 방법론이다. 이러한 방법은 다양한 환경에서 나타나는 복잡한 시스템적 상황에서 제기되는 문제를 성공적으로 해결하는데 기여하는 것으로 알려져 있다. 시스템 사고는 1980~90년대에 들어오면서 교육에도 영향을 미치기 시작하였다. Senge(1990)는 이러한 방법론에서부터 피드백 루프, 시간 지연, 비선형적 행동 및 관계, 저장과 흐름 등을 직관적으로 살펴 보면서 어려운 컴퓨터 모델링을 제외한 사고력에 초점을 두고 시스템 사고를 정의하였다. 또한 시스템 사고를 향상시키기 위한 5가지 수련(Fifth Discipline)을 제시하며 각각의 요인에 대한 정의를 내리고 교육에 적용할 수 있는 시사점을 제시하였다(Meadow *et al.*, 2016; Senge, 1996, 2006, 2012; Sweeny & Meadow, 2010).

Senge(1996, 2006, 2012)가 제시한 5가지 수련은 정신 모델(Mental Model), 개인 숙련(Personal Mastery), 공유 비전(Shared Vision), 팀 학습(Team Learning), 시스템 사고(Systems Thinking)이다. 하위 요인으로 제시된 시스템 사고의 경우 국내 연구에 적용되는 과정에서 상위 개념으로 제시된 사고 능력과 용어 명칭이 같아 수정이 필요하다는 의견을 반영하여 시스템 분석(Systems Analysis)로 용어를 변경하여 적용하고 있다(Lee & Lee, 2016). 정신 모델은 학생들에게 이미 형성되어 있는 믿음, 관념, 지식들이 외부와의 끊임없는 상호 작용을 통해 변화하는 과정으로 정의된다. 개인 숙련은 학생들에게 주어진 환경과 지속적으로 상호 작용하면서 학생 스스로 발전해 나가는 과정으로 정의된다. 팀 학습은 모둠 학습 또는 협력 학습에서 학습 목표 달성을 위하여 개개인의 능력을 효율적으로 합치는 과정으로 정의된다. 공유 비전은 모둠 또는 학습 목표를 설정하는 단계에서 학생들이 개별적으로 가지고 있는 목표에 대한 생각을 모둠의 리더가 공통점을 찾아 모둠의 목표 달성이 개개인의 목표 달성과 연관되도록 만드는 과정으로 정의된다. 마지막으로 시스템 분석은 학생들이 학습하는 시스템적 요소에 대하여 '시스템'을 직관적인 시각으로 파악할 수 있으며 하위 요소들의 상호작용을 고려하는 능력으로 정의된다.

Senge(2012)는 위에서 제시한 5가지 능력 향상을 통해 학습자의 시스템 사고가 향상될 수 있다고 보았으며 이러한 능력을 향상시키는 방법에서 시스템 다이내믹스에 포함된 컴퓨터 모델링도 효과적이라고 하였다. 다만, Senge(1996)가 제시한 시스템 사고는 개인적 관점 및 문화적 관점을 간과하고 기술적 관점에 집중되어 있다는 비판도 있다(Vo *et al.*, 2006). 즉, 시스템 다이내믹스에서 제시한 'Hard Systems Thinking, HST'의 관점이 강하게 반영되어 있다는 것이며 이러한 비판점에 대응되는 방법론적 측면으로 'Soft Systems Thinking, SST'가 제시되기도 하였다. Checkland(1981)은 시스템 다이내믹스로부터 출발한 사고를 딱딱한 방법론(HST)이라 언급하며 다양한 관점으로부터 문제 해결의 큰 그림(Big Picture)을 제시할 수 있는 소프트 시스템적 접근(Soft Systems Methodology, SSM)을 강조하였다. SSM에서는 시스템의 전체적인 맥락을 고려하는 논리적인 측면과 개인적 그리고 문화적 측면의 두 방향을 고려하여 시스템을 분석한다. 즉, 주어진 문제에 대하여 여러 사회적인 관점을 고려하여 시스템 사고를 수행하는 것으로 복합적인 세계관, 다중 관점, 문제 이해에 대한 통찰력 등을 강조하는 관점이다. 이와 비슷하게 Mitroff & Linstone(1993)는 기술적 관점, 조직 & 사회적 관점, 개인적 관점을 강조하면서 복잡한 문제에 대한 해결책을 고려하는 시스템 사고를 제시하였다. 일반적으로 Senge(1996, 2012)의 시스템 사고는 다양한

맥락에서 복잡한 시스템의 상호작용을 설명하고 예측하는 도구로 활용되며 Checkland(1981)의 SSM은 학생들이 문제 상황을 이해하고 다양한 주변 환경의 지원을 통해 원하는 목표를 달성하도록 도와주는데 유용하게 활용된다.

2000년대에 들어오면서 Kali *et al.*(2003), Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005) 등에서 기존의 연구 결과 및 문헌 연구를 토대로 과학 교육 또는 지구과학교육에 적용할 수 있는 시스템 사고 정의를 제시한 연구가 이루어졌다. Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)의 연구에서는 Senge(1990)의 Fifth Discipline에 근거한 시스템 사고의 정의와 함께 다른 연구자들이 제시한 정의(Kim, 1999; O'Connor & McDermott, 1997; Ossimitz, 2000; Sweeny & Sterman, 2000)를 종합하여 시스템 사고를 a) 시스템 내 구성 요소와 시스템 내 구성 요소를 식별하는 능력, b) 시스템 구성 요소 간의 관계를 식별하는 능력, c) 관계 내에서 시스템의 구성 요소와 프로세스를 조직하는 능력, d) 일반화 능력, e) 시스템 내의 동적인 관계를 식별할 수 있는 능력, f) 시스템 내의 숨겨진 차원을 파악하는 능력, g) 시스템 내의 주기성을 이해하는 능력, h) 시간적 사고(시간 지연과 예측)와 같이 인지 능력을 포함하는 것으로 정의하였다. 이와 같은 시스템 사고의 정의를 제시하면서 학생들이 학습하는 특정한 주제(Earth System 등)에서 학생들의 시스템 사고 수준이 계층적으로 나타난다는 계층적 시스템 사고 수준(STH)도 제안하였다.

시스템 사고에서 단계적인 계층보다는 연속적인 계층을 강조한 연구도 있었는데 Stave & Hopper(2007)에서는 시스템 사고 관련 전문가 집단으로부터 조사한 내용과 문헌 연구 결과를 근거로 a) 하위 요소 사이의 상호작용 인식, b) 피드백의 식별, c) 동적인 부분의 이해, d) 흐름과 다양성의 구분, e) 개념적인 모델의 활용, f) 시뮬레이션 모델의 개발, g) 시뮬레이션 검증을 활용한 정책의 실현을 시스템 사고의 7가지 정의로 제시하였다. 또한 각 정의를 Bloom's Taxonomy의 단계에 적용하며 연속적인 시스템 사고의 수준(Systems Thinking Continuum)을 제시하였다.

Sibley *et al.*(2007)에서는 많은 단계 또는 정의로 제시되는 시스템 사고가 학생들의 변화를 살펴보는 연구에 어려울 수 있다는 점을 강조하면서 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)가 제시한 8개의 정의를 4개로 줄여 a) 시스템 내의 요소들이 이동하는 과정 또는 이동된 요소들의 위치 파악, b) 서로 떨어진 하위 요소들 사이의 체계성 파악, c) 시스템의 주기적인 특성 이해, d) 시스템의 감추어진 부분을 인식하거나 시간 지연을 인식하는 것으로 제시하였다.

