초등학생의 창의적 과학문제해결과정 분석

이슬기 · 신원섭 · 임채성†

Analysis of Creative Science Problem Solving Process of Elementary School Students

Lee, Seul-Gi · Shin, Won-Sub · Lim, Chae-Sung†

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the process of creative science problem solving (CSPS) in elementary school students. To do this, 6 graders (n=9) at a elementary school in Seoul were participated. In this study, fixed eye-tracker with 250 Hz sampling and observation camera were used. The results of this study, the students with higher ability to solve creative science problems had a slower saccade, and had more visual attention on core clues and a greater number of eye changes. Therefore, students with higher ability to solve creative science problems showed more effective eye movement and faster information processing to solve problems. The CSPS types of elementary students were classified as 'declarative knowledge type', 'procedural knowledge type', 'conditional knowledge type', 'knowledge lack type'. Because each type appears to be complementary, CSPS process for elementary students who have integrated the four types was devised. The results of this study can be used as basic data for understanding elementary school students' CSPS and will help to develop and guide creative science teaching and learning programs useful to elementary school students and science gifted students.

Key words: elementary students, CSPS(creative science problem solving) ability, CSPS type & process, eye-tracking

I. 서 론

2015 개정 교육과정 과학과의 목표는 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기르는 것이다(Ministry of Education, 2015). 우리 사회는 교육을 통해 '창의적인 사람'을 길러 개인과 사회의 '문제를 해결'하기를 원한다. 이를 위해서는 창의성과 과학적 문제해결력을 포함한 '창의적 과학문제해결력'의 함양이 필요하다 (Lim, 2012; Isaksen *et al*., 1994).

창의적으로 과학문제를 해결하기 위해서는 다양한 영역에 대한 폭넓은 기초 지식뿐만 아니라, 전문 지식을 포함해야 하는 경우가 많고(Ministry of Education, 2015; Mumford *et al*., 1998), 해결하고자 하는 문제와 관련이 깊은 선언적 지식과 절차적 지식을 적합하게 선택할 필요가 있다(Anderson, 1983). 또한 창의적인 사람은 지식을 바탕으로 직관과 유추를 통해 독창적이고 유용한 아이디어를 산출할 수 있다(Holyoak & Thagard, 1995; Mumford *et al*., 1998).

초등학생들의 창의적 과학문제해결력을 신장시키기 위해서는 그들이 어떻게 창의적 과학문제를 해결하는지 알아보고, 이에 알맞은 지도 방법을 제공해야 한다. 창의적 과학문제해결과정에 대한 연구는 주로 과학영재교육 대상자를 대상으로 한 사례 중심의 연구가 이루어졌다. 선행연구(Kwon & Cho, 2014; Kim & Jang, 2017; Lee *et al*., 2007)로부터 과학영재교육 대상자는 아이디어 생성 과정이

이 논문은 이슬기의 2019년도 석사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.
2019.7.31(접수), 2019.8.16(1심통과), 2019.8.23(2심통과), 2019.8.23(최종통과)
E-mail: cslim@snue.ac.kr(임채성)

정교하고 독창적이며 비판적 사고가 우수하다는 특징을 알 수 있다. 그러나 선행연구들에서는 과학영재교육 대상자의 창의적 과학문제해결력의 수준과 문제해결과정에 대한 정보가 부족하였다. 또한 선행연구들에서 밝혀진 과학영재의 특성은 일반 학생에게서도 유사하게 나타나기 때문에 과학영재만의 특성이라고 할 수 없다. 창의적 과학문제해결력의 함양은 과학영재교육 대상자뿐만 아니라, 모든 초등학생들에게도 필요하다. 일반 교실에서 다양한 수준의 학생들이 창의적 과학문제를 어떻게 해결하는지를 분석하는 것은 앞으로 학교 현장에서 과학 창의성 교육과 창의적 과학문제해결력 향상 교육프로그램의 개발에 중요한 시사점을 제공할 것이다(You & Jeon, 2017). 따라서 일반 초등학생을 대상으로 창의적 과학문제해결력의 수준과 문제해결과정을 알아볼 필요가 있다.

학생들의 문제해결과정을 분석하기 위해 기존 연구들(Basaraba *et al*., 2013; Shim & Jang, 2007; Shin & Kwon, 2007)에서는 사고발성법을 주로 사용하고 있으나, 사고발성법은 연구 참여자가 자신의 사고과정을 말하는 데 있어 주관성을 배제할 수 없는 자기보고식 연구의 한계점을 갖고 있다(Shin & Kwon, 2007; Shin, 2016). 최근 자기보고식 연구의 제한점을 극복하기 위해 EEG, fMRI 등의 신경과학적 연구 방법을 활용하여 연구 참여자의 뇌파, 뇌 활성화, 뇌 연결을 분석하는 경우(Kim *et al*., 2005; Lee & Shin, 2019)도 있다. 하지만 이러한 신경과학적 연구방법을 교육현장에 적용하는 데에는 많은 비용과 시간 등의 여러 가지 제한점이 있다(Shin, 2016).

최근 자기보고식 연구의 단점을 보완하기 위해 시선추적을 활용한 많은 교육 연구가 진행되었다(Shin, 2016). 안구운동 분석은 시각처리과정에 관여하는 뇌 영역이나 뇌 연결을 알 수 없지만(Corbetta *et al*., 1993; 1995), 연구 참여자가 어떤 정보에 선택적 주의를 기울이는지, 어떠한 개인의 인지 방략으로 정보를 처리하는지 등의 정보를 얻을 수 있다(Choi *et al*., 2012; Shin & Shin, 2013b; Slykhuis *et al*., 2005). 안구운동 분석법 또한 여러 가지 단점이 있지만, 다른 신경과학적 연구방법에 비해 안전성과 편의성을 갖고 있으며(Shin & Shin, 2013a), 자기보고식 연구의 단점을 보완할 수 있는 객관적 자료를 수집할 수 있다(Shin & Shin, 2016). 따라서 기존 연구방법들의 제한점을 극복하기 위해 사고발성법과 같은 인지적 접근과 시선추적과 같은 신경과학적 연구방법을 결합하여 초등학생들의 창의적 과학문제해결과정을 연구할 필요가 있다.

