

## 온라인 문제기반 과학 탐구과제 평가준거 개발

최경애<sup>1</sup>, 이성혜<sup>2</sup>, 채유정<sup>2\*</sup><sup>1</sup>중부대학교, <sup>2</sup>한국과학기술원

## Development of Evaluation Criteria for Online Problem-Based Science Learning

Kyoungae Choi<sup>1</sup>, Sunghye Lee<sup>2</sup>, Yoojung Chae<sup>2\*</sup><sup>1</sup>Joongbu University, <sup>2</sup>KAIST

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 26 September 2017

Received in revised form

20 October 2017

25 October 2017

Accepted 25 October 2017

## Keywords:

evaluation of thinking abilities,  
online science inquiry problem  
evaluation, development of  
thinking ability-centered  
evaluation criteria

## ABSTRACT

The purpose of this study is to develop the evaluation criteria for students' research reports on online science inquiry problems that promote thinking abilities. The steps of developing the evaluation criteria are as follows; First, based on previous study results and literature review, the evaluation categories of the science inquiry contents were determined: 1) knowledge, 2) logical and analytical thinking, 3) critical thinking, 4) science process skills, 5) problem-solving, and 6) creative thinking. Second, evaluation criteria are developed according to the following steps: 1) define each category, 2) identify sub-category, 3) develop evaluation criteria for all categories that could serve as guidelines in the development of scoring rubrics, and 4) expert validation processes were performed. Finally, the usability test for these evaluation categories and criteria were done by being applied to the development of real scoring rubrics for 24 problems included in e-learning contents. Then the users' feedbacks were filed and the implications of this study were discussed.

## 1. 서론

과학기술의 급속한 발전과 이에 따른 지식의 폭발적 증가는 많은 양의 지식을 보유한 학습자를 길러내는 것 보다 빠르게 변화하는 사회에서 대두되는 다양한 문제를 해결할 수 있는 역량을 지닌 학습자를 길러낼 것을 요구하고 있다. 이러한 사회적 변화와 인재상의 변화는 교육의 변화를 필수적으로 수반할 수밖에 없으며, 이미 다양한 교과영역에서 전통적인 역량이 아닌 새로운 역량을 강조하고 있다. 2015개정 과학교육과정의 목표 또한 ‘...과학의 핵심 개념에 대한 이해와 탐구 능력의 함양을 통하여, 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기른다.’고 명시되어 있다(Ministry of Education, 2015). 이와 같이 새롭게 강조되고 있는 역량의 핵심적인 특징은 문제해결이라고 할 수 있으며, 따라서 문제해결과 관련된 고차적 사고력(higher order thinking skills)의 계발은 전 교과에서 중요한 교육 목표로 삼고 있다. 고차적 사고력은 합리적으로 문제를 해결하는 데 필요한 사고력으로, 문제인식 및 문제해결에 필요한 인지적 처리 및 사고 활동을 말하는데(Shin, et al., 2013), 복잡한 문제의 해결을 위해서는 정보의 분석 및 통합, 논리·비판적, 창의적 문제해결력 등과 같이 다양한 사고력이 요구된다(Kim, 2002).

고차적 사고력은 합리적으로 문제를 해결하는 데 필요한 사고력으로, 문제인식 및 문제해결에 필요한 인지적 처리 및 사고 활동을 말하며, 따라서 고차적 사고력을 향상시키기 위해서는 문제해결 중심의 탐구 학습 기회를 제공하여 특히 주어진 사실이나 지식을 응용 또는

적용하는 일반적 문제해결을 넘어 새로운 아이디어를 창출하는 경험을 할 수 있어야 한다(Shin et al., 2013). 실제 생활과 관련된 문제에 대한 해결책을 찾기 위해 학습자가 자료들을 수집, 분석하고, 문제와 지식을 연결하고, 새로운 해결책을 제시하고, 제시된 해결책을 성찰, 반성하는 과정을 통해 논리·비판적 사고, 문제해결력, 창의적 사고 등이 신장될 수 있다는 것이다. 2007년 개정 과학교육과정에서 창의적 문제해결 능력이 처음으로 제시된 이래(Cho & Choi, 2008), 현재까지 창의적 문제해결력은 과학교육 및 과학영재교육 분야에서는 가장 핵심적인 교육목표로 강조되어 왔다.

그러나 선행연구들은 과학수업은 물론 과학영재수업에서도 이러한 목표를 강조한 수업의 비중이 여전히 낮은 것으로 보고하고 있다(Park & Kang, 2011; Park, Ryu, & Choi, 2017). 이렇게 창의적 문제해결력과 같이 고차적 사고력을 강조하는 교육목표의 대두에도 불구하고 이것이 교육현장에 적용되지 못하는 이유는 이를 구현하기 위한 교수 방법과 평가 방법에 대한 제시가 미흡하기 때문이라는 의견이 제기된 바 있다(Park & Kang, 2011). 이에 많은 연구자들이 교육 현장에서 창의적 문제해결능력과 같은 새로운 교육목표가 효과적으로 달성되기 위해서는 적절한 교수전략의 개발은 물론 타당하고 신뢰할 수 있는 평가방법이 반드시 도입되어야 함을 강조하였다(Orpwood, 2001; Park, 2010; Park & Kang, 2011; Park & Kang, 2012). 과학교육이 지향하는 목표가 지식의 이해뿐만 아니라 이를 활용한 분석적이고 비판적인 사고, 문제해결력, 창의성과 같은 보다 고차적인 사고의 계발에 관심이 있다면 이를 평가할 수 있는 교육 프로그램과 평가도구

\* 교신저자 : 채유정 (ychae@kaist.ac.kr)

\*\* 이 연구는 정부의 과학기술진흥기금 및 복권기금과 한국과학창의재단의 지원으로 국민과 함께 합니다.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.5.879>

의 개발이 필요하다는 것이다.

이에 과학적 사고력, 창의적 문제해결력 등 과학 영역에서 학습자의 고차적 사고력을 평가하기 위한 평가도구 개발이 다양하게 시도되어 왔다(Kim & Kim, 2012; Lee & Jeong, 2013; Lee & Kim, 2010; Park & Kang, 2012; Song, Kil, & Shim, 2015). 먼저 Lee & Jeong(2013)은 과학 글쓰기에 기반한 과학적 사고력 평가도구를 개발하였는데, 이들은 과학적 사고력을 Son(2006)의 정의에 따라 과학에 관련된 문제 해결과 의사 결정에 필요한 능력으로 보고, 그 하위 영역을 귀납적 사고력, 연역적 사고력, 비판적 사고력, 창의적 사고력으로 도출한 후 각 범주에 대한 평가 기준을 개발하였다. 또한 Park & Kang(2012)은 과학에서 창의적 문제해결 능력을 측정하기 위해 창의적 문제해결을 자연 현상에서 나타나는 문제를 과학 탐구 과정에 따라 새롭게 적절하게 해결하는 것으로 정의하고 이에 필요한 사고력으로 창의적 사고와 비판적 사고를 도출하였다.

이와 같이 평가 도구 개발의 핵심은 평가하고자 하는 역량과 하위 요소를 정의하는 것이다. 그렇다면 고차적 사고력을 평가하기 위한 하위 요소는 어떻게 정의할 수 있을까? 근본적으로 고차적 사고력의 하위요소는 교육목표 분류체계를 통해 살펴볼 수 있는데, Bloom *et al.*(1956)은 사고와 관련된 인지적 영역의 교육목표를 지식, 이해, 적용, 분석, 종합, 평가의 6가지 유형으로 구분하였고, 이를 수정하여 Anderson과 Krathwohl(2001)은 인지적 영역의 교육목표를 기억, 이해, 적용, 분석, 평가, 창안의 6가지 유형으로 제시하였다. 일반적으로 분석, 평가, 창안과 같이 주어진 정보의 구조나 관계를 파악하고, 준거나 기준에 따라 판단하고, 새로운 정보나 지식을 창출해내는 능력을 고차적 사고력으로 구분한다. 또한, Brookhart(2010)는 이들의 분류에서 한 걸음 더 나아가 이들이 말하는 고차적 사고인 분석·평가·창안을 하나의 평가범주로 하고, 여기에 논리적 사고, 판단 및 비판적 사고, 문제해결, 창의성 및 창의적 사고를 더해 고차적 사고력의 평가범주를 5개로 구분하고 평가준거를 제시한 바 있다. 한편 국내 학자인 Kim(2002)은 문제를 해결하기 위해서는 필요한 지식의 적절성, 정확성 등을 논리, 비판적으로 사고하는 능력과 지식을 다양한 방식으로 새롭게 적용하는 창의적 사고가 필요하다고 하였다.

