



## 통합 주제로서의 시스템 개념에 대한 대학생들의 인식 분석

지영래, 송진웅\*  
서울대학교

### Analysis of Undergraduate Students' Perception of the Concept of System as Integrated Theme

Youngrae Ji, Jinwoong Song\*  
Seoul National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 25 November 2016

Received in revised form

7 January 2017

Accepted 17 February 2017

##### Keywords:

undergraduate student, system, perception

#### ABSTRACT

The goal of the study was to examine undergraduate students' perception of the importance of the concept of system in science. The participants are six undergraduate students in the department of science education. Data sources included interviews and interview notes. Results showed that students understood the concept of system as a group of objects, space, and boundaries, which differed from a previous research study about its details. The students also were able to explain the concept of system related with the process of problem solving. The students recognized as well the selection of system for analysis of natural phenomenon, explaining that the selection of system was determined by purpose of the observer. Lastly, the students explained that the concept of system was useful for science learning because it was strongly related with other science concepts, understanding of interactions, and learner's cognitive development.

## 1. 서론

최근에 과학교육의 떠오르는 화두는 교과 간의 통합적 접근이다. 통합 과학교육은 과학지식의 습득과 탐구의 수행을 통해 학생들이 통합적 안목을 갖추고 적용하는 것을 목적으로 한다(NRC, 2012); (AAAS, 2001); (AAAS, 1993); (NRC, 1996); (NGSS, 2013); (AAAS, 1989). 그러나 연구자들이 주장하는 통합의 방법은 일치된 견해를 보이지는 않는다. Fogarty(1991)는 통합교육의 방법을 단일 교과 내에서의 통합, 여러 교과에 걸친 통합, 학습자들 사이의 통합을 제안하였다. 통합의 연결고리가 되는 내용이 주제, 문제, 기초 기능, 사고 양식, 경험, 표현, 활동, 흥미 등으로 다양하게 제시되고 있다(Kim, 2003).

이와 같은 통합의 방법 중 대표적으로, 여러 교과에서 추출된 핵심 아이디어를 중심으로 통합을 시도하려는 수행의 결과물이 여러 연구에서 보고되고 있다(Choi & Choi, 1999; Kim *et al.*, 2014; Lee *et al.*, 2014). Lee *et al.*(2014)은 과거에도 시도되었던 과학 교과에서의 통합이 STEM 이후에 재점화된 것으로 보았다. 이는 STEM 이후에도 과학 교육에서는 분과별 학습이 주도되었기 때문에, 교육자들이 선택한 합리적인 통합의 방식이 분과별 중심 개념을 선정하여 재구성하거나 교육내용을 재구조화하는 방식이었기 때문이다. 이러한 맥락에서 국내에서도 통합적 관점을 통한 과학교육이 지속적으로 제안되어 왔다. Choi & Choi(1999)는 국내의 통합과학 내용의 재구조화를 위해, '자연을 바라보는 관점'과 '자연을 설명하는 5가지 포괄적 개념'(시스

템, 상호작용, 조화와 균형, 구조와 기능, 순환)을 제안하였다. Kim *et al.*(2014)은 국내 실정에 적합한 통합 개념의 선정을 위한 델파이 연구를 수행하여 해외의 통합 방식을 고찰하고 로컬화된 통합의 방식을 제안하였다. 그들은 과학 및 인문학 교과의 전문가들은 각 영역에서 서로 다른 통합 개념을 탐색하였는데, 두 영역에서 공통적으로 제시된 개념은 '구조, 다양성, 변화, 상호작용, 순환, 시스템, 환경'이었다.

한편, 과학과 교육과정에서도 통합을 위한 시도가 진행되고 있다. 국내외에서 국가교육과정 또는 과학교육표준의 수립을 위해 국가적 수준에서 실질적인 노력이 지속되어 왔다. 최근의 사례를 살펴보면, 미국, 캐나다 온타리오 주, 싱가포르 등을 비롯한 국가들에서 분화된 과학교과이 전문성 신장에 효과가 있음을 인정하면서도, 교과간의 연계를 강조한 교육과정의 효과와 실천 방안을 모색하고 있다(Bang, *et al.*, 2013; Lee, *et al.*, 2014). 이러한 국제적인 흐름에 영향을 받아 국내에서도 2015 개정 과학과 교육과정의 '통합과학'은 '물질과 규칙성', '시스템과 상호작용', '변화와 다양성', '환경과 에너지'의 4개 영역을 제시하였다(MOE, 2015). 이 4개의 영역은 '물질의 규칙성과 결합', '자연의 구성물질', '역학적 시스템', '지구시스템', '생명시스템', '화학변화', '생물다양성과 유지', '생태계와 환경', '핵 발전과 차세대 에너지'의 9개 핵심개념으로 구성된다.

주목할 점은 한국의 2015 개정 과학과 교육과정을 비롯하여 미국, 캐나다 온타리오 주, 싱가포르에서는 통합을 위한 개념으로 '시스템' 개념이 공통적으로 제시되었다는 것이다. 그 중에서도 미국의 과학교

\* 교신저자 : 송진웅 (jwsong@snu.ac.kr)

\*\* 본 논문은 지영래의 2016년도 박사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음

\*\*\* 이 논문은 2017년 정부재원(교육부 BK21플러스 사업비)으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(21B20151713505)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.1.0077>

육표준을 제시한 여러 문헌에서는, *Science for all American* (1989)을 시작으로 최근의 NGSS (2013)에 이르기까지 시스템이 통합주제로 일관되게 제안되었다는 점에 주목할 필요가 있다. 이와 같이 오랜 기간 ‘시스템’이 강조된 이유는, 시스템 개념이 교과 사이를 가로지르는(cross-cutting) 통합적 측면 외에도 해당 개념이 과학에서 갖는 중요성 때문이다. 그러나 시스템 개념이 과학의 여러 분과를 유기적으로 조직하는 기능을 담당하는지에 대해서는 실증적 연구는 부족한 실정이다.

과학 학습에서 시스템 개념의 중요성은 계속해서 보고되고 있다. 시스템 개념은 과학의 주요 개념인 에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화 등과 긴밀히 연결되며, 학생들이 통합적으로 사고할 수 있는 매개체의 기능을 한다(NRC, 1996). 이와 관련하여 Kitano (2002)는 시스템의 구성요소로부터 무엇인가를 찾아내는(what to look for) 학습에서 시스템의 구조(structure)와 역동성(dynamic)의 이해로 전화되어야 함을 주장했다. NRC(2011)는 시스템의 내부 또는 시스템의 내부와 외부 사이의 물질과 에너지를 추적하는 것이 탐구 과정에서 중요하며, 시스템에 대한 이해와 학생들의 개념 발달에 필요함을 주장했다. 한편, McIlldowie (1995)와 Millar (2000)는 에너지 개념을 정확히 이해하기 위해서는 에너지가 시스템의 물체들 사이에 분포되어 있다는 것이 학습되어야 한다고 보고했다. Knight *et al.* (2009)는 문제 상황에 보존법칙을 적용하려면 보존법칙에 적합한 시스템을 선택하는 것이 필수적이라고 지적했다.

이처럼 시스템 개념이 통합의 핵심 주제 또는 학습의 측면에서 강조되었으나, 학생들이 시스템 개념을 어떻게 인식하고 과학에서 갖는 시스템 개념의 기능 또는 역할을 탐색한 연구는 거의 찾아보기 힘들다. 최근에 Ji *et al.*(2016)은 문제풀이 과정에서 나타난 대학생들의 시스템의 정의와 시스템의 선택을 분석하였다. 응답자들은 시스템을 정의할 때 공간, 물질과 에너지, 관찰, 상호작용 등의 용어들을 사용하였고 문제풀이 과정에서 시스템을 선택하는 기준이 모호했다. 학생들이 인식하는 시스템과 시스템을 선택하는 행위는 문제풀이와 연결되지 못했는데, 그 이유를 확인하기 위해서는 시스템에 대한 학생들의 인식을 심층적으로 탐색하는 연구가 수행되어야 한다. 특히 시스템이라는 용어는 사회 전반에서 다양한 의미로 사용되므로 과학 교육에서 사용되고 학습자들이 인식하는 시스템에 대한 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다.