이 연구의 목적은 초등학생들의 창의적 과학문제해결과정을 분석하는 것이다. 먼저 과학 창의성 점수와 안구운동 분석을 통해 초등학생들의 창의적 과학문제해결력을 알아보았다. 그리고 창의적 과학문제해결력, 선언적 지식 검사와 회고적 인터뷰 분석, 시선이동경로 등을 종합하여 초등학생들의 창의적 과학문제해결 유형과 과정을 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구에서는 눈이 건강하고 자신의 생각을 말로 표현하는데 어려움이 없는 서울 소재 ○○초등학교 6학년 9명(남: 3, 여: 6)을 연구 참여자로 선정하였다. 연구 참여자에게는 연구 내용을 자세히 설명하였고, 연구 참여자와 보호자 모두에게 참여 동의서를 받았다. 연구 참여자들 중 시선 추적율이 낮은 경우와 시선 일탈이 많은 세 명의 연구 참여자들은 안구운동 분석에서 제외하였고, 나머지 6명(남: 3, 여: 3)을 대상으로 하였다. 모든 연구 참여자들은 안구운동측정 후 자신의 시선 움직임에 대한 정보와 연구 참여에 따른 보상을 제공받았다.

2. 연구 절차

선행 연구들의 창의적 과학문제를 분석하여 창의적 과학문제에 포함되어야 할 요건 분석을 바탕으로 창의적 과학문제를 1차 개발하였다. 1차 개발한 창의적 과학문제는 초등학교 6학년 3명의 학생을 대상으로 사전 연구를 실시하였다. 사전 연구에서 창의적 과학문제해결과정을 분석한 결과와 과학교육전문가 협의 과정을 통해 이 연구에 사용할 창의적 과학문제를 최종 개발하였다. 과학교육전문가는 과학교육 박사 2인, 과학교육 박사과정 2인, 석사과정 7인으로 구성하였고, 창의적 과학문제 문항 개발과 연구 결과 분석 과정에서 자문을 구하였다. 본 실험을 수행하기 전에 연구 참여자를 대상으로 창의적 과학문제에 대한 선언적 지식검사를 실시하였다. 본 실험 단계에서는 연구 참여자들이 창의적 과학문제를 해결을 하는 동안 안구운동을 추적하였고 영상을 녹화하였다. 그 이후 연구자는

연구 참여자와 함께 문제해결과정에서 시선이동경로와 녹화된 영상을 함께 보면서 회고적 인터뷰를 실시하였다. 창의적 과학문제해결력 수준과 과정 분석은 과학교육전문가와의 세미나와 관련하여 학술대회를 통해 타당도를 확보하였다. 마지막으로 선언적 지식검사, 창의적 과학문제해결력, 회고적 인터뷰와 시선경로 분석을 종합하여 초등학생의 창의적 과학문제해결 유형과 과정을 분석하였다.

3. 검사 도구

1) 창의적 과학문제 개발

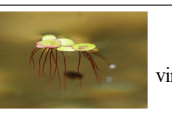
(1) 창의적 과학문제의 요건

창의적 과학문제의 요건은 과학교육전문가와의 협의과정을 통해 다음과 같이 설정하였다. 첫째, 학습하지 않은 내용과 소재를 사용해야 한다. 둘째, 단순 지식을 묻는 문제는 지양해야 한다. 셋째, 제시된 문제에 해결을 위한 정보를 많이 담고 있어야 한다. 넷째, 문제 내에 담긴 정보에서 변수를 제공할 수 있어야 한다. 다섯째, 연구 참여자는 문제에서 제공된 시각적 정보를 근거로 문제를 해결해야 하고, 자신의 문제해결과정을 직접 말할 수 있어야 한다.

(2) 창의적 과학문제

창의적 과학문제해결을 위해서는 선언적 지식과 절차적 지식의 활용 및 확산적 사고, 유추적 사고의 발현이 필요하다(Holyoak & Thagard, 1995; Mumford *et al*., 1998). 유추의 요소를 두 가지로 구분하면, 두 개의 사물이 공통으로 갖는 성질이나 관계를 찾는 것과 한쪽의 특성이 다른 쪽에도 있을 것이라고 추리하는 것이다(Mednick, 1962). 이 연구에서 창의적 과학문제는 주어진 자료에서 공통점과 차이점을 찾고, 이를 토대로 실생활에서 유용하게 활용할 수 있는 방안을 고안하는 문항으로 개발하였다. 문항의 구성은 정보의 근접성과 유사성에 따라 분류한 Dunbar (1995)의 연구를 토대로 문항 1번에서 4번까지 정보의 근접성과 유사성이 낮아지도록 제시하여 유추 수준이 높아지면서 곤란도가 증가하게 하였다. 창의적 과학문제는 과학교육전문가와의 네 번의 협의과정을 거쳐 수정 · 보완하였고, 최종 개발한 문항은 Table 1과 같다.

Table 1. Creative science problem

No.	Picture in question		Analogy level
	Left	Right	
1			Local vine-vine
2			Regional-1 vine-aquatic plants
3			Regional-2 vine-insect
4			Remote vine-abiotic

2) 선언적 지식 검사 도구

선언적 지식 검사는 창의적 과학문제에 사용된 '덩굴식물, 담쟁이덩굴, 나팔꽃, 애기나팔꽃, 좀개구리밥, 송악(덩굴식물), 잠자리, 눈(겨울철)'의 이름만 보고 알고 있는 것에 대해 리커트 5점 척도와 이미 알고 있는 것을 쓰게 하였다. 자신이 알고 있는 지식에 대한 리커트 척도는 전혀 그렇지 않다(20% 미만), 그렇지 않다(20～49%), 보통이다(50%), 그렇다(51～75%), 매우 그렇다(75% 초과)의 5가지로 구분하였으나, 연구 참여자가 자신이 알고 있는 지식의 양에 대한 판단은 상대적임을 고려하여 분석하였다. 선언적 지식 검사는 과학적으로 옳은 것의 개수를 세어 점수화하였다.

3) 회고적 인터뷰 질문

본 실험 후 1～2일 내에 회고적 인터뷰가 이루어졌고, 연구 참여자와 연구자는 창의적 과학문제해결과정에서의 시선경로 및 연구 참여자의 응답내용을 확인하였다. 회고적 인터뷰의 모든 과정은 녹화하였고, 이후 전사하여 문제해결과정의 근거를 분석하는데 활용하였다. 회고적 인터뷰의 질문 내용은 창의적 과학문제해결의 각 과정에서 보이는 자신의 시선경로와 창의적 과학문제해결 방략에 관련된 것으로 구성하였다. 기존의 연구들(Kim & Jang, 2017; Shim & Jang, 2007)에서는 자신의 문제해결과정이나 답에 대한 회상 위주의 인터뷰를 실시하였다. 하지만 이 연구에서 회고적 인터뷰는 연

구 참여자가 창의적 과학문제해결과정에서 자신의 시선이동경로와 문제해결 응답을 확인하면서 진행하였기 때문에 연구 참여자의 재인을 중심으로 한 인터뷰였다.