한편, 사고력은 다양한 학문분야에서도 정의되어 왔는데 특히 과학 분야의 경우 사고력은 일반적으로 과학 문제 해결에 필요한 사고력뿐만 아니라, 다양한 실생활 속의 과학 문제를 과학적으로 해결해 나갈 수 있는 능력으로 정의되고 있다(Cho & Choi, 2008; Son, 2006). 하위 영역의 분류방법은 다양한데 Son(2006)은 과학적 사고력의 하위 영역을 논리적 사고력, 비판적 사고력, 창의적 사고력으로 보았으며, Lee & Jeong(2013)은 앞서 언급한 바와 같이 귀납적 사고력, 연역적 사고력, 비판적 사고력, 창의적 사고력으로 구분하였다. 또한 Cho(2014)는 과학적 사고의 하위요소를 논리적 사고와 비판적 사고로 구분하기도 하였다. 이와 같이 고차적 사고력의 하위요소에 대한 구분이 다양한 것은 복잡한 사고 기능들이 긴밀하게 연결되어 상호작용하기 때문에 그 하위요소를 명확히 구분하고 이해하는 것이 쉽지 않기 때문이다(Huh *et al.*, 1990; Shin *et al.*, 2013; Sung *et al.*, 1987). 따라서 많은 연구에서 고차적 사고력, 문제해결력, 창의적 문제해결력, 과학적 사고력, 창의성 등과 같은 용어들이 유사한 개념으로 혼용되거나, 하위요소가 서로 중첩되기도 한다(Cho *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1997; Park & Kang, 2012; Shin *et al.*, 2013). 예컨대, 앞서 제시된

고차적 사고력에 대한 Shin *et al.* (2013)의 정의는 고차적 사고력을 문제해결력과 같은 개념으로 보고 있으며, 또한 Park & Kang(2012), Weisberg(2009) 등은 문제해결 과정 자체가 창의성을 포함하고 있기 때문에 문제해결력과 창의적 문제해결력을 ‘창의성’을 얼마나 강조하느냐의 차이일 뿐 같은 개념이라 지적하기도 하였다. 선행연구를 종합하면, 일반적으로 고차적 사고력의 하위요소는 분석, 평가, 창안, 논리적 사고, 비판적 사고, 문제해결, 창의적 사고 등을 강조하며, 과학적 사고력은 논리적 사고력, 귀납적 사고력, 연역적 사고력, 비판적 사고력, 창의적 사고력 등을 강조하고 있다고 볼 수 있다.

이러한 사고력은 영재학생의 학습 특성과 관련해 특히 강조되어 왔다. 복잡한 문제를 다루어야 하는 고차적 사고력은 영재학생들에게 보이는 두드러진 특성 중 하나로 이들은 사고력 측면에서 높은 분석력, 논리성과 정확성 추구, 비판적 사고, 창의성, 문제해결력, 탐구 능력 등의 특성을 보이며 스스로 다양한 질문을 제기하고 이에 대한 해답을 얻기 위해 인과관계를 분석하고 발산적·수렴적인 사고로 문제를 해결하는 성향을 지닌 것으로 알려져 있기 때문이다(Davis, Rimm, & Siegle, 2011; Lee, Chae, & Sung, 2017; Lee & Hong, 2011; Lee, You & Choi, 2008; Yang, 2003). 따라서 영재학생은 그들의 재능을 계발할 수 있도록 수준과 내용 면에서 차별화된 수업을 받을 필요성이 제기되는데, 이것은 영재학생에 대한 평가가 지식을 단순히 암기하고 이해하는 수준을 넘어서 고차적 사고력을 더욱 강조할 필요가 있음을 의미한다. 이런 이유로 과학 영재의 평가는 지식을 측정하는 평가보다는 교육과정에서 요구되는 지식을 바탕으로 주어진 문제를 창의적으로 해결하는 능력을 측정하는 문제해결력 평가가 적합하다고 지적되어 왔으며(Park & Kim, 2013), 과학 영재의 특성에 기반한 평가 도구를 개발하기 위한 시도들이 있어왔다. 예를 들어, Kim & Kim(2012)은 과학 탐구 사고력 측정을 위한 평가 도구 개발을 시도하였으며, Song, Kil, & Shim(2015)은 초등 과학영재의 과학 탐구 능력을 평가하기 위한 문항을 개발하고자 하였다. 또한 Lee & Kim(2010)은 과학 영재의 특성에 기반하여 학생의 과학실험 수행능력을 평가하는 평가도구를 개발하였다. 이들은 먼저 과학영재의 특성, 과학실험수행능력, 과학실험 자료 평가준거 등에 관한 선행연구와 문헌을 고찰하고, 평가자료에 활용할 실험자료를 수정, 보완한 뒤, 활동평가 준거를 개발하여 파일럿 테스트 및 타당화를 진행하였다. 이렇듯 과학영재교육의 맥락에서 고차적 사고력의 계발과 평가는 특히 강조되어 왔으나, 과학영재교육원 수업 목표를 Anderson과 Krathwohl(2001)이 제시한 Bloom의 신교육목표 분류에 따라 분석한 Park, Ryu, & Choi(2017)의 연구에 따르면, 사실의 이해 및 개념적 지식의 기억과 이해가 전체 수업 목표 중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 분석, 평가, 창안 등 고차적 사고력을 목표로 하는 수업의 비중은 매우 낮은 것으로 나타나, 영재교육 프로그램의 목표 자체가 과학적 사고력이나 창의적 문제해결력을 강조하고 이에 대한 평가를 실시하지 못하고 있음이 지적되었다.

이에 본 연구에서는 문제기반학습(PBL)으로 설계된 온라인 과학 탐구 과정에서 제시된 과제를 분석하고, 해당 과제가 포함하고 있는 구체적인 교육목표를 고차적 사고의 하위요소로 도출하여 평가준거를 개발하고자 하였다. 온라인 과학탐구학습 상황은 학생들에게 탐구 기회가 충분히 제공되지 못하는 교실수업과 달리(Kim & Song, 2003; Lee, Park, & Lee, 2004) 학습자가 능동적으로 탐구과정에 참여하여

지식의 생성과 탐구 능력의 향상이 가능한 환경을 제공한다(Lee, Son, & Jung, 2006). 온라인 과학탐구학습 상황에서 학습자는 실생활과 관련된 과학적 문제상황의 제시, 관련 지식의 학습, 탐구, 평가, 성찰의 과정에 참여하고, 이 과정에서 학습자의 탐구과정을 지원하는 다양한 인지적 도구와 학습자원을 활용하여 교수자 및 동료 학습자와 상호작용 할 수 있는 기회를 가질 수 있다(Lim, 2003; Linn *et al.*, 2004). 이러한 온라인 과학탐구학습은 새로운 과학 교육의 가능성을 제시하고 있으며, 온라인 과학탐구학습의 장점과 효과를 높이기 위해서는 탐구의 과정과 결과에 대한 적절한 평가와 피드백이 반드시 수반되어야 한다. 본 연구를 통해 개발된 평가준거를 통해 온라인 과학탐구 과정에서 제시된 과제 수행 시 요구되는 사고기능을 확인함으로써 지식의 학습과 함께 학습자의 사고기능 수준을 평가할 수 있을 것이다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구의 맥락

본 연구가 수행된 온라인 영재교육 과정은 수학과 과학에 흥미와 재능을 보이는 잠재성 있는 초등학생에게 과학적 탐구 기회를 제공하고 고차적 사고 및 창의적 문제해결력 개발을 위한 기회를 제공하기 위해 개설되었다. 프로그램은 과학에 흥미와 재능을 지닌 학생들이 실생활과 관련된 다양한 문제를 통해 해당 학년의 과학 내용에 대해 심화 학습을 수행하고 문제해결을 통해 고차적 사고력을 개발하는 것으로 목표로 개발되었다.

온라인 교육은 학기 단위로 개설되며, 초등학교 5~6학년 학생들은 자신의 학년에 해당되는 총 6개 차시를 12주 동안 학습한다. 콘텐츠를 학습자들이 시간과 장소에 구애받지 않고 학습을 수행할 수 있도록 LMS(Learning Management System) 상에 탑재된다. 학생들은 콘텐츠를 통해 문제를 탐색하고, 문제와 관련된 다양한 개념을 학습하며, 마지막으로 과제를 통해 본인의 생각을 정교화 하여 개별적으로 문제해결 보고서를 작성하여 제출하게 된다. 자기주도적으로 학습하는 과정에서 콘텐츠에 나와 있는 개념을 더 잘 이해할 수 있도록 튜터의 지원이 이루어지고, 온라인 학습활동을 통해 해당 차시의 주제가 실제 우리 삶에 어떻게 연결되는지 확인할 수 있는 기회도 제공된다. 제출한 보고서는 튜터가 채점하고 우수한 점, 개선이 필요한 점 등의 피드백을 제공한다. 이때 평가는 해당 차시별로 개발된 평가 루브릭(rubric)에 의해 이루어지고, 과제 및 학습활동에 대한 절대평가를 통해 최종 이수 결과가 결정되는데, 본 연구는 이러한 평가가 좀 더 고차적 사고력에 집중하고 피드백할 수 있도록 하기 위한 것으로 과학 영재 교육의 목표를 제대로 확인하고 평가하기 위한 목적으로 수행되었다.

### 2. 콘텐츠의 구조 및 특성

본 온라인 교육 콘텐츠는 탐구중심 문제기반 과학교육 프로그램으로서 학생들이 실생활 문제를 통해 창의적 문제해결력을 기르는 것을 목표로 한다. 콘텐츠는 일반적으로 많이 사용되는 온라인 동영상 강의와 달리 e-Book 형태로 제공되며, 한 단위의 콘텐츠는 기본적인 과학 개념을 전달하기 보다는 주제별로 학생 스스로 깊이 생각할 수

있는 질문을 던짐으로써 관련 개념을 자기주도적으로 학습하고 문제를 해결하도록 하는 문제기반학습(PBL) 형태로 설계되어 있다. 또한 다양한 사진, 배경정보 및 동영상 사이트 링크 등을 참고자료로 제공하여 관련 주제를 넓고 깊게 이해하도록 돕는다. e-Book의 내용은 국가교육과정의 초등학교 5~6학년 과학 과목에서 학습해야 할 개념을 중심으로 구성되어 있으면서도, 학습의 의미와 동기를 높일 수 있도록 학습해야 할 개념이 실제의 사회 문제 및 과학기술에 어떻게 연결 또는 활용되는지 보여주고, 주제와 관련된 개념을 콘텐츠에서 설명하여 실제적인 주제의 탐구문제를 자기주도적으로 해결하는 맥락에서 이를 사용하도록 하고 있다. 여기서 학생들은 탐구중심의 문제기반학습 콘텐츠를 통해 과학의 기초개념은 물론 과학적 문제해결에 필요한 고차적 사고력을 개발하게 된다.

