



예측의 문제 상황에 대한 멘탈 시뮬레이션에서 나타난 심상 시뮬레이션의 역할과 전략 분석

고민석, 양일호*
한국교원대학교

An Analysis on the Roles and Strategies of Imagistic Simulation Observed in Mental Simulation about Problematic Situations of Prediction

Min-seok Ko, Il-ho Yang*
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 February 2014

Received in revised form

7 April 2014

15 April 2014

Accepted 16 April 2014

Key words:

imagistic simulation,
thought experiment,
mental modeling,
think-aloud method

ABSTRACT

Purpose of this study is to analyze the roles and strategies of imagistic simulation observed in mental simulation about problematic situation of prediction, and thereby identify the process of generating prediction, explanation and sophistication. For this study, a framework for mental simulation process and strategy based on literary research was developed and content was validated from four experts of science education. This study was participated by 10 preliminary elementary school teachers, and a total of 20 cases were gathered for two thought experiment tasks based on the think-aloud method. The results were as follows: First, mental simulation process described based on the seven elements of 'perception,' 'interpretation,' 'statement of initial representation,' 'running imagistic simulation,' 'identifying result of simulation,' 'identifying alignment' and 'restatement structured representation.' The study confirmed that initial representation by interpreting related concepts and running imagistic simulation a number of times to develop explanation and prediction. Second, the study identified the use of strategies to enhance simulation such as 'zoom in,' 'partition,' 'dimensional enhancement,' 'dimensional reduction,' 'remove,' 'replace' and 'extreme case.' Running spatial transformation that uses strategy to enhance simulation contributed to discovering mechanism elements in problematic situations.

1. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

자연 현상을 설명하고 예측하기 위해 정신 모델을 생성하고 평가하는 멘탈 모델링은 과학적 소양의 핵심적인 부분으로 학교 과학교육에서 중요하게 다루어져야 할 부분이다(Berland & Reiser, 2009; Clement, 2000; Duschl & Osborne, 2002; Gobert & Buckley, 2000; Schwarz *et al.*, 2009). 과학교육에서 멘탈 모델링에 대한 연구는 주로 학생들이 가지고 있는 정신 모델의 표상을 분석하여 학생들이 가지고 있는 개념을 확인하고, 학습을 통해 어떻게 변해 가는지를 파악하는 연구가 주로 진행되었으며(Mualem & Eylon, 2010; Snir *et al.*, 2003; Spitulnik *et al.*, 1999; Steedle & Shavelson, 2009), 학생들이 개념을 어떻게 사용할 수 있는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 최근 모델링의 학습 발달 과정에 대한 연구에서 학생들이 자발적으로 모델을 생성하고 평가하며, 수정하는 능력이 중요함을 설명하며, 학생들에게 요구되는 일반적인 모델링의 수준을 구체화 하는 노력이 진행되고 있다(Schwarz *et al.*, 2009). 하지만 이러한 연구 역시 모델링의 결과를 통해 수준을 확인하는 것은 가능하지만, 멘탈 모델링에 요구되는 사고의 실체가 무엇인지를 밝히기는 어렵다

선행연구에서 멘탈 시뮬레이션은 과학자들의 창의적 지식 생성 기여한 중요한 추론 전략으로 보고되고 있으며(Clement, 2008), 공학적 문제 해결(Ball & Christensen, 2009; Nersessian & Chandrasekharan, 2009), 과학자의 실제 연구 과정에서도 멘탈 시뮬레이션이 중요한 추론 전략으로 사용됨이 보고되었다(Trickett *et al.*, 2007, 2009). 즉 멘탈 시뮬레이션은 멘탈 모델링의 중요한 인식론적 원천으로 정신 모델의 실제 실행 과정을 의미하며(Clement, 2008; Nersessian, 2008), 정지된 표상이 아니라 표상의 조작과 변환을 통해 작업 기억의 현재 상태를 명료하게 나타내 줄 수 있다(Trafton *et al.*, 2005; Trickett & Trafton, 2002, 2007). 따라서 멘탈 시뮬레이션의 분석은 불확실한 문제 상황에서 설명과 예측을 만들고 정교화 해 나가는 멘탈 모델링의 사고과정과 전략을 분석하기에 효과적인 방법이다.

특히 과학교육에서 멘탈 시뮬레이션은 사고실험과 관련되어 연구되고 있다. 과학의 역사에서 과학적 발견에 기여한 사고실험 사례의 체계적인 분석과 더불어(Galili, 2009; Gilbert & Reiner, 2000; Nersessian, 1992; Reiner, 1998), 최근 정신 모델과 관련하여 지식 생성의 인지과정으로 사고실험이 재해석되어 연구되고 있다(Clement, 2009; Nersessian, 2008; Trafton *et al.*, 2005; Trickett & Trafton, 2002, 2007). 이러한 연구들에서 사고실험은 심상에 기반 한 멘탈 시뮬레이션(이하 심상 시뮬레이션)의 특별한 사례로 보고된다. 불확실한 미래

* 교신저자 : 양일호 (yih118@knu.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.3.0247>

상황을 예측하는 과정인 멘탈 시뮬레이션이 의식적인 심상의 사용을 동반하는지, 무의식적인 해석의 과정을 통해 나타나는지의 문제는 많은 인지과학자들 사이에서 논의 중에 있다. 하지만 모든 멘탈 시뮬레이션이 심상에 기반하지 않더라도 심상을 사용한 멘탈 시뮬레이션의 영역이 있으며, 경험해 보지 않은 미래 상황을 예측하는데 있어 중요한 역할을 하고 있음은 공통적으로 인정되고 있다(Clement, 2003, 2008, 2009; Gabbard, 2012; Moulton & Kosslyn, 2009). 사람들은 시각적 심상을 떠올리는 것 뿐 아니라 만지지 않고도 부드러움이나 추위 등 다양한 감각의 심상을 느낄 수 있으며, 신체 경험 등의 작동 심상(motor imagery)을 가지고 있다. 따라서 사람들은 필요에 따라 특정한 이미지나 신체 경험을 떠올려 조작할 수 있고, 이는 새로운 지식을 만드는 인지적 메커니즘으로 작용된다. Trickett과 Trafton(2002, 2007, 2009)은 과학자들의 실제 연구과정에 대한 연구에서 개념 또는 이론에 근거하여 초기표상을 떠올리고, 공간적으로 조작 및 변환하여 설명을 만드는 과정을 확인하였으며, 이를 개념 시뮬레이션이라고 하였다. 이와 같이 사고실험, 멘탈 시뮬레이션, 심상 시뮬레이션, 개념 시뮬레이션 등 다양한 용어로 사용되는 용어의 의미를 분명히 하기 위해 이 연구에서 멘탈 시뮬레이션은 예측적 문제 상황에서 개인의 경험, 지식, 개념, 가정으로부터 표상을 조작하여 불확실한 시스템의 변화 결과를 예측하는 넓은 의미의 사고과정으로 정의하였으며, 심상 시뮬레이션(imagistic simulation)은 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상을 의식적으로 표상하고, 조작 및 변환하여 결과를 확인하는 것으로 정의하였다. 또한 사고실험은 이론이나 개념을 설명하기 위해 의식적으로 고안된 특별한 사례이며, 사고실험을 인지적으로 수행하는 과정에서 심상을 떠올려 의식적으로 조작 및 변환하여 결과를 확인하는 것을 심상 시뮬레이션으로 정의하였다. 즉 심상 시뮬레이션은 사고실험의 인지적 실행과정이며, 사고실험을 어떻게 수행하는지를 면밀히 조사하기 위해서는 심상 시뮬레이션을 어떻게 실행하고 있는지를 확인해야 한다.

또한 이와 같은 심상 시뮬레이션의 실행은 과학교육에서 what if 전략의 사용과 관련된다. 문제 상황에 대해 마땅한 인과적 설명을 떠올리지 못하였을 때, what if 상황 제시를 통한 모델의 구조적 변화 요소의 적용은 변화된 상황을 관찰할 수 있도록 허용해 주어 기능과 작용에 대한 이해를 돕는다(Griffith *et al.*, 2000). 또한 과학교육에서 what if 전략의 사용은 모델에 새로운 조건을 부여하여 모델을 검토하도록 함으로써 학생들이 정신 모델을 정교화 하는 것을 돕는다(Khan, 2008). 이처럼 심상 시뮬레이션 실행에서 what if 전략을 어떻게 사용하느냐는 정신모델의 변화에 중요한 영향을 미친다. 따라서 정교화된 설명을 만드는 과정에서 what if 전략을 어떻게 사용하였는지를 분석하는 것은 과학교육에서 학생들의 정신 모델을 어떻게 변화시킬 수 있을 것인가에 대한 교수 전략적인 측면에 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

이를 위해 이 연구에서는 공기 이동에 관한 사고실험을 유발할 수 있는 예측적 문제 상황의 사고실험 과제를 개발하여 적용하였다. 사고실험은 학생들의 사전 지식을 명백히 하거나 숙고하게 할 때 탐구적 도구의 방법으로 유용하게 사용할 수 있다(Galili, 2009; Gilbert & Reiner, 2000; Stephen & Clement, 2006). Galili 등(2007)은 과학교육에서 사고실험이 학생들에게 설명의 구성을 강조함으로써 토론과 논쟁, 사고와 관련하여 과학의 문화를 도입할 수 있으며, 과학적 문제에 대해 개인이 가지고 있는 개념을 드러내도록 하여 학생들이 가지고

있는 지식을 조사하고, 지식을 구성할 수 있도록 사고를 자극하는 교수 설계의 강력한 방법이 될 수 있다고 하였다.

따라서 이 연구에서는 공기 이동에 관한 예측적 문제 상황의 사고실험 과제를 제시하고, 멘탈 시뮬레이션 과정에서 참여자들이 자발적으로 떠올린 심상 시뮬레이션의 사례를 분석하여 심상 시뮬레이션의 역할과 전략을 확인하고자 한다. 이를 통해 불확실한 예측적 문제상황에서 참여자들이 어떻게 인과적 설명과 예측을 만들어 가는지를 심층적으로 파악하고자 한다. 이는 과학교육에서 멘탈 모델링 교육을 위한 기초 연구로서 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구에서 연구 참여자의 선정은 참여자와 과제의 불확실성을 고려하여 일정 수준 이상의 인지적 능력을 가지고 있으며, 과제에 대해 특별한 전공지식이 없는 대학교 2학년 학생을 대상으로 하였다. 이와 같이 연구 참여자를 선정한 이유는 심상 시뮬레이션의 실행이 참여자와 과제 사이의 불확실성 수준과 관련되기 때문이다. 심상 시뮬레이션의 실행은 불확실한 상황에서 더 자주 확인된다(Christensen & Schunn, 2009), 전문가라 할지라도 다른 영역의 불확실한 상황에서는 추상적 원칙을 바로 적용하지 않고, 심상 시뮬레이션의 사고를 통해 문제를 해결한다(Clement, 2008). 이에 참여자 선정 과정에서 중등학교 과학과 공통교육과정을 이수하였으며, 대학교에서 지구과학교육관련 전공 수업을 수강하지 않은 학생으로 참여자를 제한하였다. K대학교 초등교육전공 2학년 대학생 10명을 연구 참여자로 선정하였고, 연구의 참여자들은 모두 자발적으로 연구에 참여하였으며, 사전에 연구의 목적과 방법에 대해 충분히 안내한 후 연구에 대한 동의를 받았다.