4. 자료수집 및 분석

1) 창의적 과학문제해결력

이 연구에서는 초등학생의 창의적 과학문제해결력을 평가하는 요소로 과학 창의성을 분석하였다. 과학 창의성을 평가할 때 독창성, 유창성, 유용성, 정교성 등을 모두 측정하여 합산하는 방식(Torrance, 1998)이 많이 사용되었으나, 창의성은 요소들 간의 상호작용으로 나타나기 때문에(Lim, 2014) 중복 측정될 수 있다. 이 연구에서는 과학 창의성을 과학적으로 새롭고 유용한 아이디어나 산물을 만들어 내는 능력이라고 정의하였고, 독창성과 유용성을 지표로 하여 개발된 Lim(2014)의 과학 창의성 평가 공식($SC = \left[\left(1 - \frac{n-1}{N-1}\right) \times 10\right] \times U$)을 활용하여 창의적 과학문제해결력을 분석하였다. 독창성 점수는 연구 참여자 전체(N)에 대한 특정 아이디어를 제시한 학생의 수(n)를 기준으로 하였다. 유용성은 과학적으로 유용하고 타당한 아이디어로 0~10점 범위 내에서 점수를 산출했고, 과학교육전문가의 평균으로 하여 산출하였다. 유추적 사고를 활용하여 실생활에 유용한 방법을 제시한 경우 유용성 점수에서 가산점을 부여하였다. 한 학생이 낸 아이디어의 수가 많을 경우 각 점수의 평균으로 과학 창의성 점수를 산출하였다.

2) 안구운동 수집 및 분석

창의적 과학문제해결과정에서 연구 참여자들의 안구운동은 SMI사의 고정형 시선추적기를 이용하여 250Hz 속도로 수집하였고, 동사의 Begaze 3.1을 사용하여 분석하였다. 안구운동은 관심영역을 미리 설정하여 영역 간 도약 및 응시를 분석하였다. 수집한 안구운동 핵심지표 중에서 이 연구와 관련이 있는 시선점유도, 고정시간, 도약시간 및 속도를 분석하였고, 핵심 단서에서의 유의미한 응시과정을 확인하기 위해 핵심단서 간 시선전환 데이터를 함께 분석하였다. 연구 참여자별, 검사도구의 문항별, 핵심단서별로 창의적 과학문제해결력에 따른 안구운동 데이터가 통계적으로 유의한 차이가 있는지를 확인하기 위해 다변량 분산분석을 실시하였다.

3) 창의적 과학문제해결유형 및 과정

창의적 과학문제해결유형은 창의적 과학문제해결력, 선언적 지식, 회고적 인터뷰 응답 내용을 종합하여 분류하였다. 창의적 과학문제해결과정은 문제를 해결하는 동안의 연구 참여자의 시선이동경로와 문제해결방략에 대한 회고적 인터뷰와 선언적 지식의 유무, 창의적 과학문제해결 응답을 근거로 분석하였다. 교육 연구에서 시선추적기법의 장점은 연구 참여자들의 의식적·무의식적 시각적 주의를 모두 분석할 수 있다는데 있다(Shin, 2016). 먼저 연구 참여자들의 시선이동경로를 분석하기 위해 문제별로 실험 자극을 8×8로 분할하였다. 시선전환 데이터에서 영역 간 압축된 시선이동경로를 추출하였고, 문제/왼쪽단서/오른쪽단서/단서 외 영역을 설정하여 창의적 과학문제해결 과정을 분석하였다. 연구 참여자의 시선이동경로와 시각적 주의과정을 분석한 예는 Table 2와 같다.

III. 연구 결과 및 논의

Table 2. Compressed scan path & attention course example (P07)

Participants	Compressed scan path	Attention process Top-down / bottom-up
P07 (No.2)	D2-E4-B1-C2-D2-F1-G1-D1-B1-A1-C6-B7-F5-F7-H2-G1-B2-A2-C2-C4-B4-C7-B1-C1-E1-G1-H1-B1-G2-E1-C2-F7-C2-B2-C2-F6-E5-C5-B4-D4-B7-C7-F7-E4-C4-D5-B6-C6-F3-F5-B6-C4-B7-D1-F2-E1-C1-B2-C1-B1-F2-G2-D2-C1-D2-E2-F1-H1-E1-F1-D1-F5-C3-D2-F2-C5-C6-F6-G3-H4-H5-C6-D6-G3-F7-E1-E3-F1-G5-E4-C1-D1-F1-A1-E5-F6-G5-F5-G5-G6-G1-E1-D1-E4-E5-E4-C3-E1	Problem－right clue－problem－left clue－Problem－right clue－left clue－problem－right clue－problem Active top-down attention course

* Information - Problem, left clue, right clue, out of clue area.

1. 창의적 과학문제해결력

1) 창의적 과학문제해결력 분석

연구 참여자들의 창의적 과학문제 문항별 과학 창의성 점수는 Table 3과 같고, 창의적 과학문제해결력 수준은 상위(P08), 중위(P01, P05, P06), 하위(P07, P09) 그룹으로 구분하였다.

2) 창의적 과학문제해결력 수준에 따른 안구운동 분석

창의적 과학문제해결에서 나타난 안구운동 핵심 지표들 중 시선 점유도, 시선전환 횟수, 평균응시시간, 평균도약시간, 평균도약속도를 연구하여 참여자의 창의적 과학문제해결력 수준과 관심영역에 따라 분석하였다. 창의적 과학문제해결력 수준에 따른 관심영역의 시선점유도의 차이는 Fig. 1과 같다. 시선점유도는 핵심 단서에의 효과적인 응시를 알 수 있는 지표인데(Shin & Shin, 2013b; Snowden *et al*., 2011), 창의적 과학문제해결력 수준이 높은 학생일수록 핵심단서에 대한 시선점유도가 높았다. 중위 그룹의 학생들이 문제영역에 시선점유도가 높은 것은 문제를 해결하는 도중에 문제를 다시 읽는 경우가 많았기 때문이다. 회고적 인터뷰에서 참여자들은 '정확히 문제가 요구하는 것이 맞는지를 확인하기 위해서' 또는 '무엇을 말해야 하는지를 확인하기 위해서' 문제를 다시 읽었다고 답했다.