이를 위해 e-Book은 세 부분으로 구성된다. 첫째, 문제탐색 부분은 학생들이 해당 차시에 학습하고 해결해야 할 주제가 무엇인지 소개하는 부분으로 학생들의 유의미학습과 학습 동기를 높이기 위해 기능한다. 여기서는 흥미로운 실생활 문제가 비교적 자세하게 제공되는데 이것은 학생들로 하여금 해당 차시의 주제가 나, 우리, 우리 사회와 어떠한 관계가 있는지 생각해볼 수 있게 함으로써 학습에 대한 관심(interest)과 의미(meaningfulness)를 경험하고 학습 주제에 깊이 연계되도록 한다.

둘째, 개념학습 부분은 학생들이 해당 차시 주제와 관련된 개념을 학습하도록 구성되어 있다. 기본적으로 국가 교육과정 상의 학습해야 할 개념을 포함하지만, 상위 10% 이내의 학생들을 대상으로 하는 부가적인 교육 프로그램이기 때문에 학교에서 배우는 수준의 내용을 자세히 설명하지는 않는다. 대신 개념학습에서 학생들은 학습 주제 및 문제해결에 필요한 개념을 확인하고, 좀 더 학습을 요하는 내용은 자기주도적으로 탐색하여 지식을 정교화 하게 된다. 학생들의 이해를 돕기 위해 e-Book에 다양한 참고 자료가 포함되어 있으며, 자료를 찾는 방법이나 인터넷 상에서 검색할 수 있는 링크(link) 등도 포함되어 있다.

마지막으로 학생들은 앞의 두 부분을 학습한 후 문제해결 과제를 수행한다. 주차별 문제해결 과제는 하나 혹은 두 개의 큰 미션으로 구성되고, 각 미션은 2~4개의 하위 문항이 포함되어 있으며, 학생들은 보고서 형태로 과제를 제출한다. 미션의 유형은 배운 지식을 적용하여 실제로 실험을 수행하거나 문제를 해결하거나 탐구과제를 수행하거나 새로운 아이디어를 제시해야 하는 등의 유형 등으로 구분된다. 이 과정을 통해 학생들은 앞서 학습한 지식을 전이하게 되고, 고차적으로 사고하는 방법을 연습하며, 과학적 절차를 통해 주제를 탐구하여 보고서를 작성하는 절차를 경험한다. 본 연구에서 개발한 평가준거 및 과제 평가 문항별 루브릭은 마지막 단계인 '문제해결' 단계에서 학생들이 제출하는 과제 보고서를 평가하기 위한 것이다.

콘텐츠 구성 및 구성의 예는 [Figure 1], <Table 1>과 같다.

### 3. 연구 절차

온라인 과학 탐구학습에서 사고력 중심의 평가준거를 개발하기 위하여 다음과 같은 3단계를 거쳐 연구를 진행하였다. 첫째 단계는 평가요소 도출단계이다. 이 단계는 선행연구 분석, 콘텐츠의 문항 분석, 전문가 타당화의 절차로 수행되었는데 이를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 먼저 선행연구 분석의 절차를 살펴보면 첫째, 문헌분석

Table 1. Content example: 'What happens when air changes its composition?'(5th grade)

e-Book 구성	내용	
문제탐색	살아가는데 필수적인 요소들 공기의 구성 ‘공기를 구성하는 성분의 비율이 바뀐다면 어떻게 될까?’라는 문제 제기	
개념학습	공기란?	공기란 무엇인가 공기를 느낄 수 있는 방법 공기의 양이 줄어든다면 일어날 현상
	공기의 역할	공기의 역할 공기와 생명유지
	공기의 구성	공기의 구성 질소, 산소, 아르곤, 이산화탄소의 역할
문제해결	미션1. 산소의 비율이 증가했을 때의 영향 및 해결 방법 미션2. 이산화탄소 비율이 증가했을 때의 영향 및 해결 방법	

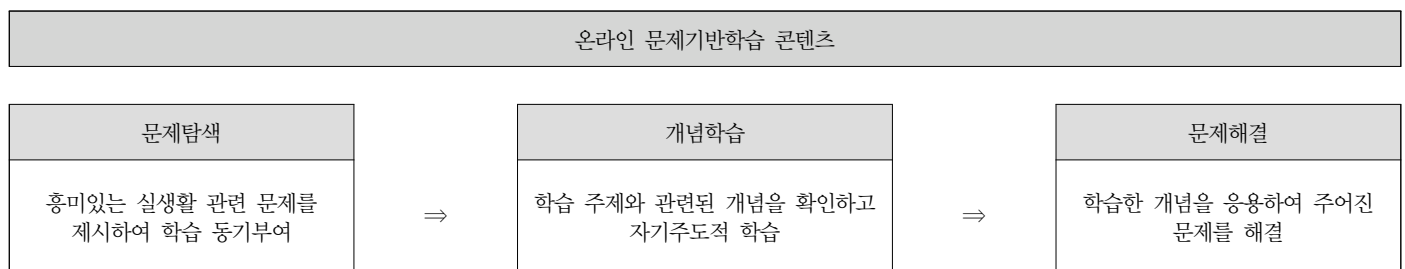


Figure 1. Online problem-based learning content

을 실시하여 과학 교육 분야에서의 평가요소와 관련된 국내외 논문을 검토하였다. 둘째, 과학 분야에 영재성을 보이는 학생들의 인지사고 특성과 관련된 선행 연구 결과를 분석하여 주요 특성을 종합하였다. 셋째, 본 교육이 지향하는 교육목표 및 교육내용의 특성을 고려하여 문제기반 과학 탐구학습에서의 평가요소를 도출하였다. 다음으로, 선행연구 분석을 통해 도출한 요소와 실제 평가문항에 대한 답안을 토대로 코스를 운영하는 튜터 6인을 대상으로 각 문항에 포함된 평가요소를 분석하도록 하였다. 분석에 사용된 평가문항은 현재 학생들이 온라인 교육에서 수행하고 있는 5~6학년 과제 24종에 대한 문항과 그에 대한 답안이었다. 끝으로 전문가 타당화를 실시하여 최종 평가요소를 선정하였다. 이 과정에는 영재 특성에 대한 이해, 과학적 지식, 평가에 대한 이해가 요구되어 교육공학 전문가 3인, 영재교육 전문가 2인, 과학교육 전문가 1인이 참여하였다. 여기서 전문가들은 먼저 문헌분석을 통해 도출된 요소와 1차 분석된 5~6학년 과제 24종의 문항 및 답안을 제공받고 설명을 들었으며, 다음으로 전문가의 전문 분야를 고려하여 2인 1조의 3개 팀으로 나누고 각 팀별로 8종씩의 과제 문항에 대해 평가요소를 검토하고 분석하였으며 토의를 통해 서로 의견이 다를 경우 조정하였다. 그리고 각 조가 분석한 결과는 다른 2개 조가 돌아가며 검토함으로써 결과적으로 6명의 전문가 모두가 모든 문항에 대해 검토하는 방식으로 진행하였다. 끝으로 각 문항에 대한 분석을 토대로 최종적으로 모든 문항에서 평가하고 있는 요소들을 모아 최종 평가요소로 정리하였다.

두 번째 단계는 평가 기준 개발 단계로, 최종 도출된 6개 사고력 중심 평가요소에 대한 요소별 평가기준을 개발하였다. 교육공학 전문가 3인은 6개 사고력 평가요소를 조작적으로 정의하였다. 그 후, 각 요소에 포함된 하위 요소를 명시하였고, 하위 요소를 종합하여 평가

할 수 있는 평가 기준안을 1~4단계로 개발하였다. 1차로 개발된 평가 기준안은 연구진에 의해 타당화 과정을 거쳤다. 연구진은 개발된 평가 기준안의 조작적 정의 및 하위 요소를 검토하였으며, 의미가 불분명하거나 하위 요소가 누락된 경우 수정 작업을 실시하였다. 그 후, 교육공학 전문가 3인, 영재교육 전문가 2인, 수학교육 전문가 1인에 의한 2차 타당화 과정이 진행되었다. 1차 타당화와 같이 각 평가요소의 정의, 하위요소 및 개발된 각 요소별 평가 기준안을 검토하였으며 실제 몇 개의 문항을 골라 각 평가 기준안이 적용 가능한지 확인하는 절차를 거쳐 평가 기준안의 적절성을 판단하였다.

세 번째 단계는 평가기준안의 사용성 평가 단계로 개발된 평가 기준안을 적용하여 각 미션과 하위문항의 평가 루브릭을 개발하는데 가이드라인으로 활용하고 평가 기준안에 대한 사용자 의견을 수집하였다. 이를 위해 먼저 연구진과 실제 온라인 교육 과제의 채점 업무를 담당하고 있는 튜터 3인은 1, 2차 타당화를 거친 평가 기준안을 가이드라인으로 삼고 각 과제의 평가 루브릭을 개발하였다. 평가 루브릭의 개발과정은 먼저 미션별로 필요한 모든 평가요소(evaluation category)들을 확인하고, 각 요소별로 평가준거(criteria)와 채점을 위한 루브릭(scoring rubric)을 개발하고, 개발된 루브릭(scoring rubric)으로 몇몇 학생들의 답안을 채점해보며 실제 채점이 가능한지 확인하고 수정하였다. 기본적으로 1~4단계로 개발된 평가 기준안은 과제에 따라 세부 루브릭을 개발시 조정되었다. 그리고 평가 기준안을 적용하여 실제 평가 루브릭을 개발하고 채점하는 과정에서 제시된 사용자의 모든 의견을 모으고, 이를 수정이나 보완이 필요한 분야별로 범주화하고 정리하였다. 본 연구의 진행 절차 및 산출물은 [Figure 2]와 같다.