2. 과제 개발

과학교수학습에서 사고실험의 사용은 다음과 같은 장점을 가지고 있다(Clement, 2009; Galili, 2009; Gilbert & Reiner, 2000; Stephen & Clement, 2006). 첫째, 사고실험은 과학 교수학습에서 학습자의 상상력을 바탕으로 재현 불가능한 상황을 고려하도록 허용하고, 이를 통해 지적 호기심을 이끌고 문제 상황을 논쟁적으로 만든다. 둘째, 사고실험은 관련된 과학적 문제에 대한 개인의 개념을 파악하는 것을 돕는 인식론적 장치의 역할을 한다. 셋째, 사고실험은 학습자의 의문을 불러일으키고, 산출물의 평가 및 결론의 도출은 개념의 발달을 촉진한다. 이와 같이 사고실험은 사전 지식을 명백히 하거나 숙고하게 할 때 탐구적 도구의 방법으로 유용하게 사용된다. 이에 이 연구에서 불확실한 시스템의 변화 결과를 예측하고 설명을 유발할 수 있는 예측적 문제 상황의 사고실험 과제를 개발하였다. 먼저 선행 연구를 고찰하여 과제 구성 기준을 도출하였다. 과제 구성 기준은 ‘① 과학적 메커니즘을 숙고하게 하는 가정(what if) 상황으로 구성되었는가? ② 알고 있는 지식만으로 쉽게 해결하기 어려운 불확실한 상황의 과제인가? ③ 구체적인 시스템 내에서 심상을 생성하고 위치나 모양, 방향을 변환하는 공간 변환 사고를 요구하는 과제인가?’이었다.

이와 같은 과제 구성 기준을 고려하여 초등학교 과학 교과서 및

문헌 연구를 통해 바람과 관련된 내용을 선정하였다. 바람과 관련된 내용을 선정한 이유는 다음과 같다. 첫째, 과제의 내용과 관련된 불확실성 측면에서 대기 과학은 다양한 변수들이 동시에 발생할 수 있는 복잡한 상황으로 복잡한 시스템 내에서 다양한 원인들을 결합하고, 다양한 관계들을 효과적으로 통합하는 것은 복잡한 추론을 요구함으로(Waldmann, 2007), 과제의 불확실성의 조건에 적합하다. 둘째, 연구 참여자와 관련된 불확실성 측면에서 바람과 관련된 요소는 많은 예비 교사들이 대안적 개념을 가지고 있는 개념으로(Aton *et al.*, 1994), Mandrikas 등 (2013)은 예비교사들이 바람 생성 메커니즘을 이해하는데 어려움을 겪고 있다고 보고하였으며, 대기압을 이해하기 어려운 개념으로 인식한다(Besson, 2004).

과제 구성 기준에 따라 멘탈 모델링의 사고과정 및 전략을 살펴볼 수 있는 바람과 관련된 사고실험 과제를 개발하였다. 개발된 과제는 전문가 면담, 전문가 집단 세미나, 예비 연구(1차, 2차)를 통해 수정 및 보완하였으며, 과학교육 전문가 5인에게 2차에 걸쳐 과제 내용에 대한 내용타당도를 검증받았다. 최종적으로 개발된 과제는 과제1(창문과제)과 과제2(호수과제)이다. 과제1은 일상생활에서 공기의 순환의 내용과 관련된 사고실험 과제이다. 추운 겨울 난로가 켜져 있고, 창문을 제외한 나머지 공간이 막혀 있는 방의 조건에서 창문의 열린 방식(한쪽으로 몰아 열었을 때와 양쪽으로 나누어 열었을 때, 단 창문의 열린 면적은 같음)에 따라 어떻게 창문을 열었을 때 환기가 잘 되는지를 예측하는 상황으로 구성하여 불확실성을 높이고자 하였다. 과제 해결 과정에서 대류와 확산에 의한 공기의 이동에 대한 메커니즘을 숙고할 수 있으며, 공기 이동에 대한 심상을 확인할 수 있는 사고실험 과제이다. 과제2는 자연현상에서 공기 이동(바람)과 관련된 사고실험 과제이다. 태양이 뜨겁게 내려 쬐는 오후에 넓은 들판과 넓은 호수가 있는 지역에 부는 바람의 세기를 예측하는 과제이다. 중고등학교에서 공통적으로 학습한 해륙풍의 상황과는 다르게 들판과 호수 상황에서의 바람의 세기를 예측하는 상황으로 구성하여 불확실성을 높이고자 하였다. 이를 통해 기압차에 따른 바람 생성 메커니즘을 숙고하도록 하였으며, 자연 현상에서 공기 이동에 대한 심상을 확인할 수 있는 과제이다.

3. 자료 수집

이 연구에서 자료 수집을 위해 사고발성(think-aloud) 방법을 선택하였다. 사고발성은 인지 과정 연구에서 널리 사용되고 있는 방법으로 연구 참여자의 사고 과정을 연속적으로 관찰하고 수집하기에 적절한 방법이다(van Someren *et al.*, 1994). 하지만 사고발성법만을 통해 멘탈 시뮬레이션 과정에서 나타나는 심상의 생성과 조작, 물리적 직관의 사용을 분석하기에는 제한된다(Nersessian, 1993). 이에 이 연구에서 연구자는 연구 참여자의 멘탈 시뮬레이션 과정과 전략을 심층적으로 분석하기 위해 언어적 프로토콜 뿐 아니라 동영상, 연구 참여자가 생성한 외적표상 자료, 회상적 인터뷰, 관찰 기록의 다양한 자료를 종합적으로 수집하였다.

먼저 연구 참여자가 생성한 외적 표상(그림, 도식 등)은 참여자가 가지고 있는 개념과 명백한 관계가 있으며, 참여자의 개념을 이해하기에 효과적인 방법으로 사용된다(Dove *et al.*, 1999; Ehrlén, 2009; Lane & Coutts, 2012). 단 이 연구에서 연구자는 참여자에게 외적 표상 생성

을 강요하지 않았으며, 자유로운 선택에 의해 사용할 수 있도록 안내하였다. 이와 같은 방법은 필기를 강요하지 않은 자연스러운 상황에서 필기의 선택을 과제에 대한 메타 인지 전략으로 분석한 Garcia-Mila와 Andersen(2007)의 연구 방법을 따른 것이다. 또한 이 연구에서는 멘탈 시뮬레이션 과정을 확인하기 위해 사고발성 동안 참여자들이 사용하는 몸짓에 대한 자료를 동영상 기록을 통해 수집하였다. 참여자의 몸짓은 관찰 가능한 행동으로 이를 통해 심상의 생성과 조작을 확인할 수 있다(Clement, 2009; Stieff & Raje, 2010; Trafton *et al.*, 2005). 마지막으로 회상적 인터뷰는 사고발성의 언어적 프로토콜을 보완하여 자료의 타당성을 높이는 방법으로 많이 사용되고 있으며(Taylor & Dionne, 2000), 이 연구에서도 사고발성 이후 회상적 인터뷰를 통해 자료를 수집하였다.

4. 자료 분석

자료 분석을 위해 선행연구에 기반하여 멘탈 시뮬레이션 과정과 시뮬레이션 전략을 분석할 수 있는 멘탈 시뮬레이션 분석틀을 개발하였으며, 과제1, 2에 대해 참여자 10명에게 수집한 총 20개의 프로토콜을 주 분석 자료로, 참여자가 생성한 외적 표상과 동영상, 회상적 인터뷰 전사본을 보조 자료로 분석에 이용하였다.

가. 멘탈 시뮬레이션 과정 분석

멘탈 시뮬레이션은 정신 모델을 실행하여 불확실한 시스템의 변화 결과를 예측하는 과정이다. 과학자들의 자료해석 과정에서 나타나는 멘탈 시뮬레이션을 분석하기 위해 Trickett과 Trafton(2007, 2009)은 초기 표상(Initial representation), 시뮬레이션 실행(simulation run), 변화된 표상(changed representation)의 과정에 따라 분석하였다. 이 연구에서는 설명과 예측을 생성하고, 정교화하는 연속적인 멘탈 모델링의 과정을 분석하기 위해 Trickett과 Trafton(2007, 2009)의 연구에서 사용된 멘탈 시뮬레이션 분석틀을 수정 및 보완하여 Table 1과 같이 멘탈 시뮬레이션 분석틀을 개발하였다. 분석틀 개발 과정에서 과학적 추론 및 과학 교육 관련 학위를 소지하고 있는 과학교육 전문가 4인에게 3차례에 걸쳐 내용타당도를 확인 받아 수정 보완하였다.

멘탈 시뮬레이션 과정 요소에 대한 각각의 설명은 다음과 같다. 문제상황 지각은 지각적 행동이나 말을 통해 문제 상황의 요소를 확인하는 것으로 정의하였다. 상황해석은 주어진 상황을 지각한 이후 즉각적으로 지각한 상황에 대해 떠오르는 생각을 나타내는 것이다. 초기표상 진술은 문제 상황의 시스템 또는 메커니즘과 관련된 표상을 처음으로 진술하는 것이다. 정신 모델의 표상에 대해 Nersessian(2008)은 언어적이고 정형화된 명제적(propositional) 표상과 유추적, 도식적, 심상적으로 드러난 영상적(iconic) 표상으로 구분하였다. 이 연구에서 초기표상은 문제 상황의 인과적 메커니즘과 관련된 영상적 표상을 처음으로 진술하는 것으로 분석하였다. 초기표상 진술은 관련 개념을 문제 상황에 적용하여 구체화된 심상을 나타내는 관련 개념 예시화와 문제 상황을 설명하기 위해 관련된 경험 상황을 나타내는 관련 경험 표상의 2가지 하위 요소로 구분하였다. 심상 시뮬레이션 실행은 공간변환 실행(spatial transformation run)과 작동심상 실행(motor imagery run)의 2가지 하위 요소로 구분하였다. 공간변환 실행은 가정(what if)에 의해

Table 1. The framework of mental simulation process

Mental simulation process	Description	Example
문제상황 지각 (Perception)	Refers to visuospatial features of depicted elements on a problematic situation	음.....열려있는 창문 면적은 같고, 방안에 난로.....
상황해석 (Interpretation)	Refers to relevant situations(objects, events, relations and so forth)about the problem	음.....일단은 환기는 바람이 들어오고 나가는 거니까
초기표상 진술 (Statement of Initial Representation)	Refers to a new representation of a system or mechanism	그러니까 밖에서 안으로 이동하는데.....(밖에서 안쪽으로 손짓)
심상 시뮬레이션 실행 (Running Imagistic Simulation)	Refers to transforming that representation spatially in a hypothetical manner	아무래도 바람이 들어오는 거 들어오는 것도 한쪽에만 너무 열려 있으면 바람이 막 이렇게 들어오는 데(손짓)
시뮬레이션 결과 확인 (Identifying Result of Simulation)	Refers to a result of the transformation (seeing what happens)	나가는 거랑 너무 충돌할 것 같아가지고. 충돌할 것 같아서..
정렬 확인 (Identifying Alignment)	Make an estimation of "fit" between the two images (Statements which compared a built-up mental image with a problematic situation)	a보다는 b가 환기가 더 빠르게 될 것 같은데.. 음.. 빠르게.....?
구조화된 표상 재진술 (Restatement Structured Representation)	Restatement of a system or mechanism based on the organized result	난로가 있고, 뜨거운 공기가 이렇게 순환이 되는데 아무래도 a보다는 b가 들어오기도 하고 나가기도 하는 이런 여지가 더 많을 것 같아서

시각적 심상을 공간적으로 조작 또는 변환하는 것, 작동심상 실행은 가정(what if)에 의해 심상의 물리적인 성질(힘, 세기 등)을 조작 또는 변환하는 것으로 각각 정의하여 심상 시뮬레이션의 실행을 분석하였다. 심상 시뮬레이션의 실행을 확인하는 것은 이 연구의 중요한 목적이며, 심상의 생성과 조작, 물리적 직관의 사용을 분석하는데 있어 언어적 프로토콜만으로 분석하는 것은 한계가 있음이 보고되었다(Nersessian, 1993). 이에 이 연구에서는 Stephens과 Clement(2010)의 심상 시뮬레이션에 대한 관찰 가능한 행동들을 분석하여 심상 시뮬레이션의 실행을 확인하고자 하였다. 심상 시뮬레이션 관찰 행동 분석들의 심상 관찰 행동과 설명은 Table 2와 같다.