창의적 과학문제해결력 수준에 따른 관심영역 간의 시선전환 횟수를 분석한 결과, 창의적 과학문제해결력 수준이 높을수록 핵심 영역 간의 시선전환이 많았으며, 낮을수록 시선전환이 적었다. 창의적 과학문제해결력이 높을수록 문제영역과 핵심영역 간의 시선전환이 많았다. 창의적 과학문제해결

Table 3. Level of CSPS

Participant	Science creativity				Average	Level
	Q1	Q2	Q3	Q4		
P01	60	48	0	60	42	Middle
P05	37.5	32	30	40	34.9	Middle
P06	37.5	0	40	45	30.6	Middle
P07	0	0	50	0	12.5	Low
P08	90	72	70	52.5	71.1	High
P09	0	0	80	0	20	Low

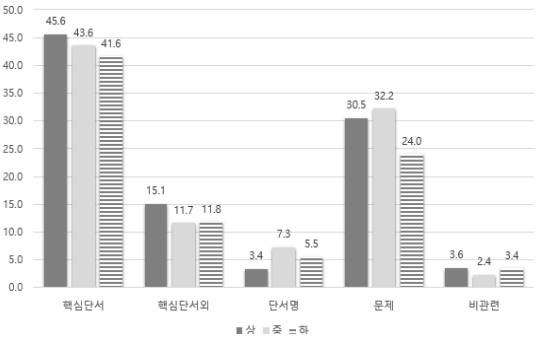


Fig. 1. Visual occupancy according to level of CSPS.

력이 높을수록 유의미한 단서영역에 응시율이 높았고, 이는 핵심단서 간 도약 운동이 활발하게 일어났다는 것을 의미한다.

개체 간 효과 검정에서 창의적 과학문제해결력 수준과 관심영역에 따라 평균응시시간은 통계적으로 유의한 차이(p<.001)를 보였다. 평균응시시간 분석 결과, 창의적 과학문제해결력 수준이 높을수록 평균응시시간이 짧고, 창의적 과학문제해결력이 낮을수록 평균응시시간이 길었다. 하위그룹의 학생들은 문제의 답을 빨리 찾지 못하였고, 유용한 정보를 얻기 위해서 평균응시시간이 길어졌음을 알 수 있다. 상위그룹 학생들은 정보처리속도가 빠르기 때문에 평균응시시간이 짧았다(Choi *et al*., 2012; Shin & Shin, 2013b; 2016). 창의적 과학문제해결력 수준에 따른 평균응시시간은 Fig. 2와 같다.

창의적 과학문제해결력 수준에 따른 평균도약시간은 Fig. 3과 같다. 일반적으로 정상적인 조건에서 도약시간은 20~80ms 정도이지만(Shin, 2016; Snowden *et al*., 2011), 하위그룹의 평균도약시간이 상위와 중

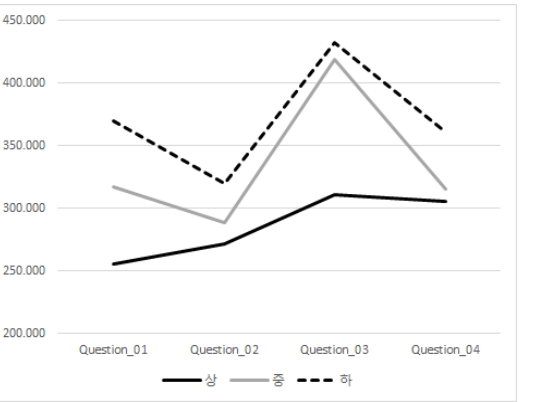


Fig. 2. Average fixation time according to CSPS.

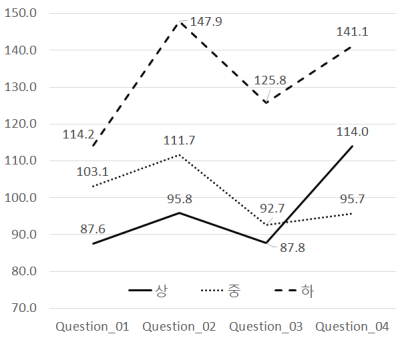


Fig. 3. Average saccade time according to CSPS.

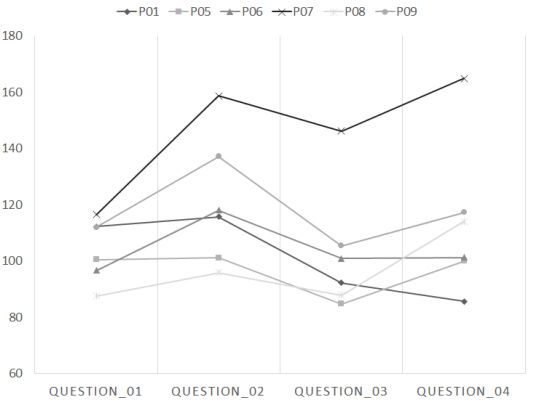


Fig. 4. Average saccade velocity.

위그룹에 비해 높게 나타났다. 이는 응시의 유사성과 근접성의 원리(Snowden *et al*., 2011)를 기준으로 볼 때 하위그룹의 학생들은 정상적인 범위에서 벗어난 도약운동이 많았다. 이는 하위그룹의 학생들이 창의적 문제해결에서 곤란도가 높았다는 것을 의미한다(Shin & Shin, 2013a).

창의적 과학문제별 연구 참여자의 평균도약속도는 Fig. 4와 같다. 도약속도는 단위시간(sec) 당 이격 각도(°)를 나타내는 지표이다. 평균도약속도가 빠르다는 것은 이 연구의 각 문제에서 두 핵심 단서가 근접한 곳에 있었음에도 불구하고, 먼 곳을 응시하기 위해 도약했다는 것을 의미한다(Shin & Shin, 2013b; Snowden *et al*., 2011). 문항별 평균도약속도 분석결과, 2번 문제에서 평균도약속도가 증가했고, 3번 문제에서 다시 느려졌다가 4번 문제에서 증가하는 경향을 보였다.