본 연구는 사범대학 과학교육과 학생들을 대상으로 한다. 사범대학에 소속된 대학생들은 한국의 최근 과학교육과정을 경험했으며 향후 잠재적인 중등 교사가 될 수 있다는 점에서 과학교육 학습과 과학과 교육과정에 대한 시사점을 도출하기에 적합한 대상일 것으로 기대했다. 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 대학생들을 시스템을 어떻게 설명하는가?

둘째, 대학생들이 과학 학습에서 시스템이 중요하다고 생각하는 이유는 무엇인가?

## II. 연구 대상 및 방법

연구 질문에 따른 면담 내용을 구성하기 위해 시스템의 인식과

과학 학습에서의 시스템 개념에 대한 선행문헌을 분석하였다. 과학 학습에서 시스템의 역할 또는 기능과 관련하여 교육과정 문헌과 시스템과 적용에 대한 연구를 분석하였다(AAAS, 1989; 1993, 2001, 2013; Ji *et al.*, 2016; NRC, 1996, 2011). 분석한 내용을 토대로 과학교육 박사 2인이 포함된 약 10인으로 구성된 학술 공동체에서 발표하고 설문 내용과 진행 방법을 검토하였다. 이후 과학교육과 전공 대학원생 2인을 대상으로 약 30분 동안 예비 면담을 진행하여, 설문 내용과 설문의 진행 방법 등을 보완하였다. 마지막으로 본 논문의 저자들이 최종적으로 설문의 구성과 진행을 협의한 후, 본 논문의 저자 중 1인이 면담을 수행하였다.

본 연구의 참여자들은 사범대학에 재학 중인 과학 교육을 전공하는 3, 4학년 학생 중, 연구 참여에 동의한 6명을 대상으로 하였다. 면담은 2015년 7월 말에서 8월 말까지 진행되었으며, 약 60~70분 동안 진행되었다. 연구자는 면담 시작에 앞서 면담에서 사용할 질문 목록을 제공하였다. 참여자들에게는 자유롭게 자신의 생각을 정리하고 설명할 수 있도록 메모지를 제공하였으며, 해당 메모지는 참여자의 허락을 받아 분석에 사용하였다. 면담이 진행되는 동안 연구자는 면담자의 설명을 듣고 정리하였으며, 면담이 진행되는 동안 지속적으로 면담자의 생각이 정확하게 기술되었는지 확인하였다. 연구 참여자들에게 동의를 얻어 면담 내용을 녹음하였다.

면담의 주요 내용은 Table 1과 같다. 첫째, ‘시스템에 대한 인식’과 관련하여 과학에서의 시스템에 대해 학생들이 설명하도록 하였다. 이에 추가하여 시스템이라는 용어를 접한 시기와 시스템과 관련하여 과학에서 학습한 내용을 조사하였다. 둘째, ‘과학학습에서의 시스템 개념의 역할’과 관련하여 문제풀이에서의 시스템 개념의 역할과 과학 학습에서 시스템이 중요한 이유를 학생들이 설명하도록 하였다.

수집된 자료는 각 질문별 응답을 연구자가 모두 전사하고 여러 번 정독하면서 나타나는 주제를 범주화하였다. 범주화된 내용은 공동 연구자와 학술대회 발표 및 학술 공동체에서 통해 수 차례에 걸쳐 수정하였다. 이러한 과정을 통해 시스템에 대한 인식은 ‘집합(group)’, ‘공간(space)’, ‘경계(boundary)’로 유목화하였으며, 과학 학습에서의 시스템 개념의 역할은 ‘문제 인식’, ‘해석’, ‘개념의 명확화’로 분류되었다.

Table 1. The categories of interview questions.

범주	주요 면담 내용
1. 시스템에 대한 인식	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 본인이 생각하는 과학에서의 시스템은 무엇인가요?</li> <li>- 시스템이라는 용어를 언제 접했나요?</li> <li>- 시스템과 관련하여 학습했던 내용은 무엇인가요?</li> </ul>
2. 과학 학습에서의 시스템 개념의 역할	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 시스템 개념은 문제풀이에서 어떤 역할을 하며, 그것이 왜 중요한가요?</li> <li>• 시스템은 과학 학습에서 왜 중요한가요?</li> </ul>

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 시스템에 대한 인식

Table 2. The students' perception on concept of system.

응답자	시스템 개념에 대한 인식		과학 학습에서의 시스템 개념의 역할
	시스템의 정의	시스템을 선택하는 기준	
학생 1	1) 공간	관찰자의 관점(목적)	시스템의 선택이 해석의 난이도를 결정함.
	2) 경계	해석에 적합하도록	
학생 2	1) 물체의 집합	관찰자의 관점(목적)	시스템의 경계에 의한 상호작용의 구분이 해석에 영향을 줌.
	2) 경계	관찰자의 관점(목적)	
학생 3	공간 또는 구역화	해석에 적합하도록	해석에 유리한 크리티컬한 경계가 존재함.
학생 4	물체의 집합	관찰자의 관점(목적)	개념을 명확하게 정의함.
학생 5	경계	해석에 적합하도록	1) 문제인식과 풀이 전략 수립과 관련됨. 2) 요인을 선택 및 제거하는 과정에서 학습자의 인지수준이 확장될 수 있음.
학생 6	물체의 집합	관찰자의 관점(목적)	문제인식 및 풀이 전략 수립과 관련됨.

#### 가. 물체의 집합으로 인식

‘학생2(S2)’는 나무토막을 밀 때 나무토막 하나에 힘을 작용하는 것처럼 볼 수도 있지만, 나무토막을 구성하는 수많은 입자들에 힘이 작용하는 것으로 생각할 수 있다고 설명하였다. 즉, ‘학생2’가 생각하는 시스템은 입자들이 모인 집합을 의미했다. 또한, ‘학생2’는 시스템이라 지칭된 ‘나무토막’에 힘을 가할 때, 힘이 가해지는 지점의 입자가 시스템을 이루는 입자들과 상호작용하여, 시스템 전체에 힘이 전달된다고 설명했다. 이는 American Association for the Advancement of Science(1989)이 ‘서로에게 영향을 미치는 사물들의 집합’을 시스템으로 정의한 것과 일치한다.

S2: 물리량이 변하는 상황에서... 시스템을 사용할 때 가장 쉬운... 가장 간단하게 말하면 물체를 밀 때 책에서는 교과서 같은 데에서는 **나무토막을 밀 때 하나로 보지만**, 엄청나게 **많은 입자들을** 미는 거잖아요. 힘을 가하는 지점 근처의 입자를 미는 것이고 그것들이 **상호작용**을 해서 하나로 움직이는 거니까요.

‘학생2’는 시스템을 선택하는 것이 ‘사람의 선택’과 관련된다고 설명했다. 이는 관찰자의 필요에 의해서 입자들이 여러 가지 방법으로 구성될 수 있다는 의미로 해석할 수 있다. 그러나 시스템을 구성하는 입자들의 선택의 ‘기준’이 분명하지 않다면, 그 선택의 의미가 없어지게 된다. 따라서 통합을 위한 주제로 시스템을 제안한 많은 문서들은 ‘목적에 따른 시스템의 경계 선택’을 학습 목표로 제시하고 있다

(American Association for the Advancement of Science, 1989; 1993, 2001, 2013; National Research Council, 1996, 2011).