심상 보고는 시각적 또는 감각적으로 대상에 대한 심상을 떠올리는 것에 대해 언어적으로 보고하는 것이다. 묘사적 몸짓은 주제와 관련하여 대상의 역동적인 몸짓으로 묘사하는 것이다. 또한 이 연구에서는 심상 시뮬레이션 관찰 행동과 함께 외적 표상(도식이나 그림)을 생성하여 조작 및 변환하는 행동을 심상 시뮬레이션 실행에 포함하였다. 이는 외적 표상이 과학에서 인지 활동에 중요한 부분으로 정신적 심상과 밀접하게 관련되어 있다는 연구 결과에 따른 것이다(Hegarty, 2004). 시뮬레이션 결과 확인은 시뮬레이션에 대한 정신적 조작 또는 변환의 결과를 확인하는 것으로 시뮬레이션 실행을 통해 초기 표상의 변화된 결과를 확인하거나 초기 심상과는 다른 새로운 심상을 발견하는 것이다. 정렬 확인은 상황 해석 또는 시뮬레이션의 결과를 문제 상황에 맞추어 비교한 결과를 확인하는 것이다. 구조화된 표상 재진술은 시뮬레이션 결과를 조직화하여 문제 상황의 시스템 또는 메커니즘을 재진술하는 것이다.

나. 시뮬레이션 전략 분석

Roberts와 Newton(2003)은 전략의 의미를 넓은 의미와 좁은 의미의 전략의 정의로 구분하였다. 이 중 좁은 의미에서 전략은 잠재적으로 의식을 이용할 수 있는 노력이 필요하며, 의도적이며, 목표-지향적이다. 따라서 전략은 시간에 따라 정교화 되고, 체계적이며 목표-지향적이고 의식적이 통제가 필요한 사고 과정이다. 이 연구에서는 심상 시뮬레이션의 실행은 의식적인 심상의 사용에 따라 실행되며, 이에 멘탈

Table 2. The framework of imagery observation action

Imagery observation action	Description
심상 보고 (Imagery report)	시각적 또는 감각적으로 대상에 대한 심상을 떠올리는 것을 보고하는 것 (예를 들어, ~을 그려보면, ~을 상상하면, ~을 떠올리면)
묘사적 몸짓 (Depictive gesture)	주제와 관련하여 대상의 역동적인 행동을 몸짓으로 묘사하는 것
역동적인 심상 보고 (Dynamic imagery report)	상황 속에서 시간 경과에 따라 대상의 움직임, 변화 또는 상호작용을 설명하는 것

시뮬레이션 과정에서 의식적인 심상 시뮬레이션 실행이 설명과 예측 생성에 중요한 영향을 주는 경우를 시뮬레이션 전략으로 분석하였다. 심상 시뮬레이션 실행에서 나타나는 시뮬레이션 전략을 분석하기 위해 Trickett과 Trafton(2002)의 공간변환 분석틀 공간 변환 요소(create, modify(add, delete), moving, rotation, comparison, animating, dimensional enhancement)를 바탕으로 개발하였다. 분석틀 개발 과정에서 과학적 추론 및 과학 교육 관련 학위를 소지하고 있는 과학교육 전문가 4인에게 3차례에 걸쳐 내용타당도를 확인 받아 수정 보완하였으며, 개발된 최종 시뮬레이션 전략 분석틀은 Table 3과 같다.

다. 분석자간 일치도 확인

이 연구에서는 프로토콜 분석에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 과학적 추론과 관련하여 학위를 가지고 있는 과학교육 전문가 2인과 분석자간 일치도를 확인하였다. 분석자간 일치도는 Kappa 계수(van Someran et al., 1994)를 사용하여 확인하였다. 멘탈 시뮬레이션 과정 분석틀에 대한 분석자 A, B, C의 일치도 산출 후 확인된 Kappa 계수는 $K_{AB}=0.91$, $K_{BC}=0.89$, $K_{CA}=0.97$ 이었으며, 시뮬레이션 전략 분석에 대한 Kappa 계수는 $K_{AB}=0.92$, $K_{BC}=0.86$, $K_{CA}=0.92$ 로 확인되었다. 이와 같은 Kappa 계수를 통해 대한 Landis와 Koch(1977)의 신뢰도 해석 기준에 따르면 $K=0.81-1.00$ 은 거의 완벽히 일치에 해당되는 구간이다. 이와 같은 기준에 비교하였을 때 이 연구의 자료 분석은 높은 신뢰도를 나타낸다.

Table 3. The framework of simulation strategy

Simulation strategy	Description
확대 (Zoom In)	일반적인 시각 작동을 통해 심상의 특징적인 부분을 확대하는 것
분할 (Partition)	심상(imagery)의 특징적인 부분을 구분하기 위해 영역을 나누는 것
차원 강화 (Dimensional Enhancement)	2D를 3D로 표상으로 바꾸어 생각하는 것
차원 감소 (Dimensional Reduction)	3D를 2D로 표상으로 바꾸어 생각하는 것
심상 비교 (Imagery Comparison)	심상의 상대적인 특징(크기, 모양, 색깔)을 비교하는 것
첨가 (Add)	특정적인 요소를 더함에 의해 심상을 수정하는 것
제거 (Remove)	특정적인 요소를 삭제함에 의해 심상을 수정하는 것
대체 (Replace)	심상의 특징이 잘 드러나도록 심상의 구성 요소를 바꾸어 생각하는 것
최소 최대화 (Extreme Case)	심상의 특징이 잘 드러나도록 변인(variable)을 최대화하거나 최소화하는 것

III. 연구 결과 및 논의

1. 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상 시뮬레이션의 역할

이 연구에서 연구 참여자 10명의 멘탈 시뮬레이션 과정을 분석한 결과, 10명 중 8명의 참여자(참여자 A, C, E, F, G, H, I, J)는 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상 시뮬레이션을 실행하여 설명과 예측을 생성하였다. 반면, 2명의 참여자(참여자 B, D)는 심상 시뮬레이션을 실행하지 못하고, 직관적인 상황해석에 의해 결과를 예측하며, 그럴듯한 설명을 생성하지 못하였다. 이에 2가지 유형의 사례를 비교하여 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상 시뮬레이션의 역할을 논의하고자 한다.

가. 심상 시뮬레이션을 실행하여 인과적 설명과 예측을 만들

먼저 멘탈 시뮬레이션 과정에서 인과적 설명과 예측을 만든 참여자 8명의 멘탈 시뮬레이션 과정을 살펴보았다. 멘탈 시뮬레이션 과정은 문제상황 지각, 상황해석, 초기표상 진술, 심상 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 결과 확인, 정렬 확인, 구조화된 표상 재진술의 과정으로 나타났으며, 참여자들이 설명과 예측을 생성하고 정교화 시켜 나가는 과정에서 문제 상황을 해석하여 초기표상을 진술하고 여러 차례의 심상 시뮬레이션 실행을 거치는 공통적인 과정을 확인하였다. 예를 들어, 창문과제에 대한 참여자 C의 멘탈 시뮬레이션 과정에서 9회의 심상 시뮬레이션이 실행되는 것을 확인하였으며, Figure 1과 같은 과정을 통해 설명과 예측을 생성하고 정교화하고 있었다.

심상 시뮬레이션 실행에 대해 구체적으로 살펴보면, 관련 개념의 예시화와 관련 경험의 표상을 통해 초기 표상을 진술하고 심상 시뮬레이션을 실행하고 있음을 확인할 수 있었다. 이에 각각의 초기표상에 대해 어떻게 심상 시뮬레이션이 실행되는지 사례를 살펴보았다. 첫째, 참여자들은 문제 해결과 관련하여 자신이 알고 있는 관련 개념을 문제 상황에 적용하여 초기표상을 진술한 후 심상 시뮬레이션을 실행하였으며, 이를 통해 초기표상을 변화시킴으로써 설명과 예측을 정교화하고 있었다. 예를 들어 참여자C는 멘탈 시뮬레이션 과정²에서 뜨거운

난로의 공기가 위로 올라갈 것이라는 초기표상¹을 진술한 후, 멘탈 시뮬레이션 과정³, 4, 5, 6, 7에서 여러 차례의 심상 시뮬레이션을 실행하여 초기표상을 변화시켜 설명과 예측을 만들었다. Table 4는 참여자 C가 창문 과제에서 초기표상에 대해 실행한 심상 시뮬레이션 실행의 예이다. 참여자 C는 관련 개념 예시화를 통해 생성된 초기표상¹에 대해 9차례의 심상 시뮬레이션 실행을 통해 적극적으로 예측과 설명을 구성하는 것을 시도하였다.

이와 같은 심상 시뮬레이션의 실행은 문제 상황의 초기에 해석하지 못하였던 또 다른 경험을 해석하게 함으로써 문제 상황과 관련된 경험의 폭을 확장하고 있었다. 예를 들어, 다음 참여자 C의 프로토콜에서 의식적으로 심상 시뮬레이션 3, 4를 실행함으로써 시뮬레이션 결과 확인에서 좁은 공간에서 더 세계 들어올 것이라는 새로운 지각적 경험을 해석하고 있으며, 이를 통해 예측과 설명을 만들거나 정교화 하였다. 즉 참여자 C는 과제 해결 초기에 뜨거운 공기가 올라가고 차가운 공기가 내려온다는 대류 개념에 기반하여 초기표상을 진술하여 시뮬레이션을 실행하였으나, 문제 상황에 대한 결정적인 설명을 만들지 못하였다. 하지만 심상 시뮬레이션 3, 4 실행은 공기의 확산과 관련된 지각적 경험의 해석을 가져왔고, 이후 새로운 설명을 구성하는데 중요한 영향을 미쳤다.

<창문 과제에서 참여자 C의 심상 시뮬레이션 프로토콜>

심상 시뮬레이션 ³ 실행 (공간변환 실행)	밖에 있는 바람은 이렇게 커다란데
심상 시뮬레이션 ⁴ 실행 (작동심상 실행)	그게 이렇게 좁은 공간으로 들어오면은
시뮬레이션 결과 확인	음 이 커다란 게 다 못들어오니까 더 세계 들어올 것 같아요.

이와 같이 참여자 C는 멘탈 시뮬레이션 과정에서 초기표상에 대해 여러 차례의 심상 시뮬레이션을 실행함으로써 설명을 만들고, 정교화 시켜 나가고 있었다. 예를 들어, 창문C 사례에서 참여자 C는 대류 개념을 해석하여 난로의 뜨거운 공기가 올라가는 모습을 초기 표상¹로 떠올렸으며, 심상 시뮬레이션 실행을 통해 표상을 여러 차례 조작 및 변환함으로써 지각적 경험을 해석하여 Table 5와 같이 문제 상황에 대한 메커니즘을 설명할 수 있도록 정교화 하였다.

이처럼 심상 시뮬레이션의 실행은 초기 표상을 의식적으로 변화시킴으로써 지각적 경험의 폭을 확대하여 지식을 생성하는 인식론적 장치로서의 역할을 하였다(Botzer & Reiner, 2005; Clement, 2003, 2009; Moulton & Kosslyn, 2009; Trickett & Trafton, 2002, 2007, 2009).

둘째, 친숙한 관련 경험 표상을 통해 심상 시뮬레이션을 실행하여 설명과 예측을 정당화하는 사례가 확인되었다. 즉 참여자가 인과적 설명과 예측을 만든 후 이를 정당화하기 위해 관련 경험을 표상하여 심상 시뮬레이션을 실행하는 것으로 본 연구에서 수집한 20개의 프로토콜 중 단 1개의 프로토콜에서 사고실험 사례가 확인되었다. 참여자 A는 창문 가장자리의 길이가 환기에 영향을 줄 것이라는 설명을 정당화하기 위해 물 구멍으로 물이 나오는 약수터 상황을 초기표상으로 진술한 후, 심상 시뮬레이션을 통해 결과를 확인하였다.

