



과학영재의 협업적 문제해결과정에서 나타난 공유된 정신모형의 정교화 양상 분석

이지원*
한국교육대학교

Analysis of the Refinement of Shared Mental Model in Science-Gifted Students' Collaborative Problem Solving Process

Jiwon Lee*
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 November 2015
Received in revised form
7 December 2015
25 December 2015
Accepted 28 December 2015

Keywords:

collaborative problem solving,
shared mental model,
science-gifted student

ABSTRACT

To understand the synergy of collaboration and to apply this understanding to education, an analysis of how a team solves a problem and the sharing of their mental models is needed. This paper analyzed two things qualitatively to find out the source of synergy in a collaborative problem-solving process. First, the sharing contents in team mental model and second, the process of sharing the team mental model. Ten gifted middle school students collaborated to solve an ill-defined problem called sunshine through foliage problem. The gifted students shared the following results after the collaboration: First, scientific concept prior to common idea or the idea that all group members have before the discussions; second, unique individual ideas of group members; and third, created ideas that were not originally in the personal mental model. With created ideas, the team model becomes more than the sum of individuals. According to the results of process analysis, in the process of sharing mental model, the students proposed and shared the most important variable first. This result implied that the analysis of the order of sharing ideas is important as much as finding shared ideas. Also, the result shows that through their collaboration, the gifted students' shared mental model became more refined and expanded as compared to their individual prior mental models. It is recommended that these results can be used to measure shared mental model and develop collaborative learning models for students.

1. 서론

현대 사회는 협업의 시대이다. 특히 과학 연구 분야의 협업화가 두드러지게 나타난다. 유럽원자핵공동연구소(CERN)의 대형강입자충돌기(LHC)에서 수행되는 연구에는 수천명의 과학자가 협업하기도 한다. 주실험인 ATLAS와 CMS에는 40여개 나라에서 온 수천 명의 연구자들이 참여하고 있으며, ALICE와 LHCb에도 30여개 나라에서 온 1000명 가까운 사람들이 참여하고 있다. 연구의 수행을 일련의 문제해결이라고 보았을 때, 과학적 문제해결과정에서 나타나는 특징을 파악하고 이를 교육에 적용하기 위해서는 한 명의 문제 해결자가 어떤 사고 과정을 거쳐 문제를 해결하는지 알아내는 것만으로는 부족하다. 협업을 수행하는 그룹 구성원들이 어떠한 상호작용을 거치며, 문제해결과정의 초기에 각각 달랐던 그들의 정신모형이 논의를 통해 어떻게 바뀌어 가는지를 구체적으로 살펴볼 필요가 있다. 여기서 정신모형은 개인이 자신을 둘러싼 주위환경이나 현상, 혹은 문제를 이해하고 해석하는 인식의 틀, 즉 시스템의 목적과 형태를 묘사하고 시스템의 기능과 상태를 설명하며 미래 시스템 상태를 예측하는 메커니즘을 의미한다(Rouse & Morris, 1986).

정신모형은 협업의 맥락에서도 인간과 물리적 시스템간의 상호작용을 설명할 수 있다(Mathieu *et al.*, 2000). Klimoski & Mohammed

(1994)는 정신모형을 개인이 외부 현상을 이해하는 인식의 틀 수준에서 벗어나 그룹 수준에서 일어나는 시스템에 대한 이해로 개념화하였다. 협업 맥락에서 집단이 가지고 있는 정신모형을 ‘공유된 정신모형(shared mental model)’이라 한다. 공유된 정신모형은 그룹 구성원에 의한 지식의 정신 표상이 오버랩 되는 것을 의미한다. Cannon-Bowers *et al.*(1993)은 공유된 정신모형을 ‘과제에 대한 정확한 설명과 예측을 구성하도록 할 뿐 아니라 과제와 다른 구성원이 요구하는 행동을 받아들이고 수행을 조직화할 수 있도록 집단 구성원이 가지고 있는 지식 구조’라고 정의하였다. 정신모형은 존재론, 인식론적 신념 뿐 아니라 개인적 경험이나 학습에 의존하기 때문에(Vosniadou, 1994) 개개인이 세상을 보는 눈은 각각 다 다르다. 따라서 집단 구성원이 협업으로 문제를 해결하고자 할 경우, 개인의 정신모형에 따라 문제에 대한 인식, 즉 무엇이 변인이고 그에 따른 결과가 어떻게 되는가에 대한 해석은 각각 다르게 나타날 것을 예상할 수 있다.

이에 따라 그룹 구성원들은 과업이 가지고 있는 핵심 요소에 대한 공통의 정신 표상을 갖기 위해서 스스로의 정신모형을 변화시킨다. 이러한 정신모형의 변화는 팀 학습이나 협력 학습을 연구하는 학자들에 의해 다양한 방식으로 분석되었다. Mohammed & Dumville (2001)는 그룹 상호작용의 과정을 통한 정신모형의 발전, 수결과 정교화로 정의된 팀 학습의 유의미한 역할을 강조하였다. 또한 Jeong & Chi

* 교신저자 : 이지원 (jiwonlee@knue.ac.kr)

** 이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014S1A5B5A02014557).
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.6.1049>

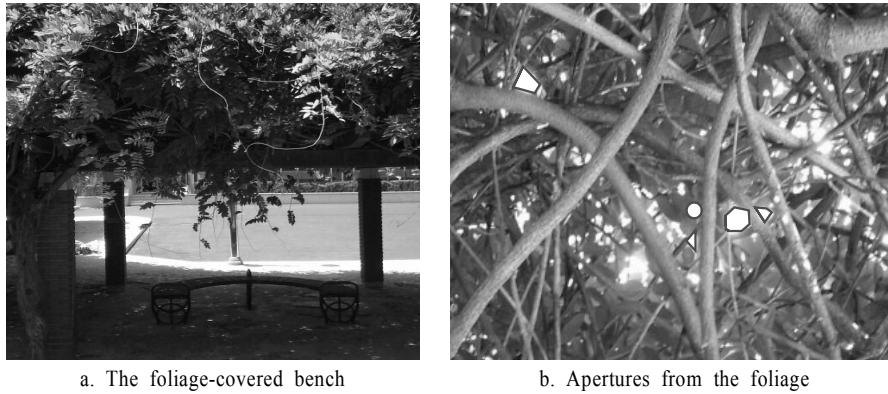


Figure 1. Sunshine through foliage problem

(2007)는 팀 내 상호작용의 양과 지식 융합의 관계를 연구하여 협력 학습의 이점을 확인하였다. Fischer & Mandl (2005)는 협력 학습에서 몇 개의 팀워크 사례의 분석에 기반한 공유된 지식이 어떻게 담화에 연관되는지에 대한 잠정적 지표로 보여주었다. Van den Bossche *et al.*(2011)은 팀 학습은 사람들이 어떻게 지식을 공유하는지에 대한 통찰을 제공하였고, 특히 팀 학습 행동은 공동 구성(co-construction)과 건설적 갈등(constructive conflict)이 공유된 정신모형의 개발과 관련이 있음을 드러내었다. 또한 과제에 대한 공유된 정신모형은 수행을 발전시키며 이는 팀워크를 위해 공유된 인지의 개발이 중요함을 강조하였다.

