

The Problem Solving Thinking Processes on the Geological Spatial Ability Test according to the Item Types

Jo, Jun-Ho¹⁾ · Yang, Il Ho^{*2)}

¹⁾Daejoong Elementary School · ²⁾Korea National University of Education

지질학적 공간 능력 평가 해결 과정에서 문항 형식에 따른 사고 과정 분석

조준호¹⁾ · 양일호²⁾

¹⁾대중초등학교 · ²⁾한국교원대학교

<ABSTRACT>

The purpose of this study was to investigate the students' problem solving thinking processes according to item types. Students' thinking process in problem solving processes of Constructed Response (CR) and Multiple-Choice (MC) were analyzed by using eye tracking method. Through the problem of analogy of block section in geological spatial ability test (GeoSTA), students learn about what kind of thinking they are in the CR and MC. And how they perform. Unlike previous study process inference, which is based on statistical techniques and think aloud method, which are frequently used in previous studies, eye-gaze tracking technique can more qualitatively and quantitatively analyze students' thinking processes in the process of solving problems. The results of this study are as follows. First, the students' thinking process during solving CR questions appeared similar in most subjects. On the other hand, the MC item had a type (type A) to perform thinking process similar to the CR type, while the other type(type B) solved the problem using partial comparison or erroneous erasure. MC questions can be answered correctly without having to imagine the image of the correct answer. Second, this type of classification in the solution process of the selective items supports the fact that the MC items do not measure the same level of accidents as the CR items. These results suggest that students who have difficulties in solving problems based on visual information can present difficulties and intuitive problem solving strategies through thought process model. In addition, when developing evaluation items, the developer suggests that he or she should select the item format considering the purpose of evaluation, the level of thinking required, the evaluation situation, and the cognitive level of students.

Keywords : Spatial thinking, constructed response item, multiple-choice item, eye-tracking

※ 이 연구는 조준호의 2019년 석사학위 논문의 일부를 수정, 보완하였음.

* Corresponding Author : Yang, Il Ho, yih118@knue.ac.kr

Received November 30, 2019; Reviewed December 14, 2019 Corrected December 16, 2019; Accepted December 20, 2019

© 2019. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

I. Introduction

인간의 인지적 능력을 구성하는 핵심적 요소 중 하나가 공간 능력(spatial ability)이다. 공간 능력에 대한 선행 연구들(Carroll, 1993; Kim, 2015; Linn & Petersen, 1985; Lohman, 1994)을 종합해보면 대상을 시각적으로 조작하고 인출할 수 있는 능력이라고 정의할 수 있다. 여기에서 시각적으로 조작하는 대상은 상징적이며 비언어적인 정보와 특정한 형상이나 상(image), 물체의 의미를 포함하고 있다. 또한 시각적 조작이란 대상에 대한 시각적 이미지를 표상하고 생성하며, 변형하거나 회전시킬 수 있고, 기억이나 회상할 수 있는 능력을 의미하고 있다.

과학교육 연구 결과들에 의하면 공간 능력이 과학 과목에서 학생의 성취도를 결정하는 데 결정적 역할을 한다고 주장한다(e.g. Ganley et al., 2014; Hegarty, 2014; Titus and Horsman, 2009). 과학 학습 과정에서 학습 내용의 추상적 개념을 시각화하는 능력을 요구하는 경우가 많기 때문이다. 예를 들면, 빛과 그림자 문제 해결 과정에서 요구되는 빛의 경로에 대한 추론(Goldsmith et al., 2016), 생물학에서 해부학적 단면도 이해하기(Hegarty, 2014), 화학에서 분자 구조의 모형을 이해하기(Cohen & Hegarty, 2007), 물리학에서 사용되는 그래프 해석하기(Kozhevnikov & Thornton, 2006) 등이 있다. 특히, 지질학회에서 발간한 여러 논문들(e.g. Kastens and Ishikawa, 2006; Manduca and Kastens, 2012; Newcombe, 2012)은 다른 학문 영역보다 지질학 영역에서 공간적 사고의 중요성이 크다고 주장한다.

공간적 사고와 관련한 교과 내용의 교수학습 과정에서 학습 성취에 대한 평가는 중요한 역할을 한다. 교사의 측면에서 학습 평가는 학생들의 성취 수준에 대한 정확한 정보를 수집하고, 이를 바탕으로 다음 교수 및 학습에 효과적으로 활용할 수 있기 때문이다(Kuechler & Simkin, 2010; Shin & Yang, 2017). 또한 학습자의 측면에서 교사가 사용하는 평가 방법에 따라 학습자들의 학습과 성취에 직접적인 영향을 주기 때문이다(Black et al., 2002). 따라서 교사와 학생 측면 모두에게서 중요한 의미를 지니고 있는 평가가 본래 기능을 충분히 발휘하려면 학생의 능력을 정확

하고 객관적으로 측정하고 평가할 수 있어야 한다.