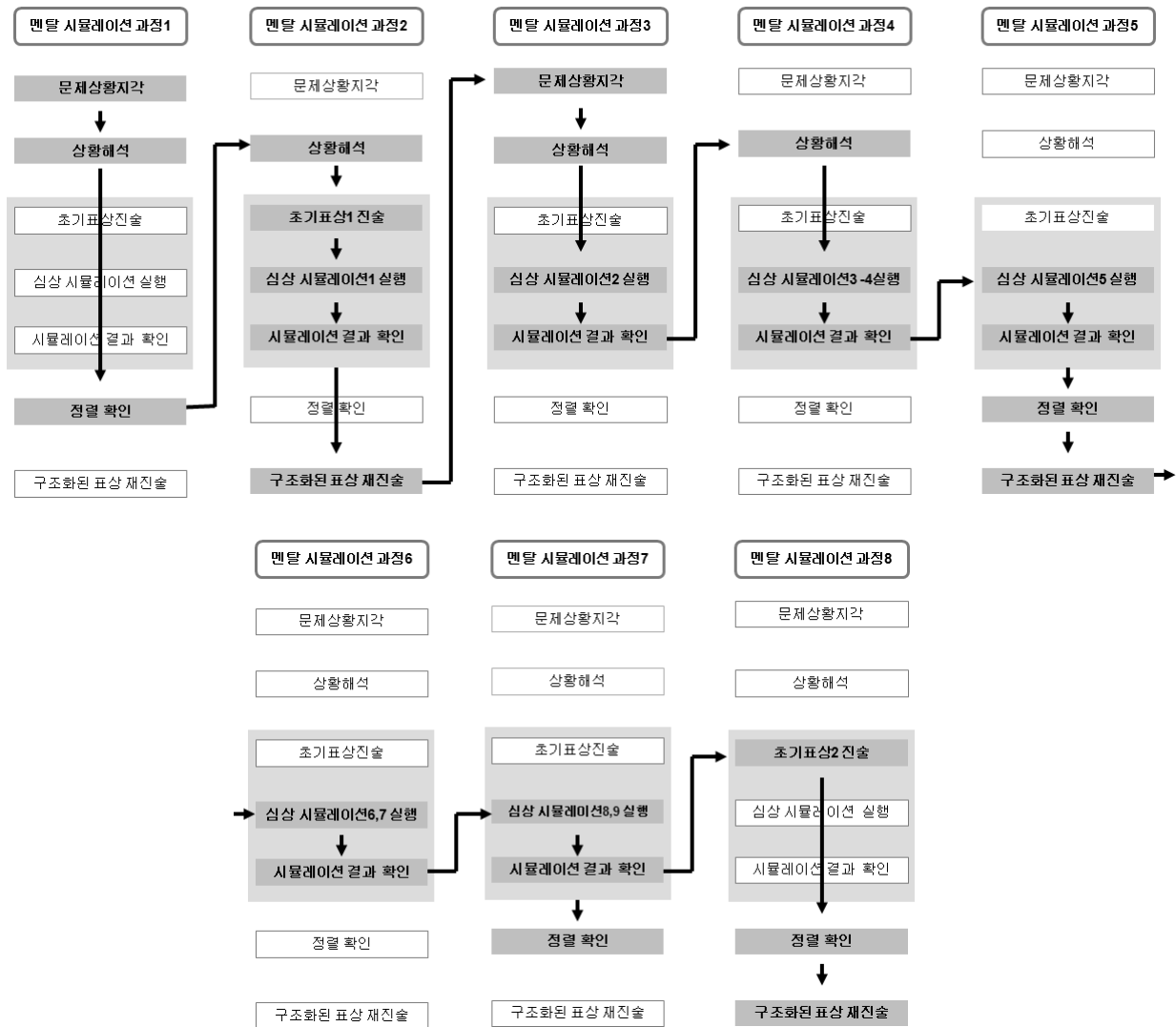


Figure 1. Mental simulation process of participant C(task1)

Table 4. Running imagistic simulation of participant C(task1)

Mental simulation process	Sub-elements	Protocol
초기표상1 진술	관련 개념 예시화	AC9 : 이걸 난로의 뜨거운 공기가 올라간다는 표시예요(화살표 그림),
심상 시뮬레이션1	작동심상 실행	AC10 : 음..그리고 환기니까(환기가 되면)
심상 시뮬레이션2	공간변환 실행	AC19 : 바람이 들어오는 거의 a, b를 그림으로 나타내어 보면은(창문 그림을 다시 그림).
심상 시뮬레이션3	작동심상 실행	AC23 : 밖에 있는 바람은 이렇게 커다란데
심상 시뮬레이션4	작동심상 실행	AC24 : 그게 이렇게 좁은 공간으로 들어오면은
심상 시뮬레이션5	공간변환 실행	AC30 : 음..공기가 나가고 들어오는 것을 이것처럼 a랑 b를 구분해서 그려볼게요(다시 그림을 그림)
심상 시뮬레이션6	작동심상 실행	AC39 : 음 (오랫동안 그림 응시) (그림 위에서 공기가 움직이는 손짓)
심상 시뮬레이션7	작동심상 실행	AC40 : 음 이렇게 반만 연다고(손으로 가림)
심상 시뮬레이션8	공간변환 실행	AC42 : 예를 들어서 a에서 환기 되는 정도가 100이라고 하면
심상 시뮬레이션9	작동심상 실행	AC43 : 이것을 이렇게 반만 연다고 하면

<창문 과제에서 참여자 A의 심상 시뮬레이션 프로토콜>

초기표상3 진술 (관련경험 표상)	집 근처에 약수터가 있는데 약수터가 좀 이렇게 벽이 있고 이렇게 물 구멍이 있어서 이게 이렇게 나오는 그런 구조였는데.(약수터에 물 호스를 그림) 그걸 딱 떠올려 봤을 때
심상 시뮬레이션5 실행 (작동심상 실행)	예전에 이렇게 심하게 막 이렇게 호스에서 물 가장 세게 틀었을 때처럼 팡팡 나올 때가(물이 나오는 것과 같은 손짓) 있었는데 그때를 생각해 봤는데..
심상 시뮬레이션6 실행 (공간변환 실행)	이 쪽으로 구멍이 있고 예를 들어 이렇게 물이 나간다고 했을 때(호스의 구멍이 확대된 그림을 그림)
심상 시뮬레이션7 실행 (공간변환 실행)	가운데 쪽으로 가게 되면은 어떤 게 가게 되면 (가운데 쪽에 점을 그림)
시뮬레이션 결과 확인	모든 면에 저항을 받아서 들어가기 힘들텐데

참여자 A의 멘탈 시뮬레이션 과정을 도식으로 나타내면 Figure 2와 같다. 참여자 A는 문제 상황과 구조적, 기능적으로 유사한 친숙한 경험 상황을 떠올리며, 지각적 경험을 기반으로 공간변환을 실행하여 자신의 설명에 포함된 메커니즘을 문제 상황에 적용하여 확인하고 있었다. 즉 관련 경험에 대해 공간변환을 실행하여 문제 상황에 맞게 재구성하는 과정으로 확인된다. 이와 같은 과정에서 참여자가 실제 경험하기 어려운 상황을 새롭게 구성하여 설명하는 모습이 확인된다. Nersessian (2009)은 이와 같은 사고실험이 유추와 심상, 시뮬레이션 과정이 연계되어 개념과 경험이 결합되어 나타나며, 시각적 표상, 물리적 모델

Table 5. Change of representation via a imagistic simulation of participant C(task1)

초기표상1		구조화된 표상1		구조화된 표상2		구조화된 표상3
난로의 뜨거운 공기가 올라감	⇒ IS1	방에 있는 공기가 나가고 들어옴	⇒ IS 2-5	양쪽으로 열린 창문에서 공기가 분산되서 출입함	⇒ IS 6-7	창문을 반만 열었을 때 환기는 전체 열었을 때의 반 이상으로 되기 때문에 양쪽으로 나누어 연 쪽이 잘 됨

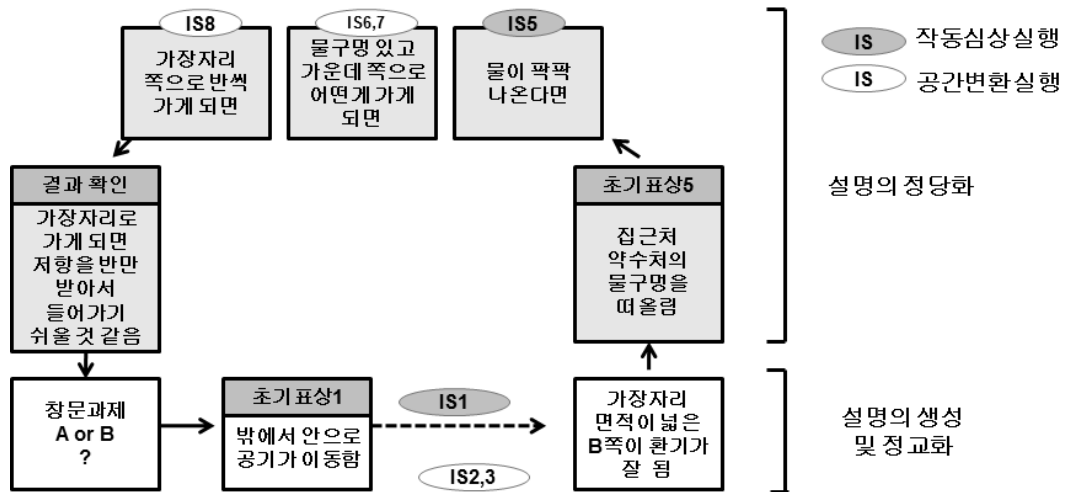


Figure 2. Mental simulation process of participant A(task1)

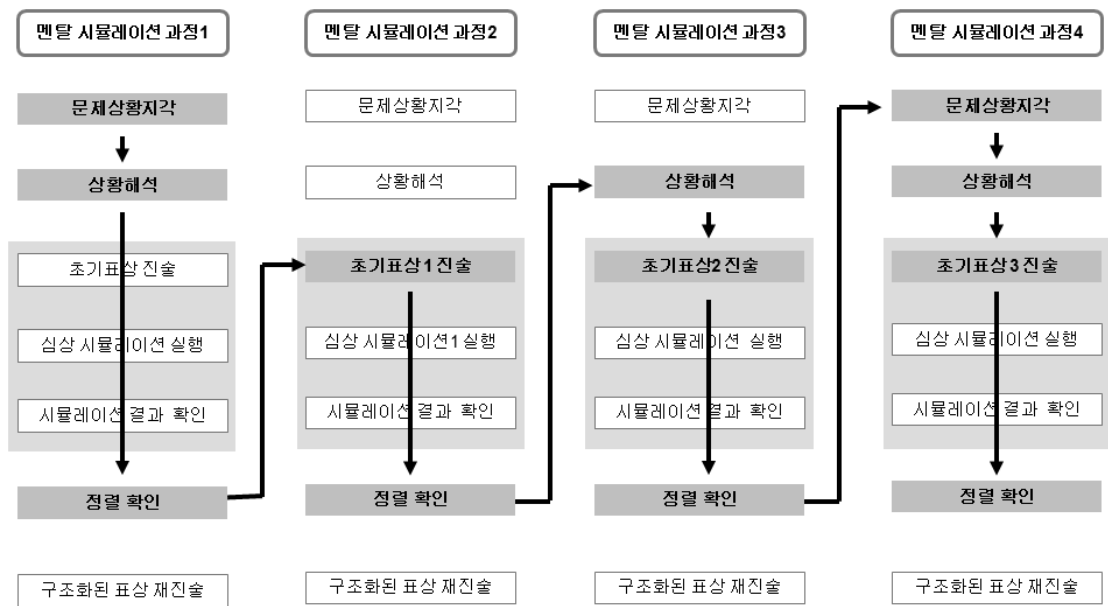


Figure 3. Mental simulation process of participant D(task1)

사용을 통해 지원받는다고 하였다. 또한 이와 같은 사례는 Clement (2009)의 연구에서 제시한 평가적 사고실험의 사례이며, 메커니즘/인과성 수준의 비유적 추론에 해당된다(Ko & Yang, 2013). 이 연구에서는 관련 경험 표상에 대한 작동심상과 공간변환 실행이 결합되어 메커니즘을 정당화하기 위해 설명을 만들고 있음을 확인하였다.