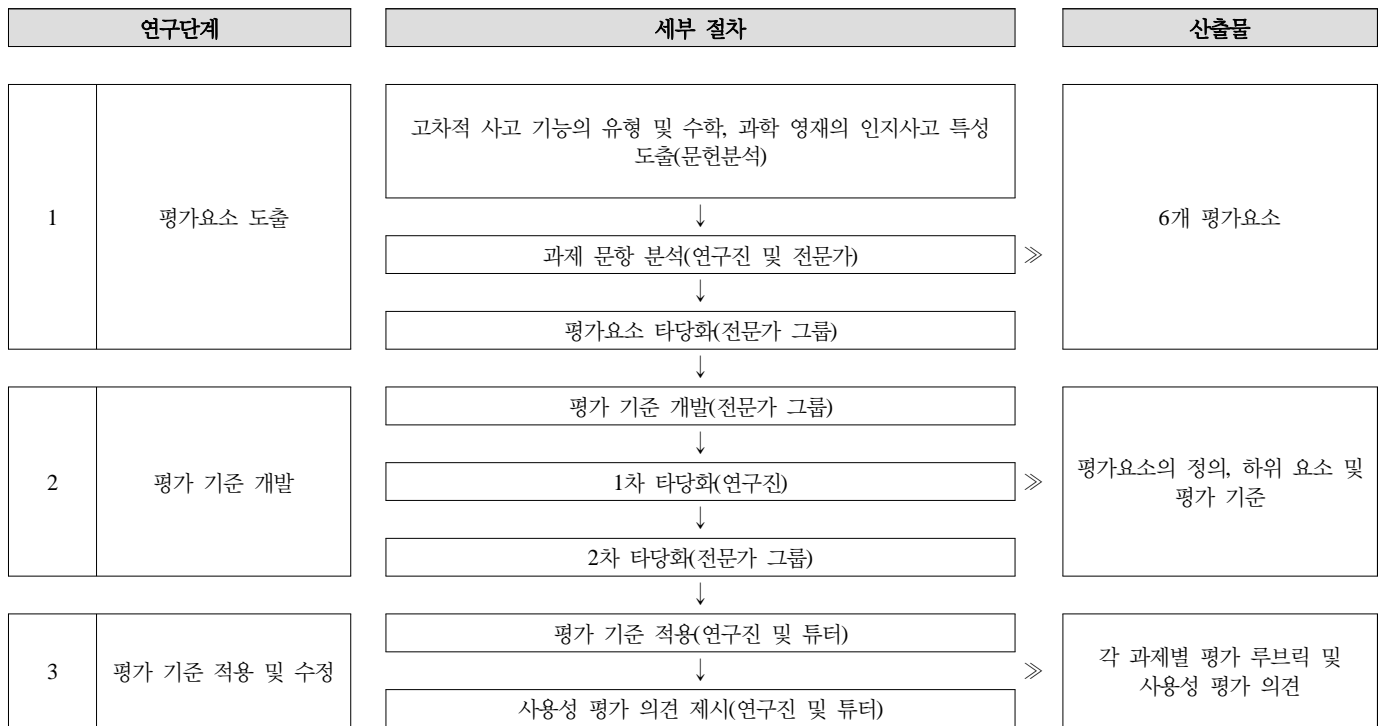


Figure 2. Research process and product

### III. 연구 결과

#### 1. 평가요소의 유형과 평가문항과의 관계

선행연구 분석과 온라인 콘텐츠에 포함된 평가문항 분석을 토대로 평가요소를 도출한 결과 1차 도출된 평가요소는 논리적 사고, 분석적 사고, 비판적 사고, 창의적 문제해결력, 탐구능력 등 5개였다. 이후 전문가 검토 과정에서 첫째, 학생들이 과제를 해결하기 위해서는 문헌분석에 의해 도출된 위의 5개 사고력 요소와 함께 관련 분야에 대한 지식이 대부분의 미션을 해결하는 데 필요하다는 합의가 이루어져 ‘지식’ 요소가 추가되었다. 둘째, 논리적 사고와 분석적 사고는 논리·분석적 사고로 통합하여 처리하는 것이 개별 문항의 평가요소 측면이나 평가요소의 범주 수 측면에서도 편리한 것으로 정리하였으며 셋째, 창의적 문제해결력은 문항별 특성에 비추어 볼 때 창의적사고와 문제해결 능력으로 구분하는 것이 편리하고 또 실제적이라고 합의하였다. 그리하여 최종 평가요소는 ① 지식, ② 논리·분석적 사고, ③ 비판적 사고, ④ 탐구능력, ⑤ 문제해결, ⑥ 창의적 사고 등 총 6개 요소로 범주화되었다. 이들 요소간의 관계는 창의적 문제해결과 탐구능력을 중심으로 대체로 위계적인 관계에 있는 것으로 나타났다.

여기서 첫째, 지식 요소는 경험이나 추론을 통해 인식하거나 이해하게 된 정보, 사실, 개념, 원리, 절차, 기술 등을 일컫는 것으로, 여기서는 미션 및 하위 문항의 해결에 필요한 지식이 어느 정도 적절하게 사용되었는지를 평가하는 것을 말한다. 둘째, 논리·분석적 사고 요소는 주어진 진술을 하위요소로 분해하는 분석적 사고와, 해결해야 할 문제를 파악한 뒤, 해결에 필요한 지식을 동원하여 이를 생각의 흐름, 순서, 연결 등에 맞게 조직하는 논리적 사고를 의미한다. 셋째, 비판적 사고 요소는 진술문이나 자신 혹은 타인의 주장에 잘잘못이 있는지를 파악하는 사고로, 주장의 내용을 파악하고, 주장에 잠재된 가정 및 관점을 제시하며, 주장의 함의점 및 맥락적 타당성을 평가,

제시하는 것을 말한다. 넷째, 탐구능력 요소는 탐구주제를 선정하여 실험을 설계하고 자료와 데이터를 수집 및 해석하여 과학적 설명이나 이론을 제안하는 능력을 말하며, 일반적으로 과학적 가설 설정과 실험이 필요한 유형이다. 다섯째 문제해결 요소는 문제 상황을 인식 혹은 발견하고 이를 해결하기 위한 대안을 탐색하여 아이디어를 제안·적용하고 문제를 합리적으로 해결하는 능력을 말한다. 탐구능력 요소와 문제해결 요소의 공통점은 둘 다 탐구과정 혹은 문제해결 과정을 필요로 하므로 이를 수행하는 과정 및 절차의 엄밀성과 타당성이 매우 중요하다는 것인 반면, 차이점은 탐구능력은 문제를 인식한 뒤 가설 설정을 통해 이론이나 설명을 제안하는 것에 주안점을 두지만, 문제해결은 문제를 해결하는 데 필요한 아이디어를 제안하고 그 문제를 해결하고 확인하는데 주안점을 둔다는 것이다. 여섯째 창의적 사고 요소는 탐구능력 및 문제해결과정에서 기존의 지식과는 다른 학습자 고유의 아이디어나 표현방식을 요구하였을 때 나타나는 고등정신능력이다.

다음으로 도출된 평가요소의 특징을 문제해결 단계에 포함된 평가문항과 연결하여 살펴보면 첫째, 지식은 모든 유형의 문항에 대부분 요구되지만 이 코스의 평가에서 요구되는 지식은 주어진 과제의 해결 과정에 얼마나 적절하고 유창하게 게 활용되었는가를 본다는 점에서 Bloom의 분류로 볼 때 고차적 사고 기능을 평가하는 맥락에서 요구되는 지식이다. 이 때 문제해결 과정의 필요한 위치에 독립된 하위문항으로 존재하는 경우 문항 유형 1에 해당한다. 둘째, 논리·분석적 사고는 탐구능력 및 문제해결 과제에 대부분 포함되어 있다는 점에서 고차적 사고력 요소 중에서는 매우 기초적이거나 필수적인 평가요소인 것으로 나타났다. 하지만 미션이나 문항의 특성에 따라서는 논리·분석적 사고만 ‘따로’ 평가되는 경우도 있었다. 이것은 문항유형 II에 해당한다. 셋째, 비판적 사고는 탐구능력이나 문제해결, 창의적 사고 등에 기본적으로 필요한 능력이지만 주로 잠재되어 있으므로 특별히 진술문이나 주장의 잘잘못, 잠재된 가정 및 관점, 주장의 함의점 및



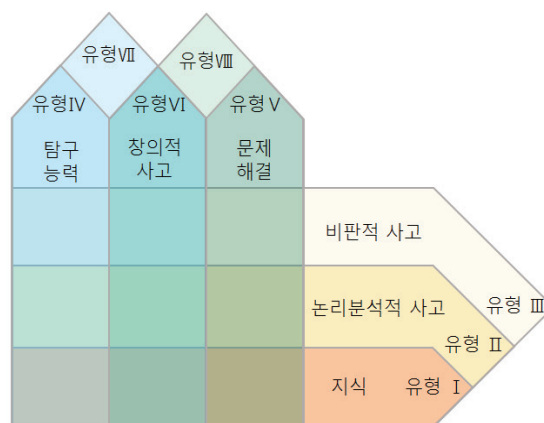


Figure 3. The relationship of the types of evaluation questions and categories

맥락적 타당성을 평가하여 제시하도록 요구하지 않으면 평가자가 확인할 수 있는 형태로 표현되지 않을 수 있는 경우가 많았다. 그러나 독립적으로 비판적 사고를 요구하는 미션이나 하위문항도 있었는데 이것은 문항유형 III에 해당한다. 넷째, 탐구능력을 요구하는 문항유형 IV와 문제해결을 요구하는 문항유형 V는 대부분 모두 하위에 지식, 논리·분석적 사고, 비판적 사고의 평가요소를 포함하고 있는 것으로 나타났다. 다섯째, 창의적 사고는 많은 탐구과제나 문제해결 과제에 포함되어 있어서 유형 VII, VIII의 문항에 일반적으로 포함되어 있었지만 경우에 따라서는 탐구능력 및 문제해결 요소와 관계없이 독립된 문항으로 나타났는데 이 경우 유형 VI에 해당하였다. 여섯째, 미션의 문항유형은 대부분 유형 VII, VIII에 해당하지만 일부 미션은 유형 IV, V, VI에 해당하는 경우도 있었으며, 하위 문항은 주로 유형 I, II, III, IV, V, VI 유형에 해당하는 것으로 나타났다. 일곱째, 탐구능력 및 문제해결과 창의적 사고 간의 관계는 대체로 지식, 논리·분석적 사고, 비판적 사고, 탐구능력 및 문제해결의 순으로 위계적인 형태를 보이지만, 실제의 미션과 하위 문항에서는 이들 평가요소간의 위계성이 항상 적용되는 것은 아니며 때로는 일부 상위요소만 독립적으로 혹은 두 세 요소가 조합되어 평가될 수 있는 것으로 나타났다. 이상 평가문항의 유형과 평가요소간의 관계를 종합하여 그림으로 나타내면 [Figure 3]과 같다.