그룹의 지식 융합과 협력, 공유된 정신모형에 대한 이러한 연구결과들은, 협업을 통한 학습의 이득을 양적으로 분석하여 정신모형이 공유되면 협업이 효과적으로 일어나고 그로 인한 이득도 커진다고 주장한다. 하지만 이러한 이득을 얻게 되는 근본적인 이유에 대한 분석은 부족하다. 예를 들어 Jeong & Chi (2007)의 경우, 집단 내에서 융합 가능한 지식의 총량을 그룹 구성원 개인이 가진 지식의 총량과 동일시하고 있다. 하지만 개인의 지식 총합만으로 공유된 정신모형이 구성된다면 집단에 의한 시너지 효과를 설명하기에 부족하다. 물론 개인이 원래 가지고 있던 정신모형만으로 문제를 해결하는 것에 비하여 논의를 통한 공통 아이디어가 많아지면 아이디어 풀이 확장되는 것이므로 문제해결에 유리한 것은 사실이다. 하지만 만약 문제해결 이전에 이미 집단 구성원의 정신모형이 많은 부분 공유되어 있을 경우, 협업을 통한 시너지 효과를 기대하기 어렵다. 논의 후 최종적으로 공유된 정신모형은 공통 아이디어와 개별 아이디어의 합을 넘지 못한다. 이는 논의 전에 이미 집단 구성원이 수행할 수 있는 문제해결의 수준이 결정되어 있다는 것을 의미하기도 한다. 협업에 의한 시너지 효과가 어느 정도 수준까지 가능한지 알기 위해서는 협업을 통해 공유된 정신모형이 구성원 개인의 정신모형의 합보다 더 큰 경우가 가능한지를 조사할 필요가 있다. 이를 위해서는 어떤 요소가 집단의 정신모형에 공유되는지를 알아야 한다(Mohammed *et al.*, 2000). 또, 협업적 문제해결과정에서 각 아이디어가 제안되고 공유되는 순서 또한 공유된 정신모형을 측정하는데 매우 중요한 요소 중 하나이다. 아이디어가 제안되는 순서는 그 집단이 생각하는 아이디어의 중요도를 나타내는 척도이다. 하지만 공유된 정신모형에서 아이디어의 합산을 양적으로 분석할 경우, 공유 과정이 주는 정보를 잃게 되어 공유되는 모든 아이디어는 언제 제안되고 공유되었는가와 상관없이 같은 값을 갖게 되는 문제가 있다.

따라서 이 연구에서는 협업에 의한 시너지 효과가 일어나는 원인을

파악하기 위하여, 중학교 과학영재 10명이 하나의 그룹을 이루어 협업적으로 문제를 해결하는 과정을 미세 분석하고자 한다. 이를 통해 첫째, 어떤 요소가 집단의 정신모형에 공유되는지, 둘째, 이것이 어떤 과정을 거쳐 공유되어 가는지를 구체적으로 알아볼 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구에는 대학부설 영재교육원 소속 중학교 3학년 과학 영재 10명(남학생 5명, 여학생 5명)이 참여하였다. 이 학생들은 서류심사와 심층면접, 최종 선발의 3단계 전형을 거쳐 영재교육 대상자로 선발되었다. 이들은 초등학교와 중학교에서 기하광학에 대하여 학습하였으며, 학습한 개념의 심화 및 응용에 해당하는 문제를 협업적으로 해결하는 과정을 경험하기에 적합하다고 판단되어 연구 참여자로 선정하였다. 이 연구에서 사용된 문제를 이해하고 해결하기 위해서는 빛의 직진성, 광원에서 빛의 발생과 같은 기본적인 과학 개념을 가지고 있어야 한다. 교육과정에 포함되어 있었다고 해서 연구 대상자들이 모두 올바른 과학적 개념을 갖추고 있을 것이라고 확신할 수 없기 때문에 이 연구에서 제시한 문제를 해결할 수 있는 지식을 갖추고 있는지 확인할 필요가 있다. 광원과 빛의 진행 개념 검사(Lee, 2015)를 시행한 결과, 학생들은 크기가 큰 광원에서 빛의 발생을 마치 점광원처럼 생각하는 경향이 있었다. 또한, 직진하던 빛이 작은 구멍을 통과하면 사방으로 퍼질 것이라는 생각을 하기도 하였다. 이에 따라 문제를 제시하기 전 광원과 빛의 진행에 대한 간단한 강의와 시범실험을 수행하였다. 강의의 내용은 첫째, 점광원은 사방으로 빛을 낸다는 것, 둘째, 태양과 같이 크기가 큰 광원은 점광원의 집합이라는 것, 마지막으로 빛은 작은 구멍을 통과할 때에도 계속 직진한다는 것이다.

2. 제시한 문제

학생들에게 제공한 문제는 다음과 같다.

Figure 1(a)는 잎이 무성한 등나무 의자의 모습이다. 맑은 날, 햇빛이 Figure 1(b)처럼 등나무 잎사귀가 만드는 다양한 모양의 구멍을 통과하여 의자와 바닥에 비추었을 때, 통과한 빛은 어떤 모양을 만들까? 바닥에 비추는 빛의 모양을 예상하여 그림으로 그리고 설명하시오 (Park, 2015).

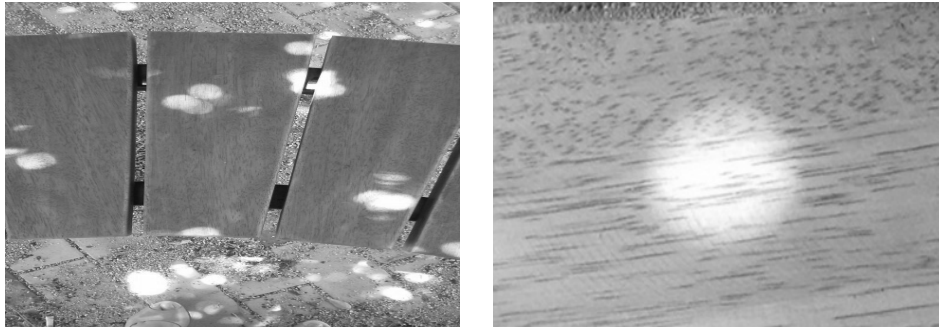


Figure 2. Shine shapes on the bench through the gap(aperture) of dense foliage

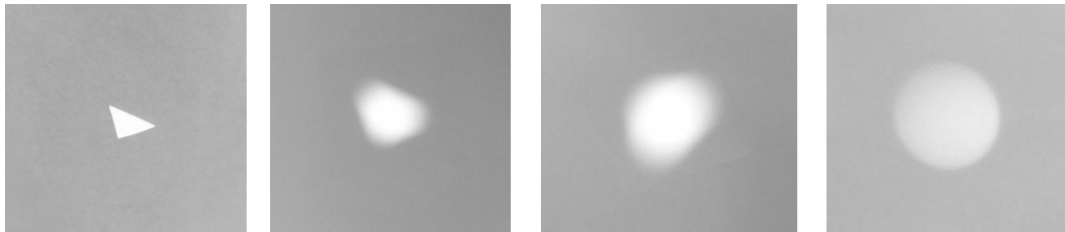


Figure 3. Change of the shine shape by varying distance between a triangular aperture and the screen when a light source is the sun. (When aperture size is 0.5 cm², distance of the bench from a aperture in the foliage is 0.1 m, 0.7 m, 1 m, 2 m from left)