나. 심상 시뮬레이션을 실행하지 못하고 직관적으로 예측함

반면 2명의 참여자는 Figure 3과 같이 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상 시뮬레이션을 실행하지 못하고, 직관적인 상황해석을 통해 문제

상황의 결과를 예측하고 있었다. 예를 들어 참여자 D는 문제상황의 특징을 확인하고 직관적으로 상황을 해석한 후, 이를 확인하기 위해 여러 가지 유사한 상황의 초기표상을 찾으려고 시도하는 모습을 확인할 수 있다. 즉 문제 상황의 메커니즘이나 인과적 요소가 포함된 설명을 구성하기 보다는 직관적으로 상황을 해석하여 결과를 예측한 후 초기표상1,2,3을 진술하여 관련 경험을 통해 정당화를 시도하였다.

하지만 참여자 D의 멘탈 시뮬레이션 과정에서 진술된 초기표상들은 일관성이 없었으며, 어떠한 개념이나 메커니즘을 포함하지 않고 단순히 속성 수준의 유사성을 기반으로 표상되었다. 예를 들어 참여자 D는 환기라는 문제 상황의 특징을 지각한 이후 인과적 설명을 구성하

지 못하고, 직관적으로 넓은 쪽이 환기가 잘 될 것이라고 진술하고 있다.

<창문 과제에서 참여자 D의 직관적인 상황해석에 의한 예측의 프로토크1>

문제상황지각	바람이 환기가 되기는 되는데
상황해석	음 여기는 이것보다 많이 더 넓어 보여서
정렬확인	여기(한쪽으로 열린 쪽)가 더 잘 될 것 같아요. 여기로는(한쪽으로 열린 쪽) 공기가 한꺼번에 나갈 것 같은데요.

또한 이러한 직관에 따른 예측을 정당화하기 위해 어제 본 영화 속의 한 장면을 떠올려 표상하고 있다. 하지만 이와 같은 사례는 문제 상황 자체에서 지각적 경험을 해석하여 관련 경험 상황을 표상한 것으로 표상을 조작하거나 변환시키기 위한 의식적인 노력은 확인되지 않는다. 결국 참여자 D는 예측을 정당화하기 위해 몇 가지 일관되지 않은 경험 상황을 추가적으로 제시하였으나, 인과적 설명을 만들거나 정교화 하는 데 실패하였다.

<창문 과제에서 참여자 D의 직관적인 상황해석에 의한 예측의 프로토크2>

상황해석	네...음.....(그림을 오랫동안 응시) 그리고 평소엔 창문 열 때 그냥 한쪽으로만 다 열지 이렇게(양쪽으로 나눠) 연 기역이 별로 없어서.
상황해석	이게 더 익숙해서 이게 더 환기가 잘 될 것 같다고 생각을 하는 것 같아요.....
초기표상2 진술 (관련 경험 표상)	음.....(그림을 오랫동안 응시)..어 그리고.....어 뭐지. 이거 논리적으로 안해도 되죠? 어.. 제가 어제 본 영화중의 한 장면이 갑자기 생각이 났는데요. 거기 사람이 주인공이 이 답을 넘어서 가져드요. 근데.. 그 사람도 이런 창문으로 잘 넘어갔는데..
정렬 확인	공기도 마찬가지로 이렇게 큰 데가 더 잘 될 거 같아요(그림을 오랫동안 응시)

이상과 같이 2가지 유형의 멘탈 시뮬레이션 사례를 비교한 결과, 멘탈 시뮬레이션 과정에서 나타난 심상 시뮬레이션 실행은 물리적 힘과 세기 변화 등의 작동심상 실행과 시각적 심상에 대한 조작 및 변환의 공간변환 실행이 관련되어 설명과 예측의 생성 및 정교화에 영향을 주고 있었다. 첫째, 친숙한 지각적 경험을 떠올려 작동심상을 실행하는 경우 이것이 예측에 강력한 역할을 하였으며, 새로운 심상을 발견하도록 하여 구조화된 표상을 생성하는 데 기여하였다. Clement(2009)는 이와 같이 작동심상을 실행하여 새로운 관찰을 하지 않고 과거의 지각적 경험에 기반하여 새로운 경험적 정보가 어떤 느낌인지 얻는 것이 가능하다고 보고하였으며, Reiner와 Gilbert(2000)는 특정한 사물에 대한 물리적 직관과 같은 지각적인 경험을 설명하기 위해 ‘신체 기억 지식’의 용어를 사용하였다. 이처럼 지각적 경험은 설명과 예측을 만드는 인지적 근원이며, Gibert와 Reiner(2004)는 과학교육에서 실험 활동은 학생들이 개념을 다루거나 조작하기 위한 심상을 생성하기 위해 꼭 필요한 지각적 경험이며, 사고실험과 경험적 실험이 효과적으로 연계되어 지도되어야 한다고 하였다. 둘째, 공간변환 실행은 초기표상을 통해 떠올린 시각적 심상에 대한 의식적인 조작과 변환 과정이다. 선행연구에서 전문가들이 가설평가 및 자료해석을 위해 심상을 생성하고, 조작 및 변환하고 있음이 확인되었으며(Bogacz & Trafton, 2005; Trafton et al., 2005; Trickett et al., 2009), 이 연구에서도 공간변환 실행은 초기표상을 시각적으로 변화시킴으로써 설명과 예측을 생성하고 정교화하는데 있어 중요한 역할을 하고 있음이 확인되었다. 이와 같은 내용은 what if 추론에 의해 의식적으로 상황을 변화시킴으로써 문제 해결을 돕는다는 선행 연구의 결과와 일치한다(Griffith et al., 2000; Trickett et al., 2007). 또한 Trickett 등(2009)의 연구에서 변칙적인 자료를 해결하기 위해 초보자들이 자료에 대한 설명 자체에 초점을

맞추는 반면 과학자들은 자료에 대한 내적인 심상을 떠올려 공간변환을 통해 해결하였다. 이 연구 결과에서도 설명과 예측을 만들고 정교화한 참여자들은 불확실한 문제 상황에서 의식적으로 심상을 조작하거나 변환한 참여자들이었으며, 초기 표상의 조작 및 변환을 시도함으로써 문제 상황에 대한 새로운 해석을 가져왔고, 이것이 인과적 설명을 만드는데 핵심적인 역할을 하고 있었다.

2. 새로운 심상 발견에 사용된 시뮬레이션 전략

이 연구에서 심상 시뮬레이션 실행이 설명과 예측을 만들고 정교화 하는데 어떠한 영향을 주는지 확인하기 위해 심상 시뮬레이션 실행에서 사용된 시뮬레이션 전략을 분석하였다. 이를 위해 심상 시뮬레이션을 실행하여 설명과 예측을 만든 참여자 8명의 16개 멘탈 시뮬레이션 사례 중 참여자 6명(참여자 A, C, F, G, H, I)의 10개의 멘탈 시뮬레이션 사례(창문A, 창문C, 창문F, 창문G, 창문H, 창문I, 호수A, 호수F, 호수G, 호수H)에서 정교화 된 설명과 예측을 생성하였으며, 다른 6개의 멘탈 시뮬레이션 사례(창문E, 창문J, 호수C, 호수E, 호수I, 호수J)에서는 설명과 예측을 생성하였으나 설명을 정교화 시켜 나가는 데 실패하는 모습이 확인되었다. 이들 사례에서 사용된 시뮬레이션 전략을 비교한 결과 설명과 예측을 정교화 시킨 10개의 멘탈 시뮬레이션 사례에서는 효과적인 시뮬레이션 전략을 사용하여 새로운 심상을 발견하고 있었으나, 설명과 예측을 정교화 하는 데 실패한 6개의 사례에서는 시뮬레이션 전략의 요소들이 확인되지 않았다. 이에 여러 차례의 심상 시뮬레이션을 통해 설명을 정교화 시킨 6명의 10개의 멘탈 시뮬레이션 사례를 대상으로 이들 사례에서 새로운 심상을 발견하는 데 사용된 시뮬레이션 전략 사용을 심층적으로 분석하였다. 총 10개의 멘탈 시뮬레이션 사례에서 19개의 새로운 심상이 발견되었으며, 이 중 14개의 새로운 심상이 시뮬레이션 전략을 통해 나타났다. 새로운 심상 발견에 사용된 시뮬레이션 전략을 분석한 결과는 Table 6과 같다.

참여자들은 초기표상에 대해 최소화/확대, 대체, 확대, 제거, 분할, 차원강화, 차원감소 등의 시뮬레이션 전략을 사용하여 설명과 예측을 생성하고 정교화하고 있었으며, 각각의 특징적인 사례를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 최소화전략을 사용하여 심상의 효과를 강화하는 모습이 나타났다. 창문C 사례에서 참여자 C는 공간변환 실행을 통해 공기의 심상에 대한 이미지를 커다랗게 변화시켰으며, 작동심상 실행을 통해 좁은 공간으로 들어오는 것을 가정하였다(ENI2). 이와 같은 심상 시뮬레이션의 실행은 심상의 효과를 강화하기 위한 최소화전략으로 분석하였다.

<창문C 사례에서 심상 발견 사례의 프로토크>

심상 시뮬레이션 3 실행	공간변환 실행	밖에 있는 바람은 이렇게 커다란데
심상 시뮬레이션 4 실행	작동심상 실행	그게 이렇게 좁은 공간으로 들어오면은
시뮬레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	음 이 커다란 게 다 못 들어오니까 더 세계 들어올 것 같아요

시각적 심상이나 물리적 세기를 최대화 또는 최소화함으로써 심상의 효과를 강화하였으며, 이를 통해 커다란 게 다 못 들어오니까 더 세계 들어올 것 같다는 심상을 발견할 수 있었다. 이처럼 심상 시뮬레이션 3, 4를 실행하는 과정에서 심상에 대한 최소화전략의 사용