다인수 학급으로 구성된 교육 현장에서 가장 널리 사용되는 지필평가는 서술형 문항(constructed response)과 선택형 문항(multiple-choice) 유형으로 구분할 수 있다(Schuwirth & van der Vleuten, 2004). 서술형과 선택형 문항은 스택트럼의 반대쪽에 위치하고 있으며, 교육현장에서 가장 보편적으로 사용되고 있기 때문에 연구자들의 관심과 비교 연구가 지속적으로 이루어져 왔다(Stankous, 2016). 선택형 문항이 지니고 있는 채점의 편리성과 많은 양의 주제를 다룰 수 있고 평가 결과의 일관성을 나타낼 수 있다는 장점 외에 서술형 문항을 완전히 선택형 문항으로 대체할 수 있다는 주장도 제기되고 있다(Kennedy & Walstad, 1997; Kastner & Stangl, 2011). 그러나 선택형 문항보다 서술형 문항이 보다 깊은 사고력을 요구한다는 연구 결과도 제시되었다(Rogers & Harley, 1999; Bacon, 2003).

이 연구는 이와 같은 배경을 지니고 공간 능력을 활용하여 지층의 공간적 구조와 관련된 문제를 해결할 때 선택형과 서술형 문항은 학생들에게 동일한 사고와 문제 해결과정을 요구하는지를 밝히는 데 목적을 두고 있다. 즉, 주어진 정보를 바탕으로 지층의 단면을 추론할 때 사용되는 공간 형태 지각 능력(spatial configuration perception ability)과 지층 구조의 내부 횡단면을 심상에 그릴 수 있는 공간 투시 능력(visual penetration ability)이 제시된 문항의 형식에 따라 어떠한 과정으로 나타나는지 그 사고과정을 최근 인지과정에 대한 연구 장비로 사용되고 있는 시선추적기(eye-tracking)를 활용하여 밝히는 것이다. 이를 통해 시선 추적만으로 지층 단면을 추론하는 과정을 분석가능한지 규명하려고 한다.

II. Methodology

이 연구에서는 인지심리학적 이론과 연구 방법을 통해 먼저 문항 형식에 따른 지질학적 공간 문제 해결 과정에 대한 초기 모델을 구축하고, 시선추적기를 사용하여 추론 과정에 대한 모델을 확정하는 연구 방법을 사용하였다. 이에 대한 구체적인 과정은 다음과 같다.

1. Procedures of Model Development

지층 구조의 내부 횡단면에 대한 추론과정을 분석하기 위해서 이 연구에서는 크게 두 단계의 절차를 거쳤다. 첫 번째 단계에서는 주어진 과제를 해결하는 과정을 발성사고(think aloud) 기법을 사용한 자료와 회상적 구두 프로토콜을 수집하고 분석하여 초기 모델을 개발하였다. 두 번째 단계에서는 시선 추적기를 사용하여 수집한 자료와 함께 회상적 구두 프로토콜, 사후 면담 자료를 활용하여 초기 모델과 비교·분석하는 과정을 거쳐 초기 모델을 수정하였다.

1) Initial Model Development

초기 모델 개발과정에서는 4명(남3명, 여1명)의 대학생들을 대상으로 자료를 수집하였다. 사전에 발성 사고 훈련을 받은 피험자들을 대상으로 지층의 단면을 추론하는 과제를 제시하고, 각 문항을 해결하는 동안 발성 사고 내용을 녹화하였다. 또한 제시된 과제의 해결이 끝나면 연구자가 피험자에게 문제 해결 과정에 대하여 자세하게 설명하도록 요구하여 회상적 구두 프로토콜을 녹화하였다. 수집된 프로토콜을 의미 단위로 분절한 후, 분절된 프로토콜을 귀납적으로 코딩하여 각 문항의 해결 과정에서 나타나는 단계들을 확정하고 순서를 구성하였다. 이와 같은 방법으로 서술형 문항과 선택형 문항의 해결 과정에 대한 초기 모델을 개발하였다.