Figure 1과 같은 상황에서, 등나무 잎사귀 사이의 구멍이 바늘구멍 사진기의 바늘구멍과 같은 역할을 하여 바닥과 의자 위에는 Figure 2와 같이 태양의 모양, 즉 원형의 빛 모양이 생기게 된다.

하지만 모든 상황에서 햇빛이 의자 위에 원 모양을 만들어 내는 것은 아니다. 등나무와 바닥 사이의 거리, 잎사귀들이 만드는 구멍의 크기 등에 따라 빛이 만들어내는 모양은 변할 수 있다. 예를 들어, 등나무와 의자 사이의 ‘거리’에 따라 틈새를 통과하여 햇빛이 비친 모양이 달라진다. Figure 3은 광원이 태양일 때 등나무 잎사귀 사이의 구멍이 삼각형인 경우를 가정하여 삼각형 구멍이 뚫린 판을 만들고 이를 통과한 햇빛이 바닥에 만드는 모양을 찍은 것이다. Figure 3의 왼쪽은 바닥과 구멍 뚫린 판의 거리가 가까운 것(0.1 m)이고 오른쪽으로 갈수록 둘 사이의 거리가 점점 멀어진다. 즉 등나무 천장이 매우 낮아 바닥과 구멍 사이의 거리가 가까우면 바닥에는 구멍 모양이 보이게 되고(Figure 3의 왼쪽), 바닥과 구멍 사이의 거리가 점점 멀어질수록 원형, 즉 태양의 모양에 가까워지게 된다(Figure 3의 오른쪽).

거리에 따라 이렇게 다른 모양이 만들어지는 이유는 Figure 4와 같다. 태양은 일정한 면적을 가지는 광원으로, 점파원의 집합이다. 태양과 스크린 사이에 삼각형 구멍이 뚫린 가림판을 두어 구멍을 통과한 빛이 스크린에 맺힌 모습을 관찰하면 가까이 있는 스크린에는 각 점에서 출발한 빛이 삼각형 구멍을 통과하며 만드는 삼각형 모양이 거의 겹쳐 있어 전체적으로 삼각형 모양인 것을 확인할 수 있다(Figure 4의 가운데). 스크린이 그보다 조금 더 떨어져 있는 경우에는 태양의 각 점에서 출발한 빛이 삼각형 구멍을 통과하여 만드는 모양이 여전히 겹쳐있지만 원형에 가까워진 것을 볼 수 있다. 마지막으로 스크린이 가장 멀리 떨어져 있는 경우(Figure 4의 오른쪽 위)에는 태양의 각 점에서 출발한 빛이 만드는 삼각형(번호로 표기)이 사이가 벌어져 거의 원형에 가까게 분포한 것을 볼 수 있다. 번호가 매겨진 태양의 점들은 그 점에서 출발하는 빛이 가림판을 지나 스크린의 어느 위치에 도달하는지를 설명해준다. 번호를 매기지 않은 태양 내부의 점들에서

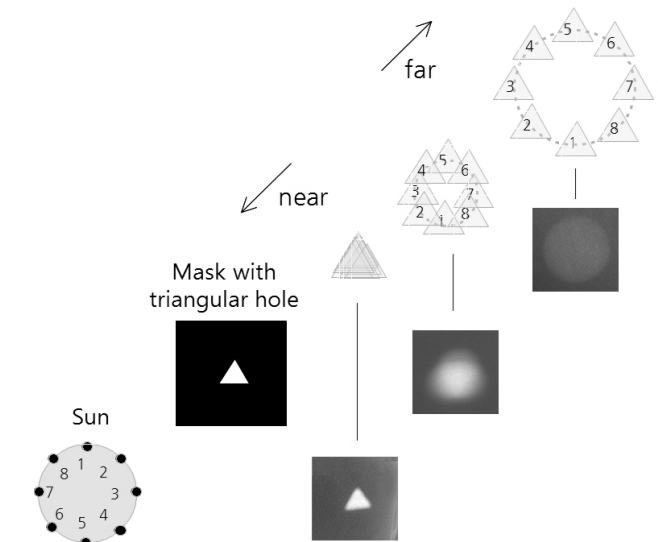


Figure 4. Analyzing the shine shape by varying distance between the triangular aperture and the screen when a light source is the sun

출발한 빛까지 고려하면 전체적으로 원형이 되는 것을 예측할 수 있다.

문제 해결자가 광원과 빛의 진행에 대하여 올바른 과학적 개념을 가지고 있다면 이러한 조건 변화의 결과로서 어떤 현상이 일어날지에 대하여 충분히 예측할 수 있다.

이 문제는 다음과 같은 세 가지 특징을 가지고 있다.

첫째, 주어진 상황을 해석하여 변인을 찾고 어떤 현상이 일어날지 추론하여 예측가설을 세우기를 요구하는 문제이다. 문제를 함께 해결하는 그룹에서 가장 먼저 공유해야 할 것은 문제에 대한 인식이다(Lee & Kim, 2013). 이 상황을 어떻게 해석하는지, 변인을 무엇으로 보느냐에 따라 일어날 현상에 대한 예측 결과가 달라지기 때문이다. 문제와 변인파악은 가설생성을 위한 문제해결의 초기 단계로서 매우 중요하다. 이는 문제해결을 위한 탐색 과정 중 가설공간의 탐색(Klahr &

Dunbar, 1988)에 해당하며 문제해결의 방향을 결정하는 역할을 한다. 즉 이 문제를 제시하였을 때 각 개인이, 또 집단이 변인을 무엇이라고 생각하였는지, 어떤 현상이 일어날 것이라고 예측하였는지 그 결과를 분석해보면 현상을 해석하는 인식의 틀, 즉 그들의 정신모형이 어떠한가를 쉽게 파악할 수 있다.