Table 6. Simulation strategies for emergence of novel imagery

Case	Code	Running Imagistic simulation	Protocol	Simulation strategy
창문A	ENI1	IS2(공간변환 실행)	AA16 : 창문의 열린 부분 확대해서 보면	확대
창문C	ENI2	IS3,4(공간변환 실행) IS4(작동심상 실행)	AC23 : 밖에 있는 바람은 이렇게 커다란데 AC24 : 그게 이렇게 좁은 공간으로 들어오면은	최소최대화
	ENI3	IS6(작동심상 실행) IS7(공간변환 실행)	AC39 : 음 (오랫동안 그림 응시) (그림 위에서 공기가 움직이는 손짓) AC40 : 음 이렇게 반만 연다고(손으로 가림)	
창문F	ENI4	IS9,10(공간변환 실행)	AF31 : 또 다르게 보면 방이 정사각형인데 애가 정가운데 애가 이렇게(창문을 절반으로 나누는 손짓) 열려 있으면요 AF34 : 그리고 이거는 이 가운데 딱 찼다 치면(창문을 절반으로 나누는 손짓)	분할/ 심상비교
	ENI5	IS11(작동심상 실행)	AF38 : 음(오랫동안 그림 응시).. 아니면 이 큰 창은 한번에 들어오는 바람이 한번에 크게 확 돌아오니까(바람이 강하게 들어오는 손짓)	최소최대화/ 심상비교
	ENI6	IS1(공간변환 실행)	AG8 : 음 물이 만약에 들어온다고 생각을 하면 AG28 : 그림을 다시 그리면 여기에 열린 창문이고 여기에 여기에 열린 창문이면 AG29 : 여기가 바람이 나오면 바람이 나오면	대체
창문G	ENI7	IS2(공간변환 실행) IS3(작동심상 실행)	AH11 : (공기가 순환하는 그림을 그리며) AH23 : 그러면 공기가 나가서 만약에 환기가 된다고 한다면 AI67 : 그게 이런 식으로 범위가 지워지는 것 보다 b와 같이 이런 식으로 있을 때(공기의 범위를 나타냄)	차원감소
창문H	ENI8	IS1(공간변환 실행) IS2(작동심상 실행)	AH11 : (공기가 순환하는 그림을 그리며) AH23 : 그러면 공기가 나가서 만약에 환기가 된다고 한다면	확대
창문I	ENI9	IS15(공간변환 실행)	AI67 : 그게 이런 식으로 범위가 지워지는 것 보다 b와 같이 이런 식으로 있을 때(공기의 범위를 나타냄)	
호수A	ENI10	IS1(작동심상 실행)	BA7 : 바람은 가면서(바람이 이동하는 손짓)	최소최대화
	ENI11	IS3(작동심상 실행)	BF16 : 그때 여기서(서쪽에서) 이렇게 바람이 불면 BF34 : 아니면 이렇게 호수에서 들판 쪽으로 이동하는 공기의 양은 엄청 너무 적은 양이어서 BF36 : 아니면은 이렇게(서에서 동으로) 바람이 불면 BF39 : 바람이.....어 아니면.. 그럼 바람이 이렇게 불면	
호수F	ENI12	IS6(공간변환 실행) IS7(작동심상 실행)	BF34 : 아니면 이렇게 호수에서 들판 쪽으로 이동하는 공기의 양은 엄청 너무 적은 양이어서 BF36 : 아니면은 이렇게(서에서 동으로) 바람이 불면 BF39 : 바람이.....어 아니면.. 그럼 바람이 이렇게 불면	첨가
	ENI13	IS8(작동심상 실행) IS9(공간변환 실행)	BF41 : 이쪽에서(서쪽에 새로운 공간에 그림을 표시) 바람이 분다는 건 이쪽에 있는 공기가 이렇게 오는 거니까 BF54 : 음.. 이거랑 좀 비슷하게 주변이 다 물이고 섬이 있다고 치면(섬 그림 생성)	
호수G	ENI14	IS11(공간변환 실행)	BG17 : 그니까 공기를 생각해 보면(입체적인 그림 그림) 이걸 좀 나눠서 여기 위에 부분은 여기는(호수 위) 좀 차가운 데고 여기는(서쪽 들판) 더 뜨거운 데면(그림의 부분을 나눔)	차원강화/ 분할/대체
	ENI15	IS3(공간변환 실행)	BG17 : 그니까 공기를 생각해 보면(입체적인 그림 그림) 이걸 좀 나눠서 여기 위에 부분은 여기는(호수 위) 좀 차가운 데고 여기는(서쪽 들판) 더 뜨거운 데면(그림의 부분을 나눔)	차원강화/분할
	ENI16	IS4(공간변환 실행)	BG22 : (새로 입체적으로 그림) 그림 좀 더 구체적으로 생각해보면 BG44 : 일단 제가 알 거 같은 것만이라도 표현을 하면 (다시 그림).. BG50 : 근데 서풍이 분다고 했잖아요 그럼 서풍이 분다는 게 여기서 이렇게 가는건지	
호수H	ENI17	IS9(공간변환 실행)	BG44 : 일단 제가 알 거 같은 것만이라도 표현을 하면 (다시 그림).. BG50 : 근데 서풍이 분다고 했잖아요 그럼 서풍이 분다는 게 여기서 이렇게 가는건지	대체
호수H	ENI18	IS10(공간변환 실행)	BH9 : 그렇다면 고온이기 때문에 이쪽(서쪽 들판)은 저기압, 이쪽(호수위)은 고기압, 저기압(동쪽 들판)이 된다고 가정하면	
호수H	ENI19	IS2(공간변환 실행)	BH9 : 그렇다면 고온이기 때문에 이쪽(서쪽 들판)은 저기압, 이쪽(호수위)은 고기압, 저기압(동쪽 들판)이 된다고 가정하면	대체

은 좁은 곳에서 세계 들어올 것이라는 심상을 발견하도록 하였으며, 이 후 공기의 확산에 기반하여 새로운 설명을 구성하는데 영향을 주었다.

심상의 효과를 강화하기 위한 최소최대화 전략은 창문F 사례에서도 확인된다. 창문F 사례에서 최소최대화 전략을 사용하여 작동 심상을 실행하였으며, 이를 통해 온도차가 커야 환기가 잘 된다는 심상을 발견하였다.

<창문F 사례에서 심상 발견 사례의 프로토콜1>

심상 시뮬레이션 11 실행	작동심상 실행	음(오랫동안 그림 응시). 아니면 이 큰 창은 한번에 들어오는 바람이 한번에 크게 확 돌아오니까(바람이 강하게 들어오는 손짓)
시뮬레이션 결과 확인	변화된 심상 확인	방안에 공기가 금방 식어서요..
시뮬레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	이게 온도가 달라야(온도 차이가 커야) 이게 이렇게(순환하는 손짓) 애가 되잖아요
정렬 확인	일치 관계 확인	결과적으로 보면은 (양쪽으로 연 쪽이) 순환이 좀 잘되지 않을까?

이처럼 최소최대화 전략을 사용하여 바람의 세기를 변화시킴으로써 심상의 효과를 강화하고 있음을 확인할 수 있었다(ENI5). 이와 같은 모습은 Figure 4와 같은 묘사적 몸짓을 통해 공기가 확 밀려들어오는 상황(최소최대화 전략)에 대한 작동심상의 실행을 확인하였다.

둘째, 심상의 요소를 친숙한 요소나 다루기 쉬운 심상의 요소로 대체하여 사용하는 것이 확인되었다. 창문G 사례를 살펴보면, 참여자 G는 확산 개념에 기반하여 심상 시뮬레이션을 실행하였으며, 이 과정에서 시뮬레이션 강화 전략(대체)을 사용하여 눈에 보이지 않는 공기의 심상을 구체화하여 확인할 수 있었다(ENI6). 이를 통해 양쪽으로 들어온 공기가 방 안에서 영향을 미치는 곳이 많아 빠져나가기 쉬운 것이라는 심상을 발견하였다.

<창문G 사례에서 심상 발견 사례의 프로토콜1>

심상 시뮬레이션 11 실행	공간변환 실행	음 물이 만약에 들어온다고 생각을 하면
시뮬레이션 결과 확인	변화된 심상 확인	물도 이렇게 좁은데로 들어오는 게 이렇게 확산되서 들어올 수 있잖아요
시뮬레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	이렇게 된 게 또 이렇게 들어온 공기가 이렇게 빠져나가기도 쉽고 이렇게 들어온 공기가 이렇게 빠져나기도 쉬울 것 같아요 여기서 공기가 이쪽 한쪽에서만 나갈 수 있으니까 이렇게 뺄 돌아가기가 힘들 것 같고

또한 대체 전략의 사용은 호수G 사례에서도 사용되었다. 참여자 G는 공기의 양을 조작 가능한 선분의 밀도로 대체하여 나타냄으로써 들판과 호수 위의 공기의 양을 조작하여 결과를 확인하였다(Figure



Figure. 4 A picture of depictive gesture observed in a case of participant F(task1)

5). 이처럼 대체 전략은 심상을 친숙한 요소나 다루기 쉬운 심상 요소로 바꾸어 구체적으로 드러냄으로써 시물레이션의 효과를 강화하였다(ENI5).

셋째, 특징적인 부분을 강조하기 위해 심상을 확대하거나 불필요한 심상을 제거하는 모습이 나타났다. 창문A 사례에서 새로운 심상 발견은 확대 전략에 따른 외적 표상의 생성을 통해 나타났다. Figure 6은 확대 전략을 사용하여 나타낸 외적 표상의 예이다.

참여자 A는 창문의 모습을 확대하여 외적 표상으로 나타냄으로써 창문의 가장자리가 바람이 드나드는 데 영향을 줄 것이라는 심상을 발견하였다. 이처럼 문제 상황의 특징적인 부분을 확대하여 표상을 생성함으로써 시물레이션의 결과 확인을 돕고 있었다. 이와 유사한 확대 전략의 사용은 창문C 사례에서도 확인되었다.

또 불필요한 심상을 제거함으로써 특징적인 부분을 강조하여 심상의 효과를 강화하고 있는 모습도 나타났다. 창문과제에 대한 참여자 C의 사례에서 제거 전략의 사용을 확인할 수 있다. 참여자 C는 심상 시물레이션 6,7의 실행에 시물레이션 강화 전략(제거)을 사용하여 심상의 효과를 강화함으로써 새로운 심상을 발견하고, 예측을 확고히 하고 있다. 다음은 시물레이션 강화(제거) 전략 사용과 관련된 프로토콜의 예시이다.

<제거 전략이 사용된 심상 시물레이션의 프로토콜>

심상 시물레이션6 실행	작동심상 실행	음 (오랫동안 그림 응시) (그림 위에서 공기가 움직이는 손짓)
심상 시물레이션7 실행	공간변환 실행	음 이렇게 반만 연다고(손으로 가림)
시물레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	a의 딱 절반만큼 환기가 되는 것은 아닐 것 같아요

창문C 사례에서 제거 전략의 사용(ENI3)은 이미 생성된 외적 표상의 조작을 통한 묘사적 몸짓과 함께 나타났다. 창문C 사례에서 제거 전략과 함께 나타난 묘사적 몸짓은 Figure 7과 같다. 제거 전략의 사용을 외적 표상에서 창문의 반을 가림으로써 문제 상황에서 창문의 크기가 반으로 줄어든다고 환기도 반이 되지는 않을 것이라는 심상을 발견하였다. 제거 전략을 통해 발견된 심상은 멘탈 시물레이션 과정에서 참여자 C가 ‘창문을 반만 열었을 때 환기는 전체 열었을 때의 반 이상으로 되기 때문에 양쪽으로 나누어 연 쪽이 잘 된다’고 설명을 정교화하는데 결정적인 역할을 하였다. 이와 같이 제거 전략은 불필요한 심상을 제거함으로써 심상의 효과를 높여 문제 해결을 돕고 있었다.

넷째, 공간을 분할함으로써 심상의 대비를 크게 하여 문제 해결을 돕는 모습이 나타났다. 창문F 사례에서 참여자는 대류 개념에 대한 예시화를 통해 초기표상2를 진술하였으며, 초기표상2에 대한 심상 시물레이션 실행을 통해 2가지 다른 심상을 발견하였다. ENI 4 사례에서

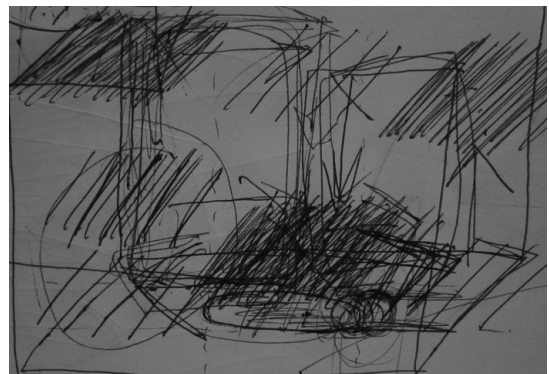


Figure 5. External representation observed in a case of participant G(task2)

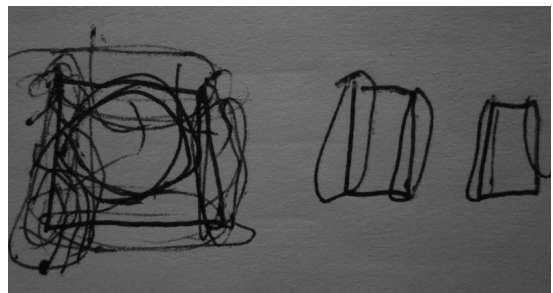


Figure 6. External representation observed in a case of participant A(task1)

심상 시물레이션 9, 10에서 분할, 심상 비교 전략을 사용한 공간변환 실행을 통해 다음과 같이 방안에서 공기가 순환하는 심상을 발견하였다.