2) Modification of Initial Model

개발된 초기 모형을 바탕으로 시선 추적기의 자료와 비교·분석하면서 모델을 수정하였다. 시선 추적기의 자료를 수집하면서 동시에 피험자의 회상적 구두 프로토콜과 사후 면담을 실시하여 분석의 타당성을 높였다. 이 과정에서 참여한 피험자는 모두 16명(남5명, 여11명)의 대학생들로서 평균 연령은 22.38(표준편차 ± 1.5)세이다. 피험자는 시선 추적에 가능한 안경 미착용자의 오른손잡이, 안과관련 질병

이 없는 대상을 대학의 게시판을 통해서 모집하였다. 각 문항마다 문제 해결 과정에서 나타나는 회상적 구두 프로토콜, 시선 추적기 자료상의 시선 고정(fixation)과 시선 이동(gaze)을 비교하면서 분석하였다. 이에 대한 예시는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> An sample of analysis by fixation, gaze, RVP, thinking categories

RVP	Fixation No.	Thinking Categories	Gaze Plot
Cut it like this...	1-4	Identifying item	
It would look exactly like the one in front of it	5-11	Internal structure reorientation	
	12-16	Elaboration of reorientation	
It's number 3	25-26	Exploring an answer Choosing the correct answer	

분석의 타당성을 확보하기 위하여 시선 추적기와 귀납적 프로토콜 분석 방법에 지식을 소지하고 있는 과학교육 전문가 2인(연구자 제외)과 과학 교육 전공 대학원생 3인에게 타당도를 의뢰하였다. 먼저 타당도를 의뢰한 5인이 모여서 수집된 자료의 일부 내용을 대상으로 토론을 하면서 분석의 방향과 통일된 분석 관점을 갖도록 하였다. 그리고 연구자가 분석한 내용<Figure 1>과 수집된 자료를 보면서 참석자 모두 의견이 일치될 때까지 토론을 통해서 분석의 타당화 과정을 거쳤다.

2. Experimental Tasks

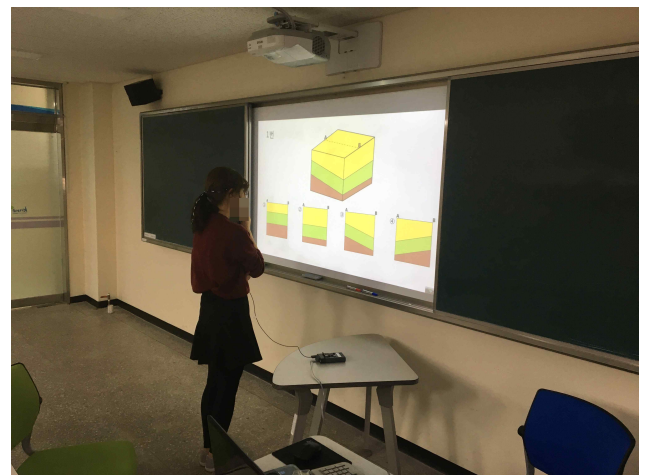
이 연구에서는 과제를 해결하기 위해서 구조의 내부를 추론할 수 있는 시각적 투사 능력이 요구되는 GeoSAT(Kali & Orion, 1996)의 문항을 수정하여 사용하였다. 그 이유는 피험자들의 지질학적 공간 능력 문제해결 능력을 측정하는 것이 아니라 문항 형식에 따른 문제 해결 과정을 분석하는 데 목적이 있기 때문이다. 따라서 대다수의 피험자가 정답을 응답할 수 있으며, 피험자의 능력 차이로 인해서 발생하는 오류를 방지하기 위하여 문항의 난이도를 높게(Kuechler & Simkin, 2010)할 필요가 있다. 난이도를 높게 설계함으로써 피험자의 반응을 단순하고 명확하게 유도하여 문제 해결 과정 분석의 객관성을 확보하고자 하였으며, 선택형과 서술형의 문항에서 정답을 표현하는 응답 방법 이외의 모든 조건은 동일하게 설계하였다.

기존 GeoSAT의 각 문항에 제시된 다이어그램에 포함된 지층의 평균은 4.5개이었는데, 난이도를 조절하면서 대학생들을 대상으로 예비 연구를 실시하여 최종적으로 각 문항 당 평균 2.67개의 지층을 포함하도록 수정하였다. 또한 높은 수준의 추론이 필요한 문항과 지층의 방향과 기울기가 어려운 문항 등을 배제하고 최종적으로 수정된 6문항을 선정하였다. 개발된 문항은 지구과학 교육 전문가 4인에게 문항의 적절성과 정확성에 대한 내용 타당도를 의뢰하여 문항의 타당도를 확보하였다. 연구에 사용된 문항은 <Appendix 1>과 같다.