연구자: 그렇다면 시스템은 나무토막 같이 수많은 입자로 이뤄진 것을 말하는 건가요?

S2: 큰 느낌은 **사람이 잡는 대로 하나의 시스템이 되는 것** 같아요.

그러나 ‘학생2’는 ‘입자의 상호작용’을 시스템의 상호작용을 설명했으며 구체적으로 시스템의 선택의 기준을 제시하지는 않았다. 이와 관련하여 과학교육에서는 시스템을 어떤 기준으로 선택하는지에 명시적인 학습을 제공하는 것이 필요할 것으로 보인다.

연구자: 본인이 생각하는 시스템은 무엇인가요?

S2: 입자의 상호작용과 보존에서 사용했던 것 같아요.

연구자: 입자의 상호작용과 관련해서 시스템을 설명할 수 있겠어요?

S2: 다시 생각해보니까 **입자의 상호작용에서 시스템을 쓴다기보다는, 시스템을 정의할 때 입자의 상호작용을 기준으로 정의하는 것 같아요.**

‘학생4(S4)’도 시스템을 ‘객체들의 집합’으로 인식하고 있었다. 그러나 ‘학생2’와 달리 시스템이 ‘시공간’ 안에서 ‘특정할 수 있게 규정’한다고 설명하였다. ‘학생4’에 따르면 시스템은 객체들을 ‘규정’해야 하며, 그 과정에서 ‘시공간’이 객체들을 구분할 수 있다고 생각한 것으로 판단된다. 시공간과 규정 사이의 관계는 ‘학생4’가 예로 제시한 컵 안에 있는 물 분자들의 집합에서 드러난다. 즉, 컵은 시공간의 역할을 하며 물 분자들의 집합을 컵이라는 시공간에 규정한 것을 시스템으로 인식한 것이다.

S4: 자연에 있어서, 자연을 이루는 여러 가지 요소들. 시공간을 포함해서 시공간 안에 있는 객체들이 있는데, **시스템은 시공간 안에 있는 객체들의 다수를 어느 특정할 수 있게 규정해 놓은 것들**. 예를 들어 컵 안에 있는 물 분자들의 집합. 여러 가지 자연의 요소들을 어떻게 놓느냐에 따라 다양하게 규정될 수 있다.

또한, ‘학생4’는 시스템을 ‘자연을 구성하는 다수의 객체의 모임’으로 지칭한 이유를 다음과 같이 설명하였다. 그 이유는 자연 현상의 복잡성 때문이다. 즉, 작은 시스템들로 구성된 현상을 하나의 복합 시스템으로 인식하고 탐구하기 위해서 시스템이라는 개념이 요구된다고 설명하였다. 같은 맥락으로 American Association for the Advancement of Science(1993, 2001), National Research Council (2012, 2013)에서는 시스템 관련 학습 목표의 하나로 복잡성(complexity)을 제안하고 있다. 해당 문헌들은 9-12학년 학생들이 ‘통계와 전형적 예’, ‘비결정성’에 대한 내용을 통해 복잡성을 학습할 수 있다고 제시하고 있다.

S4: 제 생각에는 역사적으로 볼 때 처음에 물리학이나 화학이 자연이 어떻게 돌아가는지 탐구하다가 자연을 탐구하다가 단순히 위주로 탐구하다가, 단순한 것을 어느 정도 해결했는데 **복잡한 자연계에 도입하려면 하나 하나의 단순계를 적용하기 어렵기 때문에 시스템이라는 것을 도입한 것 같아요.**

나. 공간으로 인식

‘학생1(S1)’은 시스템을 ‘공간’을 중심으로 설명하였다. 이 때 공간은 물체가 ‘존재’하는 공간으로, 물체와 공간은 독립적이지 않다는 것을 알 수 있다. Cushing(1998)은 공간에 대한 고대 철학자들의 관점을 3가지로 정리하였다. 세 가지 관점은 ‘원자론적 관점’, ‘플라톤적 관점’, ‘아리스토텔레스적 관점’이다. 원자론적 관점은 공간 자체의 물리적 특성을 강조하며, 플라톤적 관점은 공간과 물질의 연결을 강조하고, 아리스토텔레스적 관점은 공간의 인과적 본성을 강조한다. 또한, Ji *et al.* (2016)는 대학생들이 시스템을 설명할 때 ‘공간’이 가장 많은 핵심어로 제시된 것으로 보고했는데, 이는 공간과 물질의 관계가 시스템에 대한 인식과 긴밀하게 살펴볼 필요가 있다.

S1: 내가 보고자 하는 물체가 존재하는 공간이요.

‘학생1’은 면담이 진행되는 과정에서 시스템에 대한 인식을 ‘공간에 대한 해석’으로 수정하였다. 이는 시스템의 역할을 ‘보고자 하는 것을 간소화하는 과정’으로 설명하면서 나타났다. ‘학생1’은 공간이라는 용어를 사용했으나, 현상에서 해석하고 하는 ‘물리량’을 선택하는 과정을 의미했다. 예를 들어, 시스템에서 ‘선형운동량’과 ‘각운동량’이라는 두 가지 물리량 중에서, 관찰자가 하나의 물리량을 ‘선택적으로 해석’한 것으로 보인다.

연구자: 아까 시스템이 어떤 물체에 대해서 내가 보고자 하는 공간이라고 했는데요. 맞나요?

S1: 내가 보고자 하는 게 내가 무엇을 볼 건지에 대해 정하고 그것에 대해 해석하는 것 같아요. 선형운동량을 본다면 그것에 대한 것만 보고 각운동량을 본다면 그것만 보는 것처럼요.

연구자: 해석과 공간이 다른 것 같은데요?

S1: 해석이 좀 더 가까운 것 같아요. 그 공간에 대한 해석 정도로 하면 될 것 같아요.

한편, ‘학생3’은 시스템을 ‘구역화’한 것으로 인식하였다. 이 구역화는 ‘물리적 특성, 성질, 법칙의 작용’이 ‘확연히 달라지는’ 공간을 의미했다. 그는 시스템과 주위(surrounding)를 구분했는데, 시스템과 주위가 물리 법칙이 다르게 적용되어야 한다고 설명하고 있었다. ‘학생3’은 단열계 또는 버스와 같은 물리적 경계를 구역화의 예로 제시했다. 우선, 버스의 경우 관찰자의 위치를 강조했다. 관찰자가 버스 내부 또는 외부에 있는지에 따라 버스 안과 밖에서 적용되는 물리 법칙에 의한 해석이 달라질 수 있다고 설명했다. 그러나 이 사례는 관성, 비관성 좌표계를 시스템과 혼동한 것으로 보인다. 또한 단열계를 해석할 때 열원이 단열계 내부에 있는 것과 외부에 있는 것이 시스템을 선택하고 해석하는 것과 연결된다고 설명했다.

S3: 어떤 물리적인 특성이나 성질, 법칙이 작용하는 곳이 있을 때, 확연히 달라지는 부분들을 구역화한 것을 시스템이라고 해요.

연구자: 확연히 달라지는 구역에 대해 자세히 설명해 주실 수 있으세요?

S3: 그곳이 시스템의 경계가 되는데, 예를 들어, 단열이라든지 버스라든지 등이 밖에서 다르게 생각해야 하니까 (구역이라고 말했어요).

연구자: 밖에서와 다르다는 것이 중요한가요? 그리고 시스템 안에서 적용되는 법칙이 밖에서와 다르다는 것은 무슨 의미인가요?

S3: 관찰하는 위치도 중요할 수 있고, 그 자체로도 다를 수 있는 것 같아요. 관찰자가 아니어도 (다를 수 있는 것 같아요).

연구자: 그 자체로도 다르다는 것은 무엇이 다르다는 건가요?