둘째, 빈약하게 정의된 문제(ill-defined problem)이다. 이 문제는 문제 변인이 상세하게 기술되어 있지 않기 때문에 문제를 해결하기 위해서는 문제 해결자가 이러한 변인을 찾아 문제를 정교화할 필요가 있다. 이렇게 정보가 부족한 문제의 경우 여러 가지 상황을 고려해야 하기 때문에 개별 문제 해결자가 가지고 있는 정신모형이 잘 드러날 뿐만 아니라, 정신모형을 공유하여야 할 필요성이 더욱 높아진다는 장점이 있다. 이 문제에서 등나무 잎사귀가 만드는 구멍과 바닥 사이의 거리, 구멍의 크기 등의 정보는 명시적으로 주어지지 않는다. 따라서 문제 해결자는 이러한 변인들을 찾아내어야 하고 이 변인에 따라 상황이 어떻게 바뀔지도 예측하여야 한다.

셋째, 사고실험에 기반한 문제이다. 여기서 사고실험이란 Clement (2008)가 분류한 사고실험의 수준 중 가장 좁은 의미에 해당하는 것으로, 결과를 예측하고, 구체적인 시스템 혹은 모델을 디자인하거나, 과학적 개념, 모델, 이론을 평가할 대상을 선정하는 역할을 한다. 이 문제는 문제 해결자가 주어진 상황에 관련된 변인들을 구체화하여 시스템을 디자인하고, 앞으로 일어날 현상을 예측해야 한다. 사고실험에 기반한 문제를 협업으로 수행할 경우 개인의 머릿속에서 정신 시뮬레이션한 결과를 말이나 2차원 상의 그림으로 설명하여 동료 간에 공유해야 한다는 점이 어려움으로 작용할 수 있다. 또, 실험 문제를 해결할 때에는 실험 결과가 가시적으로 나타나서 가설을 평가하기 용이하지만, 사고실험에 기반한 문제를 해결할 때에는 문제 해결자의 머릿속에서 구성된 모형을 따라 결과가 나오는 것이기 때문에 가설에 대한 평가 작업 역시 모형을 따르게 되어 평가가 어렵다. 따라서 이 연구에서 제시한 문제는 문제 해결자들이 머릿속에서 형상화한 것을 서로 공유하여야 한다는 점과 가시적인 결과 확인이 어렵다는 점에서 높은 사고 수준을 필요로 한다.

이러한 특성을 갖는 빛 모양 문제가 협업적 문제해결과정을 관찰하기에 적합한 문제인지 검증할 필요가 있다. 이 연구에서는 협업적 문제해결과정에서 어떤 요소가 집단의 정신모형에 공유되는지, 그리고 이것이 어떤 과정을 거쳐 공유되어 가는지를 구체적으로 알아보고는 것이 목표이다. 따라서 개인의 정신모형을 충분히 드러낼 수 있는 문제여야 한다. 위에서 제시한 바와 같이, 빛 모양 문제는 변인들이 문제에서 충분히 드러나지 않아 변인들을 찾아내어 이를 기반으로 예측가설을 세워야 하는 빈약하게 정의된 문제이다. 따라서 이 문제는 협업적 문제해결과정을 관찰하기에 적합한 문제라 볼 수 있다.

3. 자료 수집

문제를 해결하는데 필요한 과학개념에 대한 설명이 끝난 이후, 다음과 같이 3단계로 연구가 진행되었다. 문제를 제시한 후, 먼저 영재 학생들의 개별적 정신모형을 분석하기 위하여 문제에 대한 자신의 생각을 개별적으로 답하도록 하였다. 20분 동안 문제에 주어진 조건에서 발생할 현상에 대한 자신의 예측과 예측 근거를 글과 그림으로 표현하도록 하였고 이 자료는 수집되었다. 다음 단계로, 10명의 영재 학생들

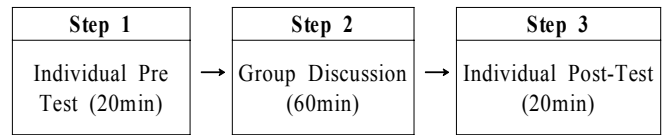


Figure 5. Procedure of research

이 자신의 예측 결과를 기반으로 토론을 시작하였다. 시간은 1시간이 주어졌고, 토론은 학생들끼리 자유롭게 대화를 나누는 방식으로 진행되었다. 이 과정은 녹음되었고 전사되었다. 마지막으로 논의 결과를 바탕으로 자신이 생각하는 문제의 답을 개별적으로 글과 그림으로 표현하도록 하였다. 이렇게 수집된 자료를 바탕으로 협력적인 문제해결 과정을 분석하였다(Figure 5).

4. 자료 분석

많은 선행 연구에서는 그룹의 정신모형 공유가 팀워크에 어느 정도의 영향을 미치는지, 혹은 팀 행동이 팀워크, 혹은 정신모형의 공유에 어느 정도 영향을 미치는지를 양적으로 분석하기 위하여 양적 분석방법을 개발하여 적용하였다(Jeong and Chi, 2007; Fischer and Mandl, 2005; Van den Bossche *et al.*, 2011). 하지만 이 연구에서는 협업적 문제해결과정에서 실제로 정신모형이 공유되는 장면을 포착하고 이를 분석하고자 하기 때문에, 공유된 정신모형을 분석할 수 있는 질적 분류틀이 필요하다.

이 연구에서는 정신모형이 외부 환경에 대한 묘사와 설명, 그리고 미래 시스템을 예측하게 하는 개념적 틀(Johnson-Laird, 1983)이라는 정의에 따라, 공유된 정신모형을 현상에 관계된 변인, 현상에 대한 설명으로서의 정신 시뮬레이션, 나타날 현상에 대한 예측이 합해진 종합적인 것으로 보았다. 개인이나 집단이 변인을 어떻게 설정하느냐는 정신모형을 설명하는 핵심 요소로서, 변인을 무엇으로 선정하였는지가 결정되면 정신 시뮬레이션과 결과 예측은 변인에 종속된다. 따라서 다음의 두 가지 질문에 대한 답을 학생들의 응답 속에서 찾아내면 된다. 첫 번째는, 학생들은 주어진 문제에서 어떤 변인이 문제와 관련이 있다고 생각하는가, 두 번째는, 주어진 문제에서 그 변인은 어떤 영향을 미쳐 어떤 결과를 만들어내는가이다.

우선 변인의 경우, 구멍을 통과한 빛이 바닥에 어떤 빛 형태를 만드는지에 대하여 물었을 때, 학생들이 생각한 변인은 광원(S), 구멍과 바닥 간 거리(D), 태양고도(sA), 등나무 틈새(A), 지구의 모양(E)의 다섯 가지이다(Table 1). 각각을 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 이 문제에서 광원은 태양이므로 크기가 큰 광원으로 인식하고 문제에 접근하여야 한다. 하지만 일부 학생은 태양을 마치 점광원처럼 중심에서부터 단일 광선이 방사형으로 나온다고 생각하거나(Sr), 평행광이 나온다고 생각하는 경우(Sp)가 있어서 이를 따로 분류하였다. 거리의 경우, 바닥에서부터 등나무 틈이 있는 지붕까지의 거리가 가까운 경우(Dn), 문제의 사진에 제시된 바와 같이 일반적인 높이인 경우(Dm), 마지막으로 매우 높은 경우(Df)로 나누었다. 그 외에 아침, 점심, 저녁의 태양고도에 따른 바닥의 빛 모양 변화를 의미하는 태양고도 변인, 등나무 지붕에서 나뭇잎 틈새의 크기와 개수, 지구의 모양 변인으로 나눌 수 있었다.