최근에는 이러한 고차원적인 인지적 구조의 시스템 사고를 Iceberg에 비유하며 4단계 사고방식으로 정의하여 제시하는 연구 결과가 있었는데, Bosch *et al.*(2007, 2013), Cabrera *et al.*(2008), Maani & Cavana(2007), Nguyen *et al.*(2011)에 의해 복잡한 요소의 시스템 사고를 효과적으로 살펴보기 위해 Iceberg에 비유한 사고의 패턴을 제시하였다. 'Event-Pattern-Structure'로 이어지는 시스템 사고의 흐름을 통해 주제로부터 학습 주제에 대한 핵심 신념, 가치, 개인적 또는 사회적 철학이나 인식론으로 점차 사고의 패턴을 확장하고자 하였다. 그리고 정량적으로 시스템 사고를 측정하기 위한 루브릭을 개발한 연구(Hung, 2008)에서도 시스템 사고를 a) 개별적으로 작용하는 하위 요소, b) 하위 요소들 사이의 인과 관계, c) 하위 요소들의 상호작용을 통한 피드백 효과, d) 상호작용 과정에서 나타나는 시간 지연으로

정의하고 이를 측정하기 위한 요소를 루브릭의 개발에 반영하였다. 반면, 시스템 사고를 계층적 보다는 수평적인 사고로 인식하여 제시한 정의를 제시한 연구도 볼 수 있는데, Richmond(1993)는 시스템 사고가 계층적이지 않으며 성공적인 시스템 사고를 수행하는 것은 6가지 사고 경로를 동시에 수행한다고 주장하였다. 6가지의 경로에 해당하는 내용의 정의는 a) 역동적 사고, b) 인과 관계 파악(시간 지연 포함), c) 시스템에서 원인을 생각하는 사고, d) 전체를 바라보는 능력, e) 피드백 사고, f) 시스템 내의 저장과 흐름을 파악하는 것으로 제시하였다.

Ossimitz(2000)는 수학교육에서 시스템 사고의 정의를 제시하였다. 이 연구에서는 시스템 사고를 4가지의 필수적인 차원이 존재한다고 하였으며 그 차원들은 a) 모델 안에서의 사고, b) 피드백 사고, c) 역동적 사고, d) 사고의 조정으로 정의된다. 즉, 시스템을 대표하는 모델을 이해하는 능력과 피드백 고리, 비선형 사고, 앞으로의 예측, 자신의 사고 변화 방향을 예측하는 능력 등을 갖추어야 한다고 강조하고 있다. 그리고 복잡한 시스템적 주제에서 하위 요소를 고려할 줄 알고 나아가 전체 시스템을 바라보는 능력이 필요하므로 시스템 사고를 고차원적 사고라 간주하였다.

시스템 사고와 관련된 연구에서 제시된 다양한 정의를 살펴보면

명확한 공통점이 존재한다. 첫째, 시스템의 하위 요소들 사이의 관계를 인식하고 이들 사이의 인과 관계를 사고할 수 있어야 한다. 둘째, 하위 요소들의 사이의 인과 관계 뿐만 아니라 피드백 루프를 사고할 수 있어야 한다. 셋째, 피드백 루프를 활용한 사고를 통해 비선형적인 사고를 할 수 있어야 하며 나아가 시스템 전체의 역동적인 변화를 고려할 수 있어야 한다. 넷째, 시스템의 변화에서 저장과 흐름을 인식하여 시간 지연을 고려하고 나아가 시스템에서 숨겨진 차원을 고려할 수 있어야 한다는 것이다.

여기서 제기되는 쟁점은 시스템 사고가 계층적인 것인가, 수평적인 것인가에 대하여 살펴보아야 하는 것이다. 시스템 사고를 계층적으로 살펴본 연구뿐만 아니라 수평적으로 살펴본 연구에서도 모두 상당한 근거를 제시하며 각각 시스템 사고의 계층성과 비계층성을 강조하고 있다. 최근 학습 발달과정과 관련하여 물 순환, 탄소 순환, 에너지 순환에 대한 연구를 살펴본 결과 시스템적 상황을 인지하는데 있어 학생들이 개념을 이해하는 수준이 점차적으로 발달해 간다는 것을 확인할 수 있었다(Breslyn *et al.*, 2016; Mohan *et al.*, 2006; Mohan *et al.*, 2009; Plummer & Maynard, 2014). 지구 시스템적 요소를 인지하고 이를 효과적으로 학습하는 데에는 시스템 사고가 큰 기여를 하

Table 2. Definition of systems thinking in literature

	Paradigm	Definition & Feature	Strengths	Weaknesses
Senge(1996, 2006, 2012)	시스템 다이내믹스, Hard Systems Thinking(HST)	5가지 수련(정신 모델, 개인 숙련, 공유 비전, 팀 학습, 시스템 분석)에 대한 각각의 정의 제시	5가지 수련을 통한 시스템 사고 향상 강조, 교육 현장에 적용	개인적 그리고 문화적 관점을 많이 고려하지 않음
Checkland (1981)	Soft Systems Thinking(SST)	문제 상황을 이해하고 다양한 주변 환경과의 상호 작용을 통해 목표 달성이 가능하도록 도와주는 사고 능력	논리적인 측면뿐만 아니라 개인적, 문화적 관점을 고려함	정성적인 부분만으로 복잡한 시스템을 모두 고려하기 어려움
Bez-zvi Assaraf & Orion (2005a, 2009, 2010)	기존의 다양한 시스템 사고 연구의 흐름을 반영	a) 시스템 내 구성 요소와 시스템 내 구성 요소를 식별하는 능력, b) 시스템 구성 요소 간의 관계를 식별하는 능력, c) 관계 내에서 시스템의 구성 요소와 프로세스를 조직하는 능력, d) 일반화 능력, e) 시스템 내의 동적인 관계를 식별할 수 있는 능력, f) 시스템 내의 숨겨진 차원을 파악하는 능력, g) 시스템 내의 주기성을 이해하는 능력, h) 시간적 사고(시간 지연과 예측)	시스템 사고에서 고려해야 할 요소를 모두 반영, 계층적 시스템 사고 수준에 영향	학생들의 시스템 사고 변화를 주로 정성적 도구와 데이터로만 해석
Stave & Hopper(2007)	Bloom's Taxonomy	a) 하위 요소 사이의 상호작용 인식, b) 피드백의 식별, c) 동적인 부분의 이해, d) 흐름과 다양성의 구분, e) 개념적인 모델의 활용, f) 시뮬레이션 모델의 개발, g) 시뮬레이션 검증을 활용한 정책의 실현	Bloom의 교육 목표와의 관련성 제시, 연속적 시스템 사고 수준에 영향	모델링, 의사 결정에 대한 시뮬레이션 등 학교 현장 적용의 어려움
Sibley <i>et al.</i> (2007)	Bez-zvi Assaraf & Orion(2005a)의 연구 결과를 인용	a) 시스템 내의 요소들이 이동하는 과정 또는 이동된 요소들의 위치 파악, b) 서로 떨어진 하위 요소들 사이의 체계성 파악, c) 시스템의 주기적인 특성 이해, d) 시스템의 감추어진 부분을 인식하거나 시간 지연을 인식하는 것	Bez-zvi Assaraf & Orion(2005a)에서 제시한 시스템 사고 정의를 4가지로 줄여 학교 현장에 적용이 쉬움	정성적 도구와 데이터로 시스템 사고 변화를 연구
Bosch <i>et al.</i> (2007, 2013), Cabrera <i>et al.</i> (2008), Maani & Cavana(2007), Nguyen <i>et al.</i> (2011)	시스템 다이내믹스, Hard Systems Thinking(HST)	복잡한 요소의 시스템 사고를 효과적으로 살펴보기 위한 형태로 Iceberg(Event-Pattern-Structure, Mental Model)에 비유한 사고의 패턴을 제시	시스템 사고의 흐름을 주제에서 출발하여 핵심 신념, 가치에서 나아가 철학이나 인식론으로 확장 가능	학생들이 작성한 Iceberg 모델에 대한 체계화된 분석 기법이 필요 (Hung, 2008)
Richmond (2000)	시스템 다이내믹스	수평적 시스템 사고, a) 역동적 사고, b) 인과 관계 파악(시간 지연 포함), c) 시스템에서 원인을 생각하는 사고, d) 전체를 바라보는 능력, e) 피드백 사고, f) 시스템 내의 저장과 흐름을 파악하는 것	각 정의에 제시된 능력이 계층적으로 발달하는 것이 아니라 수평적인 관계에서 발달함을 강조	시스템 사고가 계층적으로 발달해 가는 연구 결과에 대하여 분석한 후 연구가 이루어지지 않음
Ossimitz (2000)	시스템 다이내믹스	a) 모델 안에서의 사고, b) 피드백 사고, c) 역동적 사고, d) 사고의 조정	고등 인지 능력으로서의 시스템 사고 강조	시스템 사고 능력이 발달에 대한 연구 내용이 부족함

며 나아가 시스템 사고의 발달이 순환적인 요소들을 인지하는데 중요하다(Kali *et al.*, 2003; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2009, 2010). 즉, 지구 시스템과 관련한 개념 발달이 순차적으로 나타난다는 것은 결국 학생들의 사고 구조에서도 순차적인 발달 부분이 존재하는 것으로 간주할 수 있으며 이는 시스템 사고의 발달 단계에 계층적인 부분이 명확하게 나타난다고 할 수 있다. 시스템 사고의 정의를 제시한 주요 논문들에 대한 내용은 Table 2에 요약하여 제시하였다.