## 2. 평가요소별 정의, 하위요소 및 평가기준

이상에서 도출된 평가요소에 대해 전문가 6인이 정의한 요소별 정의와 하위기준, 평가요소를 적용하여 평가할 때의 평가 기준을 정리한 결과는 다음과 같다.

표에 제시된 내용을 살펴보면서 평가요소별 정의 및 하위요소, 평가기준의 사용 지침을 간단히 제시하면 다음과 같다.

첫째, 평가요소별 정의를 살펴보면 미션이나 문항을 통해 측정되는 평가요소는 지식의 유형이나 양을 제외하고는 고등정신 기능으로서의 사고력에 집중되어 있는데, 여기서 사고력이란 일정 정도 변하지 않는 기질 및 특성으로서의 학생의 사고력을 의미하기보다는 각 미션 및 문항을 해결하는 과정에 사용되고 표현된 사고력으로서 매 차시별 과제를 수행하며 만든 보고서에 나타나 있는 학생들의 사고력 수준을 의미한다. 따라서 성취수준이라고 볼 수 있다.

둘째, 표에 제시되어 있는 평가요소, 하위요소, 평가기준은 온라인

수업의 진행자이자 과제 평정자인 튜터가, 학생이 해결해야 하는 과제의 미션이나 평가문항에 대해 평가요소를 확인하고, 평가기준을 만들며, 채점을 위한 평가 루브릭을 개발할 때 지침으로 사용될 것이다. 이 말은 <Table 2>의 내용이 실제의 미션 및 문항에 대한 보고서를 평가하기 위한 평가 루브릭을 개발하기 위한 가이드라인으로 사용됨을 의미한다. 따라서 평가요소와 하위요소에 대한 정의는 미션과 하위문항의 주제와 내용을 분석하고 그에 포함된 평가요소를 선정하고 평가기준(evaluation criteria)을 개발하는 데 사용되며, 평가기준은 평가 루브릭의 채점 기준을 개발할 때 고려할 수 있는 지침이 된다.

셋째, 차시별로 해결해야 미션에 하위 문항이 여러 개 포함되어 있는 경우의 평가 루브릭을 개발할 때는 각각의 하위 문항이 요구하는 평가요소와 차시별 미션 전체에 필요한 평가요소를 모두 확인하고, 이들이 모두 포함된 평가 루브릭을 작성할 필요가 있다. 그래야 미션이 요구하는 모든 사고력 즉, 미션의 하위문항이 요구하는 사고력 요소와 하위문항 간 관계를 종합적으로 검토할 때 평가할 수 있는 사고력을 동시에 평가할 수 있기 때문이다.

## 3. 평가기준안을 적용한 평가 루브릭의 개발과 사용자 의견

이상에서 개발된 평가요소와 <Table 2>의 평가기준은 문제기반 과학탐구 학습에서 요구되는 학습자의 사고기능을 평가하기 위한 일반적인 수준의 평가요소와 평가기준이다. 이 말은 실제 학습자가 수행하는 과제에 대한 평가 루브릭을 개발하는 데 가이드라인으로 활용될 수 있다는 의미이다. 예를 들어 앞서 문제해결 과제의 예로 제시했던 <공기의 성분이 바뀌면 어떻게 될까>라는 과제의 경우 평가 루브릭은 해당 과제의 미션이나 문항이 요구하고 있는 평가요소를 확인하고, 확인된 평가요소에 대해 <Table 2>의 평가기준을 지침으로 삼아 실제적인 평가 루브릭을 개발할 수 있다는 것이다. 여기서 <Table 3>은 <공기의 성분이 바뀌면 어떻게 될까> 라는 과제와 그 과제에서 도출된 평가요소가 제시되어 있으며, <Table 4>는 <Table 3>의 과제에 대해 <Table 2>의 평가기준을 적용하여 개발한 평가 루브릭의 예에 해당한다.

이렇게 개발된 <Table 4>의 평가 루브릭을 구체적으로 살펴보면, 각 평가요소별 성취점수는 평정과 결과보고의 편리성을 위해 10점 만점을 기준으로 하고 있으며, 평정구간은 네 구간으로 제시되어 있다. 이것은 평가 루브릭에 제시되어 있는 네 구간뿐만 아니라 구간

Table 2. Evaluation category, definition, sub-category and criteria

평가요소 category	정의(definition)	하위요소 (sub-category)	평가기준
1. 지식	경험이나 추론을 통해 인식하거나 이해하게 된 정보, 사실, 개념, 원리, 절차, 기술 등	-사용된 지식의 유형(사실, 개념, 원리, 절차, 기술 등)과 양 -지식의 정확성, 유창성	4 문제해결에 필요한 지식을 정확하게 제시하였으며, 이를 유창하게 활용하고 있다. 3 문제해결에 필요한 지식을 정확하게 제시하고 있다. 2 문제해결에 필요한 관련 지식의 일부를 알고 있다 1 문제해결에 필요한 관련 지식을 거의 혹은 전혀 알지 못한다.
2. 논리 분석적 사고	주어진 진술을 하위요소로 분해하고, 해결해야 할 문제를 파악한 뒤, 해결에 필요한 지식을 동원하여 이를 생각의 흐름, 순서, 연결 등에 맞게 조직하는 사고력	-하위요소의 분해 -정확한 지식 및 정보를 타당한 근거로 활용 -관계의 조직화	4 주장이 있고, 근거가 분명하며, 논리가 깊고 치밀하다. 3 주장이 있고 타당한 근거가 제시되어 있다. 2 주장이 있으나 근거가 다소 빈약하다. 1 주장이 있으나 근거가 거의 없거나 매우 빈약하다
3. 비판적 사고	자신 혹은 타인의 주장(논지)에 잘잘못이 있는지를 파악하는 사고력. 즉, 주장의 내용(개념, 정보 등), 주장에 잠재된 가정 및 관점, 그리고 주장의 함의 및 맥락적 타당성을 평가하는 능력	-주장하는 내용 (언어, 사실 등)의 적절성 평가 -주장의 관점 및 가치 평가 -주장의 함의점 및 맥락의 타당성 평가	4 주장을 정확하게 제시하고, 그것의 사실관계, 잠재된 관점과 가치, 함의점 및 맥락의 타당성을 충분히 분명하게 평가하고, 대안을 제시한다. 3 주장을 제시하고, 그것의 사실관계, 잠재된 관점과 가치, 함의점 및 맥락의 타당성을 평가하고 있으나 충분치 않거나 분명하지 않다. 2 주장을 제시하고, 그것의 사실관계, 잠재된 관점과 가치, 함의점 및 맥락의 타당성을 평가하고 있으나 충분하지도 분명하지도 않다. 1 주장의 논지를 제대로 제시하지 못하거나, 그것의 사실관계, 잠재된 관점과 가치, 함의점 및 맥락을 제대로 평가하지 못하고 있다.
4. 탐구 능력	탐구주제를 선정하여 실험을 설계하고 자료와 데이터를 수집 및 해석하여 과학적 설명이나 이론을 제안하는 능력	-문제인식 -가설설정 -실험설계 -자료수집 및 해석 -결론도출	4 5개 하위요소가 모두 명확하게 제시되어 있으며, 전개과정이 매우 논리적이다. 3 5개 하위요소의 대부분이 제시되어 있으며, 전개과정이 대체로 논리적이다. 2 5개 하위요소가 상당부분 제시되지 못하거나 전개과정의 논리에 중대한 결함이 있다. 1 증거도 없이 주장만 있거나 하위요소의 상당부분 혹은 대부분이 제시되지 못하고 있다.
5. 문제 해결	문제 상황을 인식 혹은 발견하고 이를 해결하기 위한 대안을 탐색하여 아이디어를 제안 및 적용하고 문제를 합리적으로 해결하는 능력	-절차의 엄정성 및 적절성 (문제정의, 문제해결 계획 혹은 대안수립, 수행, 평가) -도출된 결과 및 해결안의 적절성 및 타당성	4 문제가 타당한 방법으로 해결되었고, 4개 하위 요소가 명확하게 제시되어 있으며, 결과가 평가되어 있다. 3 문제가 타당하게 해결되었으나 해결과정의 하위요소(예: 3개)가 일부 제시되어 있거나 제시되어 있지 않다. 2 상당부분(예: 2개)의 하위요소가 누락되어 있거나 타당하지 않은 과정으로 진행되어 문제를 해결하지 못하고 있다. 1 대부분의 하위요소가 누락되어 있거나 전반적으로 타당하지 않은 과정으로 인해 문제를 해결하지 못하고 있다
6. 창의적 사고	특정한 문제 상황에서 고정적인 관점이나 사고방식에서 벗어나 여러 각도에서 다양하고 독창적인 해결방안이나 표현방식을 산출하는 고등정신능력	-융통성 -독창성 -정교성	4 제시된 아이디어, 의견, 해결방안 등이 내용이나 표현방법 면에서 상당히 독창적이거나 혹은 기존의 아이디어보다 상당한 수준의 추가된(진전된) 세부사항이 있다. 3 제시된 아이디어, 의견, 해결방안 등이 내용이나 표현방법 면에서 일부 독창적이거나 혹은 기존의 아이디어보다 일부 추가된 세부사항이 있다. 2 문제해결에 필요한 아이디어, 의견, 해결방안 등을 제시하고 있지만, 제시된 아이디어, 의견, 해결방안 등이 내용이나 표현방법 면에서 새로운 시도가 거의 없거나 기존의 아이디어에 추가된 세부사항이 거의 없다. 1 문제해결에 필요한 아이디어, 의견, 해결방안 등을 전혀 제시하지 못한다.