S3: 구체적으로 생각을 말하면, 단열되는 상자가 있으면 그 안의 시스템과 밖의 시스템이 있을 것, 관찰자가 중요할 수 있는데 어떻게 보면 외부의 열로부터 단열이 되면 외부의 열로부터 안의 시스템에 영향을 미치지 않을 수 있으니까 물리적인 성질이 다르게 적용되어야 하는 것(을 말해요).

다. 경계로 인식

‘학생5(S5)’는 시스템을 ‘경계’를 중심으로 인식하고 있었다. 그는 시스템이 ‘물질과 에너지’가 교환되는 ‘경계’로 설명했다. ‘학생5’는 단열계와 고립계를 예를 들어, 시스템과 주위 사이에서 특정 물리량이 교환 여부를 결정하는 경계를 시스템으로 설명하였다. 나아가 경계선을 설정할 수 있어야 시스템으로 정의할 수 있다고 생각하고 있었다. 이는 NRC(2012)이 과학 탐구에서 시스템의 내부 또는 시스템과 주위 사이의 물질과 에너지를 추적의 중요성을 강조한 것과, Knight *et al.* (2009)와 Ji *et al.* (2016)이 보존법칙을 적용할 때 고립계를 선택하는 것을 강조한 것과 일치한다.

S5: 물리에서 다루는 것이 물질과 에너지에 대한 것. 물질과 에너지가 왔다갔다 하는 경계. 단열계 고립계와 같은 것은 내부와 외부가 있고 차단이 될 수도 있고 연결이 될 수 있는 것. 경계선을 설정할 수 있는 것을 계 또는 시스템

연구자는 경계에 대한 ‘학생5’의 생각을 자세히 살펴보기 위해 “경계는 어떻게 정해지는가?”에 대해서 물어보았다. ‘학생5’는 ‘기준’이라는 용어를 사용해서 시스템을 구체적으로 설명하였다. 그는 문제풀이 상황을 예로 들었다. 그가 생각하는 문제풀이에서의 시스템이란 “문제풀이에서 필요한 정보를 뽑아내는 곳”이며, “우리가 관심을 두는 곳”이었다. 즉, ‘학생5’가 인식하는 시스템은 ‘물질과 에너지의 경계’였으며, 시스템의 선택은 ‘인간(탐구자)의 선택’이며 ‘(탐구자의) 목적’을 갖고 행해지는 행위이다.

연구자: 경계선은 어떻게 정해지나요?

S5: 기준을 말씀하시는 건가요?

S5: 문제풀이에 있어서는 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내면 그것이 시스템인 것 같아요.

연구자: 그 때 경계는 무엇이지요?

S5: 그러니까 우리가 예를 들어 물체의 자유도나 이런 것을 만들 때 힘을 분석하잖아요. 문제풀이를 위해 필요한.. (예를 들어) 도르레에 수레가 있을 때. 이 부분을 계로 설정하잖아요. 여기서 일어난 일은 관심이 없잖아요. 물론 이 부분에 대해서도 우리가 관심을 갖을 수 있지만. 문제 풀이에 있어서는 우리가 집중하고자 하는... 문제풀이에 필요한 정보를 뽑아내는 것은 이 부분이란 말이지요. 제한적 의미에서의 계를 설정하는 방법. 사실 계를 설정한다는 것은 그 안에서 일어나는 일에 관심을 갖기 때문에 계를 설정. 국소적인 부분이 아니라 전체에 관심이 있다면 그것을 계로 설정할 수 있지요. 계는 어떤 부분에 대해 관심을 갖느냐에 따라 자유롭게 설정할 수 있는 것 같아요.

라. 관찰자의 관점으로 선택된 집합으로 인식

‘학생6(S6)’은 시스템을 ‘공통된 관점’으로 ‘인지’한 ‘묶음’으로 인식하고 있었다. ‘학생6’은 운동량, 시간, 질량 등이 ‘물리적 속성’이며, 이 물리적 속성이 ‘관점’에 의해 달라진다고 설명했다. 또한 그는 연구자의 ‘묶어 놓음’에 대한 질문에 대해, “한 데 모아서 보는 인지적 행위”라고 답했다. 그는 박스 안의 물체를 인지하거나 전기장과 같이 무한대의 개념이 필요한 경우에 무한대의 영역까지 확장되어 생각하는 것을 인지의 행위로 이해했다. 또한, 본인이 시스템을 묶음으로 설명했지만, 단일한 입자 또는 단일한 전하도 시스템이 될 것이라고 설명했다. 그렇지만 ‘학생6’의 설명에서 주목할 점은 단일한 입자가 장(field)의 의미를 갖기 때문에 시스템으로 설명할 수 있다는 것이다. 즉, 물리적 대상이 갖고 있는 물리적 의미가 장으로 연장(extension)으로 확장되었을 때 시스템으로 판단할 수 있다는 의미로 해석된다. Lee (2002)는 데카르트가 빈 공간을 거부한 것이 공간을 물질의 연장으로 보았기 때문이라고 지적한다. 이는 물체를 연장성을 지닌 실체로 인식한 것에서 비롯하며 물체의 연장성이 공간과 비독립적임을 의미한다. 따라서 ‘학생6’은 물체를 장이라는 연장성이 실제로 확장하고 이 연장성을 시스템으로 인식한 것으로 볼 수 있다.

S6: 어느 한 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고 싶은 것들을 묶어 놓은 것을 말해요.

연구자: 공통된 관점은 무엇인가요?

S6: 관성계량 비관성계와 같이. 저의 상태가 바뀌면 저의 관점도 바뀔 것이고, 물리적 속성은 그대로일지라도 (저의 상태에 따라) 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이 변하지 않더라도 관점 또는 인식에 의해서 속성이 달라진다는 의미인가요?

S6: 에너지는.. 하나로 동일한 것임에도 불구하고 달라질 수 있다는 것을 의미해요. 변화과정을 거치면 동일한 것이라도 달라질 수 있어요.

연구자: 물리적 속성이라는 것은 무엇인가요?

S6: 에너지, 에너지의 출입, 운동량, 시간, 질량을 말해요.

연구자: 앞에서 시스템이 공통된 관점을 이용해서 내가 인지하고자 하는 것들을 묶어 놓았다고 했는데, 묶어 놓은 것이란 붙어 있어야 한다는 것인가요?

S6: 한 데 모아서 본다는 의미로 설명했어요. 내가 만약에 박스 안에 놓은 것들을 인지한다. 예를 들어, 전기장은 무한대까지 펼쳐 나가 나가 무한대까지 (묶어서) 봐야겠지요.

연구자: 한 데 모아서 본다는 것은 여러 개의 대상이 있어야 한다는 것인가요?

S6: 전하 하나 질량 하나도 가능해요. 단일한 것(입자, 전하)도 장의 의미를 가지니까 하나라도 돼요.

또한, ‘학생6’은 ‘고려와 인지’를 ‘관찰’과 구분해서 설명했다. 그가 생각하는 ‘관찰’은 “바로 딱 봤을 때의 그 자체”인 반면 ‘고려와 인지’는 “생각하거나 분석하는 것”이라고 설명했다. 즉, ‘학생6’은 시스템이 생각하거나 분석하는 인지적 행위를 위해 묶어 놓은 대상을 의미한다.

연구자: 고려, 인지, 관찰이라는 용어를 사용했는데, 구분해서 설명할 수 있어요?

S6: 고려나 인지는 제 생각 속에서 생각하거나 분석하는 것을 의미하고, 관찰은 그 자체의 본다는 의미로 썼어요.

연구자: 그렇다면 관찰과 분석은 다르겠네요?

S6: 관찰은 바로 딱 봤을 때의 그 자체예요.