2. 교육 분야의 연구에서 제시한 시스템 사고 수준

교육 또는 과학교육에 적용된 시스템 사고 연구에서 시스템 사고의 수준을 제시한 연구는 2000년대 중·후반에 주로 이루어졌다. 암석 순환과 관련한 학생들의 시스템 사고 변화를 살펴본 Kali *et al.*(2003)에서는 O'Connor & McDermott(1997)이 제시한 시스템 사고 수준을 근거로 3단계의 수준을 제시하였다. 1단계는 시스템 부분의 이해, 2단계는 시스템 부분 간의 연결의 이해, 3단계는 시스템 전체를 이해하는 것이다. 이러한 시스템의 수준을 학생들이 학습한 암석 순환 주제에 적용한 결과 학생들이 암석 순환을 이해한 정도가 낮은 경우 주로 1단계만을 표현하였으며, 점차 이해 정도가 높아질수록 3단계에 해당하는 순환을 표현하는 것으로 나타났다. 다만, 모든 학생들에서 일관된 상관이 나타난 것은 아니라는 결과도 나타났다. Dori *et al.*(2003)에서는 학생들을 낮은 수준(Low level)과 높은 수준(High level)인 두 단계로 나누어 시스템 사고를 요구하는 문제를 제시하고 학생들의 반응을 살펴보기도 하였다.

이후 좀 더 체계적인 시스템 사고 수준을 제시한 연구는 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005a, 2009, 2010)에서 나타났다. Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005a)는 이 연구에서 제시한 시스템 사고 정의를 바탕으로 학생들이 어느 정도의 시스템 사고를 수행할 수 있는지를 정성적으로 분석하였다. 그 결과 ‘시스템의 구성 요소를 식별’하거나 ‘시스템의 과정을 식별하는 능력’은 연구에 참여한 학생 중 70%가 수행할 수 있다고 제시하였다. 이보다 상위 단계로 판단되는 ‘개별 구성 요소 간의 관계를 식별’하거나 ‘시스템 구성 요소 간의 동적 관계를 식별하는 능력’은 연구에 참여한 학생 중 50%정도만이 해당하였다. 세

번째 단계로 판단되는 ‘시스템의 주기적인 특성을 이해하는 능력’이나 ‘시스템의 하위 요소 사이의 상호작용을 파악하는 능력, 시스템을 일반화 하는 능력’을 보여준 학생은 30~40% 정도만이 해당하였다. 마지막 단계는 10% 정도의 학생들이만이 포함되었는데 이 단계는 ‘시스템의 숨겨진 구성 요소’를 찾거나 ‘시스템 내의 시간 지연을 고려’하는 과정을 나타내는 것이었다.

이를 근거로 점차 시스템 사고 수준을 체계화하여 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2010)에서는 시스템 사고의 발달을 계층적 3단계 피라미드 구조(STH)로 제시하였다. 세 가지 수준은 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005a)에서 제시한 정의를 단계적으로 묶어 1단계는 시스템 구성 요소의 분석(a), 2단계는 시스템 구성 요소의 종합(b, c, d, e), 3단계는 시스템의 실행(f, g, h)으로 나타내었다. 그리고 초등학생과 중학생을 대상으로 물 순환에 대한 개념을 활용하여 정성적 분석을 한 결과 1단계에서 3단계로 가면서 점차 성공적인 사고를 보여준 학생이 감소한다는 것과 시스템 사고 향상 프로그램을 투입하는 과정에서 시간이 지남에 따라 학생들의 시스템 사고 수준이 점차 향상되었다는 근거를 제시하며 계층적인 시스템 사고 수준 모델을 타당성을 강조였다. 이 연구는 다른 시스템 사고 분석 연구나 학생들의 시스템 사고 정도를 판단하는 연구에 많은 영향을 주었다. 그 중 하나가 Sibley *et al.*(2007)의 연구로 8개의 시스템 사고 정의를 4개로 축약한 후 4단계의 시스템 사고 수준을 제시하였다.

STH 모델에서는 학생들의 시스템 사고 발달이 피라미드의 계단과 같이 어느 순간 다음 단계로 발달해 나간다고 제시한 반면 Stave & Hopper(2007)는 전문가 집단으로부터 받은 설문 결과와 문헌 연구에 근거하여 학생들의 시스템 사고 변화는 연속적으로 나타나는 모델(STC)을 제시하였다. 시스템 다이내믹스에서부터 출발하여 시스템 사고의 발달 과정을 상호관련성의 인식, 피드백의 확인, 시스템의 동적 특성 이해, 변수와 흐름의 차별화된 유형, 개념적 모델의 활용, 시뮬레이션 모델의 제시, 이론의 실행까지 7단계로 제시하면서 단계와 단계 사이의 변화는 연속적으로 이루어진다고 하였다. 또한 각 단계를 Bloom ‘s Taxonomy에 대응시키며 시스템 사고의 계층적 모델을 제시하였다. STC 모델의 타당성은 시스템 다이내믹스에서부터 시스템 사고의 정의를 이끌어내고 있으며 나아가 Bloom의 교육 목표

Table 3. Level of systems thinking in literature

	Model	Feature
Dori <i>et al.</i> (2003)	2-Level	Low Level & High Level, 2수준에 대한 정확한 정의나 근거는 제시되지 않음
Kali <i>et al.</i> (2003)	3-Level	1단계는 시스템 부분의 이해 2단계는 시스템 부분 간의 연결의 이해 3단계는 시스템 전체를 이해 학생들의 암석 순환에 대한 이해도를 바탕으로 구성
Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005a, 2009, 2010)	3-Level STH(Systems Thinking Hierarchical)	1단계는 시스템 구성 요소의 분석, 2단계는 시스템 구성 요소의 종합, 3단계는 시스템의 실행
Sibley <i>et al.</i> (2007)	4-Level	1단계는 시스템 내의 요소들이 이동하는 과정 또는 이동된 요소들의 위치 파악 2단계는 서로 떨어진 하위 요소들 사이의 체계성 파악 3단계는 시스템의 주기적인 특성 이해 4단계는 시스템의 감추어진 부분을 인식하거나 시간 지연을 인식하는 것
Stave & Hopper(2007)	STC(Systems Thinking Continuum)	상호관련성의 인식, 피드백의 확인, 시스템의 동적 특성 이해, 변수와 흐름의 차별화된 유형, 개념적 모델의 활용, 시뮬레이션 모델의 제시, 이론의 실행까지 시스템 사고의 향상은 연속선 상에서 이루어짐

와의 관련성을 가진다는 것에 기반하고 있다.

시스템 사고의 정의로부터 시스템 사고에도 위계가 나타나며 이를 수준으로 제시할 수 있음을 도출할 수 있었다(Table 3). 또한 학습발달과정 연구에서는 시스템적 요소가 반영된 개념을 측정함에 있어서 개념의 발달 수준과 단계를 명확히 보여주었지만, 학습자의 발달 과정을 정확히 파악하고 측정할 수 있는 도구의 개발은 미비하였다. 시스템 사고도 분명한 발달 단계가 있으며 이를 수준으로 제시하고 각 수준에 대한 정의를 명확히 함으로써 측정 가능한 문항 제작이 가능하다고 제시할 수 있다. 이 연구에서는 위의 문헌 분석 결과를 토대로 시스템 사고의 수준과 각 수준에 대한 정의를 명확히 제시함으로써 평가 도구 제작을 위한 Framework을 개발하였다.