이를 통해 연구 참여자들은 2번과 4번 문제에서 핵심단서를 찾는데 곤란도가 높았다는 것을 알 수 있었고, 이 결과는 회고적 인터뷰에서 '1번 문제에 사용된 나팔꽃과 3번 문제에 사용된 잠자리는 익숙하다'고 응답과 연구 참여들의 선언적 지식의 검사결과와 일치한다. 창의적 과학문제해결력이 높을수록 평균도약시간이 짧고 평균도약속도가 느린 것으로 보아 효율적인 응시를 하고 있음을 알 수 있다(Shin & Shin, 2013b; Snowden *et al*., 2011). 또한 초등학생들의 창의적 문제해결력 수준에 따른 안구운동의 경향성을 알 수 있다.

2. 창의적 과학문제해결 유형 및 과정

1) 창의적 과학문제해결 유형 분석

연구 참여자들의 창의적 과학문제해결력, 선언적 지식 및 창의적 과학문제해결단계별 응답내용을 분석한 결과는 Table 4와 같다.

P05는 선언적 지식이 하위 그룹이고, 창의적 과학문제해결력은 중위 그룹에 해당하였다. 시선이동경로를 분석한 결과, P05의 시각적 주의는 '문제－오른쪽단서－왼쪽단서－문제－오른쪽단서－왼쪽단서(단서 간 이동 위주)－문제' 순서로 이동하였다. 먼저 문제 영역에 집중하여 응시한 뒤 문제를 이해하고, 핵심 단서를 찾은 후 문제를 재확인하였다. 이후 핵심 단서 사이의 많은 시선 이동이 있었고, 문제를 해결하기 위한 유추를 활용하였다. 이는 P05는 하향식 주의과정을 거치고 있음을 알 수 있다. P05의 회고적 인터뷰 내용은 다음과 같다.

> *연구자: 어떻게 공통점과 차이점을 찾았나요?*
> *P05: 공통점을 찾을 때는 모양, 색깔, 크기를 비교해요.*
> *연구자: 유용하게 활용하는 방법은 어떻게 떠올랐나요?*
> *P05: 두 사진을 보고 알 수 있는 것으로 생각했어요.*
> *연구자: 왜 그렇게 생각했는지 지금은 말할 수 있나요?*
> *P05: 네, 그때는 순간 잊어버려서 넘어갔던 것 같습니다.*

P05는 담쟁이덩굴에 대한 선언적 지식이 없는 상황이었으나, 공통점과 차이점을 찾기 위해 모양, 색깔, 크기를 비교하며, 양쪽을 번갈아 보는 유추 방략을 가지고 있었다. 따라서 생김새 수준의 정보를 찾는 데에 성공하였으며, 유용하게 활용하는 방안으로 생김새를 활용하는 방안을 말하였다. P05는 문제를 읽고 이해하는 과정에서 장기기억 속의 선언적 지식보다는 절차적 지식을 활용하여 능동적으로 답을 해결하려는 하향식 안구운동을 하였다. 시선이동경로 분석에서 유의미한 정보를 못 찾았

Table 4. CSPS ability, declarative knowledge & response

Element of analysis		Participants					
		P08	P01	P05	P06	P07	P09
CSPS level		High	Middle	Middle	Middle	Low	Low
Declarative knowledge		High	Low	Low	Low	High	Middle
CSPS step	Understand problem	Success	A little	Success	Success	Success	Failure
	Create idea	Success of finding analogy clue	Finding analogy clue and answer	Success of finding analogy clue	Success of finding analogy clue	Can not use analogy as an idea tool	Failure of finding clue
	Evaluation	Declarative knowledge base	It is based on analogy but not recognized	Answer by analogy	Answer by analogy		Failure answer
	Futhering			Failure answer by evidence	Failure answer by evidence	Failure answer by evidence	
Knowledge used to solve CSP		Failure answer by evidence	Procedural knowledge	Procedural knowledge	Procedural knowledge	Declarative knowledge	None

거나, 무엇을 말해야 할지 확인하기 위해 문제를 다시 읽는 것을 반복하는 확인할 수 있었다. P05는 유용한 활용방법을 산출하였으나, 유추를 바탕으로 했던 근거를 말하지 못하여 무근거 해결로 종결되었다. P01, P06도 절차적 지식을 주로 활용하여 문제를 해결하는 시각적 주의과정을 보였다.

P07은 선언적 지식은 상위 그룹이지만 창의적 과학문제해결력은 하위 그룹이었다. 창의적 과학문제해결에서 절차적 지식을 활용하지 못하고 선언적 지식을 바탕으로 응답하였으며, 응답에 대한 근거를 말하는데 실패하였다. P07의 시선이동경로를 분석한 결과, '문제－오른쪽단서－문제－왼쪽단서－문제－오른쪽단서－왼쪽단서－문제('유용한' 부분)－오른쪽단서－문제' 순서로 시각적 주의가 이동하였다. 문제를 이해하는 과정에서 왼쪽과 오른쪽 그림의 핵심 단서를 찾으며 능동적인 하향식 주의과정을 보였다. 핵심 단서 사이의 시선 이동과 함께 유추한 것을 응답한 것으로 보아 유추에는 성공하였으나, 유용한 활용 방안을 고안하지 못했다. P07의 회고적 인터뷰 내용은 다음과 같다.

연구자: 답을 찾기 위해 어떤 생각을 했나요?
P07: 관찰보다는 이미 알고 있던 것이나 책에서 본 것 위주로 떠올리려고 했어요.
연구자: 어느 문제가 가장 어려웠나요? 왜 그렇게 생각했나요?
P07: 2번이요. 아는 것이 너무 없어서요.

P07은 창의적 과학문제 해결 과정에서 관찰사실을 바탕으로 유추하는 방법을 활용하기 보다는, 이미 알고 있는 선언적 지식을 활용하여 문제를 풀고 있음을 알 수 있다. P07은 문제를 읽고 이해하는 과정에서 장기기억 속의 선언적 지식을 활용하여 능동적으로 답을 해결하려는 하향식 안구운동을 하였다. 선언적 지식을 떠올리며 유의미한 정보를 찾지 못한 경우, 문제를 다시 읽는 것을 반복하는 모습을 보였고, 유용한 활용 방안을 고안하는데 실패하여 과제를 해결하지 못했다.