학생들은 문제해결과정에서 등나무 틈새를 통과하여 바닥에 생긴

Table 1. Codes of variables which are related with the problem (shine shape)

Variables of Shape	Code	Examples of expression (statements)	
Source of light	S	The sun is a circular light source.	
	Sr	The sunlight has radial rays	
	Sp	The sunlight has parallel rays	
Distance of the bench from a aperture in the foliage	far	Df	When the distance is far enough, then the shape will be a circle. Around 10km?
	middle	Dm	When the distance is near, the shape will be like the aperture. By the way, the shape will be a circle when the distance is far enough.
	near	Dn	Though the gap has not been changed, the shape of the light source can be modified with the direction of the sun.
Sun's Altitude	sA	Since the aperture is not just one(fixed), the light come from not just one way.	
Aperture in the foliage	Number	An	Aperture is too small to pass..
	Size	As	We have to consider about the shape of the earth.
Shape of the earth	E		

Table 2. Codes of variables which are related with the problem (Intensity of light)

Variables of Intensity of light	Code	Examples of expression (statements)
Overlap	Io	When the lights are gathered, where the overlapped lights are bright, and the others are not.
Distance	Id	The farer distances the intensity of the light is weaker.

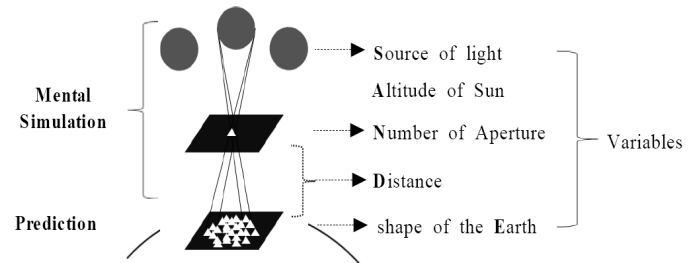


Figure 6. Intuitive diagram of mental model

Table 3. Types of Mental models

Prediction	Types of Mental models					
Aperture shape						
Circle shape						
Non-shape						

빛의 모양 그 자체만을 생각한 것이 아니라 크기 및 빛의 밝기도 함께 포함하여 생각하였다. 이에 따라 빛의 밝기에 대한 코드도 함께 작성하였다(Table 2). 빛의 밝기는 빛의 중첩(Io)과 거리(Id)의 두 가지 변인으로 분류하였다. 빛의 중첩의 경우, 태양이 크기가 큰 광원이므로 등나무 틈을 통과한 빛이 중첩되면 밝기가 밝아지고 그렇지 않을 경우 어두워진다는 의미이다. 거리의 경우, 태양의 가장자리에서 출발한 빛이 구멍을 통과할 경우, 중심에서 출발한 빛보다 상대적으로 거리가 멀기 때문에 빛의 밝기가 어둡고, 중심에서 출발한 빛은 밝다는 의미이다.

다음으로, 학생들이 이러한 변인들이 문제 상황에 어떤 영향을 주었고 어떤 결과를 만들어낸다고 생각하는지를 알아보기 위해서는 이 변인들을 조합하여 정신 시뮬레이션을 하면 어떠한 결과가 예측되는지를 알아보면 된다. 다음의 다이어그램(Figure 6)은 학생들이 생각했던 변인과 그 작용(정신 시뮬레이션)과 이에 따른 예측 결과를 모두 나타내어 준다.

이러한 방법으로 정신모형을 분류하였을 때, 등나무 틈을 통과한 빛이 바닥에 만드는 모양의 예측 결과에 따라 세 가지 유형으로 나눌

수 있었다. 첫 번째는 틈새 모양, 두 번째는 원 모양, 세 번째는 형태 없음이다. 각각의 형태 유형은 변인에 따라 다시 세부적으로 분류할 수 있다. 정신모형을 표현할 때에는 Figure 6에 제시한 다이어그램으로 표현하고, 명확한 표현을 위하여 변인의 조합도 다이어그램 아래쪽에 함께 표기하였다. 분류된 구체적인 정신모형의 종류는 Table 3과 같다. 두 명의 연구자가 정신모형을 코딩하였고, 평가자간 일치도 (Cohen's kappa)는 .92였다.

작성된 두 개의 분류틀, 즉 학생들이 문제에 관련되었다고 생각하는 변인의 분류틀과 학생들이 가지고 있는 문제에 대한 정신모형의 분류틀은 개인의 정신모형과 집단의 정신모형을 모두 표현할 수 있다.

또 협업적 문제해결과정에서 개인 정신모형의 어떤 요소가 집단에 공유되는지를 알아보기 위해서는 각 요소와 그들의 관계에 대한 구체적인 개념정리가 필요하다. 이 연구에서는 Jeong & Chi (2007)가 제안한 분류방식에 따라 그룹 구성원 개인이 가지고 있는 정신모형에서 구성원 모두가 이미 가지고 있는 생각을 공통 아이디어(common idea), 개인이 특별히 가지고 있는 생각을 개별 아이디어(unique idea)라 하고자 한다. 예를 들어, Figure 7에 제시한 바와 같이 s1과 s2의 정신모형

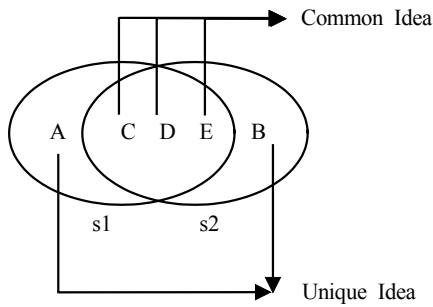


Figure 7. Common idea and unique idea about variables

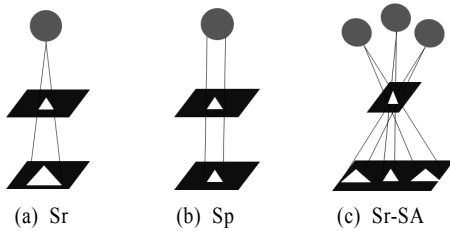


Figure 8. Mental models of aperture shape

이 있을 때, 변인 A-C-D-E의 집합이 s1의 정신모형, 변인 B-C-D-E의 집합이 s2의 정신모형이다. s1과 s2가 생각해낸 변인에 대한 아이디어 중 A, B가 각각의 개별 아이디어, C, D, E가 공통 아이디어이고, s1과 s2의 교집합이자 변인들의 조합인 C-D-E는 공유된 정신모형이라 할 수 있다.