3. 시스템 사고 측정 문항 개발을 위한 Framework 개발

학생들의 시스템 사고 수준 측정 문항 개발을 위하여 문헌 연구를 실시하였으며, 그 결과 선행 연구에서 제시한 시스템 사고 정의로부터 공통점을 도출할 수 있었다. 또한 시스템 사고 수준을 제시한 연구에서도 학생들의 시스템 사고 수준을 정량적으로 측정할 수 있다는 이론적 근거를 마련할 수 있었다. 다만, 선행 연구에서 제시한 시스템 사고 수준은 시스템 사고의 토대가 된 이론으로부터 도출된 정의에 근거하여 제시하였으나 수준의 위계나 정량적인 타당화가 이루어지지 않았다는 문제점이 제기된다.

학생들의 학습과 관련된 개념의 발달 과정에 대한 연구에서는 AERA(1999)에서 제시한 5가지 타당도를 검증함으로써 연구 결과에

Table 4. Levels and Definition about Systems Thinking on the Basis of Citations

	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
	시스템의 구조 파악	시스템 내의 비선형성과 인과 관계 파악	시스템 내의 피드백과 동적인 과정 파악	시스템 내의 시간 지연(저장/흐름) 및 숨겨진 차원 파악
정의	시스템의 전체와 시스템을 구성하는 부분인 하위 요소를 말할 수 있다. 시스템의 전체와 시스템에 속한 요소 사이의 관계를 간단히 설명할 수 있다.	시스템 전체와 하위 요소 사이에서 나타나는 다양한 인과 관계를 방향성과 함께 설명할 수 있다.	시스템 전체와 하위 요소 사이의 상호 관련성과 피드백을 표현할 수 있다. 시스템 내에서 나타나는 다양한 피드백에 대한 이해를 바탕으로 시스템 내의 다양한 동적인 과정을 설명할 수 있다.	시스템 내에서 나타나는 동적인 과정에서 시간 지연(저장/흐름)에 의한 결과를 표현할 수 있다. 시간 지연을 포함한 시스템의 변화에서 숨겨진 차원을 파악하고 이로 인한 결과를 예측할 수 있다.
Citations				
	○	○		
Checkland(1994)	○	○		
Anderson & Johnson(1997)	○		○	○
O'Connor & McDermott (1997)	○	○		
Kim(1999)	○	○	○	○
Ossimitz(2000)	○	○	○	○
Sweeney & Sterman(2000)		○	○	○
Kali et al.(2003)	○	○	○	○
Maani & Maharaj(2004)	○	○	○	○
Ben-zvi Assaraf & Orion(2005, 2009, 2010)	○	○	○	○
Vo et al.(2006)	○	○	○	○
Senge(1996, 2006, 2012)	○	○	○	○
Sweeney & Sterman(2007)	○	○	○	○
Stave & Hopper(2007)	○	○	○	○
Sibley et al.(2007)	○	○	○	○
Hung(2008)	○	○	○	○
Lamb & Rhodes(2008)	○	○	○	
Dyehouse et al.(2009)	○		○	
Sweeney(2010)	○	○	○	○
Nguyen et al.(2011, 2012)	○	○	○	○
Bosch et al.(2013)	○		○	
Kaspary(2014)	○	○		
Sedlacko et al.(2014)	○	○	○	
Dorani et al.(2015)		○	○	○
Brunell(2016)		○	○	○

대한 타당화가 이루어졌다. 그러나 시스템 사고 수준과 관련된 연구에서 학생들의 수준을 살펴보기 위해 개발된 설문지가 내용 타당도 검증만 이루어진 상태로 지속적으로 적용되고 있음을 확인할 수 있다 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2009, 2010). 이들 연구의 결과를 살펴보면, 적은 수의 학생들로부터 설문지뿐만 아니라 다른 정성적 도구의 결과와 함께 수준을 해석하고 제시함으로써 설문지가 가지는 타당도의 문제를 보완하지만 정량적 연구 도구의 타당성에 대해서는 여전히 문제점을 가지고 있다(Lee & Lee, 2017).

이 연구에서는 위와 같은 문제점을 보완하고 나아가 다양한 시스템적인 개념들에 대하여 시스템 사고 수준을 측정하는 문항을 개발할 수 있는 Framework을 개발하였다. 개발된 Framework은 다양한 주제에 적용하여 문항을 개발할 수 있도록 시스템 사고의 수준과 정의를 명확하게 제시하고 이를 토대로 각 수준에 포함되어야 하는 핵심 아이디어와 평가 요소를 제시하였다. 이는 교육과정에서 제시하는 성취 기준과 맥락을 같이하는 것으로 성취 기준을 근거로 학생 평가 문항을 개발하는 것과 같이 문항 설계가 이루어지도록 한 것이다. 시스템

Table 5. Framework for Measuring Systems Thinking Level

Code	Definition of Level	(Sub Code) Core Idea	Assessment Contents
Level 1 LST1	시스템의 구조 파악	(LST1_a) 시스템을 구성하는 하위 요소의 확인	시스템을 구성하는 하위 요소를 정확히 찾아내거나 작성할 수 있다.
		(LST1_b) 시스템이 가지고 있는 고유한 특성을 인지	시스템이 여러 하위 요소들로 구성된 관계를 정확히 찾아내거나 작성할 수 있다.
		(LST1_c) 시스템 내에서 하위 요소의 기능을 시스템 구조적인 측면에서 인지	시스템을 구성하는 하위 요소가 시스템으로부터 독립적으로 특성을 드러내지 못함을 찾아내거나 설명할 수 있다.
		(LST1_d) 시스템을 구성하는 하위 요소와 그들 사이의 관련성을 인지	시스템을 구성하는 하위 요소 사이의 관계를 정확히 찾아내거나 단어 연결, 그림 등으로 표현할 수 있다.
Level 2 LST2	시스템 내의 비선형성과 인과 관계 파악	(LST2_a) 시스템 내 하위 요소들 사이의 인과 관계 연결을 인지	시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 인과 관계를 정확히 찾아내거나 단어, 그림 등으로 표현할 수 있다.
		(LST2_b) 하나의 하위 요소가 시스템을 구성하는 다른 여러 하위 요소와 관련성이 있음을 확인	하나의 하위 요소와 여러 하위 요소 사이에 나타나는 다양한 연결 관계를 찾아내거나 단어, 그림 등으로 표현할 수 있다.
		(LST2_c) 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이에 다양한 인과 관계 연결을 인지	하나의 하위 요소와 여러 하위 요소 사이에 나타나는 다양한 연결에서 인과 관계를 정확히 찾아내거나 단어, 그림 등으로 표현할 수 있다.
		(LST2_d) 여러 요소들 사이의 복잡한 관련성을 설명	하위 요소들 사이의 상호 작용을 정확히 파악하여 여러 하위 요소가 복잡하게 관련된 상황을 정확히 찾아내거나 그림, 인과 지도 등으로 설명할 수 있다.
Level 3 LST3	시스템 내의 피드백과 동적인 과정 파악	(LST3_a) 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 닫힌 고리(Closed loop)를 확인	하위 요소들 사이의 인과 관계 연결이 닫힌 고리(Closed loop)로 나타나는 과정을 정확히 찾아내거나 그림, 인과 지도로 표현할 수 있다.
		(LST3_b) 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 연결에서 나타나는 극성(+, - 또는 양, 음)을 표현	닫힌 고리의 연결 중 동적인 과정이 진행되는 극성(+, - 또는 양, 음)을 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그림 등에 정확히 나타낼 수 있다.
		(LST3_c) 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 연결 고리에서 나타나는 강화적 또는 균형적 피드백을 확인	인과 관계의 극성을 토대로 시스템 내의 강화적 혹은 균형적 피드백을 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그림 등에 정확히 표현할 수 있다.
		(LST3_d) 시스템 내 인과 관계와 피드백의 변화에 따른 결과 예측	시스템 내 하위 요소들의 상호 작용과 피드백 과정에서 어느 하위 요소에 변화가 발생할 경우, 전체 시스템에 미치는 영향을 예측하거나, 글로 표현할 수 있다.
Level 4 LST4	시스템 내의 시간 지연(저장/흐름) 및 숨겨진 차원 파악	(LST4_a) 시스템의 시간에 따른 변화에서 하위 요소의 역할을 분류	시간에 따라서 시스템의 하위 요소들이 상호 작용과 피드백에 어떠한 영향을 미치는지 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그래프 등으로 표현할 수 있다.
		(LST4_b) 주어진 상황에서 시간에 따른 변화를 설명	주어진 문제 상황에서 시간에 따른 시스템의 변화를 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그래프 등으로 표현할 수 있다.
		(LST4_c) 주어진 상황에서 시스템 내 시간 지연(저장/흐름)에 의한 효과를 설명	주어진 문제 상황에서 시간에 따른 시스템의 변화를 예측할 때 시간 지연(저장/흐름) 과정을 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그래프, 그림 등으로 표현할 수 있다.
		(LST4_d) 시스템 내의 숨겨진 차원을 파악하고 이로 인한 시스템의 변화를 설명	주어진 문제 상황에서 시간 지연을 포함한 시스템의 변화 과정 중 숨겨진 차원을 찾아내고 이로 인한 결과의 예측을 정확히 찾아내거나 인과지도, 그래프, 그림 등으로 표현할 수 있다.
		(LST4_e) 서로 다른 하위 요소의 변화가 이끄는 시스템의 상호 작용 결과에서 공통점과 차이점을 확인	주어진 문제 상황 중 서로 다른 하위 요소의 변화로 인하여 나타나는 시스템 상호 작용 결과에서 공통점과 차이점을 정확히 찾아내거나 인과 지도, 그래프, 그림 등으로 표현할 수 있다.