Table 3. Problem example: 'What happens when air changes its composition?'(5th grade)

어느 날 기상을 연구하는 학자가 큰 자연재해가 지구 전체에 닥칠 거라고 예상하면서 그 결과로 공기의 성분 또한 변할 것이라고 예측하였습니다. 이로 인하여 전 세계의 유명 과학자들이 회의를 열게 되었고 여러분들 또한 과학자로서 회의에 참석하게 되었습니다. 긴 회의를 통해서 성분 비율이 변화하는 경우의 수를 2가지로 예측하였습니다. 지금부터는 각 비율에 따라서 어떤 현상들이 일어날 것이며 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 어떤 것이 있을지 이야기해봅시다.		
미션 1	대체 에너지로 더 이상 배기가스가 배출되지 않고, 대부분의 공장에서 유해한 가스가 아닌 산소 가스가 나오게 되었습니다. 그 결과 산소 가스가 점차 누적되었고, 식물의 광합성 기능이 활발해져 광합성의 양도 증가하게 되었고, 최종적으로 산소의 비율이 증가하게 되었습니다. 이에 어떤 현상들이 일어날 것이며 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 어떤 것이 있을지 이야기해봅시다.	
하위문항	평가요소	내용
1-1	지식 논리·분석적 사고	이러한 공기의 비율 변화가 지구의 환경에 어떤 영향을 줄까요?
1-2	지식 논리·분석적 사고 문제해결 창의적사고	위와 같은 변화를 해결할 수 있는 방법에는 어떤 것들이 있을까요?

Table 4. Rubric example: 'What happens when air changes its composition?'(5th grade)

문항	평가요소	평가기준		평가점수
		평가내용(혹은 평가준거)	채점기준	
1-1	지식	공기를 구성하는 성분의 역할을 정확하게 제시하고, 문제에 타당하게 사용하였는가?	산소, 이산화탄소, 질소 등 공기의 성분과 그 역할에 대해 정확하게 제시하고, 문제에 적절하게 사용하였다.	9~10
			산소, 이산화탄소, 질소 등 공기의 성분과 그 역할에 대해 정확하게 제시하였지만, 적절하게 사용하지 못하였다.	6~8
			산소, 이산화탄소, 질소 등 공기의 성분과 그 역할에 대해 일부만 제시하였다.	3~5
			산소, 이산화탄소, 질소 등 공기의 성분과 그 역할에 대해 거의 제시하지 못하였다.	1~2
	논리·분석적 사고	공기의 성분 변화가 줄 영향에 대한 자신의 생각을 과학적인 근거를 사용하여 제시하였는가?	공기 성분 변화가 가져올 영향을 과학적인 근거와 함께 제시하였다.	9~10
			공기 성분 변화가 가져올 영향을 근거와 함께 제시하였으나, 근거가 다소 빈약하다.	6~8
			공기 성분 변화가 가져올 영향을 근거와 함께 제시하였으나, 근거가 매우 빈약하다.	3~5
			공기 성분 변화가 가져올 영향에 대한 근거가 없다.	1~2
	지식	공기를 구성하는 성분의 역할 이외에 제시한 해결 방법에 포함된 과학적 지식들을 정확하게 이해하고, 제시하였는가?	과학적 지식들을 정확하게 이해하고, 문제에 유창하게 활용하였다.	9~10
			과학적 지식들을 정확하게 제시하였지만, 적절하게 사용하지 못하였다.	6~8
			과학적 지식들 중 일부만을 제시하였다.	3~5
			과학적 지식들을 거의 제시하지 못하였다.	1~2
1-2	논리·분석적 사고	공기의 성분을 변화시키는 방법을 타당한 근거와 함께 주장하였는가?	공기의 성분을 변화시키는 방법을 과학적인 근거와 함께 제시하였다.	9~10
			공기의 성분을 변화시키는 방법을 근거와 함께 제시하였으나, 근거가 다소 빈약하다.	6~8
			공기의 성분을 변화시키는 방법의 근거가 매우 빈약하다.	3~5
			제시한 공기의 성분을 변화시키는 방법의 근거가 없다.	1~2
	문제해결	공기의 성분을 기존의 환경과 동일하게 바꾸는 방법을 제시하였고, 문제 상황을 해결할 수 있는가?	해결 방안을 구체적인 과정과 함께 제시하였으며, 이를 공기의 성분을 변화시키는 방법으로 사용할 수 있다.	9~10
			해결 방안에 대한 설명이 다소 부족하고, 공기의 성분을 변화시키는 방법으로 사용하는 데 다소 어려움이 있다.	6~8
			해결 방안에 대한 과정 설명이 매우 부족하고, 공기의 성분을 변화시키는 방법으로 사용하는 데 큰 어려움이 있다.	3~5
			해결 방안에 대한 과정 설명이 거의 없고, 공기의 성분을 변화시키는 방법으로 사용하기 힘들다.	1~2
	창의적 사고	다양한 각도에서 문제를 바라보고, 공기의 성분을 변화시키는 독창적인 방안을 제시하였는가?	해결 방안이 모두 새롭고 독창적이거나 기존의 활용 방법에서 상당한 수준의 추가된 세부사항이 있다	9~10
			해결 방안이 대부분 독창적이거나 기존의 활용 방법에서 추가된 세부사항이 있다	6~8
			해결 방안을 제시하였으나 독창적이지 않고 기존의 방법에 추가된 세부사항이 거의 없다	3~5
			해결 방안을 거의 제시하지 않았다	1~2

내의 평정 기준도 최종 성취점수의 결정에 영향을 미침을 의미한다. 따라서 평정자가 학생들의 보고서에 대한 실제 평정 과정을 타당하고 일관되게 수행되기 위해서는 루브릭을 개발하는 단계에서 네 단계를 분명하게 구분하는 기준을 마련하는 것에서 나아가 문항에 대한 이해와 평가요소 및 기준에 대한 이해, 그리고 보고서의 질에 대한 전반적인 경향까지 파악하고 개별 보고서에 대한 구체적인 성취점수를 결정해야 함을 의미한다.

끝으로 <Table 5>는 <Table 2>에 제시된 평가기준안을 24개의 차시별 평가과제에 적용하여 <Table 4>와 같은 평가 루브릭을 개발하고, 그것으로 학생들의 과제를 채점하는 과정에서 제시된 사용자 의견이다. 모두 5개 범주에서 12개의 의견이 제시되었다. 그 결과 사용자들은 첫째, 평가요소가 교육의 중요한 목표인 동시에 반드시 평가해야 할 내용이라면 평가 과제 및 문항 개발 단계에서 좀 더 평가요소를 고려할 필요가 있다는 의견과 함께 개발된 과제 및 문항에 무엇을 평가할 것인지 명시적으로 표시하는 것이 필요하다는 의견을 제시하였다. 둘째, 각 과제 및 문항에 대해 평가요소를 확인하고 결정

할 때 문제해결과 탐구능력이 잘 구분되지 않는 과제가 종종 있으며, 차시별 과제의 평가요소의 평가준거를 개발할 때 같은 평가요소가 미션 수준과 하위문항 수준에 동시에 있을 때 이를 각기 따로 평가할 것인지, 아니면 한 번에 평가할 것인지에 대한 의사결정 지침이 필요하다는 의견이 제시되었다. 셋째, 평가기준 및 구간의 수에 관한 의견으로는 문제가 포함하는 평가내용을 반영하여 평가준거를 설정하고 평가기준을 적용하여 평가 루브릭을 개발하다 보면 동일한 평가요소가 확인된 경우에도, 하위에 포함된 사고력 평가요소가 서로 다르고, 평가준거에 나타난 평가내용까지 달라 평정 기준 설정이 어려운 경우가 있다. 넷째, 문항유형이 어떤 평가요소에 해당하는지 확인하기 어려운 과제들이 있었다. 예를 들어, 문제 인식 혹은 문제 제기를 요구하는 문항유형, 제시된 실험을 직접 수행하거나 관련 사례를 실제 조사하는 등 학습자의 추진력과 실행력을 요구하는 문항유형 등이다. 끝으로 채점 및 성적보고 방법에 관련해서도 다수의 아이디어가 제안되었다.