P08은 선언적 지식과 절차적 지식이 모두 높은 학생이었다. P08의 시각적 주의는 '왼쪽단서－문제－오른쪽단서－왼쪽단서－문제－오른쪽단서－문제－왼쪽, 오른쪽 단서 이동－문제' 순서로 이동하였다. 세 번째 문제를 보는 동안 이전의 문제와 형태가 같음을 직관적으로 인지하고, 능동적인 하향식 주의로 핵심 단서부터 찾기 시작했다. 핵심 단서 사이의 시선 이동이 활발하였고, 유추 단서를 찾는 데 성공한 것을 알 수 있다. P08의 회고적 인터뷰 내용은 다음과 같다.

연구자: 무엇을 위주로 보았나요?
P08: 송악과 잠자리가 어떻게 붙어있는지 위주로요.
연구자: 그것이 공통점이라고 생각했나요?
P08 : 아니요.
연구자: 문제를 여러 번 보고 있네요. 왜 그랬나요?
P08: 정확하게 답을 맞했는지 확인하려고요.

연구자: 문제를 풀 때 어떤 방법을 사용했나요?
P08: 생김새나 구조 중심으로 보려고 했고, 생소한 것을 먼저 자세히 본 다음에 생각해요.
연구자: 유용하게 활용할 방법을 떠올릴 때는 어떤 방법을 사용했나요?
P08: 생김새가 비슷한 다른 물건이나 TV에서 봤던 것을 떠올렸어요.

P08은 회고적 인터뷰에서 송악과 잠자리가 어떻게 붙어있는지 위주로 보았으나, 그것이 공통점이라고 생각하지는 못했다고 했다. 유추 단서를 찾았음에도 불구하고, 유용하게 활용하는 방법을 생각할 때에는 생김새가 비슷한 다른 물건이나 TV에서 봤던 것을 떠올리려고 했다고 응답했다. 관찰을 통해 유추할 때에는 생김새나 구조 중심으로 보는 방략을 가지고 있었고, 아는 것이 많은 것보다 생소한 것을 위주로 본다고 하였다. 보기를 먼저 보고 문제를 보는 방법을 사용하고, 어려울 때에는 다시 새롭게 생각하기 위해 처음부터 다시 읽거나, 다른 문제를 먼저 풀고 돌아와서 생각한다고 하였다.

이와 같이 문제를 해결하기 위한 절차나 방법에 대한 지식이 풍부한 P08은 창의적 과학문제를 해결할 때 문제를 이해한 후 자신의 선언적 지식과 절차적 지식을 모두 동원하여 유의미한 정보를 찾으려고 하였다. 이 과정에서 문제를 다시 읽으며 확인하는 과정을 거쳤다. 선언적 지식을 바탕으로 아이디어 발상 및 평가에 성공하였으나, 유추 단서를 근거로 답하는 데에는 실패하였다. 유추적 사고가 창의적 과학문제를 해결하기 위한 도구로 활용된다(Holyoak & Thagard, 1995)고 하였으나, P08은 발견한 유추 정보를 창의적인 아이디어 발상으로 연결하지 못했기 때문에 유추적 사고의 활용이 미흡하다는 것을 알 수 있다.

P09의 창의적 과학문제해결력은 하위이고, 선언적 지식은 중위였으나, 선언적 지식에 대한 자기인식 점수는 낮았다. P09의 시각적 주의는 '문제－단서 외－핵심단서 지나감－문제－오른쪽단서－문제－단서 외－문제－단서 외－문제－단서 외' 순서로 이동하였다. P09는 문제를 읽은 후 단서에 대한 시각적 주의가 발생하였지만, 단서로 인식하지 못하였다. P09의 회고적 인터뷰 내용은 다음과 같다.

연구자: 사진을 보면서 공통점과 차이점을 찾을 수 있었나요?
P09: 아니요.
연구자: 문제를 여러 번 보고 있네요. 왜 그랬나요?
P09: 무슨 뜻인지 이해해 보려고요. 포기할 수는 없잖아요.

P09는 회고적 인터뷰에서 '관찰을 통해 유의미한 정보를 찾지 못했으나, 문제해결을 포기하지 않았다'라고 했으며, 이는 문제를 여러 차례 응시했던 시선이동경로에서도 확인할 수 있었다. 과학영재와 일반학생을 비교한 연구들(Shim & Jang, 2007; Lee *et al*., 2007)에서 일반학생의 경우 문제가 어려우면 포기한다고 하였으나, P09는 선언적 지식을 활용하지 못하고 절차적 지식이 부족함에도 불구하고, 문제 해결을 쉽게 포기하지 않았다. 시선이동경로 분석을 통해 문제를 해결하기 위해 노력 끝에 해결하지 못한 경우와 문제를 이해하지 못하고 바로 포기하는 경우를 구분할 수 있었다. P09의 시선이동경로에서 단서 외 영역 위주의 시각적 주의는 Shin and Shin (2013b)이 말한 목적 없이 상향식으로 안구운동이 일어나는 혼란주의 과정과 동일하였다. 또한 이 과정에 대한 회고적 인터뷰에서 P09는 '혼란스러웠으며 문제를 정확히 이해하지 못해 어떻게 해야 할지 몰랐다'라고 답했다.

연구 참여자들의 선언적 지식과 창의적 과학문제해결력, 창의적 과학문제해결에서의 시각적 주의, 회고적 인터뷰를 종합적으로 분석한 결과, 초등학생들의 창의적 과학문제해결 유형은 Fig. 5와 같이 조건적지식형, 절차적지식형, 선언적지식형, 지식부족형으로 분류할 수 있다.

2) 창의적 과학문제해결 과정 분석

연구 참여자들의 창의적 과학문제해결과정 분석에서 선언적지식형, 절차적지식형, 조건적지식형, 지식부족형의 네 가지 유형이 독립적으로 나타나

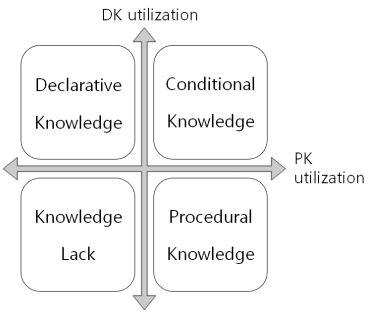


Fig. 5. CSPS type.

는 것이 아니라 상호보완적으로 나타났다. 따라서 이 네 가지의 유형을 통합하여 Fig. 6과 같이 초등학생의 창의적 과학문제해결과정을 도식하였다.