사고의 수준은 연구자들이 3단계에서 7단계까지 제시한 시스템 사고 연구와 4~5단계로 개념의 변화를 제시하는 학습 발달과정 연구 과정을 모두 분석한 후, 많은 연구에서 활용하고 있으며 적절성이 검증된 4단계로 제시하는 것이 타당하다고 판단하였다.

시스템 사고의 1단계부터 4단계까지 포함된 내용은 다음과 같다. 1단계는 '시스템의 구조 파악'으로 명명하였으며 기존 선행 연구에서 공통적으로 제시하는 위계를 반영하여 1단계는 시스템의 하위 요소를 파악하고, 하위 요소들 사이의 단순한 관계를 설명할 수 있는 수준으로 정하였다. 2단계는 '시스템 내의 비선형성과 인과 관계 파악'으로 명명하였으며 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 인과 관계와 함께 시스템의 변화 방향을 설명할 수 있는 수준으로 정하였다. 3단계는 '시스템 내의 피드백과 동적인 과정 파악'으로 명명하고 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 상호 관련성과 함께 피드백을 표현할 수 있으며 시스템 내의 동적인 과정을 설명할 수 있는 수준으로 정하였다. 마지막으로 4단계는 '시스템 내의 시간 지연(저장/흐름) 및 숨겨진 차원 파악'으로 명명하고 시스템 내에서 나타나는 시간 지연에 의한 결과를 표현하고 나아가 시스템 내의 숨겨진 차원을 파악하여 시스템의 변화를 설명할 수 있는 수준으로 정하였다. 시스템 사고의 수준과 수준에 대한 정의 및 이를 도출하는 과정에서 분석한 논문은 Table 4와 같다.

4단계의 시스템 사고 수준과 정의에 대하여 선행 연구에서 제시된 용어, 문장, 핵심 어구 등을 연구자들이 분류한 후 각 수준에 해당하는 핵심 아이디어를 기술하였다. 1단계 '시스템의 구조 파악'에서는 시스템을 구성하는 하위 요소의 확인, 시스템이 가지고 있는 고유한 특성의 인지, 시스템 내에서 하위 요소의 기능을 시스템 구조적인 측면에서 인지, 시스템을 구성하는 하위 요소와 그들 사이의 관련성을 인지하는 것을 핵심 아이디어로 기술하였다. 각 핵심 아이디어에 대응하여 교육과정의 성취 기준에 해당하는 평가 내용을 작성하였다.

예를 들어, '시스템을 구성하는 하위 요소의 확인'에 대응되는 평가 내용은 '시스템을 구성하는 하위 요소를 정확히 찾아내거나 작성할 수 있다.'로 기술하였다. 이를 통해 순위 선다형 또는 열린 응답형 검사지로 문항을 제작할 경우, 시스템적인 개념 요소를 제시하여 하위 요소를 찾아보게 하거나, 해당하는 하위 요소를 학생들에게 작성할 수 있도록 Framework을 제시하는 것이다. 이와 같이 각 시스템 사고 수준에 대한 핵심 아이디어와 평가 내용은 Table 5와 같다.

시스템 사고 수준 측정 문항 개발을 위한 Framework 개발 과정에서 열린 응답형 검사지의 경우 어떠한 방식으로 채점이 이루어져야 하는가에 대한 논의가 연구 세미나에서 제기되었다. 학생들이 작성한 주관식 답안의 경우 일관된 채점 기준이 있어야 여러 연구자들이 채점하는 과정에서 채점자 신뢰도가 확보될 수 있다. 또한 정성적 연구 도구의 결과를 다른 정량적 연구 도구의 결과와 비교하기 위해서도 일관된 채점 기준이 필요하다. 이를 위해 Hung(2008)이 개발한 시스템 사고 측정을 위한 루브릭을 활용하는 방안이 제안되었다. 루브릭의 경우 학생들이 응답한 정성적 내용들을 정량적으로 환산하는데 일관된 기준을 제공할 수 있으며 나아가 학생들의 응답 결과를 등간 척도로 변환하여 정량적인 분석이 가능하도록 도와주는 채점 기준이다(Arter & McTighe, 2001; Lee *et al.*, 2017).

연구 세미나에서 Hung(2008)이 개발한 루브릭을 이 연구에 적용하기 위해서는 루브릭 문항을 이 연구에서 개발된 Framework의 시스템 사고 수준에 대응시킬 필요가 있으며 나아가 루브릭에 포함되지 않은 숨겨진 차원 파악과 내용은 추가적으로 포함할 필요가 있다는 의견이 제시되었다. 연구 세미나에서 연구진들의 검토 결과 선행 연구 및 이 연구에서 개발된 Framework에서 제시한 수준이 Hung(2008)이 제시한 루브릭의 기준과 일치하는 부분을 찾을 수 있었다. 또한 Hung(2008)에서 제시한 결과와 루브릭이 국내 시스템 사고 연구에 적합한지 살펴본 Lee & Lee(2017)의 결과를 근거로 하여 루브릭 내에

Table 6. Result of rubric about open-ended written response test

Items	1	2	3	4	5	Level
Identification of representing system	80% of the critical variables are unidentified		40% of the critical variables identified		All the critical variables are correctly identified	
Interconnectivity	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	LST 1
Linearity	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	LST 2
Cause-effect relations(causal-loop)	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)	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	LST 3
Dynamics Processes	View the whole system as static		View the whole system as partially static		View the whole systems as dynamic entity	
Explanatory knowledge	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	taking no context-specific consideration		taking some context-specific considerations		taking full context-specific consideration	LST 4
Time delay & Hidden dimension	No consider time delay No consider hidden dimension		Partial consider time delay Partial consider hidden dimension		Consider time delay entity Consider hidden dimension entity	

Table 7. CVI about 'Levels and Definition', 'Framework' and 'Rubric' of Systems Thinking

	A. 내용		B. 명확성		C. 실용성		D. 신뢰성		전체
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	
Levels and Definition	0.96	0.96	0.93	0.93	0.93	0.96	0.96	0.93	0.95
	0.96		0.93		0.95		0.95		
Framework	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96
	0.96		0.95		0.96		0.95		
Rubric	0.96	0.93	0.93	0.96	0.96	0.96	0.93	0.96	0.95
	0.95		0.95		0.96		0.95		

서도 시스템 사고 수준과 일치하는 수준이 나타남을 확인하였다. 루브릭에 대한 전문가 자문 내용과 내용 타당도를 검증한 내용을 반영하여 시스템 사고 수준 측정 연구에서 열린 응답형 검사지의 채점에 적합하도록 루브릭을 수정·보완하였다(Table 6).