2. 과학 학습에서 시스템 개념의 역할

가. 문제 인식과 계획 단계에서 활용

‘학생6(S6)’은 시스템 개념이 제한 조건과 이상화와 연결되어 있기 때문에 문제풀이 과정에서 중요한 역할을 한다고 설명하였다. 이를테면 ‘학생6’은 얼음판 위에서 운동하는 물체에 작용하는 마찰력이 없다고 가정하게 되면 학생이 물체의 운동 상태를 쉽게 해석 가능하다고 생각했다. 이와 같은 방식은 과학자가 이론을 생성하거나 수정하는 과정에서 일반적으로 사용하는 방식이다. ‘학생6’은 이것이 문제를 풀어나가는 과정에서 기본적으로 사용되는 방식이며, 이 방식이 시스템을 ‘상징’하는 것과 관련된다고 설명했다.

Polya(1957)를 대표적으로 문제풀이(problem solving) 전략에 대한 많은 연구들에서는, 학생들이 몇 가지 단계를 거쳐 문제를 해결해 나간다고 설명한다. Larkin(1977)은 4단계(문제 기술, 해결을 위한 계획 수립, 수행, 결과 검토), Fraser(1982)는 3단계(인식, 계획, 실행 및 검증)로 문제풀이 단계를 제안하였다. ‘학생6’은 이 중에서 문제인식 및 계획 단계에서 시스템 개념이 사용된다고 설명한 것으로 볼 수 있다. 또한 모델링 연구들에서도 현상을 모형화하기 위해 현상을 단순화하고 이상화하는 과정의 중요성이 강조되고 있다(Halloun, 1996; Gilbert, 2004; Danusso et al., 2010).

S6: 문제 풀이에서는 우리 나라는 이것은 제한한다 등의 것들이 잘 나와서 상관없는데, 만약에 조건이 잘 제시되지 않으면 사고하고자 하는 것을 잘 모이두어야 한다. 얼음판에서의 운동에서. 마찰이 없는 것은 내가 생각하는 상황 계에서는 그것이 없다고 생각하는 것이 사고를 깔끔하게 하고 학생 자신이 잘 정할 수 있도록 하는 것

연구자: 학생 자신이 문제풀이에 필요한 것은 넣고 빼는 것을 이해하는 능력이 시스템을 이해하는 능력과 같은가요?

S6: 사고를 하기 위해서 할 수밖에 없는 것. 예를 들어 우주론 공부를 할 때 질량 분포가 다른데 균일하다고 생각하고 깔끔하게 접근하는 것이 시스템을 상징하는 것과 관계된다.

나. 현상에 대한 해석

‘학생1(S1)’은 시스템의 선택이 해당 시스템의 해석에서 중요하다고 설명했다. 그는 시스템을 ‘공간에 대한 해석’이라고 인식했었으며, 대상 또는 현상이 ‘어느 공간’에 속하는지가 시스템의 해석 여부를 결정한다고 설명했다.

연구자: 그렇다면 시스템을 잘 이해하고 있어야 했던 경험이 있었나요?

S1: (시스템을) 잘 잡아야 하는 것 같아요. 어느 공간에서 있었느냐 것에 대해 잘 잡아야 해석이 되니까요.

또한, ‘학생1’은 시스템을 단수 또는 복수로 선택하는 것에 따라, 시스템에 대한 관찰자의 ‘해석의 난이도’가 달라질 수 있다고 설명했다. 더 나아가서 그는 시스템의 선택 방법에 따라 시스템이 해석되지 ‘해석’되지 않을 수 있다고 생각하고 있었다.

S1: 시스템을 잘못 잡으면... 예를 들어, 상자 안에 피스톤 하나 박아 놓고 여기 저기 다른 시스템을 잡아 놓고 하면 해석이 되는 것을 하나의 시스템으로 보면 해석이 어려운 경우가 있었어요.

연구자: 하나의 시스템으로 보면 풀리지 않는다는 건가요?

S1: 하나의 시스템으로 보면 내부에서 뭐가 일어나는지 해석이 안 되잖아요. 사실 단열이라고 보면 운동이 없는 것인데, 두 개의 독립적인 시스템으로 보면 운동하는 경우도 있으니까요.

한편, ‘학생3(S3)’은 현상에 대한 ‘설명’, ‘해석’, ‘예측’이 시스템의 ‘크리티컬한 경계’에 따라 달라진다고 설명했다. 이는 시스템이 자유롭게 경계 지어질 수 있는 것이지만, 현상을 설명하는 ‘목적’에 가장 적합한 “크리티컬한 경계”가 존재한다고 인식하고 있음을 보여준다.

S3: 현상을 설명하고자 하는 목적에 따라 편리함을 위해 정하는 것. 어떤 시스템을 기준으로 생각하느냐에 따라 다르니까 크리티컬한 경계가 있어야 해요. 설명하고 해석하고 예측하기 위해서.

### 다. 다른 과학 개념의 이해

‘학생2(S2)’는 시스템이 임의적으로 선택될 수 있으며, 선택된 시스템을 통해 다른 개념의 이해와 관련된다고 설명하였다. 그는 중고등학교 때의 학습 경험을 예로 들었는데, ‘질량 중심’과 ‘보존’이 시스템 내에서의 물리량의 일정함과 관련하여 이해되어야 한다고 설명했다. 이는 McIlldowie (1995)와 Millar (2000)가 에너지 개념을 이해할 때, 에너지 개념이 임의의 물체에 위치하는 것이 아니라 시스템의 객체들 사이에 분포(distributed between objects of a system)되어 있다는 관점이 필요하다는 주장과 같은 맥락으로 이해할 수 있다.

S2: 큰 느낌은 사람이 잡는 대로 하나의 시스템이 되는 것 같아요.  
연구자: 잡는다는 것은 무엇을 의미하나요?

S2: 중고등학교 때를 생각해보면 문제를 해결하기 용이한 대로 시스템을 잡는 것. 주로 보존 상황. 입자 하나의 보존을 볼 수 있는데, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 것이 다른 것 같아요. 질량 중심이라든지 시스템 내에서의 보존을 얘기할 수 있고, 입자 여러 개가 모여서 보여지는 물리적 성질이나, 시스템의 안과 밖을 구분 지으려고 시스템을 이야기한 것 같아요.

‘학생4(S4)’는 여러 다양한 개념들을 명확히 하는 데 시스템이 중요한 역할을 한다고 설명했다. 그는 현상을 설명하는 동일한 개념일 지라도 사람들이 갖고 있는 개념은 동일하지 않기 때문에 개념을 객관적으로 정의하는 것이 중요하다고 생각하고 있었다. 이 때 “시스템이 개념들을 명확히 하며”, “사람들이 서로 간에 말이 통하기” 위해서 시스템을 매개로 개념을 분명히 하는 것이 필요하다고 설명했다.

연구자: 과학을 배울 때 또는 물리학을 배울 때 시스템을 잘 배워야 하는 이유는 뭐라고 생각해요?

S4: 여러 가지 측면을 생각할 수 있겠는데, 그 중에 하나는 개념인 것 같아요. 자연 현상은 그 자체로 있는데, 우리가 자연 현상을 설명하기 위해서 여러 가지 개념들을 도입하잖아요? 각자 그 사람들이 갖고 있는 개념이 분명히 똑같은 걸 생각하고 있지만 얘기하다 보면 다르다. (중략) 시스템에 대해서도 사람들마다 생각이 다를 것 같아요. 온도, 전자기 등에 대한 여러 개념들이 다른데, 시스템이 개념들

을 명확히 해 줄 수 있을 것 같아요. 그래서 사람들이 서로 간에 말이 통하려면 서로 생각하는 게 똑같아야 하나 시스템이 열통계에서 중요한 것 같아요.