<창문F 사례에서 심상 발견 사례의 프로토콜2>

심상 시물레이션 9 실행	공간변환 실행	또 다르게 보면 방이 정사각형인데 애가 정가운데 애가 이렇게(창문을 절반으로 나누는 손짓) 열려 있으면요 한쪽에 약간 이렇게 있는 거잖아요
시물레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	그러면 이 안에 있는 공기가 여기가 오른쪽이라고 치면 오른쪽으로 다 나가고 들어와야 되니까 (나가고 들어오는 손짓) 좀 더 시간이 걸리는데. 대신 이 창이 커서.(창문크기를 나타내는 손짓)
심상 시물레이션 10 실행	공간변환 실행	그리고 이거는 이 가운데 딱 찼랐다 치면(창문을 절반으로 나누는 손짓)
시물레이션 결과 확인	새로운 심상 발견	한쪽에 하나씩 이렇게 있으니까 이렇게 약간 왼쪽 공기는 왼쪽으로 순환하면(왼쪽으로 나가고 들어오는 손짓) 되고 오른쪽은 오른쪽으로 하면 되서(오른쪽으로 나가고 들어오는 손짓) 그런 건 좀 빠른데 대신 이걸 면적이 작으니까(창문크기를 나타내는 손짓)
정렬 확인	일치관계확인	환기하는 정도는 좀 비슷할 것 같은데..

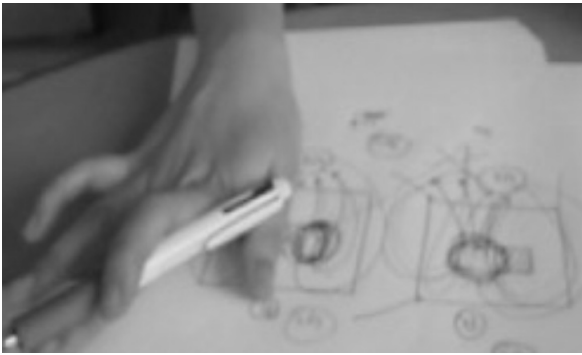


Figure 7. A picture of depictive gesture observed in a case of participant C(task1)

참여자 F는 창문 과제에서 시뮬레이션 지원 전략보다 시뮬레이션 강화 전략을 주로 사용하고 있었으며, 이와 같은 모습은 Figure 8과 같은 묘사적 몸짓을 통해 확인할 수 있었다. 심상 시뮬레이션 9, 10에서 심상에 대한 공간변환 실행은 창문의 넓이를 절반으로 나누어 생각하는 분할 전략이 사용되었으며, 이를 통해 새로운 심상을 발견할 수 있었다.

또한 Figure 9와 같이 호수H 사례에서 문제 상황의 공간을 대각선으로 분할하여 4지역으로 구분함에 따라 시뮬레이션 결과 확인을 명확하게 하는 것을 도왔다.

다섯째, 차원감소, 차원강화를 통한 시각화는 문제 상황의 구조를 변환함으로써 문제에 대해 다른 시각으로 접근하는 것을 도왔다. 예를 들어 참여자 G는 Figure 10과 같이 문제 상황의 공간을 3차원으로 나타내어 조작함으로써 들판과 호수 위에서 공기의 이동을 수평과 수직으로 나누어 생각할 수 있었고, 이에 기반하여 호수와 들판 지역의 윗부분을 분할하여 나타냄으로써 문제를 해결하고 있었다.

이와 같이 심상 시뮬레이션 실행 과정에서 문제 상황 또는 초기 표상을 공간적으로 변환하는 전략이 구조화된 표상의 메커니즘 발견에 기여하고 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 Griffith 등(2000)이 제시한 구조 기반 변형 추론 전략과 일치하는 결과이다. Griffith 등(2000)은 과학적 문제해결 과정에서 나타나는 Function-Follow-Form(FFF) 추론의 형태를 SBF(structure-behavior-function) 체계로 분석하였는데, 여기서 SBF 체계는 문제 상황의 구조 - 작용 - 기능의에 따른 추론 체계를 이야기 하며, 문제해결과정에서 문제 상황의 구조적 변화를 통해 문제 해결의 행동과 기능에 영향을 주고, 이를 통해 인과적 설명을 구성하는 것이 가능하다고 하였다. 이를 통해 과학 교수 학습에 효과적인 시뮬레이션 전략을 사용하는 것이 학생들이 가지고 있는 정신 모델의 변화를 도울 수 있음을 시사한다.

3. 정교화된 설명과 예측의 생성

지금까지 설명과 예측을 생성하고 정교화시켜 나가는 5명 참여자(참여자 A, C, F, G, H, I)의 10개의 멘탈 시뮬레이션 사례에서 심상 시뮬레이션의 역할과 전략을 분석한 결과 관련 개념을 예시화하여 심상 시뮬레이션을 실행함으로써 정교화 된 설명과 예측을 만들어 가는 과정을 Figure 11과 같이 도식으로 나타내었다.

심상 시뮬레이션 실행은 초기표상을 조작 및 변환함으로써 예측을 생성하고, 메커니즘과 관련된 요소를 발견하는데 기여하였다. 심상 시



Figure 8. A picture of depictive gesture observed in a case of participant F(task1)

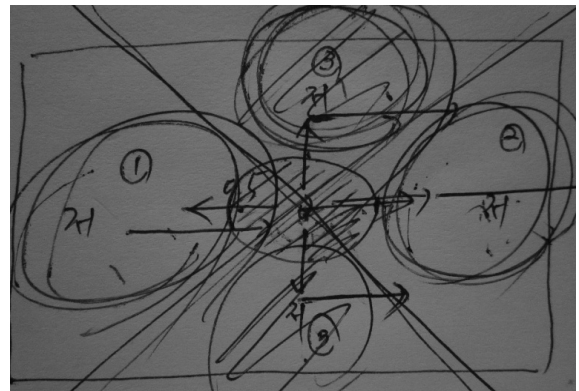


Figure 9. External representation observed in a case of participant H(task2)

뮬레이션 실행에서 공간변환 실행 또는 작동심상 실행은 새로운 심상을 해석하게 해 주었고, 발견된 새로운 심상에 대해 시뮬레이션 전략을 사용하여 다시 심상 시뮬레이션을 실행함으로써 설명을 정교화하고, 예측을 확고히 하는 과정을 확인할 수 있었다. 이와 같이 심상 시뮬레이션을 실행하여 정교화 된 설명을 만드는 과정은 도식에서 명시적인 실행(explicit run)의 과정으로 나타내었다. 반면 심상 시뮬레이션을 실행하지 못한 사례에서 직관적으로 예측하는 과정은 도식에서 암묵적인 실행(implicit run)으로 나타내었다. 특히 설명을 생성하고 정교화하는 데 있어 심상 시뮬레이션 실행의 하위 요소 중 공간변환 실행이 중요한 역할을 하였으며, 최소화대화, 대체, 분할, 확대, 제거, 첨가, 차원강화, 차원감소 등의 시뮬레이션 전략이 사용되어 새로운 심상을 발견하는 것을 도왔다. 또한 작동심상 실행에서 최소화대화, 대체 전략



차원 강화, 분할 전략
 대체, 분할 전략
 Figure 10. External representation observed in a case of participant G(task1)

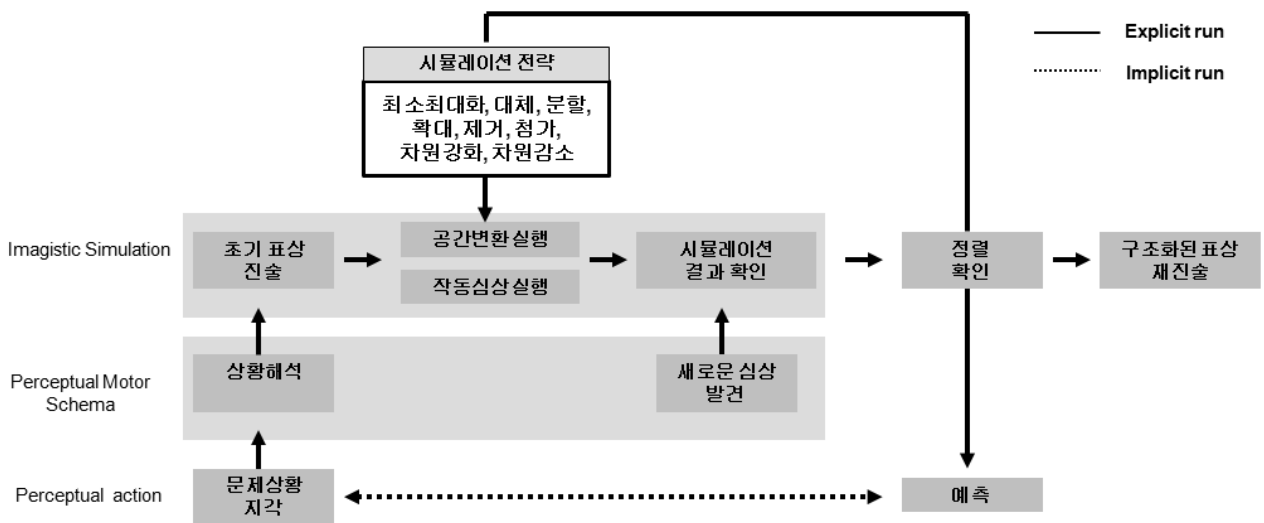


Figure 11. The roles and strategies of imagistic simulation that enable explanation and prediction

의 사용은 지각적 경험에 대한 심상의 효과를 강화하여 예측을 확고히 하는 것을 도왔다. 이러한 과정을 통해 그림3과 같이 관련 개념을 해석하여 문제 상황에 적용함으로써 시스템의 변화 결과를 예측하였고, 인과적 요소가 포함된 설명을 만들어내고 있음을 확인하였다. 따라서 이와 같은 과정에 비추어 과학교육에서 학생들이 어려운 개념이나 메커니즘에 대한 설명을 만들기 어려워 할 때, 스캐폴딩으로서 효과적인 시뮬레이션 전략을 사용하면 학생들이 새로운 설명을 만들거나 설명을 강화하는데 기여할 수 있을 것이다.

V. 결론 및 제언

1. 결론

과학적 현상에 대한 정신 모델을 만들고 사용하는 능력은 과학적 소양의 중요한 요소이다(Clement, 2000; Gobert & Buckley, 2000). 과학 교수학습에서 사고실험(what if) 상황을 제시하는 것은 관련 개념을 숙고하게 해 줄 수 있는 교수학습의 도구가 될 수 있을 뿐 아니라 결과를 예측하게 함으로써 학생들이 가지고 있는 개념과 신념을 드러내어 줄 수 있다(Galili et al., 2009; Gilbert & Reiner, 2000; Reiner

& Gilbert, 2000). 이 연구는 공기 이동에 관한 예측적 문제 상황의 사고실험을 개발 및 적용하여 멘탈 시뮬레이션 과정에서 나타나는 심상 시뮬레이션의 역할과 전략을 확인함으로써 설명과 예측을 생성하고 정교화하는 과정을 심층적으로 파악하였다.

첫째, 멘탈 시뮬레이션 과정은 문제상황 지각, 상황해석, 초기표상 진술, 심상 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 결과 확인, 정렬 확인, 구조화된 표상 재진술의 과정으로 나타났으며, 관련 개념을 해석하여 초기 표상을 진술한 후 여러 차례의 심상 시뮬레이션의 실행함으로써 설명과 예측을 생성하고, 정교화 하였다. 또한 멘탈 시뮬레이션 과정에서 나타난 심상 시뮬레이션 실행은 작동심상 실행과 공간변환 실행이 관련되어 설명과 예측의 생성 및 정교화에 영향을 주고 있었다. 작동심상의 실행은 지각적 경험에 기반하여 예측을 확고히 하였으며, 공간변환 실행은 초기표상을 시각적으로 조작 및 변환함으로써 지각적 경험을 폭을 확대하였다.