4. 시스템 사고 수준과 정의, Framework, 루브릭 내용 타당도 검증

개발된 시스템 사고 수준 및 정의, 문항 개발을 위한 Framework, 열린 응답형 검사지를 위한 루브릭에 대한 내용 타당도를 확인하기 위해 과학 교육 전문가(박사학위 이상) 7인에게 내용 타당도를 검증을 의뢰하였다. 그 결과 개발된 각 도구에 대한 CVI를 산출한 결과는 Table 7과 같다.

내용 타당도 설문지는 각 도구에 대하여 내용(수준별로 제시된 시스템 사고의 정의에 시스템과 관련된 특성이 포함되어 있는가?), 명확성(사용자가 시스템 사고 수준을 이해하기 쉽고, 동일하게 해석할 수 있는가?), 실용성(시스템 사고 정의와 수준이 활용하기 편리한가?), 신뢰성(내용이 타당하며 나아가 일관된 결과를 얻을 수 있는가?)을 검증받을 수 있도록 문항 영역을 나누고, 영역은 하위 2문항으로 나누어 내용타당도 검증을 의뢰하였다. 그 결과 시스템 사고 수준 정의에 대하여 4개 범주의 각 CVI는 ‘내용’이 0.96, ‘명확성’이 0.93, ‘실용성’이 0.95, ‘신뢰성’이 0.95이며, 전체 내용 타당도 지수는 0.95로 높은 것을 확인하였다. 시스템 사고 Framework에 대한 CVI도 모든 부분에서 0.9이상인 확인되었으며, 열린 응답형 검사지를 위한 루브릭에서도 모두 0.9이상의 CVI를 확인할 수 있었다. 개발된 시스템 사고 수준 정의 및 Framework, 루브릭에 대한 검토 의견에서는 세부적으로 “실제 현장에서 활용하기 위한 실질적 예시가 포함될 필요가 있음”, “비선형성, 시간 지연, 숨겨진 차원 등과 같은 일부 용어는 일반적으로 활용하는 용어가 아니기 때문에, 보다 쉬운 용어로 풀어 설명하거나, 해당 용어에 대한 정의를 각주 등으로 포함할 필요가 있음”, “루브릭에서 제시하는 1~5점 기준이 다소 모호한 부분이 있기 때문에 보다 세밀하게 정의할 필요가 있음” 등을 제안하였다. 세부 의견에 대하여 전문가가 세미나에서 논의한 결과, 실질적인 예시의 경우 추후 연구에서 진행될 문항 개발에 반영하는 것으로 수정 의견을 작성하였다. 그리고 비선형성, 시간 지연, 숨겨진 차원 등과 같은 용어의 경우 일반적으로 사용하지는 않지만 시스템 사고와 관련된 문헌이나 단행본에서는 지속적으로 활용하는 용어이므로 문항을 개발하고 학교 현장에 보급하는 과정에서 주석을 달아 사용자가 이해할 수 있도록 하겠다는 의견을 제시하였다. 마지막으로 루브릭에 대한 심사 의견은 정서적 데이터를 정량적으로 척도화 하는 과정에서 제기될 수 있는 부분이라

는 의견에 연구진이 동의하였다. 루브릭은 학생들이 활용하는 것이 아니라 교사 또는 교수, 연구자들이 활용하는 부분이기 때문에 이에 대한 보완은 추후 루브릭을 활용하는 연수를 통해 보완하는 것으로 의견을 작성하였다. 수정 및 보완 의견을 내용 타당도를 의뢰한 7인의 전문가에게 회신하여 피드백을 받았으며 이를 통해 최종적으로 시스템 사고 수준과 정의, 문항 개발을 위한 Framework, 열린 응답형 검사지를 위한 루브릭 개발을 완료하였다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 학생들의 시스템 사고 수준 측정 문항을 개발하기 위해 문헌 분석을 통한 시스템 사고 수준과 정의의 제시 및 문항 개발 Framework를 개발하는 부분까지 수행된 연구를 정리한 것이다. 측정 가능한 시스템 사고 수준과 정의를 제시하기 위하여 60편의 국외 시스템 사고 관련 문헌을 분석하였으며 문헌에서 제시된 시스템 사고의 공통된 특성을 정리하여 시스템 사고 수준을 4단계로 정하고 각 단계에 대한 정의를 제시하였다. 그리고 각 수준에 대한 핵심 아이디어와 평가 내용을 정리하여 다양한 시스템적 주제에 대하여 문항을 만들 수 있는 Framework를 개발하고, 내용 타당도 검증을 실시하였다. 이 연구의 결과를 토대로 도출한 결론과 제언은 다음과 같다.

첫째, 시스템 사고의 정의와 수준에 대한 명확한 정의를 제시하기 위하여 60편의 시스템 사고 관련 연구 문헌을 분석하였다. 시스템 사고와 관련된 논문 중 교육 또는 과학 교육과 관련된 문헌을 정리하고 각 연구에서 제시한 시스템 사고의 정의, 시스템 사고 수준을 분석하였다. 선행 연구에서 시스템 사고가 다양하게 정의되고 있었지만, 각 연구에서 제시한 정의들 간의 명확한 공통점이 도출되었다. 공통점을 4가지로 종합하여 정리하면 다음과 같다. 첫째, 시스템의 하위 요소들 사이의 관계를 인식하고 나아가 이들 사이의 관계에서 인과 관계를 파악할 수 있어야 한다. 둘째, 하위 요소들 사이의 인과 관계에서 나아가 피드백 사고를 할 수 있어야 한다. 셋째, 피드백 사고에서 나아가 비선형적인 사고를 하면서 시스템 전체의 동적인 부분을 고려할 수 있어야 한다. 넷째, 시스템의 변화에서 나타나는 시간 지연과 함께 숨겨진 차원을 고려해야 하는 것으로 정리된다. 그리고 첫째부터 넷째까지 제시된 시스템 사고 정의는 계층적으로 점차 상위 단계로 확장되어 가는 것으로 간주되며 이는 시스템 사고 수준을 정하는 것과도 관련이 있다.

특히 시스템 사고의 수준이 측정 가능한가에 대한 근거로는 선행 학습 발달과정 연구에서 시스템적 개념인 물 순환, 탄소 순환, 에너지 순환에 대하여 개념 발달 과정을 제시한 적이 있고, 이를 토대로 시스템 사고 수준을 정하는 것과도 관련이 있다.

템 사고로 확장하여 적용할 경우 학생들의 시스템 사고 수준도 충분히 측정 가능한 것으로 결론을 낼 수 있다(Breslyn et al., 2016; Mohan et al., 2006; Mohan et al., 2009; Plummer & Maynard, 2014). 또한, 정량적인 검증 과정이 부족하기는 하지만 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005a, 2009, 2010)의 연구에서도 물 순환에 대하여 학생들의 시스템 사고 변화를 시스템 사고 수준의 단계로 제시한 연구가 있어 기존의 시스템 사고 연구와 학습 발달과정의 연구 방법을 잘 적용할 경우 시스템 사고 수준 측정 방법에 대해서도 의미 있는 시사점을 도출할 수 있다.

둘째, 기존의 시스템 사고 수준을 제시한 논문과 함께 학습 발달과정 연구의 방법, 결과를 반영하여 시스템 사고 수준을 제시하였다. 최근 여러 선행 연구에서 시스템 사고 연구에서는 시스템 사고 수준을 체계적으로 정립하려는 시도들이 있었다. 대표적인 연구로 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2009)에서는 STH 모델을 제시하며 시스템 사고가 '이해-종합-실행'의 3단계 계층적 수준을 가진다고 언급하였다. 그리고 Stave & Hopper(2007)에서는 시스템 사고 수준을 Bloom's Taxonomy에 대응하여 7단계의 연속적인 수준(STC) 모델을 제시하였다. 다만, 두 연구의 경우 시스템 사고 수준을 문헌 연구에 기초하여 정의를 내리고 정성적 측정 방법 등을 활용하여 타당도를 제시하고 있기는 하나, 타당도가 검증된 정량적 도구를 활용하여 구인 타당도나 준거 타당도를 검증하지 않았다는 문제점이 제기되었다(Lee & Lee, 2017). 이 외에도 여러 연구에서 시스템 사고 수준을 언급하고 있기는 하지만 수준에 대한 근거나 구체적인 정의는 제시되지 않았다.