이어서 ‘학생4’는 시스템을 중심으로 개념을 명확히 하는 것이 중등 교육에서도 중요하며 이를 가르치는 교사도 시스템에 기반 한 개념 이해의 필요성을 강조했다. 이를 위해서는 시스템 개념 이외에 상호작용, 에너지의 개념이 함께 개념 형성에 작용할 필요가 있다고 설명했다. NRC (2011)는 시스템 개념이 과학의 주요 개념인 ‘에너지, 물질, 구조, 기능, 안정성, 변화’ 등과 관련된다는 제안과 같은 맥락으로 볼 수 있다.

S4: 계 하나만으로는 부족하고 시스템, 상호작용, 에너지 이렇게 했을 때. 예를 들면 말 그대로 “열 같은 거는 어떤 사람은 물체의 뜨거운 정도지. 어떤 사람은 에너지를 주고 받은 거를 열이라고 하지.” 그럼 열을 그 자체로 생각하는 사람도 있고 에너지의 이동이라고 생각하는 사람도 있는데, 어. 그런 거를 명확하게 규정할 때 무엇을 시스템이라고 할 것인가? 입자들 간의 모임? 아니면 상호작용은 입자들인 무언가를 주고 받은 것을 상호작용이라고 하는가. 에너지는 또 그 입자들이 갖는 운동량의 총합이라던가 뭐라든가 할 때, 시스템이 빠지는 것을 본 적이 없어요. 사실 열통계에서 많이 다뤘기 때문에 다른 데에서는 어떻게 정의될 수 있는지에 대해서는 생각해 봐야 할 것 같은 한데, 입자들을 다른 이상 보니까 중학교 교과서에서 열과 관련된 게 나와요. 온도, 열평형 이 나오는데 오개념을 갖고 있으면 큰일 나잖아요. 교사들에게도 명확하게 시스템이라는 개념을 갖고 설명할 필요가 있겠죠

### 라. 해석에 유효한 상호작용을 구분

‘학생(S2)’는 상호작용하는 물리량이 시스템의 경계를 기준으로 구분할 수 있다고 설명했다. 그는 이렇게 구분된 물리량 중에 일부가 계산 과정에서 제외할 수 있어 계산의 편의성을 얻을 수 있다고 생각했다. 그는 내력과 외력의 구분이 대표적인 예이며 두 힘의 구분이 시스템을 경계 선택을 통해 가능하다고 설명했다. 그에게 시스템과 주위의 구분은 시스템을 선택하게 되면 ‘순간적’으로 일어나는 행위였다. 이와 같은 시스템과 주위의 구분은 상호작용을 세 가지로 구분할 수 있게 했다. 1) 시스템 내부 물체 사이에 작용하는 물리량 2) 시스템 외부 물체 사이에 작용하는 물리량 3) 시스템 내부와 외부 물체 사이에 작용하는 물리량. ‘학생2’가 설명한 물리량인 내력과 외력은 위의 상호작용 중 각각 1)과 3)에 해당한다.

또한 그는 열역학에서 시스템과 주위의 출입하는 물리량에 대한 설명에서 외부에서 상호작용이 “의미가 없다”고 설명했다. 그 이유는 관찰자가 관심을 두는 대상이 시스템이므로, 시스템에 영향을 주는 상호작용이 아닌 ‘외부의 객체들 사이에서의 상호작용’은 관찰자의 탐구 행위와 무관하기 때문이다. 따라서 ‘학생2’가 예로 제시한 바와 같이, 열역학에서는 ‘시스템과 외부의 출입’이 관심 대상이며 “외부에서 왔다 갔다 하는 (상호작용은)” 의미가 없게 된다.

S2: 시스템을 잡는 순간 시스템과 주위가 구분이 되는 거잖아요. 크게 세 가지로 나눌 수 있는 것 같은데, 시스템 내부 사이에 작용하는 힘, 외부 물체 사이에 작용하는 힘, 시스템 내부의 파티클과 외부에서의 상호작용.

S2: 네. 시스템을 잡았을 때 내력을 얘기할 수 있고, 외력을 얘기할 수 있을 것 같아요.  
 연구자: 혹시 내력과 외력과 같이 시스템을 잡아야만 이해할 수 있는 이론, 법칙, 개념들이 있나요?  
 S2: 외력만큼 시스템을 잡아야만 하는지 명확하지는 않는데, **열역학에서 시스템과 외부의 출입을 얘기하잖아요.** 마찬가지로 시스템을 잡고... **외부에서 왔다가 갔다 하는 것은 의미가 없을 테고...** 동적 평형같이...

마. 요인의 선택 및 제거

‘학생5(S5)’는 문제 상황에서 요인을 선택하거나 제거하는 것을 통해 학생의 인지 수준을 확장할 수 있다고 설명하였다. 그는 문제 상황이 제시됐을 때, 학생들이 필요한 요인들을 선택하고 그 요인을 토대로 문제 상황을 이해하는 절차가 학습에서 중요한 역할을 한다고 설명하였다. 이러한 절차는 문제 풀이 과정의 문제 인식 단계에 해당하는데, 그 단계가 시스템 개념과 긴밀하다고 이해하고 있었다.

연구자: 과학 학습에서 시스템은 왜 중요한가?  
 S5: 그렇죠. 왜냐하면 **학습에서는 더욱 중요한 것이. 교육학적인 측면에서 학생들의 인지 수준이 한계가 있잖아요. 그 한계 수준을 넘어서는 것을 계속 생각하게 하면.** 성취 수준에 도달시킬 수 있는 적절한 교육과정인 것이 아닌 것 같아요. 고등학교 때 자유도를 언급하셨던 것도 이 수준에서는 이 부분에 관심을 갖아야 한다. 힘들어 영향을 받는 범위라는 측면에서 시스템에 대한 사고가 잡혔을 것. 그런 사고는 **복잡한 문제가 나왔을 때 필요한 힘들을 추출을 해내고 이 운동에 영향을 미치는 요소들을 분석을 할 때. 필요한 팩터들을 추출해 낼 수 있을 때. 그리고 그것들이 시스템이 되는 것이지요.** 학습에서 우리가 원하는 요소들을 추출하는 것에 대해 알려주는 측면에서 **중요해요.**

또한 ‘학생5’는 시스템을 ‘좁은 의미’와 ‘넓은 의미’로 구분해서 설명했다. 그가 생각하는 좁은 의미는 고려해야 하는 요인이 소수일 때를 의미했다. 문제 상황에서 고려해야 하는 요인들의 수가 증가할 수록 해석하는 것은 어려워지지만 실제 현상에 대한 해석에 근접하게 된다. 그러나 ‘학생5’가 바라는 학습이 많은 요인들을 고려하여 복잡한 계산을 하는 것을 의미하는 것은 아니다. 그는 학생들이 적은 수의 요인에서 많은 수의 요인으로 확장해 나가는 방법을 교사가 가르치는 교수 학습이 필요하다고 설명했다.