3. Data Collect

연구 참여자는 시선 추적을 위하여 오른손잡이이면서 안과 관련 질병이 없고 안경 미착용자 중에서 자발적으로 참여 의사를 밝힌 대학생 18명을 대상으로 선정하였다. 이 중에서 시선 추적율이 80%이상인 피험자 16명을 대상으로 자료를 분석하였다. 참여자는 남성이 5명이며 여성은 11명이며, 이들의 평균 연령은 22.38(± 1.5)세이다. 연구 참여자에게 실험 전반에 대해 충분히 설명하고, 사용하는 시선 추적 장비에 대한 정보도 제공하였다. 또한 연구 참여 동의서를 작성하고, 해당 대학의 생명윤리심의위원회 승인을 받았다.

피험자들에게 빔 프로젝트를 이용하여 과제를 제시하였다. [Figure 1]과 같이 화이트보드에 100 inch의 크기로 과제를 투사하고 화이트보드에 정답을 표시하도록 하였다. 피험자들의 시선 추적을 위하여 연구에 사용된 장비는 Tobii사의 Tobii Pro Glasses 2.0이다. 이 장비는 안경 형태로 장비의 중앙에 녹화용 카메라가 있으며, 내장된 마이크로 음성도 함께 수집할 수 있다. 또한 이 장비는 안구에 근적외선을 투사하여 양안의 시선 자료를 반사되는 빛을 통해 50~100Hz의 분해능으로 수집 가능하다.



[Figure 1] A scene of data collection

피험자들에게 제시된 과제는 총 6문항으로 각 피험자 당 서술형 3문항과 선택형 3문항을 제시하였다. 제시된 문항의 형식과 난이도 등의 매개 변인이 과제 해결에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 제

시된 문항의 형식 순서가 같은 피험자가 한명도 없도록 각 피험자마다 제시되는 문항의 형식 순서를 달리하여 제시하였다.

시선 추적 자료의 타당도와 신로도를 높이기 위하여 피험자들에게 6 문항을 모두 해결한 후 각 문항별 해결 과정에 대한 회상적 보고를 하도록 하였고, 그 후 분석에 필요하다고 판단되는 내용에 대하여 추가적인 인터뷰를 통해 자료를 수집하였다.

4. Data Analysis

수집된 시선 추적 자료와 회상적 보고, 인터뷰 자료 등을 통합하여 문제 해결 사고 과정의 단계별로 분석을 실시하였다. 먼저 개발된 초기 모형에 맞추어 회상적 보고 내용을 코딩하면서 문제 해결과정을 분석하였다. 또한 시선 추적 자료의 시선 고정(fixation)과 시선 이동 경로(gaze plot)를 분석하여 시선 추적 자료와 문제 해결과정과 일치하도록 동조화하였다. 이 과정에서 초기 모형으로 분석이 어렵거나 새롭게 나타난 요소들을 추가하거나 수정하면서 초기 모형을 수정 및 보완하였다. 시선 추적 자료와 회상적 구두 프로토콜을 분석하였다(<Table 1> 참고).

분석의 객관성을 확보하기 위하여 연구자를 제외한 과학교육 전문가 2인과 과학 교육 전공 대학원생 3인과 함께 3차에 걸쳐 분석자간 일치도 협의를 수행하였다. 처음에는 각자 자료를 확인하면서 연구자가 제시한 분석 자료의 타당성을 확인하고, 전체가 모여서 불일치되는 견해에 대한 토론을 통해서 합의된 분석 결과를 도출하였다.

III. Results and Discussion

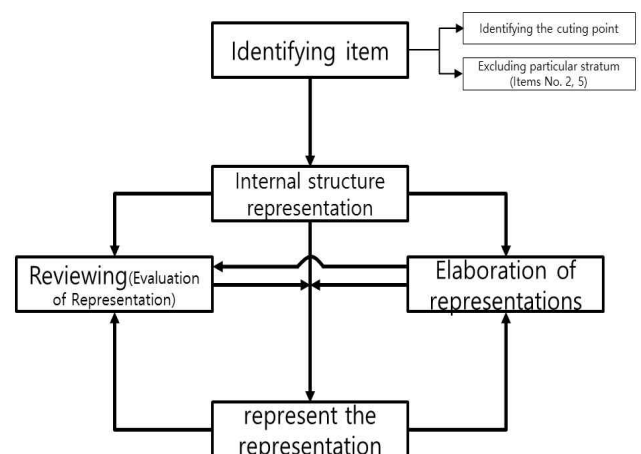
1. Problem Solving Thinking Processes for Constructed Response Items