이 연구에서는 이러한 선행 연구를 토대로 체계적인 시스템 사고 수준을 검증하기 위하여 시스템 사고 정의로부터 사고의 위계를 4단계로 제시하였으며 각 수준에서 나타나는 시스템 사고의 특성에 대하여 정의하였다. 각 수준과 정의는 여러 선행 연구로부터 도출한 결과이므로 내용 타당도는 검증되었다고 판단되나, 실제 학생들로부터 4단계 위계의 사고가 나타날지에 대해서는 추후 구체적인 시스템 사고 수준 측정 문항이 개발되고 구인 타당도 및 준거 타당도 검증이 이루어져야 검증될 것으로 판단된다. 즉, 이 연구에서 제시한 시스템 사고 수준은 앞으로 진행될 추후 연구에서 정성적 도구뿐만 아니라 정량적 도구를 활용한 다양한 타당도 검증 과정을 거쳐 타당화 할 필요가 있는 것이다.

셋째, 위에서 제시한 시스템 사고 수준의 타당도를 검증하고, 나아가 학생들의 시스템 사고 수준을 측정하고자 문항 개발을 위한 Framework을 작성하였다. 최근 시스템 사고를 정량적으로 측정하는 도구들은 국내에서 개발되고 적용되어 왔다(Davis & Stroink, 2015; Lee et al., 2013; Lee & Lee, 2013; Lee & Lee, 2016). 지금까지 개발된 정량적 도구는 시스템 사고에 대한 정량적 정보를 제공하여 다른 척도와의 상관관계를 살펴보거나, 다른 정성적 척도로부터 나온 결과와 상관 분석을 통해 결과에 대한 타당도를 제시하는 정도로 연구에서 활용되었다(Davis & Stroink, 2015; Lee & Lee, 2016; Lee & Lee, 2017). 즉, 지금까지 개발된 도구로는 학생들의 시스템 사고 수준을 비교해 보거나, 정확한 수준을 측정하는 것은 어려웠다.

이 연구에서는 학생들의 시스템 사고 수준과 각 수준에 대한 정의를 기존의 문헌을 통해서 도출함으로써 측정하고자 하는 구인에 대한 내용 타당도가 확보된 것으로 볼 수 있다. 이를 토대로 각 수준에 대하여 문헌에서 제시한 내용들을 반영하여 각 수준의 문항에 포함되

어야 할 핵심 아이디어를 작성하고 평가 내용을 교육과정의 성취 기준과 같이 제시함으로써 문항 개발을 위한 Framework과 열린 응답형 검사지 채점을 위한 루브릭을 개발하였다. 교육과정에 대한 평가 문항 개발의 설계에 성취 기준이 중요한 Frame이 되듯이 시스템 사고 수준 측정 문항의 개발에서도 핵심 아이디어와 이와 관련된 평가 내용이 Frame이 되어 순위 선다형 또는 열린 응답형 검사지를 개발할 수 있다. 즉, 각 수준에서 제시한 내용에 근거하여 시스템 사고 수준을 알아볼 수 있도록 탄소 순환 등과 같이 시스템 관련 주제의 문항을 개발할 수 있다. 그리고 학생들의 응답을 학습 발달과정에서 개념 발달의 수준을 측정하는 데 활용하는 Rasch 모델 등을 통해 분석할 경우 개발된 시스템 사고 수준에 대한 구인 타당도 검증이 가능하다. 뿐만 아니라 개발된 루브릭을 토대로 열린 응답형 검사지 채점의 신뢰도를 높일 수 있다. 그리고 정량적 검사 및 정성적 검사 도구로부터 도출된 결과로부터 학생들의 타당한 시스템 사고 수준 결과를 도출할 수 있다.

넷째, 문항 개발 전 문항 개발의 타당도 검증의 첫 단계로 문항 개발을 위한 Framework에 대하여 전문가 집단에게 내용 타당도 검증을 실시하였다. 검증 결과 모든 부분에서 CVI가 0.9 이상으로 높게 나타났으며, 일부 의견을 제외하면 실제 교육현장에서 쉽게 활용하고 시스템 사고 연구를 함에 있어 신뢰롭게 분석할 수 있어 유용하다고 응답하였다. 그리고 세부적인 검토 의견에서 일부 활용과 관련하여 수정·보완이 필요한 부분을 제시 받았다. 수정 및 보완 부분에 대하여 연구팀에서 충분히 검토하여 검토 의견을 내용 타당도를 의뢰한 7인에게 피드백을 받은 후 최종본을 개발 완료하였다.

위 결론을 바탕으로 앞으로 진행될 연구에 대한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 내용 타당도가 검증된 문항 개발을 위한 Framework을 토대로 학생들의 시스템 사고 측정 문항을 개발하고 정량적인 타당화 과정을 거쳐야 한다. 측정 문항은 Framework에서 제시된 핵심 아이디어와 평가 내용을 반영하여 순위 선다형 또는 열린 응답형 문항 등 다양한 형태의 문항으로 개발될 필요가 있다. 순위 선다형 문항의 경우 Rasch 모델 분석을 통해 정량적으로 검증이 이루어져야 하며 나아가 정성적 자료인 열린 응답형 문항에 대해 루브릭을 활용한 채점 결과를 도출하여 두 자료 사이의 상관관계를 분석해야 한다. 루브릭을 개발한 Hung(2008)의 연구 결과에서는 평균(표준편차)이 25.0(6.72)로 나타났으며, 국내에서 이 루브릭을 적용한 결과(Lee & Lee, 2017)의 결과에서는 평균(표준편차)이 25.94(8.69)로 두 연구가 매우 유사하였다. 또한 Lee & Lee(2017)에서는 시스템 사고 측정 도구와의 상관 분석에서도 Pearson 상관계수가 .856으로 높은 상관을 보여주었다. 이와 같은 내용을 근거로 정량적 결과와 정성적 결과에 대하여 각각 검증이 필요할 뿐만 아니라 상호 교차 검증을 통해 구인 타당도에 대한 증거를 다양하게 확보할 필요성을 강조할 수 있다. 하지만 국내뿐만 아니라 국외에서도 시스템 사고 수준을 이론적으로 제시한 연구는 있지만 시스템 사고 수준 자체에 대하여 다양한 통계적 검증한 연구는 없었다. 그러므로 다른 연구에서 검증된 타당도 연구 방법을 활용하여 시스템 사고 수준 연구에서도 다양한 타당도 증거가 확보되어야 할 필요가 있다.

둘째, 개발된 문항에 대하여 구인 타당도를 검증하는 과정은 지속적인 수정과 보완 절차를 포함하여 2~3회의 반복된 연구가 필요하

다. 이 연구에서 제시된 시스템 사고 수준과 정의가 문헌 연구를 통해 정리한 여러 연구에서 공통으로 언급하는 속성임에는 분명하지만 학생들을 조사하여 분석한 연구가 없으므로 그 검증은 최소한 2회 이상을 거쳐야 할 것이다. 또한 검증 과정에서 지속적인 수정 및 보완 내용이 나온다면 2~3회 정도 반복된 투입을 통해 통계적인 검증을 거쳐 타당도를 확보해야 할 필요가 있다.

셋째, 시스템 사고 수준과 정의 및 개발된 문항의 구인 타당도가 검증 후에는 다른 척도나 시스템 사고 분석 도구를 활용한 연구 결과와의 상관 분석을 통해 준거 타당도 검증을 실시할 필요가 있다. 개발된 문항의 내적인 타당도가 확보될 경우 이에 대한 결과에 대한 타당도 또는 예측되는 결과와의 비교를 통한 타당도 등 다양한 준거 타당도 검증 결과가 뒷받침 되어야 새롭게 개발된 문항의 타당화가 이루어졌다고 볼 수 있다.