Table 5. Evaluator feedback

영역	평가요소 및 평가기준 적용을 통해 제시된 의견
문제해결 과제 및 평가문항 개발 관련	1. 과제별, 문항별 평가기준과 채점 기준 등을 개발해 본 결과 평가과제 및 평가문항 개발 시 평가요소를 반영하고 평가문항에서 평가하고자 하는 사고력을 분명히 할 필요가 있다. 2. 평가문제를 제시할 때 어떤 요소들이 평가될 지 평가요소를 제시하는 것도 한 방법이다.
평가요소 선정 및 구분	3. 각 문항별 평가요소의 선정 시 문제해결과 탐구능력 사이의 구분이 어려운 과제가 종종 있다. 4. 평가요소 도출시 차시별 미션에 집중할 것인가 혹은 하위문항에 집중할 것인지 결정하기 곤란한 경우가 종종 있다. 고차적 사고기능을 평가하는 과제일수록 여러 하위 사고기능을 포함하는 경우가 대부분인데 특히 차시별 미션의 성격은 창의적 사고나 문제해결 과제인데 여기에 포함된 하위문항은 지식, 논리·분석적 사고 혹은 비판적 사고 등인 경우 하위문항에 집착한 평가요소 및 평가기준 도출은 오류를 범할 수 있다. 이 경우 하위 문항별 평가요소 외에 모든 하위문항을 하나의 통합된 과제 하나로 보고 그에 적합한 평가요소(문제해결, 탐구능력 및 창의성 등)를 선정할 필요가 있다. 아울러 하위문항간의 관계 및 과제 전반에 나타난 논리·분석적 사고, 비판적 사고 등의 요소에 대한 평가 기준도 개발할 필요가 있다.
평가기준 및 구간	5. 평가기준을 적용하여 미션이나 하위문항별 평가 루브릭을 개발할 때 각 문항마다 요구하는 평가내용이 조금씩 다르고 동일한 평가요소인 경우에도 포함되는 하위요소는 상황마다 서로 다르다. 따라서 실제 평가 루브릭 개발 시에는 평가할 사고력의 하위요소에 대해서도 평가기준 및 채점기준을 분명히 할 필요가 있을 수 있다. 6. 평가구간은 평가요소별 평가내용이 얼마나 자세하고 엄밀하게 나눌 수 있는가에 따라 2~5구간을 사용할 수 있다.
평가하기 어려운 문항	7. 문제제기 및 문제인식을 요구하는 하위문항은 상황에 대한 민감성을 평가하는 것으로 매우 중요하지만 현 평가요소 체계에서는 탐구능력 혹은 문제해결로 평가할 수밖에 없다. 그러나 따로 평가할 필요가 있는 중요한 능력이기도 하다. 8. 제시된 실험을 수행하는 과제나 관련 사례를 조사하는 과제는 학습자의 추진력과 실행력을 평가하는 과제인데 이런 능력을 필요로 하는 하위문항에 대한 평가요소가 따로 없어 애매한 경우가 종종 있다. 이 경우 역시 탐구능력 혹은 문제해결로 평가할 수밖에 없는데 이 경우 평가내용과 평가기준에 이를 명시할 필요가 있다.
채점 및 성적 보고 관련	9. 채점 구간을 서너 구간으로 나누는 경우 동일 구간 내에서도 평정자간 점수 차이가 발생할 수 있으므로 채점을 하기에 앞서 평정자간 일치도를 높이기 위해 몇 개의 답안을 가지고 예비평가 및 합의과정을 거칠 필요가 있다. 10. 평가기준별 채점 기준은 학생들의 보고서를 먼저 검토한 다음 확정하면 더 효과적일 것 같다. 각 문항에서 평가하고자 하는 요소가 애매한 경우 학생들의 보고서를 검토하면 그들에게 각 문항이 어떤 의미로 이해되고 있고 어떤 사고기능을 어느 수준으로 요구하는지 분명해질 것이기 때문이다. 11. 각 평가요소별 만점에 대한 기준(예:10점)과 문항별 총점과 평가요소별 점수의 합산 기준에 대한 논의와 기준이 필요해 보인다. 예를 들면 각 평가요소별로 10점을 기준으로 평가하고, 주차별 과제의 총점 역시 주차별로 동일할 필요가 있다면 10점 기준이 되도록 모든 평가요소별로 점수를 더해 1/n로 환산할 수 있다. 12. 성취도 점수를 학생이나 기관에 보고하는 방식에 대한 논의도 필요해 보인다. 사고력을 중심으로 평가한 만큼 전체 점수 뿐 만 아니라 평가요소별 점수가 중요하므로 이에 대한 보고방식도 주차별 점수와 학기별 전체점수에 대해 합산 점수 및 평가요소별 점수로 구분하여 보고할 필요가 있다. 이것은 학생이 스스로 자신의 성취도를 사고기능의 관점에서 파악할 수 있도록 한다는 점에서 의미 있을 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 고차적 사고 및 창의적 문제해결력 계발을 위해 개발, 운영되고 있는 온라인 교육 프로그램의 과제물을 사고력 관점에서 평가할 수 있는 평가 기준안을 수립하기 위해 수행되었다. 이를 위해 본 연구는 그동안 흔히 사용되었던 동영상 강의 중심의 수업과 달리 학생들이 스스로 다양한 문제를 해결하는 탐구 과정을 경험할 수 있도록 하고, 그 과정에서 관련 지식을 활용하고 논리적, 분석적으로 자료를 구조화하고, 창의적으로 문제해결을 하도록 요구하는 방식의 문제기반 탐구학습을 제공하였다. 그리고 이들 수업에서 학습자들이 제출한 보고서를 사고력의 관점에서 성취도를 평가할 수 있는 평가기준안을 개발하였다. 이를 위해 먼저 문헌분석, 과제 문항 분석 및 전문가 타당화 과정을 수행하고 6개의 사고력 중심 평가요소를 도출하였으며, 다음으로 각 평가요소를 조작적으로 정의하고, 하위 요소를 명시하였으며, 이를 토대로 1~4점 척도의 평가 기준안을 개발하였다. 그리고 타당화를 위해 두 차례에 걸친 전문가 타당화를 실시하고, 최종적으로 튜터들로 하여금 이 평가기준을 사용해 평가 루브릭을 개발하고 사용해본 뒤 의견을 제시하도록 하였다.

그 결과 고차적 사고력 중심의 평가요소는 ① 지식, ② 논리·분석적 사고, ③ 비판적 사고, ④ 탐구능력, ⑤ 문제해결, ⑥ 창의적 사고 등 6개 범주로 구분되었으며, 여기서 지식은 탐구문제 해결 과정에 사실, 개념, 원리, 절차, 기술 등이 적절하게 사용된 정도를 의미하며, 논리·분석적 사고는 주어진 정보나 진술을 분석하거나, 자신의 주장

이나 생각을 타당한 근거와 함께 논리적으로 제시하였는지를 평가한다. 비판적 사고는 진술문이나 주장의 잘못, 잠재된 가정 및 관점, 주장의 함의점 및 맥락적 타당성을 평가, 제시하였는지를 평가하고, 탐구능력은 과학적 가설을 설정, 실험을 설계하고 자료와 데이터를 수집 및 해석하여 과학적 설명이나 이론을 도출하였는지를 평가한다. 문제해결은 문제 상황을 인식 혹은 발견하고 이를 해결하기 위한 대안을 탐색하여 문제를 합리적으로 해결하였는지를 평가한다. 끝으로 창의적 사고는 탐구능력 및 문제해결과정에서 기존의 지식과 차별화되는 학습자의 새롭고 독창적인 아이디어나 표현방식이 나타났는지를 평가한다.

여기서 각 평가요소 간의 관계는 대체로 지식, 논리·분석적 사고, 비판적 사고, 탐구능력 및 문제해결의 순으로 위계적이지만, 실제 평가 상황에서 이들 평가요소간의 위계성이 항상 나타나는 것은 아니며 과제에 따라 하나의 상위요소만 독립적으로 평가될 수 있고 혹은 두 세 요소가 서로 조합되어 평가될 수도 있는 것으로 나타났다. 또한 선행연구(Park & Kang, 2012; Weisberg, 2009)에서 언급하였듯이 ‘창의성’을 얼마나 강조하느냐에 따라 탐구 및 문제해결 과정 자체에 포함된 요소로 볼 수도 있고 별개의 요소로 볼 수도 있는데, 본 평가 도구에서는 창의적 사고 계발을 강조하여 탐구능력 및 문제해결 요소와 독립된 평가요소로 포함하였다. 한편 24개 차시의 평가문항의 유형은 미션 수준의 상위과제는 주로 창의적 문제해결 혹은 창의적 탐구과제의 유형이었지만 일부 미션은 문제해결, 창의적사고, 탐구능력, 비판적 사고, 논리적 사고 수준의 것도 있는 것으로 나타났으며, 하위

문항은 지식, 논리·분석적 사고, 비판적 사고에서부터 창의성에 이르기까지 모든 수준의 평가요소가 있는 것으로 나타났다. 이것은 평가문항이 포함하고 있는 평가요소들이 서로 위계적인 관계에 있지만 교육적인 측면에서 그리고 성취도 수준의 평가 측면에서 각 요소별로 평가하는 것이 필요함을 나타내는 것이라 할 수 있다.

개발된 평가기준안은 위의 6개 평가요소에 대한 일반적인 평가기준안으로서 평가내용 및 채점기준을 포함하며, 이 평가기준안을 기반으로 학생에게 실제로 제시된 과제에 대한 평가 루브릭을 개발함으로써 해당 과제에서의 학생의 구체적인 수행 수준을 평가할 수 있게 된다. 즉, <Table 2>에서 제시한 평가기준안은 일반적인 지침이며 학생이 수행하는 과제에 따라 <Table 4>와 같은 구체적인 평가 루브릭을 개발, 활용할 수 있으므로 개발된 평가기준안은 본 연구에서 활용한 프로그램 뿐 아니라 문제기반 또는 탐구기반 수·과학 프로그램의 학생 평가에 활용될 수 있을 것이라 기대된다. 이에 개발된 평가기준안과 사용자 의견을 고려하여 향후 연구 및 실천을 위한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 사고력 중심의 평가체제를 좀 더 상세하게 구축할 필요가 있다. 이를 위해서는 평가요소의 하위요소도 정의할 필요가 있으며, 하위요소에 대한 평가기준도 마련하는 방식으로 현재의 평가기준안을 보다 상세화할 필요가 있다. 또한 이들 평가기준을 적용하여 평가 루브릭을 개발할 때 필요한 가이드라인을 개발하고, 이 루브릭을 이용해 채점하고 성취결과를 보고할 때의 유의점을 등을 모두 개발하는 것도 필요하다.