S5: **좁은 의미로 가르치는 것이 직접적인 영향을 주는 요소들을 아는 것. 넓게 이해한다는 것은... 학습에서 있어서 갑자기 생각난 것인데, 시스템을 좁은 의미로 한정된 것으로 보는 것이 아니라 좁히고 넓히는 것을 아는 것을 배워야 한다고 생각해요.**  
 연구자: 좁은 의미 넓은 의미를 다시 설명하면 무엇인가요?  
 S5: 좁은 의미로는 이 힘들만 분석하면 되는데, 미찰력이 추가되면 수평 성분만 알면 됐는데, 미찰력이 포함되면서 수직 성분도 알아야 하잖아요. 따라서 수평방향 성분만 인다고 하면 이 문제를 풀 수가 없다. 교사의 역할은 문제풀이에서 필요한 요소를 추출하는 것을 가르쳐야 하지만. **좀 더 넓은 문제가 됐을 때 직접적이지 않았던 성분을 어떻게 다루야 하는지 가르쳐야 해요.**  
 연구자: **확장 가능성까지** 고려한 학습이 되어야 한다?  
 S5: 네

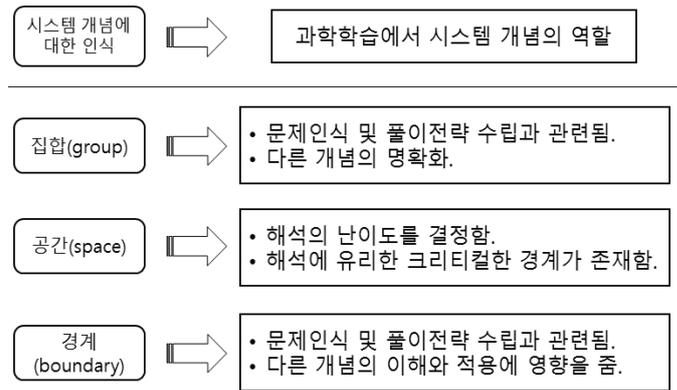


Figure 1. The relationship between the students' perception and role of system concept in science education.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 사범대 3, 4학년 학생들의 시스템 개념에 대한 인식과 과학에서의 역할을 탐색하였다. 분석결과를 종합하고 이에 대한 해석과 시사점을 논의하면 다음과 같다.

첫째, 학생들은 시스템을 객체들의 집합, 공간, 경계 등으로 인식했으며, 선행연구와 다르게 면담 과정에서 구체적이며 다양한 설명을 확인할 수 있었다. 기존의 연구(Ji et al., 2016)와 달리 심층 면담으로 진행하였기 때문에 시스템에 대한 학생들의 인식을 자세히 살펴볼 수 있었다. 또한 면담을 통해 시스템 개념이 갖는 역할 등과 같은 관련 질문에 응답하면서 면담 초기에 갖고 있던 시스템의 인식에 추가된 요소들이 진술되기도 하였다. 이를테면 ‘학생2’는 면담 초기에 시스템 개념이 ‘입자들의 모임’으로 설명하였는데, 면담이 진행되며 ‘상호작용’과 ‘시스템 선택의 임의성’을 추가하였다. ‘학생4’는 면담 초기에 ‘시공간’에 있는 ‘입자들의 모임’으로 설명했으며, 면담이 진행되며 ‘복잡성(compexity)’을 고려한 시스템의 선택의 중요성을 추가하여 설명하였다.

또한 대다수의 선행연구들에서 시스템을 공간과 관련하여 정의하지 않았지만, 본 연구를 포함한 소수의 연구들에서 공간이 시스템을 정의하는 데 사용되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 왜 학생들이 시스템을 공간으로 설명하고 있는지에 대해서는 거의 논의되지 않았다. 면담 초기에 ‘학생1’은 물체가 존재하는 공간으로 시스템을 설명하였지만, 면담이 진행되며 공간에 대한 해석으로 설명을 수정하였다. 이와 같이 시스템이 공간과 관련하여 학생들에게 인식되고 있다는 것은, 물체(또는 물질)와 공간의 독립성 여부에 대한 과학철학의 오래된 쟁점과 무관하지 않다(Cushing, 1999). 즉, 시스템은 물체와 공간의 관계에 대한 학생들의 인식과도 관련되는 개념으로 과학철학과 연계하여 학습될 수 있는 주제이다.

둘째, 학생들은 문제 인식과 계획 단계 등의 문제 해결 단계에서 시스템 개념이 관련된다고 설명했다. 그들은 시스템을 선택할 때 요인을 추가하거나 제거하는 과정이 문제 인식과 계획 수립과 직결된다고 생각하고 있었다. 문제해결(problem solving)에 대한 대다수의 선행연구들은 문제해결 전략의 전반부에 문제 인식과 문제해결 계획 수립이 포함되어야 한다고 주장한다(Polya, 1957; Larkin, 1977; Fraser, 1982). 또한 모델링 과정에서도 현상을 모형화하기 위해 실제

세계를 단순화하거나 이상화하는 과정이 수행된다(Halloun, 1996; Gilbert, 2004; Danusso *et al.*, 2010). 주목할 점은 문제풀이 또는 모델링에 대한 연구들에서 시스템 개념이 사용되고 있다는 것이다. 연구에 참여한 학생들도 시스템 개념을 명시적으로 학습한 경험은 없었지만 누적된 문제해결 경험을 통해 시스템의 필요성을 인식하고 있었다. 그들은 문제풀이 단계에 시스템 개념이 요구되는 이유로 시스템 선택이 ‘관찰자 또는 문제해결 주체의 임의적 선택’ 때문이라고 응답했다. 즉, 학생들이 생각하기에 시스템은 관찰자가 자율적으로 선택할 수 있는 것으로 인식되고 있었다. 그러나 일부 학생들은 관찰자가 선택하는 시스템의 구성요소가 입자 외에도 제한 조건(마찰력 유무, 질점 여부)과 물리량까지 포함되어야 한다고 응답했다. 그러나 시스템 선택의 임의성을 지나치게 확장하는 것은 지양할 필요가 있으며 적절한 기준이 제공되어야 할 것이다.

셋째, 학생들은 자연 현상의 해석과 관련하여 시스템의 선택이 중요하다고 생각했다. 시스템은 관찰자의 목적에 따라 선택되고 주위와 구분된다. 따라서 임의의 목적으로 선택된 시스템은 해당 목적을 위한 해석의 도구이다. 대부분의 선행연구들에서는 이를 시스템의 경계(boundary)로 명명하고 시스템과 관련된 학습목표로 제시하고 있다(AAAS, 1989, 1993; NRC, 1996, 2012). ‘학생6’은 시스템을 ‘공통된 관점’을 이용해서 ‘인지하고 싶은 것들’을 묶어 놓은 것이라고 설명했다. 게다가 단일한 입자가 ‘장(field)’을 생성하기 때문에 입자 하나를 시스템으로 선택하더라도 입자가 갖는 공간에서의 연장성을 고려하여 시스템을 설명하고 있었다. 또한 ‘학생1’은 시스템을 ‘잘 잡는 것’이 해석의 가능 여부와 직접 연결될 수 있다고 설명하였다. 향후 보존 법칙을 적용하기 위해서 고립계를 선택하거나(Knight *et al.*, 2009; Ji *et al.*, 2016) 운동과 상호작용을 기술하기 위해서 시스템의 분석(Rief, 1995)을 강조한 선행연구들을 토대로 시스템의 선택과 관련된 구체적인 지도가 요구된다.

넷째, 학생들은 다른 과학 개념 및 상호작용의 이해, 학생의 인지 발달 등과 같이 학습과 관련되어 시스템 개념이 유용하다고 설명했다. 학생들은 시스템에 대한 인식과 과학에서의 중요성 등을 설명하면서 자발적으로 시스템과 관련된 과학 개념들을 제시했다. 주목할 점은 관련 개념을 제시한 학생들의 대부분이 해당 개념을 학습한 후 어느 정도 시간이 흐르고 그 개념이 시스템과 관련되었다는 것을 알았다고 응답했다는 것이다. 즉, 학생들이 시스템과 관련하여 학습했기 때문에 해당 관련 개념을 더 잘 이해했다고 설명한 학생들도 있었지만, 일부 학생들은 더 높은 수준의 학습이 이뤄진 후 제시한 개념이 시스템과 긴밀한 개념임을 알았다고 응답하였다. 학생들이 생각하는 시스템과 관련된 과학 개념은 질량 중심, 물리량의 보존, 온도, 전자기, 열역학, 마찰력 등이 있었다. 또한, 상호작용과 관련하여 시스템의 경계를 기준으로 열역학을 이해하거나 내력과 외력을 구분해야 한다고 설명하였다. 이와 같이 연구 참여자들이 시스템을 중심으로 여러 개념 및 상호작용을 이해하는 것이 효과적이라는 응답은, 학생들이 통합적으로 사고할 수 있게 하고(NRC, 1996) 학생의 개념 발달을 촉진할 수 있다(NRC, 2012)는 선행연구의 결과와 일치한다.