서술형 문항에서 동시적 구두 프로토콜과 시선 추적 자료를 통해 분석한 결과 피험자들은 하나의

문제 해결 과정 유형을 보이고 있다. 서술형 평가 문항의 문제 해결 과정에서 가장 먼저 나타난 것은 ‘문제 확인’ 단계이다. ‘문제 확인’ 단계에서는 피험자들이 절단 지점을 확인하고 특정 지층을 배제하면서 전반적으로 문제를 확인하는 과정을 포함한다. 문제 확인 단계에서 주어진 문제의 특성에 따라 ‘특정 지층 배제’ 단계가 나타나기도 하는데, 과제로 제시한 2, 5번 문항에서 나타나는 단계이다. 2, 5번 문항에서는 다른 문항과 달리 절단면을 지나지 않는 지층이 있다. 이러한 문제 상황에서는 절단면이 지나지 않는 지층을 배제하면서 표상하는 과정이 관찰된다.

‘문제 확인’ 단계에 이어서 블록 다이어그램의 외부 시각적 정보에 제시되지 않은 내부 구조를 심적으로 표상하는 ‘내부 구조 표상’ 단계를 거친다. ‘내부 구조 표상’의 다음 단계는 ‘검토’와 ‘표상의 정교화’ 단계인데, ‘표상의 정교화’란 인지 과정에서 표상한 심적 이미지를 구체화하면서 다듬어가는 과정이며, ‘검토’는 정교화 한 표상에 대한 평가를 하는 과정이다. 서술형 문항의 문제 해결 과정에서 마지막 단계는 인지 과정에서 표상된 절단면의 심적 이미지를 답지 부분에 표현하는 ‘표상 표현’이다.

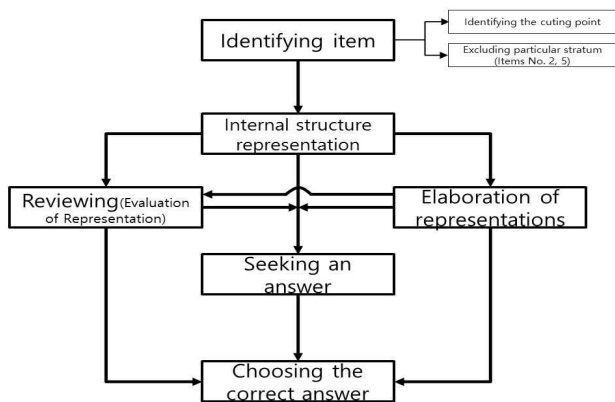
이와 같은 서술형 문항의 해결 과정을 모형화하여 그림으로 나타내면 다음 [Figure 2]와 같다.



[Figure 2] A model of problem solving thinking processes for constructed response items

2. Problem Solving Thinking Processes for Multiple-Choice Response Items

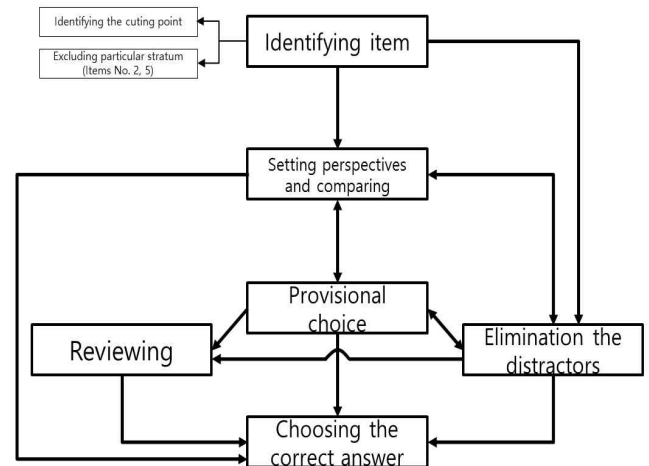
선택형 문항에 대한 해결 과정을 분석한 결과 크게 두 가지 유형으로 구분할 수 있다. 그 중 하나의 유형(type 1)은 서술형 문항의 해결과정 동일한 데 정답을 선택하는 과정이 추가된 유형이다. 즉, ‘문제 확인’ → ‘내부 구조 표상’ → ‘검토’와 ‘표상의 정교화’ → ‘선택지 검토’ → ‘정답 선택’ 단계의 순으로 나타난다. 이를 모형화하여 그림으로 나타내면 다음 [Figure 3]와 같다.