둘째, 멘탈 시뮬레이션 과정에서 심상 시뮬레이션의 실행이 설명과 예측 생성 및 정교화에 중요한 영향을 미친 경우를 시뮬레이션 전략으로 분석하였다. 최소최대화, 대체, 분할, 확대, 제거, 첨가, 차원강화, 차원감소 등의 시뮬레이션 전략이 사용되어 참여자들이 새로운 심상을 발견하는 것을 도왔다. 참여자들은 최소최대화 전략을 사용하여

심상의 효과를 강화하였으며, 초기 표상의 요소를 친숙한 요소나 다루기 쉬운 심상 요소로 대체하여 사용하였다. 또 특징적인 부분을 강조하기 위해 심상을 확대하거나 불필요한 심상을 제거하는 모습과 불필요한 심상을 제거함으로써 특징적인 부분을 강조하는 모습이 나타났다. 공간 분할 전략의 사용은 심상의 대비를 크게 하였으며, 차원감소, 차원강화를 통해 문제 상황의 구조를 변환함으로써 문제를 다른 시각으로 접근하도록 하였다. 이와 같이 심상 시뮬레이션 실행에서 초기표상을 효과적으로 조작 및 변환하는 시뮬레이션 전략의 사용은 심상의 효과를 강화하여 예측을 생성하고, 메커니즘과 관련된 새로운 심상 요소를 발견하는데 기여하였다. 따라서 과학교육에서 어려운 개념이나 메커니즘에 대한 스케폴딩으로서 효과적인 시뮬레이션 전략의 요소를 부여하여 조건을 변화시킴으로써 학생들이 설명과 예측을 만들고, 정교화 해 나가는 멘탈 모델링을 강화할 수 있을 것이다.

2. 제언

이 연구에서 관련 개념에 대한 심상을 떠올리고 조작하는 공간변환 실행이 멘탈 시뮬레이션 과정에서 설명과 예측을 생성하고 정교화 하는데 있어 핵심적인 역할을 함을 확인하였다. 특히 최소화/최대화, 대체, 확대, 제거, 분할, 차원강화, 차원감소 등의 공간변환과 관련된 시뮬레이션 전략이 시뮬레이션 실행 과정에 사용되어 심상을 강화하고 있음을 확인하였다. 이처럼 심상을 시각화하고, 조작 및 변환하는 사고에 대해 Ramadas(2009)는 모델 기반 변형 추론(model-based transformation reasoning)이라고 설명하였으며, 과학 학습에서 창의성과 시각화, 공간적 측면에 기여한다고 하였다. 또한 과학교육에서 순환적인 과학 탐구 과정에 공간변환의 사고가 중요한 역할을 한다고 보고하였다(Ramadas, 2009; Trickett & Trafton, 2007). 지금까지 과학교육의 많은 연구들이 학생들이 어떠한 개념을 가지고 있는지에 대해 관심을 두고 있었으며, 개념을 어떻게 사용할 수 있는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 멘탈 시뮬레이션 과정에서 공간변환 실행은 초기표상을 변화시켜 설명과 예측을 생성하고 정교화 하는 멘탈 모델링의 중요한 사고 과정임을 확인하였으며, 이는 앞으로 과학교육에서 중요하게 다루어져야 할 부분이다. 또한 지구과학교육에서 기후, 지질, 천체 등의 개념은 시공간적으로 거시적인 변화를 보여주기 때문에 직접 관찰할 수 없는 특징을 가지고 있으며(Kali *et al.*, 1997), 학생들은 외적 표상을 통해 시간 차원에 대한 변화를 이해하는데 어려움을 겪는다(Kali, 2003). 따라서 과학교육에서 학생들의 설명의 생성을 지원하기 위해서 사용할 수 있는 효과적인 시뮬레이션 전략이 무엇인지 연구되어야 하며, 현상과 개념에 대한 학생들의 이해를 강화하기 위해 사용되는 시각적 표상은 대체, 확대, 분할, 첨가, 차원강화, 차원감소 등의 효과적인 전략이 반영되어 사용되어야 할 것이다.

국문요약

이 연구의 목적은 공기 이동에 관한 사고실험에서 나타나는 멘탈 시뮬레이션을 분석하여 예측과 설명의 생성 및 정교화 과정을 알아봄으로써 멘탈 모델링 교육에 대한 시사점을 주는데 있다. 이를 위해 문헌 연구를 기반으로 멘탈 시뮬레이션 과정 및 전략 분석틀을 개발하였으며, 과학교육 전문가 4인의 내용타당도를 확인 받았다. 연구 참여

자는 초등예비교사 10명을 대상으로 하였으며, 개발된 2개의 사고실험 과제에 대해 사고발성법을 통해 총 20개의 사례를 수집하였다. 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 멘탈 시뮬레이션 과정은 문제상황 지각, 상황해석, 초기표상 진술, 심상 시뮬레이션 실행, 시뮬레이션 결과 확인, 정렬 확인, 구조화된 표상 재진술의 과정으로 나타났으며, 관련 개념을 해석하여 초기 표상을 진술한 후 여러 차례의 심상 시뮬레이션의 실행을 통해 설명과 예측을 생성하고 정교화 하고 있음을 확인하였다. 둘째, 멘탈 시뮬레이션 과정에서 확대, 분할, 차원강화, 차원감소, 첨가, 제거, 대체, 최소화/최대화와 같은 시뮬레이션 전략의 사용이 확인되었다. 시뮬레이션 전략의 사용은 문제 상황의 메커니즘 요소를 발견하는데 기여하였다.

주제어 : 심상 시뮬레이션, 사고 실험, 심상 모델링, 발성 사고법

References

- Ko, M., & Yang, I. (2013). Analysis on the relationship between the construct level of analogical reasoning and the construction of explanatory model observed in small group discussions on scientific problem solving. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(2), 522-537.
- Ball, L. J., & Christensen, B. T. (2009). Analogical reasoning and mental simulation in design: Two strategies linked to uncertainty resolution. *Design Studies*, 30(2), 169-186.
- Berland, L., & Reiser, B. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Bogacz, S., & Trafton, J. G. (2005). Using dynamic and static displays: Using images to reason dynamically. *Cognitive Systems Research*, 6(4), 312-319.
- Botzer, G., & Reiner, M. (2005). Imagery in physics learning - From physicists' practice to naïve students' understanding. In Gilbert, J. K. (Ed.), *Visualizations in science education* (Vol. 1, pp 147-168). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Brown, J. R. (1991). *The Laboratory of the Mind: Thought Experiments in the Natural Sciences*. London: Routledge.
- Clement, J. (2000). Model-based learning as a key research area of science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. (2003). Imagistic simulation in scientific model construction. *Proceedings of the Twenty-Fifth Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 25. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Clement, J. (2009). The role of imagistic simulation in scientific thought experiments. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 686-710.
- Clement, J. (2008). Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. Dordrecht: Springer.
- Christensen, B. T., & Schunn, C. D. (2009). The role and impact of mental simulation in design. *Cognitive Psychology*, 23(3), 327-344.
- Dove, J. E., Everett, L. A. & Preece, P. F. W. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of Science Education*, 21(5), 485-497.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72.
- Ehrlen, K. (2009). Drawings as representations of children's conceptions. *International Journal of Science Education*, 31(1), 41-57.
- Galili, I. (2009). Thought Experiments: Determining Their Meaning. *science & Education*, 18(1), 1-23.
- Gabbard, C. (2012). The role of mental simulation in embodied cognition. *Early Child Development and Care*, 183(5), 643-650.

- Gilbert, J., & Reiner, M. (2000). Thought experiments in science education: potential and current realization. *International Journal of Science Education*, 22(3), 265-283.
- Gilbert, J., & Reiner, M. (2004). The symbiotic roles of empirical experimentation and thought experimentation in the learning of physics. *International Journal of Science Education*, 26(15), 1819-1834.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Garcia-Mila, M., & Andersen, C. (2007). Developmental change in notetaking during scientific inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(8), 1035-1058.
- Griffith, T. W., Nersessian, N. J., & Goel, A. (2000). Function-follows-form transformations in scientific problem solving. In *Proceedings of the Cognitive Science Society 22*, 196-201. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hegarty, M. (2004). Diagrams in the mind and in the world: Relations between internal and external visualizations. In A. Blackwell et al. (Eds.), *Diagrams 2004 Conference Proceedings*. LNAI 2980 (pp. 1-13). Berlin and Heidelberg: Springer-Verlag.
- Kali, Y., Orion, N., & Mazor, E. (1997). Software for assisting high school students in the spatial perception of geological structures. *Journal of Geoscience Education*, 45(1), 10-21.
- Kali, Y. (2003). A virtual journey within the rock-cycle: A software kit for the development of systems-thinking in the context of the earth's crust. *Journal of GeoScience Education*, 51(2), 165-170.
- Khan, S. (2008). What if scenarios for testing student models in chemistry. In J. Clement & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (Chapter. 8, pp. 139-150). Dordrecht: Springer.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Lane, R., & Coutts, P. (2012). Student's alternative conceptions of tropical cyclone causes and processes. *International Research in Geographical & Environmental Education*, 21(3), 205-222.
- Moulton, S. T., & Kosslyn, S. M. (2009). Imagining predictions: mental imagery as mental emulation. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364(1521), 1273-1280.
- Mualem, R., & Eylon, B. S. (2010). Junior high school physics: Using a qualitative strategy for successful problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), 1094-1115.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp. 133-153). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nersessian, N. J. (1993). In the theoretician's laboratory: Thought experimentation as mental modelling. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* 2, 291-301.
- Nersessian, N. J. (2008). Mental modeling in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of conceptual change* (pp. 391-416). New York, NY: Routledge.
- Nersessian, N. J. (2009). How do engineering scientists think? model-based simulation in biomedical engineering research laboratories. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 1-28.
- Ramadas, J. (2009). Visual and Spatial Modes in Science Learning. *International Journal of Science Education*, 31(3), 301-318.
- Reiner, M., & Gilbert, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22(5), 489-506.
- Reiner, M. (1998). Thought experiments and collaborative learning in physics. *International Journal of Science Education*, 20(9), 1043-1058.
- Roberts, M. J., & Newton, E. J. (2003). Individual differences in the development of reasoning strategies. In D. Hardman & L. Macci (Eds.), *Thinking: Psychological perspectives on reasoning, judgment, and decision making* (pp. 23-43). Chichester: John Wiley.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Snir, J., Smith, C. L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with competing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate nature of matter. *Science Education*, 87(6), 794-830.
- Steedle, J. T., & Shavelson, R. J. (2009). Supporting valid interpretations of learning progression level diagnoses. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 699-715.
- Stephens, L. & Clement, J. (2006). Designing classroom thought experiments: What we can learn from imagery indicators and expert protocols. *Proceedings of the NARST 2006 Annual Meeting*, San Francisco, CA.
- Stephens, L., & Clement, J. (2010) Documenting the use of expert scientific reasoning process by high school physics students. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 6(2), URL: <http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevSTPER.6.020122>.
- Stieff, M., & Raje, S. (2010). Expert algorithmic and imagistic problem solving strategies in advanced chemistry. *Spatial Cognition & Computation*, 10(1), 53-81, 2010.
- Taylor, K. L., & Dionne, J. P. (2000). Problem-Solving strategy knowledge: the complementary concurrent verbal protocols and retrospective debriefing. *Journal of Educational Psychology*, 92(3), 413-425.
- Trafton, J. G., Trickett, S. B., & Mintz, F. (2005). Connecting internal and external representations: Spatial transformations of scientific visualizations. *Foundations of Science*, 10(1), 89-106.
- Trickett, S., & Trafton, J. G. (2002). The instantiation and use of conceptual simulations in evaluating hypotheses: Movies in the mind in scientific reasoning. *Proceedings of the 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Mahwah, NJ.
- Trickett, S. B., & Trafton, J. G. (2007). "What if...": The use of conceptual simulations in scientific reasoning. *Cognitive Science*, 31(5), 843-875.
- Trickett, S. B., Trafton, J. G., & Schunn, C. D. (2009). How do scientists respond to anomalies? different strategies used in basic and applied science. *Topics in Cognitive Science*, 1(4), 711-729.
- Van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. C. (1994). *The think aloud method: A practical guide to modeling cognitive processes*. San Diego, CA: Academic press.