둘째, 사고력 중심의 평가체제를 구축하기 위해서는 평가요소와 평가 기준의 수립 외에 평가의 전 단계에 대한 걸친 적용방안 및 지침을 구체적으로 개발하고 제공할 필요가 있다. 이것은 고차적 사고력 중심의 평가문제를 어떻게 개발할 것인가, 평가 문제의 종류에 따라 사고력 요소를 어떻게 선정하고 평가준거를 개발할 것인가, 평가기준을 적용하여 어떻게 채점에 필요한 평가 루브릭을 개발할 것인가, 그리고 개발된 평가 루브릭을 이용하여 어떻게 채점을 하고 성취도를 보고할 것인가 등에 대한 구체적인 지침을 포함한다.

셋째, 평가요소와 관련하여 의사결정을 해야 할 내용으로 문제 상황에 대한 민감성이나 실행력과 같은 요소를 어떻게 처리할 것인가에 대한 준비가 필요하다. 예를 들면 문제해결이나 탐구능력의 하위요소라고 할 수 있는 논리·분석적 사고처럼 하나의 독립된 평가요소로 구분할 수도 있고, 문제해결이나 탐구능력의 하위요소에 정의하고, 이들에 대한 구체적인 평가기준안을 개발하는 방법도 있다. 이것은 전적으로 문제 상황에 대한 민감성이나 실행력을 사고력의 평가요소로 얼마나 중요하게 인식하는가에 달려있으므로 이를 조사하기 위한 연구가 필요하다.

넷째, 본 연구는 온라인 과학탐구학습의 과제인 개별 연구보고서를 평가하기 위한 사고력 중심의 성취도 평가준거로서 집단 활동에서 나타나는 의사소통, 배려, 리더십, 발표 등의 성취도를 평가하기 위한 평가준거는 포함하고 있지 않다. 따라서 인지적 사고력 중심의 평가준거라고 할 수 있다. 그러나 집단활동이 포함되는 학습상황의 성취도 평가준거를 개발하기 위해서는 본 연구에서 도출된 인지적 사고력 중심의 평가요소 외에 의사소통 및 리더십, 배려 등의 정의적 사고에 관한 평가요소를 도출하고 이들에 대한 평가준거를 개발하는 연구가 수행될 필요가 있다.

## 국문요약

본 연구에서는 문제기반 탐구학습으로 설계된 초등학교 및 중학교 온라인 과학 과목을 대상으로 고차적인 사고력을 평가할 수 있도록 개발된 평가문제에 대해 목표 분류학에 기반하여 평가하고자 하는 사고력을 도출하고 이를 구조화함으로써 평가준거를 개발하고자 하였다. 평가준거의 개발 과정은 다음과 같다. 먼저, 선행 연구 및 문헌 분석, 전문가 타당화를 거쳐 6개의 평가요소 즉, 지식, 논리·분석적 사고, 비판적 사고, 탐구능력, 문제해결, 창의적 사고를 도출하였다. 다음으로, 평가요소의 정의, 하위 요소 및 평가 기준 등을 연구진이 수립하였고 2차에 걸친 전문가 타당화를 통해 수정, 보완하여 평가기준안을 개발하였다. 마지막으로, 이와 같이 개발된 평가 기준안을 실제 온라인 탐구 과제 24종에 적용하여 과제별 평가 루브릭을 개발하였으며, 이 과정에서 수정, 보완할 영역을 도출하고 개선하여 최종 평가 기준안을 완성하였다. 본 연구에서 개발한 평가 기준안은 평가 문제가 평가하고자 하는 내용과 함께 그 문제가 요구하는 사고기능이 무엇인지 확인함으로써 내용 영역의 학습과 함께 사고기능의 개발 효과를 확인할 수 있는 평가준거가 될 것이며, 다양한 탐구 중심의 학습 방법과 과학적 사고력, 과학적 문제 해결력 등의 핵심역량을 요구하는 교육 현장에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

**주제어 :** 사고력 평가, 온라인 탐구기반 학습 평가, 사고력 평가준거 개발

## References

- Anderson, L. W & Krathwohl, D. R. (Eds). (2001). A taxonomy for learning teaching and assessing A revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives (Complete ed.). New York: Longman.
- Bloom, B Engelhart, M. D., J. Hill, w. H., & Krathwohl, D. R. (1956). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook Cognitive domain. White Plains, NY: Longman.
- Brookhart, S. M. (2010) How to assess higher order thinking skills in your classroom. ASCD product#109111
- Cho, H. (2014). Theory of Science Education. Seoul: Kyoyookbook..
- Cho, H., & Choi, K. (2008). Theory and Practice of Science Education (2nd ed). Seoul: Kyoyookbook..
- Cho, Y., Choi, K., & Cho, D. (1997). Focusing on the 6th national curriculum, textbooks, teacher's guide and classroom observations = A study for the elementary science curriculum to enhance creative problem solving abilities. The Journal of Elementary Education, 11(1), 185-211.
- Davis, G. A., Rimm, S., & Siegle, D. (2011). Education of the Gifted and Talented (6th ed). (Translated by Lee, M., Ryu, J., Lee, Y., Lee, H., and Chae, Y.). Seoul: Bakhaksa.
- Huh, K., Kim, H., Cho, Y., Im, S.(1990). A Study of Thinking Ability Development Program(IV). KEDI Research Report, RR 90-17.
- Kim, H. & Song, J. (2003). Middle School Students' Ideas about the Purposes of Laboratory Work. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 23(3), 254-264.
- Kim, Y. (2002). Thinking & Problem Solving Psychology. Seoul: Parkyoungsa.
- Kim, Y. & Kim, Y. (2012). The Development of a Free-response Test for the Assessment of Science Process Skills. Biology Education, 40(1), 167-177.
- Kim, K., Kim, A., & Cho, S. (1997). Conceptualization of Creative Problem Solving for the Development of Curriculum for School Subjects. The Journal of Curriculum Studies, 15(2),129-153.
- Lee, B., Son, J., & Jung, H. (2006). The development of an online scientific inquiry learning system. The Korean Society of Elementary Science Education, 25(3), 271-280.
- Lee, J., & Jeong, E. (2013). Development of an Evaluation Tool for Assessing Scientific Thinking Ability Using Science Writing. Teacher Education

- Research, 52(3), 575-588.
- Lee, S., Chae, Y., & Sung, E. (2017). A Comparison study of self-directed learning competency between high-achiever of high school students and gifted learners. *Journal of Gifted/Talented Education*, 27(2), 123-137.
- Lee, S., Kim, I. (2010). The development of assessment tool about science inquiry performance ability based on science gifted students. *Journal of Science and Science Education* 26(1), 25-39.
- Lee, S., You, M., & Choi, B. (2008). The differences of attribution tendency and self-regulated learning strategy between gifted students and general students in elementary School. *Journal of Gifted/Talented Education*, 18(3), 425-442.
- Lee, S., & Hong, J. (2011). A comparison of psychological, physical and environmental characteristics of the general students and gifted students, and among gifted students' specific gifted areas. *The Korea Educational Review*, 17(1), 351-371.
- Lee, Y., Park, J., & Lee, B. (2004). Analysis and Evaluation of the Science Content Relevance in the National Science Curriculum. RRC 2004-1-6, Korea Institute of Curriculum and Evaluation.
- Lim, B. (2003). Experiences of college students in online inquiry-based learning environment: Implications for design of inquiry on the web. *Journal of Educational Technology*, 19(3), 69-99.
- Linn, M. C., Davis, E. A., & Bell, P. (2004). Internet environments for science education. Lawrence Erlbaum.
- Ministry of Education. (2015). Elementary education curriculum. Notification No. 2007-74 of MOE. Seoul: MOEHRD.
- Orpwood, G. (2001). The role of assessment in science curriculum reform. *Assessment in Education*, 8(2), 135-151.
- Park, I. (2010). Development and implementation of science programs enhancing creative problem solving skills applying meta-cognition. Unpublished Doctoral Dissertation, Ewha Womans University.
- Park, I. & Kang, S. (2011). Science Teachers' Perceptions on Scientific and Creative Problem Solving. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 31(2), 314-327.
- Park, I. & Kang, S. (2012). The Development of Assessment Tools to Measure Scientific Creative Problem Solving ability for Middle School Students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32(2), 210-235.
- Park, H. & Kim, Y. (2013). Correlations between Scientific Knowledge, Science Process Skill, Creativity, and Science Related Attitudes of the Gifted Middle School Students in Science, *Biology Education*, 41(3), 459-469.
- Park, K., Ryu, C., & Choi, J. (2017). An Analysis of Learning Objective Characteristics of Educational Programs of Centers for the University Affiliated Science-Gifted Education Using Semantic Network Analysis. *Journal of Gifted/Talented Education*, 27(1), 17-35.
- Shin, J., Min, J., Kim, S., & Kwon, S. (2013). The Principles of Effective Higher-Thinking Programs and Limitations of Their Implementation in Schools. *The Korean Journal of Thinking & Problem Solving*, 9(2), 71-98.
- Son, J. (2006). A Science Writing Teaching Method Based on Scientific Thinking for Improving Scientific Essay Writing Ability. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 9(2), 333-355.
- Song, S., Kil, J., & Shim, K. (2015). A Case Study on the Evaluation of Scientific Inquiry Ability of Elementary Scientifically Gifted Students : Observing and Inferring, Designing an Experiment, and Concluding. *Journal of Science Education*, 39(3), 376-388.
- Sung, I., Kwak, B., Park, T., Im, S., Yang, M., Han, S., Kim, J., & Yi, H. (1987). A study of thinking ability development program. KEDI Research Report RR 87-37.
- Weisberg, R. W. (2009). Creativity (Translated by Kim, M.). Seoul: Sigma Press.
- Yang, T. (2003). A comparative study on cognitive and affective characteristics of scientifically gifted and non-gifted students. Graduate School, Incheon National University, Master's thesis.