[Figure 3] Type A model of problem solving thinking processes for multiple-choice items

선택형 문항의 문제 해결 과정에서 나타난 다른 유형(type B)은 서술형 문항을 해결하는 과정과 매우 다르게 나타났다. 일명 오답 소거 방식이라고 할 수 있는데, ‘문제 확인’ 단계에서 블록의 외부와 절단 지점을 확인하고, 단계로 이어진다. ‘관점 설정 및 비교’ 단계에서는 블록과 답지를 함께 관찰하면서 문제를 해결하기 위한 관점을 설정한다. 즉, 블록에서 어떤 부분을 집중적으로 볼 것인지, 블록과 답지를 어떠한 방법으로 비교할지를 결정하는 단계이다. 다음 단계는 ‘오답지 소거’와 ‘잠정적 선택’인데, 이 단계에서는 이전 단계에서 설정한 단서를 바탕으로 블록과 답지를 비교하며 정답이 될 수 없는 답지는 소거하고 답이 될 가능성이 있는 답지를 잠정적으로 선택한다. 이어서 잠정적으로 선택한 답지가 정답인지 확인하기 위하여 블록 다이어그램을 보면서 ‘검토’ 과정을 밟게 된다. ‘검토’ 단계에서 한

시적으로 선택한 답지에 오류가 없으면 이를 정답으로 선택하게 된다. 이와 같은 과정을 모형화하여 그림으로 나타내면 다음 [Figure 4]와 같다.



[Figure 4] Type B model of problem solving thinking processes for multiple-choice items

3. Discussion

이 연구에서는 공간 형태 지각 능력을 이용하여 지층의 단면을 추론하고 공간 투시 능력을 이용하여 지층 구조의 내부 횡단면을 표상하는 과정을 통해 문제를 해결하도록 요구하는 과제를 사용하였다. 이 때, 문항의 제시 형식(즉, 서술형과 선택형 문항)에 따라 추론의 사고 과정에 차이가 있는지 조사하였다. 결과에 따르면 선택형 문항의 경우 서술형과 같은 사고 과정을 거치는 경우와 그렇지 않은 경우가 관찰되었다. 서술형 문항의 문제 해결 과정([Figure 3])은 문제에서 요구하는 단면을 심적으로 표상하는 과정을 보여주고 있다. 이러한 과정은 선택형 문항의 문제 해결 과정의 Type A([Figure 5])에서도 나타나는데, 차이점은 표상한 이미지를 그림으로 직접 표현하는가와 답지에서 선택하는가이다. 따라서 이와 같은 문제 해결 과정을 거치는 학생은 문항의 형식에 관계없이 동일한 사고 과정을 거친다고 할 수 있다. 즉, 선택형 문항도 서술형 문항과 동일한 수준의 사고를 유발할 수 있다는 선행연구(예, Wainer & Thissen, 1993; Kali & Orion, 1996)를 지지하고 있다.

그러나 선택형 문항의 문제 해결과정 Type 2는 서술형 또는 선택형 Type 1 유형과 전혀 다른 사고 과정을 나타내고 있다. Type 2에서는 단면을 표상하는 과정이 없고 단지 비교와 소거를 통해서 정답이 될 수 있는 보기를 찾는 과정이다. 이와 같은 유형은 문제 해결 과정에서 획득한 부분적인 정보를 바탕으로 답지와 비교하여 정답이 될 수 있는 답지와 그렇지 않은 답지로 분류하여 가장 가능성이 높은 답지를 선택하는 사고 과정을 보여준다. 따라서 단면을 직접 이미지화하여 표현하는 서술형에서는 사용할 수 없는 문제해결 과정이다. 이러한 사고 과정은 문제에서 요구하는 이미지를 심적으로 표상하는 시각적 투사 능력(visual penetration ability)을 완전하게 사용하지 않기 때문에 본래 의도한 능력의 평가 목표를 제대로 달성하고 있다고 할 수 없다. 이와 같은 결과는 서술형 문항과 선택형 문항이 서로 다른 능력을 요구한다는 Becker와 Johnston (1999), Anderson 등(2001), Dufresene 등(2002)의 연구를 지지하는 결과이다.