인지처리과정을 나타낸 Anderson (1983)의 ACT 모형에서는 선언적 기억이 반영된 ACT 기억창치가 작동함과 동시에 절차적 기억과 매칭한 후 생산을 실행하고, 이는 다시 ACT로 반복된다고 하였다. 하지만 ACT 모형에서는 이 모든 과정이 작업 기억 내에서 이루어진다는 것을 나타내지 않았다. 작업기억은 문제해결과정의 계획 및 순서를 결정할 뿐만 아니라, 실제 수행하는 작업장의 역할을 한다(Jung, 2015). 따라서 창의적 과학문제해결과정에서 문제 이해하기, 유의미한 정보 찾기, 문제해결 및 근거 찾기 등의 모든 인지 과정은 작업 기억에서 이루어진다(Shin & Shin, 2016).

초등학생들이 문제를 읽고 장기기억과 연결하지 못하거나 문제내용을 이해하지 못한 경우, 목적이 없는 상향식주의 처리과정을 거치게 되고(Müller & Krummenacher, 2006; Navalpakkam & Itti, 2002), 유의미한 정보를 찾지 못하여 미해결로 종결되는 경우가 종종 있다(Shin & Shin, 2016). 상향식 처리 과정 중에도 문제를 해결하고자 하는 의지가 있다면 문제를 다시 읽기도 한다. 또한 상향식 주의 처리 과정에서 장기기억 속의 지식이 떠오르는 '통찰(Obsborn, 1953)'이 일어나 유의미한 정보를 찾게 되고, 이는 하향식 처리로 이어지기도 한다. 반대로 문제를 이해하지 못한 경우 바로 포기하기도 한다.

초등학생들이 문제를 이해하고 장기기억을 활성화시킬 경우, 능동적인 하향식 주의 처리 과정을 거치게 되고, 유의미한 정보를 찾기 위해 노력한다(Müller & Krummenacher, 2006; Navalpakkam & Itti, 2002; Shin & Shin, 2016). 이를 통해 잠정적으로 문제를 해결하고, 해결 근거의 적합성을 판단하여 문제해결과정을 종결한다. 초등학생들은 문제해결의 적합한 근거를 찾지 못하고 무근거 해결로 끝나기도 한다. 이 연구에서 시각적 주의 분석과 결과 초등학생들은 유의미한 정보를 찾거나 잠정적인 문제해결 도중에도 문제를 다시 읽고 과정을 거쳤고, 이 과정은 장기기억의 선언적 지식과 절차적 지식을 적절하게 선택 및 활용하는 과정에서 나타난다는 선행연구(Anderson, 1983; Shin & Shin, 2016)와 일치하는 결과이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 초등학생들의 창의적 과학문제해결과정을 분석하였다. 초등학생들의 창의적 과학문제해결력을 알아보기 위해 창의적 과학문제를 개발하였고, 시선추적기법을 활용하여 초등학생들의 창의적 과학문제해결력에 따른 시각적 주의를 분석하였다. 창의적 과학문제해결력, 선언적 지식, 시선이동경로, 회고적 인터뷰를 종합하여 초등학생의 창의적 과학문제해결 유형과 과정을 분석하였다. 이 연구의 결과에서 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 창의적 과학문제해결력 수준에 따라 안구운동의 지표는 통계적으로 유의한 차이가 있었다.

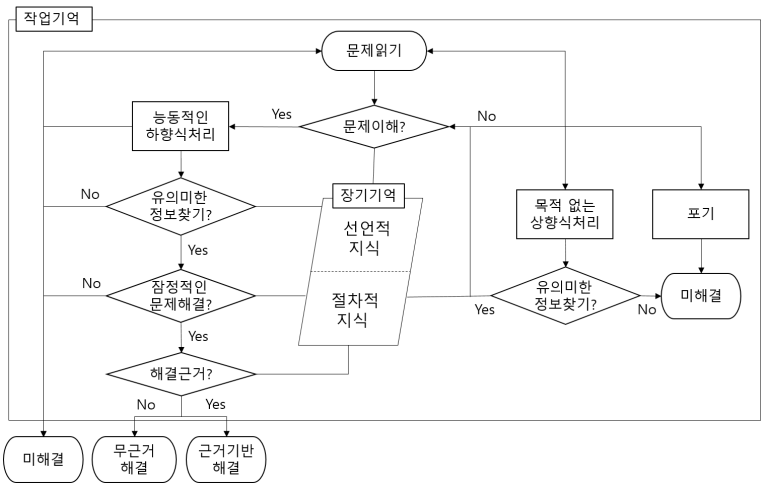


Fig. 6. CSPS process of elementary students.

창의적 과학문제해결력이 높은 학생일수록 평균도약시간이 짧고 평균도약속도가 느리며, 핵심단서에서의 시선점유도가 높았다. 따라서 창의적 과학문제해결력이 높은 학생일수록 문제해결을 위해 효과적인 안구운동이 무엇인가를 규명할 수 있었고, 기존의 인지적 연구에서 정보처리속도가 빠르다는 것의 객관적 지표를 확인할 수 있었다.

둘째, 초등학생의 창의적 과학문제해결 유형은 '선언적지식형', '절차적지식형', '조건적지식형', '지식부족형'으로 분류할 수 있었다. 선언적지식형은 절차적지식이 부재이거나 절차적지식이 있더라도 주로 선언적 지식만을 활용하여 문제를 해결하려는 유형이다. 절차적지식형은 선언적지식이 부재이거나 선언적지식이 있더라도 주로 절차적지식만을 활용하여 문제를 해결하려는 유형이다. 조건적지식형은 창의적 과학문제해결과정에서 선언적지식과 절차적지식을 적절하게 활용하여 문제를 해결하는 유형이다. 마지막으로 지식부족형은 창의적 과학문제와 관련한 선언적지식과 절차적지식이 모두 부재이거나 선언적지식이나 절차적지식이 있더라도 이를 활용하지 못하는 유형을 말한다.

셋째, 초등학생들의 창의적 과학문제해결과정을 도식하였다. 창의적 과학문제해결의 네 가지 지식유형은 독립적으로 나타나는 것이 아니라, 상호보완적으로 나타날 수 있음을 이 연구 결과를 통해 확인할 수 있었다. 따라서 초등학생의 창의적 과학문제해결과정은 그들의 선언적지식의 유무, 절차적지식과 관련된 문제해결방략, 문제해결에서의 시각적 주의 등을 종합적으로 분석하여 이해할 필요가 있다.