III. 연구 결과

1. 집단의 정신모형에 공유되는 요소

가. 초기 공통 아이디어 중 가장 과학적인 개념의 공유

등나무 잎사귀 틈새로 햇빛이 비치는 벤치 위에 어떤 모양이 보일까에 대해 협업적 문제해결 전 구성원 개개인의 정신모형을 분석한 결과, 집단 구성원 열 명에게서 총 일곱 가지의 정신모형이 나타났다. 이는 크게 틈새 모양, 원 모양, 형태 없음의 세 가지 유형으로 분류할 수 있었다. 각 예측 결과에 해당하는 정신모형을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 바닥에 생기는 빛 모양을 틈새 모양과 같다고 예측한 경우의 정신모형은 세 가지로 나누어졌다. 첫 번째는 태양에서 출발하여 구멍을 통과한 빛이 그대로 직진하기 때문에 틈새와 모양이 같고 크지만 조금 더 커질 것이라고 예측한 학생들의 정신 모형이다(Figure 8 왼쪽). 이 정신모형은 광원(Sr) 변인이 포함되어 있는데, 태양에서 빛이 방사형으로 나오기 때문에 틈새와 같은 모양이고 크기가 큰 빛 모양이 나타난다고 생각하였다. 즉 태양을 하나의 점광원처럼 생각한다고 볼 수 있다. 두 번째 모형(Figure 8 가운데)은 태양 광원에서 발생한 빛은 평행광이기 때문에(Sp) 첫 번째 모형과 같이 모양은 틈새 모양으로 생각할 수 있으나, 크기는 틈새의 크기와 동일하다는 모형이다. 세 번째는 첫 번째 모형과 마찬가지로 태양의 한 점에서 방사형으로 빛이 나오지만 태양의 고도가 변함에 따라 모양과 크기가 달라질 것이라는 모형이다. 즉 이 모형은 광원(S) 변인 이외에 태양의 고도(SA) 변인을

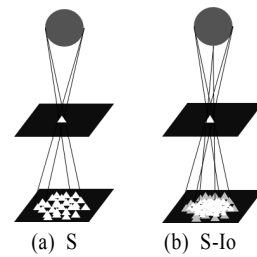


Figure 9. Mental models of circle shape

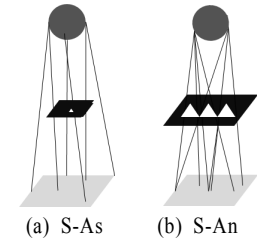


Figure 10. Mental models of non-shape

가지고서 현상을 예측하고 있다. 세 모형 모두 광원이 중요한 변이나, 광원에서 빛이 어떻게 나오는가에 대한 개념은 서로 달랐다.

원형으로 예측한 경우의 정신모형은 크게 두 가지로 나누어졌다(Figure 9). 먼저 태양이 점광원의 집합이고 틈새를 지난 수많은 빛이 직진하기 때문에, 바닥에는 태양의 각 점에서 나온 빛이 만드는 틈새와 같은 모양이 무수히 많이 생기게 되고 이로 인해 전체적으로 광원인 태양의 형태를 만들 것이라는 모형이다. 이 정신모형을 분석해보면 역시 광원을 중요한 변인으로 설정하고 있는데 태양이 점광원의 집합인 크기가 큰 광원이라는 과학적 개념을 가지고 있다. 두 번째 모형은 바닥에 만들어진 원 모양의 가장자리에 도달하는 빛이 가운데 부분에 도달하는 빛보다 적기 때문에 가운데는 중첩에 의해 밝고 주변은 흐린 원형이 될 것이라는 모형이다. 이 모형은 첫 번째 모형과 같은 광원 변인을 가지고 있지만 빛의 중첩(Io)이라는 변인이 추가되었다.

마지막으로 형태가 없을 것이라고 예측한 경우 또한 정신모형이 두 가지 경우로 나누어졌다(Figure 10). 첫 번째는 등나무 틈새가 좁기 때문에 빛이 통과하지 못해서 어두운 뿐 어떠한 형태가 생기지는 않는다는 모형이다(Figure 10(a)). 두 번째는 등나무 잎사귀가 만드는 틈새가 많기 때문에 태양의 각 점에서 출발한 빛이 각각의 구멍을 통과하면 결국 바닥에는 골고루 빛이 도달하고 이에 따라 형태가 나타나지 않을 것이라는 모형이다(Figure 10(b)). 두 모형 모두 학생들의 답안에 그려진 그림을 통해 점광원의 집합이라는 광원 개념을 가지고 있음을 알 수 있다. 하지만 첫 번째 모형의 경우는 틈새의 크기(As)를 중요한 변인으로 보았고, 두 번째 모형은 틈새의 개수(An)를 중요한 변인으로 보았다.

Table 4는 집단 구성원의 협업적 문제해결 전 나타난 개별 정신모형을 예측한 빛 모양 별로 구분한 것이다. 정신모형은 총 일곱 가지로 분류되었다. 이를 바탕으로 논의 전에 구성원들이 가지고 있던 변인에 대한 아이디어를 살펴보면 크게 두 가지 특징을 찾을 수 있다. 첫째, 집단 구성원 모두가 이 문제를 광원에 관련되어 있다고 표상하고 있었다. 즉 광원은 협업적 문제해결 전 집단 구성원들이 가지고 있던 공통 아이디어라 볼 수 있다. 그 외에 빛의 세기 변인(Io), 태양고도 변인(SA), 그리고 틈새의 개수(An)와 크기(As) 변인과 같은 개별 아이디어가 나타났다. 둘째, 변인에 해당하는 개념이 다르면 같은 종류의 변인

Table 4. Classification of the early predictions, mental models and variables of individual participants

Prediction	aperture shape			circle shape		non-shape	
Mental model							
Variables	Sr	Sp	Sr-SA	S	S-Io	S-An	S-As
Subject	s6	s7, s9, s10	s8	s2, s3	s1	s4	s5

의 조합이라도 다른 정신모형이 만들어졌다. 광원에 대한 개념은 문제 투입 전 간단한 강의를 통해 학습을 하였음에도 불구하고 여전히 문제에 적용할 때에는 자신이 원래 가지고 있던 개념을 적용하였다.

협업적 문제해결이 시작되자, 논의의 초기에 가장 먼저 언급하기 시작한 것은 광원 변인이다. 하지만 광원 변인은 앞서 서술한 바와 같이 집단 구성원이 모두 가지고 있지만, 다른 종류의 개념을 가지고 있었다. 그 중 논의에서 제안된 것은 태양의 각각의 점에서 빛이 사방으로 나아가는 면광원 개념을 기반으로 한 예측결과이다. 태양이 면광원이라는 언급 이후에, 바늘구멍 사진기의 원리에서 유추하여 현상을 설명하였다. 즉 등나무 잎사귀 사이의 틈새가 바늘구멍 사진기의 구멍 역할을 하여 태양의 각 점에서 나온 빛이 구멍 형태를 만들고 이 형태들이 모여 벤치에는 뒤집힌 광원 모양이 생긴다고 설명하였다.