넷째, 문항 개발을 위한 Framework을 활용하여 다양한 시스템적 주제에 대한 문항을 개발하고, 학생들에게 투입하여 그 결과를 살펴볼 필요가 있다. 나아가 학생들의 시스템 사고 수준과 학업 성취도와 의 관계, 학생들에게 영향을 주는 다른 교육적 맥락 변인들과의 관련성을 검증할 필요성도 있다. 이를 통해 2015 개정 교육과정에서 강조하는 핵심 역량이 학생들의 변화에 어떠한 영향을 주는지에 대한 관련성도 밝혀질 수 있으며 나아가 시스템 사고 함양이 학생들의 발달에 긍정적인 영향을 주는 것에 대한 구체적인 근거가 될 수 있다.

국문요약

이 연구의 목적은 학생들의 시스템 사고 수준을 측정하는 문항을 개발하기 위하여 첫째, 문헌 분석을 통해 시스템 사고 수준과 정의를 제시하고 둘째, 시스템 사고 정의와 수준에 근거하여 문항 개발을 위한 Framework을 개발하고 셋째, 시스템 사고 측정을 위한 열린 응답형 검사지를 채점할 수 있는 루브릭을 개발하는 것이다. 이를 위하여 문헌 분석 틀을 적용하여 국외 논문 60편에 대한 문헌 분석을 실시하였으며 분석된 내용을 근거로 시스템 사고 수준과 정의를 제시하였다. 그리고 시스템 사고 수준과 정의에 근거하여 각 수준별 핵심 아이디어와 평가 요소를 포함한 Framework을 개발하였다. 또한 순위 선다형 문항 외에 열린 응답형 검사 문항의 채점을 위한 루브릭을 개발하였다. 루브릭은 Hung(2008)이 개발한 시스템 사고 측정을 위한 루브릭에 기반하여 연구팀에서 시스템 사고 수준과 정의에 적합하도록 문항과 위계를 수정하였다. 그리고 각 문항마다 1~5점 척도로 변환이 가능하도록 각 점수에 대한 정의를 제시하였다. 연구팀이 개발한 시스템 사고 수준과 정의, 문항 개발을 위한 Framework, 열린 응답형 검사지 채점을 위한 루브릭에 대하여 과학교육 전문가 7인에게 내용 타당도 검증을 의뢰하였으며 그 결과 CVI가 세 도구에서 모두 .95 이상이 확인되었다. 이 연구 결과를 바탕으로 앞으로 학생들의 시스템 사고 수준을 측정할 수 있는 문항을 개발하고 개발된 문항에 대한 구인 타당도 및 준거 타당도 검증을 실시하고자 한다. 나아가 2015 개정 교육과정에서 강조하는 핵심 역량과 관련된 시스템 사고 수준의 체계적인 측정을 위한 타당화 연구도 진행하고자 한다.

주제어 : 시스템 사고, 시스템 사고 정의, 시스템 사고 수준, 시스템 사고 측정을 위한 루브릭

References

- American Educational Research Association, & American Psychological Association. National Council for Measurement in Education (AERA, APA, & NCME).(1999). Standards for educational and psychological testing.
- Arter, J., & McTighe, J.(2001). Scoring rubrics in the classroom: Using performance criteria for assessing and improving student performance. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & 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.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005b). A Study of Junior High Students' Perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & 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.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & 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.
- Bosch, O. J. H., King, C. A., Herbohn, J. L., Russell, I. W., & Smith, C. S. (2007). Getting the big picture in natural resource management—systems thinking as 'method' for scientists, policy makers and other stakeholders. *Systems Research and Behavioral Science*, 24(2), 217-232.
- 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.
- Broks, A. (2016). Systems Theory Of Systems Thinking - General And Particular Within Modern Science And Technology Education (STE). *Journal of Baltic Science Education*, 15(4), 408-410.
- Cabrera, D., Colosi, L., & Lobdell, C. (2008). Systems thinking. Evaluation and program planning, 31(3), 299-310.
- Checkland, P. (1981). Systems thinking, systems practice. Chichester: John Wiley & Son Ltd.
- Davis A., & Stroink, M. (2016). The Relationship between Systems Thinking and the New Ecological Paradigm. *Systems Research and Behavioral Science*, 33, 575-586.
- 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/sci.10081.
- Fehring, R. J. (1987). Methods to validate nursing diagnoses. *Heart and Lung*, 16(6), 625-629.
- 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.
- 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.
- Ison, R. (1999). Applying Systems Thinking to Higher Education. *Systems Research and Behavioral Science*, 16, 107-112.
- Jackson, M. (2003). Systems Thinking: Creative Holism for Manager. Chichester: John Wiley & Son Ltd.
- 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). Introspective reflection on applying systems thinking: Toward an incremental systems thinking. *Journal of Institute of*

- Governmental Studies, 11, 63-85.
- 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, 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., 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., 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.
- Maani, K. E., & Maharaj, V. (2004). Links between systems thinking and complex decision making. *System Dynamics Review*, 20(1), 21-48.
- Maani, K., & Cavana, R. Y. (2007). *Systems thinking, system dynamics: Managing change and complexity*. Prentice Hall.
- Mayer, V.J. (1995). Using the Earth system for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79, 375-391.
- Meadows, D. L., Booth Sweeney, L., & Martin Mehers, G. (2016). *The climate change playbook*. White River Junction, VT: Chelsea Green.
- Ministry of Education[MOE]. (2015). *Science curriculum*[no. 9]. Sejong: Author.
- Mitroff, I. I., & Linstone, H. A. (1993). *The unbound mind*. New York: Oxford University Press.
- 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.
- 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).
- Moon, B., Jeong, J., Kyung, J., Koh, Y., Youn, S., Kim, H., & Oh, K. (2004). Related conceptions 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.
- 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. & McDermott, I. (1997). *The art of systems thinking: Essential skills for creativity and problem solving*. London, UK: Thorsons Publishers.
- Orion, N. (2002). An Earth Systems curriculum development model. In V.J. Mayer(Ed.), *Global Science Literacy* (pp.159-168). Kluwer Academic Publishers.
- Orion, N., & Basis, T. (2008). Characterization of High School Students' System Thinking Skills in the Context of Earth Systems. Presented in the 2008 NARST Annual Meeting. March, 2008. Baltimore, U.S.A.
- Ossimitz, G. (2000). Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany. In P. Davidsen, D. N. Ford & A. N. Mashayekhi (Eds.), *Proceedings of the 18th International Conference System Dynamics Society_2000_4p.pdf*.
- 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.
- Park, K., Jeong, H., Jeon, J., & Lee, H. (2018). Development and application of systems thinking-based STEAM education program to improve Pre-service science teachers' systems thinking skill. *Teacher Education Research*, 57(1), 108-128.
- 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.
- Raudenbush, S. W., Rowan, B., & Cheong, Y. F. (1993). Higher order instructional goals in secondary schools: Class, teacher, and school influences. *American Educational Research Journal*, 30(3), 523-553.
- Resnick, L. B., & Resnick, D. P. (1992). Assessing the thinking curriculum: New tools for educational reform. In *Changing assessments* (pp. 37-75). Springer, Dordrecht.
- 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.
- Shear, L. F. (1998). *When Science Learners are Language Learners: Designing Linguistically Aware Instruction to Teach Science" the Knew Way"*. University of California, Berkeley May 1998.
- 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.
- 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.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world* (No. HD30. 2 S7835 2000).
- Sweeney, L. & Sterman, D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16, 4, 249-286.
- Sweeney, L. B., & Meadows, D. (2010). *The systems thinking playbook: Exercises to stretch and build learning and systems thinking capabilities*. Chelsea Green Publishing.
- Vo, H. V., Chae, B., & Olson, D. L. (2006). Integrating systems thinking into IS education. *Systems Research and Behavioral Science*, 23(1), 107-121.
- Walker, G. H., Stanton, N. A., Jenkins, D. P., & Salmon, P. M. (2009). From telephones to iPhones: Applying systems thinking to networked, interoperable products. *Applied Ergonomics*, 40(2), 206-215.
- Zeidler, D. L., Lederman, N. G., & Taylor, S. C. (1992). Fallacies and student discourse: Conceptualizing the role of critical thinking in science education. *Science Education*, 76(4), 437-450.
- Zohar, A., & Dori, Y. J. (2003). Higher order thinking skills and low-achieving students: Are they mutually exclusive?. *The journal of the learning sciences*, 12(2), 145-181.