이 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 이 연구의 결과는 초등학생의 창의적 과학문제 해결과정을 이해하는 데 기초 자료로 활용될 수 있으며, 창의적 과학문제해결 향상 교육프로그램을 개발하는데 적용할 수 있다.

둘째, 초등학생의 창의적 과학문제해결 유형을 선언적지식형, 절차적지식형, 조건적지식형, 지식부족형으로 분류한 결과는 과학영재학생들을 위한 연구로의 확대와 더불어 일반학생과 영재학생을 비교하는 후속 연구에도 활용될 수 있을 것이다.

마지막으로 네 가지 지식 유형을 통합한 창의적 과학문제해결과정 모델은 초등학생들이 창의적 과학문제해결과정에서 겪는 어려움을 파악하고, 이를 극복하기 위한 지도 방향을 설정하는데 도움을 줄 것이다.

참고문헌

Anderson, J. R. (1983). The architecture of cognition. Cambridge. MA: Harvard University Press.

Basaraba, D., Zannou, Y., Woods, D. & Ketterlin-Geller, L. (2013). Exploring the utility of student-think alouds for providing insights into students' metacognitive and problem-solving processes during assessment development. *Society for Research on Educational Effectiveness*, 1-11.

Choi, H. D., Shin, W. S. & Shin, D. H. (2012). Differences in eye movement patterns in the classification process of elementary science gifted and normal children. *Elementary Science Education*, 31(4), 501-512.

Corbetta, M., Miezin, F. M., Shulman, G. L. & Petersen, S. E. (1993). Attention modulation of neural processing of shape, color, and velocity in humans. *Science*, 248, 1556-1559.

Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M. & Petersen, S. E. (1995). Superior cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802-805.

Dunbar, K. (1995). How scientists really reason: Scientific reasoning in real-world laboratories. In Sternberg, R. J. & Davidson, J. E. (Eds.), The nature of insight (pp. 365-395). Cambridge, MA, US: The MIT Press.

Holyoak, K. J. & Thagard, P. (1995). Mental leaps: Analogy in creative thought. US: MIT Press.

Isaksen, S. G. (1994). Versions of CPS. Buffalo. NY: Cencer for Studies in Creativity, Buffalo State Colleage.

Jung, J. J. (2015). Principles and practices of brain-based learning. Seoul: Governor.

Kwon, M. J. & Cho, S. H. (2014). An analysis of the relationship between the scientifically gifted brain utilization and scientific creative problem solving ability. *Gifted Education Research*, 24(6), 961-974.

Kim, J. S. & Jang, S. H. (2017). Analysis of visualization activities in the process of creative science problem solving for elementary school students. *Elementary Science Education*, 36(1), 73-84.

Kim, Y. J., Kim, J. Y. & Kwon, C. S. (2005). Differences in EEG activity between elementary science gifted students and normal children. *Biology Education*, 33(1),

23-32.

Lee, G. N. & Shin, J. H. (2019). The effect of barefoot experience program on EEG and brain utilization of elementary school students. *Learner Centered Curriculum Education Research*, 19, 219-238.

Lee, S. J., Bae, J. H. & Kim, E. J. (2007). Types and characteristics of thinking in scientific creative problem solving of elementary science gifted children and ordinary children. *Elementary Science Education*, 25(5), 567-581.

Lim, C. S. (2012). Development of a creative scientific problem solving instruction model based on a brain-based evolutionary approach. *Biology Education*, 40(4), 429-452.

Lim, C. S. (2014). Develop and apply scientific creativity assessment formulas. *Elementary Science Education*, 33(2), 242-257.

Mednick, S. (1962). The associative basis of the creative process. *Psychological Review*, 69, 220-232.

Ministry of Education (2015). Revised primary school science curriculum. Ministry of Education Notice 2015-74.

Müller, H. J. & Krummenacher, J. (2006). Visual search and selective attention. *Visual Cognition*, 14(4-8), 389-410.

Mumford, M. D., Marks, M. A., Connelly, M. S., Zaccaro, S. J. & Johnson, J. F. (1998). Domain-based scoring in divergent-thinking tests: Validation evidence in an occupational sample. *Creativity Research Journal*, 11, 151-163.

Navalpakkam, V. & Itti, L. (2002) A goal oriented attention guidance model. *Biologically Motivated Computer Vision Lecture Notes in Computer Science*, 25, 453-461.

Shim, H. J. & Jang, S. H. (2007). A case study of the creative science problem solving process of science gifted children and ordinary children. *Elementary Science Education*, 25(5), 532-547.

Shin, D. H. & Kwon, Y. J. (2007). A review of brain research methods in elementary science education-focusing on fMRI utilization. *Elementary Science Education*, 26(1), 49-62.

Shin, W. S. (2016). A study of eye tracking method in elementary science education research. *Elementary Science Education*, 35(3), 288-304.

Shin, W. S. & Shin, D. H. (2013a). Analysis of eye movement according to science achievement of elementary school students in observation problems. *Elementary Science Education*, 32(2), 185-197.

Shin, W. S. & Shin, D. H. (2013b). Development of heuristic attention model by analyzing eye movements of elementary school students in discrimination task. *Korean Journal of Science Education*, 33(7), 1471-1485.

Shin, W. S. & Shin, D. H. (2016). Analysis of attention characteristics of elementary school students through eye tracking and attention test in science class. *Korean Journal of Science Education*, 36(4), 705-715.

Slykhuis, D. A., Wiebe, E. N. & Annetta, L. A. (2005). Eye-tracking students' attention to powerpoint photographs in science education. *Journal of Science Education and Technology*, 14(6), 509-520.

Snowden, R., Thompson, P. & Troscianko, T. (2011). Basic vision: An introduction to visual perception. translated by Oh, S. J. Seoul: Hakjisa.

Torrance, E. P. (1998). The torrance tests of creative thinking norms - Technical manual figural (streamlined) forms A & B. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service, Inc.

You, T. S. & Jeon, Y. S. (2017). A case study on the creative problem solving process of the elementary school students. *The Journal of Korea Elementary Education*, 28, 53-69.

이슬기, 서울상경초등학교 교사(Lee, Seul-Gi; Teacher, Seoul Sanggyeong Elementary School)
신원섭, 서울동일초등학교 교사(Shin, Won-Sub; Teacher, Seoul Dongil Elementary School)
† 임채성, 서울교육대학교 교수(Lim, Chae-Sung; Professor, Seoul National University of Education)