마지막으로, 학생들이 시스템을 인식하는 유형에 따라 그들이 생각하는 과학 학습에서의 시스템의 역할은 차이가 있었다. 시스템을 ‘집합’ 또는 ‘경계’로 인식하고 있는 학생들은, 시스템 개념이 문제풀이 전략의 전반부에 속하는 문제인식 및 풀이 전략 수립에서 중요한

역할을 한다고 설명했다. 반면, 시스템을 ‘공간’으로 인식했던 학생들은, 시스템 개념이 문제의 해석에서 중요하다고 응답했다. 이와 같은 결과는 시스템 개념이 문제 풀이 전략의 초반과 후반 단계에서 활용될 수 있다는 가능성을 제시한다. 이는 선행 문헌들에서 문제 해결에서 시스템 개념이 강조되고, 이에 따라 과학 학습에서 강조되어야 한다는 결과와도 일치한다(AAAS, 1989, 1993; NRC, 1996, 2012). 그러나 학생들이 문제 인식과 해석 단계 모두에서 시스템의 역할이 있다고 응답하지 않았던 점은 개선될 필요가 있다. 즉, 시스템 개념이 문제풀이 전략 수립과 해석에까지의 일관성 있는 관점을 제공할 수 있으며, 현상의 해석은 문제 인식 단계에서 시작된 관찰자의 의도와 ‘의미 있게’ 연결되어 있을 수 있다는 점도 과학 학습에서 다뤄질 필요가 있다.

본 연구는 시스템 개념에 대한 학생들의 인식과 과학 학습에서의 중요성을 통해 통합 주제로서의 시스템 개념의 가능성을 확인할 수 있었다. 연구 결과에 따르면 학생들이 인식하는 시스템 개념에 따라 과학 교과 학습에서의 중요성은 차이가 있었다. 이는 중등 과학과 교육과정 상에서 시스템이라는 용어가 명시적으로 제시되지 않았기 때문일 수도 있다. 그러나 학습 영역에 따라 시스템 개념이 맥락적으로 활용 가능한 개념이며 다양하게 사고할 수 있는 매개체의 역할이 가능하다는 의미일 수 있다. 2015 개정 교육과정 상에 시스템이라는 개념이 하나의 영역으로 추가된 시점에서 시스템에 대한 개념 정립 및 활용 방안 그리고 교사와 학생들의 인식에 대한 후속 연구가 지속적으로 이어질 필요가 있다.

## 국문요약

본 연구의 목적은 대학생들의 시스템 개념에 대한 인식과 중요성을 탐색하여 과학 학습에 대한 시사점을 알아보는 것이다. 이를 위해 6명의 사범대학 학생들을 대상으로 심층 면담을 실시하였다. 면담에서 사용된 질문은 시스템에 대한 인식, 과학에서의 시스템 적용, 과학 학습에서의 시스템의 중요성으로 구성하였다. 분석은 면담 과정에서 사용한 주요 메모를 정리한 노트와 면담 과정을 녹음 후 전사한 자료를 토대로 진행되었다. 분석 결과, 첫째, 학생들은 시스템을 객체들의 집합, 공간, 경계 등으로 인식했으며, 선행연구와 다르게 면담 과정에서 구체적이며 다양한 설명을 확인할 수 있었다. 둘째, 학생들은 문제 인식과 계획 단계 등의 문제 해결 단계에서 시스템 개념이 관련된다 고 설명했다. 이는 시스템을 선택할 때 요인을 추가하거나 제거하는 과정이 문제 해결 단계와 동일하다고 이해하고 있었기 때문이다. 셋째, 학생들은 자연 현상의 해석과 관련하여 시스템의 선택이 중요하다고 생각했다. 시스템은 관찰자의 목적에 따라 선택되고 주위와 구분된다. 넷째, 학생들은 다른 과학 개념 및 상호작용의 이해, 학생의 인지 발달 등과 같이 학습과 관련되어 시스템 개념이 유용하다고 설명했다. 본 연구결과에 따른 과학 교수 학습에서의 시사점을 논의하였다.

**주제어 :** 대학생, 시스템, 인식

## References

- American Association for the Advancement of Science. (1989). *Science for all Americans*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for scientific literacy*. New York: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science. (2001). *Atlas of science literacy, volume 1*. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science (AAAS) and the National Science Teachers Association.
- Bang, D., Park, E., Yoon, H., Kim, J., Lee, Y., Park, J., Song, J., Dong, H., Shim, B., Lim, H., & Lee, H. (2013). The design of curricular framework for integrated science education based on big idea. *Journal of Korean Association for Science Education*, 33(5), 1041-1054.
- Choi, M. & Choi, B. (1999). Content Organization of Middle School Integrated Science Focusing on the Integrated Theme. *Journal of Korean Association for Science Education*, 19(2), 204-216.
- Cushing, J. (1998). *Philosophical concepts in physics*. Cambridge: CUP.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Fogarty, R. (1991). Ten ways to integrated curriculum. *Educational Leadership*, 49(2), 61-65.
- Frazer, M. (1982). Nyholm Lecture. Solving chemical problems. *Chemical Society Reviews*, 11(2), 171-190.
- Gilbert, J. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.
- Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(9), 1019-1041.
- Ji, Y., Cheong, Y., & Song, J. (2016). Characteristics of Undergraduate Students' Problem Solving the Law of Conservation in Mechanics with a Focus on Understanding the System. *New Physics: Sae Mulli*. 66(4). 422-33.
- Kim, J. (2003). *Integrated curriculum*. Seoul: kyoyookbook.
- Kim, J., Park, J., Yoon, H., Park, E., & Bang, D. (2014). Selection of Integrated Concepts Across Science and Humanities Using the Delphi Method. *Journal of Korean Association for Science Education*, 34(6), 549-558.
- Kim, N. & Shim, K. (2015). Educational Implications for Pre-Service Science Teacher Training through the Comparative Analysis between 'Integrated Science' based on the 2015 Revised Science Curriculum and Educational Contents presented in the Pre-Service Science Teachers' Textbooks of the College of Education. *Journal of Korean Association for Science Education*, 35(6), 1039-1048.
- Kitano, H. (2002). Systems biology: a brief overview. *Science*, 295(5560), 1662-1664.
- Knight, R., Jones, B., & Field, S. (2009). *College Physics*. Pearson Education.
- Larkin, J. (1977). *Problem solving in physics*. University of California. Department of Physics. Group in Science and Mathematics Education.
- Lee, S. (2001). Scientific Progress as a Change in World View: A Comparative Study between Newton's Mechanics and the Theory of Special Relativity. *Korean Journal for the Philosophy of Science*. 4(2). 31-59.
- Lee, Y., Yoon, H., Song, J., & Bang, D. (2014). Analysis of science educational contents of Singapore, Canada and US focused on the integrated concepts. *Journal of Korean Association for Science Education*, 34(1), 21-32.
- McIlldowie, E. (1995). Energy transfer-where did we go wrong?. *Physics education*, 30(4), 228.
- Millar, J. (2000). *Improving science education: The contribution of research*. McGraw-Hill Education (UK).
- Ministry of Education (MOE). (2015). *2015 revised curriculum -Science-*. Seoul: Ministry of Education.
- Ministry of Education (MOE). (2015). *High school science curriculum*. Seoul: Ministry of Education
- National Research Council. (1996). *National science education standards*: National Academy Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. (2012). The National Academies Press.
- Next Generation Science Standards: For States, By States. (2013). The National Academies Press.
- Polya, G. (1957). *How to Solve it: A new mathematical method*. New York: Doubleday.