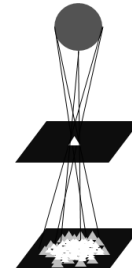


Figure 11. S-Io mental model

협업적 문제해결 전 크기가 큰 광원이 점광원의 집합이라는 사실에 대하여 설명을 들었음에도 불구하고 구체적인 문제상황이 주어지자 이를 적용하지 못하고 자신이 원래 가지고 있던 태양 광원에 대한 개념(Sp 또는 Sr)을 적용하였다가, 다른 구성원의 의견을 듣고 난 후 크기가 큰 광원의 개념을 적용하였을 때 배운 것을 더 잘 적용할 수 있는 그럴듯한 설명이 가능한 것을 깨닫게 되어 최종적으로 이 개념이 집단의 정신모형에 공유된 것을 알 수 있다.

나. 개별 아이디어의 공유

학생들이 논의를 시작하기 전부터 원래 가지고 있던 변인에 대한 개별 아이디어 네 가지(빛의 중첩, 등나무 잎 틈새의 개수, 태양고도 변인)가 함께 논의되었다. 각 개별 아이디어들은 구성원이 함께 평가하여 수용과 거부 여부를 결정하였다. 각각의 변인에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

a. 빛의 중첩 변인(Io)의 공유

s1은 초기의 개별적 정신모형의 분석에 의하면 빛의 중첩 변인을 가지고 있었고, 이를 논의 과정에서 언급하였다. Figure 11과 같이 태양이 면광원이며 구멍의 수직 위에 위치하였다고 가정하였을 때, 태양의 가장자리에서 온 빛은 구멍을 비스듬하게 통과하게 되므로 빛의 세기가 약해지고, 그에 반해 태양이 연직 윗방향에서 빛을 비출 때에는 가운데 부분으로 가는 빛이 많이 겹쳐져 빛의 세기가 크기 때문에 더 밝을 것이라 주장하였다. 이에 대하여 s4는 긍정하는 모습을 보였다. s1이 자신의 개별 변인을 집단 내에서 공유하고자 시도 하였을 때, 다른 구성원(s4)이 납득할 수 있는 설명을 요구하였고, 이 질문에 수긍함으로써 정신모형이 공유됨을 알 수 있었다.

s1: 직진해서 들어가는 빛은 등나무를 통해서 직진해서 들어가게 되면은

- s9: 어땠더라. 기억이 안나. 등나무 그림자 밖에 없었는데.
- s1: 태양은 면광원이잖아. 태양의 모양을 따라가. (그림으로 설명)
- s7: 아, 그렇겠네.
- s2: 아까 전구를 봤을 때 그 모양이 반대로 나왔잖아. 그렇기 때문에 원래 이것도 반대로 나오는데 원은 반대 구분이 없기 때문에 똑같이 보이게 될 거야.
- s3: 면광원은 그 모양을 반대로 보이게 하기 때문에 태양도 보면 면광원이잖아. 원이기 때문에 상하좌우가 반대되는데 원이니까.
- s9: 이렇게 되는데, 원이?
- s8: 그럼 원투성이야 저 밀이?
- s1: 전체 모양은 원이고. 구멍 모양이 여러 개 모인거지.
- s9: 그러네.

s1이 면광원 개념을 주장하자, 논의 전에 같은 모형을 가지고 있던 구성원들(s2, s3)이 동의를 표현하며 추가설명을 하였다. 태양의 중심에서 방사형으로 뻗어나가는 광원 개념(Sr)이나 태양에서 평행광이 나오는 광원 개념(Sp)은 논의에서 언급되지 않았고, 이러한 개념을 가지고 있던 학생들 중 일부(s7, s8, s9)가 점광원의 집합인 크기가 큰 광원 개념에 기반한 예측에 대해 동의를 표현하였다. 태양의 중심에서 방사형으로 뻗어나가는 광원 개념(Sr)이나 태양에서 평행광이 나오는 광원 개념(Sp)을 가진 나머지 학생들(s6, s10)은 적극적으로 동의를 하지는 않았지만, 반론을 제기하지도 않았다. 최종 개별적 정신모형 분석 결과, 집단의 모든 학생들이 점광원의 집합인 크기가 큰 광원 개념을 사용하고 있는 것으로 보아, 이 공통 아이디어는 집단의 정신모형에 공유되었음을 알 수 있다.



Figure 12. S-An mental model

등나무 사이의 모양이 좀 더 선명하게 보이고 약간 비스듬하게 들어가면은 주변은 약간 원모양이..주변은 좀 더 둥그스름하게 희미한 빛으로 ..선명한 부분과 희미한 부분으로 ..

s4: 왜 흐려?

s1: 빛이 들어가는 양이 적어서..겹쳐지는 부분..여기는 여기같은 부분은 빛이 여기에 가려져 있기 때문에 이렇게 들어가고 가운데는 많이 들어가고.틈이 있으면은 주변을 다 가린거 같아. 빛이 이런 가려진 곳은 튕겨나가잖아. 그리고 나머지 부분은 여기로 들어오게 되는데 여기서 출발한 빛과 여기서 출발한 빛이 여기에 이렇게 모이는데 모인 빛 중에서 겹치는 부분은 빛의 양이 많고 아닌 부분은 흐려. 어쨌든 빛이 여러 방향으로 들어오니까 삼각형 구멍이라 치면은 삼각형, 삼각형, 이렇게 되는데 삼각형이 겹치는 부분은 빛이 밝아진다는 소리야.

s4: 니 말이 맞는 거 같애.

b. 등나무 틈새의 개수 변인(An)의 공유

틈새의 개수 변인 또한 s4의 개별 변인으로 존재하던 것이다. 이를 ‘방충망’ 비유를 이용하여 집단 논의에 등장시켰다. 등나무에 방충망 처럼 구멍이 많을 경우, 다른 구멍을 통해 빛이 가는 반그림자의 영역이 넓기 때문에 흐려진다는 설명이다(Figure 12). 문제 해결 이후의 인터뷰에 의하면 s4는 반그림자의 용어에 대해서는 잘 모르고 있었지만, 사고실험을 통해 반그림자의 원리를 문제 해결에 적용하였음을 알 수 있다.

s4: 방충망 들면 구멍(그림자) 없어지지 않나?

s2: 그림자가 없어진다?

s4: (빛이) 뚫린 걸 지나면서 퍼졌잖아. 태양은 면광원이니까 (그림자 부분) 이쪽으로 올 수 있고 다 올수 있으니까 이걸(등나무가 무성한 천장) 하나의 막으로 생각하고 땅을 스크린으로 생각했을 때 이 구멍으로 (빛이) 이쪽으로 올 수 있고 이쪽으로 올 수 있고 구멍이 한 개가 아니니까 빛이 이쪽으로만 오는 건 아니잖아.

s2: 밝은 부분과 아닌 부분이 있긴 하겠지만 그림자가 없다라고 하기엔 그렇지 않나?

s4: 이렇게 생겼다 쳐도 빛이 이리저리 다 (갈 수 있지)..

s2: 그림자가 생기지 않겠네.

s4: 틈이 촘촘하면 촘촘할수록..틈이 벌어지게 되면은 밝은 부분과 덜 밝은 부분이 나누어지는 부분이 생기고

s2: 구멍이 한 개면?

s4: 그럼 아까 그 상황이지.