IV. Conclusions and Implications

이 연구의 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 이룰 수 있다. 서술형 문항을 해결하는 동안 나타나는 학생들은 문제에서 요구하는 정답 이미지를 심적으로 표상하고 표상한 이미지를 표현하는 과정을 수행한다. 반면 선택형 문항에서는 정답 이미지를 표상하여 선택하는 경우와 그렇지 않은 경우가 관찰되었다. 이러한 결과는 선택형 문항의 해결 과정에서 나타나는 유형의 구분은 선택형 문항이 서술형 문항과 동일한 수준의 사고를 측정하지 못한다는 이전 연구의 결과를 뒷받침 한다(Becker & Johnston, 1999; Anderson et al., 2001; Dufresene et al., 2002). 정답 이미지를 표상하기 위해서는 문제에서 주어진 시각적 정보를 바탕으로 공간 내부를 투사하는 능력이 필요하다. 하지만 주어진 정보 중 일부만 활용하여 선택지를 비교하여 문제를 해결하는 경우에는 시각적 투사 능력이 많이 요구되지 않는다. 즉, GeoSAT과제를 해결하기 위해서 필

요한 시각적 투사 능력의 사용 정도가 다르다. 따라서 서술형 문항과 선택형 문항은 서로 다른 수준의 사고를 요구한다는 결론을 얻을 수 있다.

이 연구를 통해서 GeoSAT와 같이 시각적 정보를 바탕으로 하는 과제를 해결하는 것을 어려워하는 학생들에게 사고 과정 모형을 통해 어려움을 겪는 원인과 직관적인 문제 해결 전략을 제시할 수 있다는 시사점을 얻을 수 있다. 또한 학생들의 문제 해결 과정에서의 사고를 모형화해서 학생들의 평가 문제 해결 중의 인지적 처리 과정에 대한 이해를 높이고, 학생들의 사고 과정을 해석할 수 있다. 다른 한편으로는 서술형 문항과 선택형 문항이 서로 다른 수준의 사고를 요구할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 평가 문항을 개발할 때 개발자는 평가의 목적과 요구하는 사고 수준, 평가의 상황, 학생들의 인지적 수준을 고려하여 문항 형식을 선택하여야 함을 시사한다.

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. New York: Addison, Wesley, Longman.
- Bacon, D. R. (2003). Assessing Learning Outcomes: A Comparison of Multiple-Choice and Short-Answer Questions in a Marketing Context. *Journal of Marketing Education*, 25(1), 31-36
- Becker, W. E. & Johnston, C. (1999). The relationship between multiple-choice and essay response questions in assessing economics understanding, *Economic Record*, 75, pp. 348-357.
- Black, P., Harrison, C., Lee, C., Marshall, B., & Wiliam, D. (2002). Working inside the black box. London: King's College London.
- Carroll, J. B. (1993). Human cognitive abilities : a survey of factor-analytic studies. Cambridge University Press.
- Cohen, C. A., & Hegarty, M. (2007). Individual differences in use of an external visualization while

- performing an internal visualization task. *Applied Cognitive Psychology*, 21, 701–711.
- Dufresne R. J., Leonard W. J. and Gerace W. J., (2002), Making sense of students' answers to multiple-choice questions, *Phys. Teach*, 40, 174-180.
- Ganley, C. M., Vasilyeva, M. & Dulaney, A. (2014). Spatial ability mediates the gender difference in middle school students' science performance. *Child Development*, 85(4), 1419-1432.
- Goldsmith, L. T., Hetland, L., Hoyle, C., & Winner, E. (2016). Visual-spatial thinking in geometry and the visual arts. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(1), 56-71.
- Hegarty, M. (2014). Spatial thinking in undergraduate science education. *Spatial Cognition and Computation*, 14(2), 142–167.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 369–391.
- Kastens, K. A., & Ishikawa, T. (2006). Spatial thinking in the geosciences and cognitive sciences: a cross-disciplinary look at the intersection of the two fields. In *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*, Geological Society of America Special Paper, KA Kastens, CA Manduca (eds), Vol. 486. Geological Society of America: Boulder, CO; 53–76.
- Kastner, M., & Stangla, B. (2011). Multiple choice and constructed response tests: Do test format and scoring matter? *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 12, 263–273.
- Kennedy, P., & Walstad, W. B. (1997). Combining multiple-choice and constructed-response test scores: An economist's view. *Applied Measurement in Education*, 10(4), 359–375.
- Kim, Y. M. (2015). A study on the relation among mathematical - spatial - verbal abilities and gender differences of engineering students. *Journal of Engineering Education Research*, 18(4). 34-44.
- Kozhevnikov, M., & Thornton, R. (2006). Real-time data display, spatial visualization ability, and learning force and motion concepts. *Journal of Science Education & Technology*, 15(1), 111-132.
- Kuechler, W. L., & Simkin, M. G. (2010). Why Is Performance on Multiple-Choice Tests and Constructed-Response Tests Not More Closely Related? Theory and an Empirical Test. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 8(1), 55–73.
- Linn, M. C. & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479-1498.
- Lohman, D. F. (1994). Spatially gifted, verbally, inconvenienced. In N. Colangelo, S. G. Assouline, & D. L. Ambrosion (Eds.), *Talent development: Vol. 2. Proceedings from the 1993 Henry B. and Jocelyn Wallace National Research Symposium on Talent Development* (pp. 251- 264). Dayton: Ohio Psychology Press.
- Manduca, C. A., & Kastens, K. A. (2012). Mapping the domain of spatial thinking in the geosciences. In *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*, Geological Society of America Special Paper, KA Kastens, CA Manduca (eds), Vol. 486. Geological Society of America: Boulder, CO; 45–49.
- Newcombe, N. S. (2012). Two ways to help students with spatial thinking in geoscience. In *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*, Geological Society of America Special Paper, KA Kastens, CA Manduca (eds), Vol. 486. Geological Society of America: Boulder, CO; 85–86.
- Rogers, W. T., & Harley, D. (1999). An Empirical Comparison of Three-and Four-Choice Items and Tests: Susceptibility to Testwiseness and Internal Consistency Reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 59(2), 234–247.
- Schuwirth, L. W. T., & van der Vleuten, C. P. M. (2004). Different written assessment methods: what can be said about their strengths and weaknesses? *Medical Education*, 38(9), 974–979.

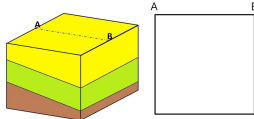
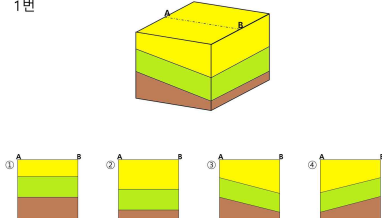
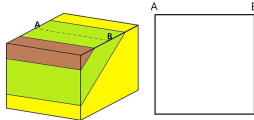
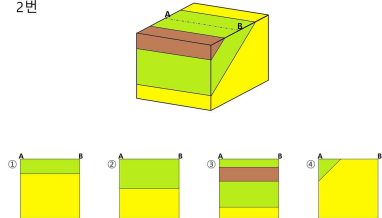
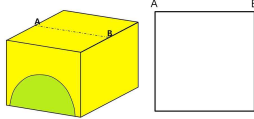
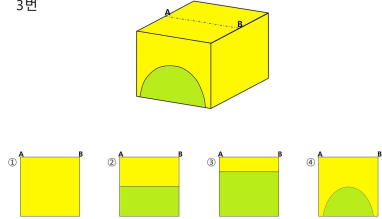
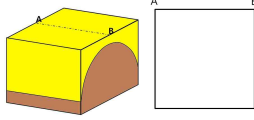
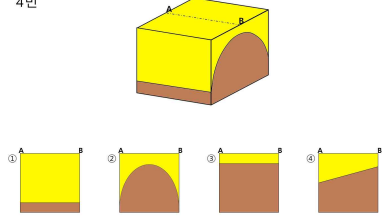
- Shin, J. Y., & Yang, I. H. (2017). Problems and improvements of science performance assessment. *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, 7(1), 873-883.
- Stankous, N. V. (2016). Constructive response vs multiple-choice tests in math: American experience and discussion (review). *European Scientific Journal [Special issue]*, 308-316.
- Titus, S. J., & Horsman, E. (2009). Characterizing and improving spatial visualization skills. *Journal of Geoscience Education*, 57, 242-254.
- Wainer, H., & Thissen, D. (1993). Combining Multiple-Choice and Constructed-Response Test Scores: Toward a Marxist Theory of Test Construction. *Applied Measurement in Education*, 6(2), 103-118.

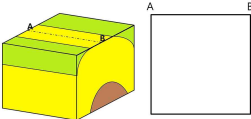
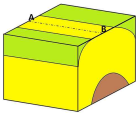
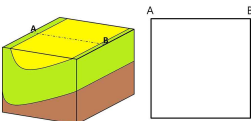
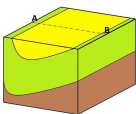
[저자의 소속과 직위]

조준호 : 대충초등학교, 교사, 제1저자

양일호 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자

<Appendix 1>

	Constructed response item	Multiple-choice
1	1번 	1번 
2	2번 	2번 
3	3번 	3번 
4	4번 	4번 

	Constructed response item	Multiple-choice
5	5번 	5번  ①  ②  ③  ④ 
6	6번 	6번  ①  ②  ③  ④ 