다른 학생들은 문제에서 제시한 상황에서 등나무 틈새를 하나라고

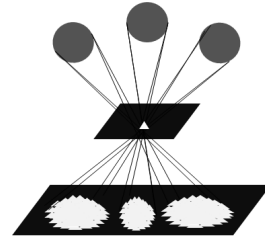


Figure 13. S-SA mental model

암묵적으로 인식하는데 비해, s4가 가지고 있는 개별 변인의 특징은 무수히 많은 틈새가 촘촘히 있는 등나무 천장을 설정하고 있다는 데 있다. s4가 가진 틈새 개수 변인이 집단에 공유됨으로서 주어진 문제의 상황에 대한 인식이 확대되었다. 하지만 후에 진행된 대화의 내용을 보면 학생들은 s4의 의견에 동의는 하면서도, 현재 문제에 주어진 상황은 방충망과는 다르며, 처음 인식한 대로 구멍이 하나인 상황에 대해 고려하고 있음을 알 수 있다.

c. 태양고도 변화 변인(SA)의 공유

태양고도 변인도 s8의 개별 변인으로 존재하던 것이다. s8는 논의 전에 태양의 고도가 달라짐에 따라 벤치에 생기는 형태 또한 달라질 것이라고 예측하였다(Figure 13). 논의에서 이를 드러내었고 s1과 s3이 이에 대하여 동의하였다.

s8: 등나무가 태양이랑 있고 지구 바로 여기 있는 거야? 태양이랑 (등나무가) 완전히 수직 아래에 있나?

s6: 상관있을까?

s8: 있어. 아침 점심 저녁이 다르겠네?

s4: 길이가 달라진단?

s8: 그럴 거 같아, 이런 식으로...(그림으로 표현함).

초기에 s8는 태양의 고도 변화에 따른 빛 모양의 변화를 생각하였으나, 태양을 점광원과 같이 설정하였기 때문에 광원에서 빛이 어떻게 나아가는지에 대한 개념은 부족한 상태였으나 논의가 진행되면서 광원에 대한 개념이 바뀌었기 때문에, 논의 전에 비해 정교화된 모형은 논의 과정에서 보여주었다.

d. 협업 전 정신모형에 포함되어 있지 않던 새로운 아이디어의 창조와 공유

학생들이 논의를 진행하는 과정에서, 학생들이 논의 전 개별 정신모형을 분석하였을 때 나타나지 않았던 아이디어들이 새롭게 나타나 공유되기도 하였다. 논의 과정에서 변인에 대한 새로운 아이디어가 세 가지 생겨났다(거리, 거리에 따른 빛의 밝기, 지구 형태) 새로운 아이디어는 서로의 모형을 주장하는 갈등 과정에서 생겨나기도 하고, 다른 변인들이 합쳐져서 만들어지기도 하고, 초기의 개별 아이디어에서 파생되기도 하였다. 변인에 대한 구체적인 아이디어들은 다음과 같다.

a. 거리 변인(D)의 생성과 공유

거리 변인은 논의 전 개별적 정신모형 분석 과정에서 나타나지 않은

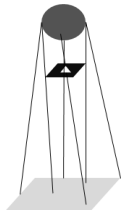


Figure 14. S-Df mental model

변인이다. 광원 변인이 공유된 직후, s10은 자신이 초기에 가지고 있던 정신모형, 즉 태양에서 평행광이 나와서 등나무 틈새와 모양과 크기가 같은 빛 모양이 생길 것이라는 예측에 대해, 예측 결과는 그대로 유지한 채 광원 변인만 크기가 큰 광원으로 바꾸고자 하였다. 공유된 광원 변인으로 교체하면서 자신의 예측결과의 정당성을 주장할 수 있는 방법으로서 거리 비율 개념을 가지고 왔다. 즉, 태양과 바닥까지의 거리 관계에 비해 등나무 틈새가 있는 천장부터 바닥까지의 거리는 매우 가까운 편이기 때문에, 다른 학생들이 주장한 바처럼 등나무 틈새가 바늘구멍의 역할을 해서 바닥에 태양 모양이 보이려면 등나무 천장과 바닥이 10 km는 떨어져 있어야 한다고 주장하였다. 즉 바늘구멍 사진기와 같이 뒤집힌 광원의 모습이 보이기 위해서는 광원과 구멍, 구멍과 스크린 사이의 거리 비율이 있는데, 주어진 문제에서는 구멍과 벤치 사이의 거리가 비교적 가까우므로 구멍의 모양 그대로 바닥에 빛 모양이 생길 것이라는 주장이다.

s10의 발화로 시작된 거리 변인에 대한 논의의 특징을 살펴보면, s10이 구멍모양 모형을 주장하기 위하여 근거로 든 거리 관계가 원거리 상황에 대한 아이디어를 제공하였다는 점을 들 수 있다. 이 주장이 제안됨으로써 집단 구성원들이 주어진 문제에서 거리 변인에 대해 생각해보기 시작하였다.

s10: 근데 지금까지 실험한 거는 빛이 나오는 광원이랑 그림자가 생기도록 하는 구멍이랑 그런 거의 거리가 좁았는데 이거는 태양의 크기도 워낙 크고 그에 비해서 지구의 저 등나무는 너무 작고.. 만약에 태양을 구라고 생각 안하고 면이라고 생각하고 빛이 나온다고 하면 그대로 그림자가 생길 거 같아. (바닥과 등나무 간의 거리가) 좀 멀어지면 이게 (구멍 모양이) 나올 거 같아. 지상 10키로?

그에 반해 원거리 아이디어에 대한 다른 구성원들의 생각을 살펴보면, s10이 가지고 있는 문제의 조건에 대한 암묵적 인식은 ‘크기를 무한히 확장할 수 있는 가림판에 뚫려있는 하나의 구멍을 통과한 빛’인데 비해, s1과 s4는 등나무 벤치를 구멍이 뚫린 ‘유한한 크기를 가진 평면’으로 인식하고 있다. 이에 따라 등나무 천장의 높이가 높아질 경우를 비행기에 빗대어 설명하고 그림자가 생기지 않을 것이라고 반박하였다(Figure 14).

s1: 그럼(천장이 지상에서 10 km 떨어지면) 그림자가 아예 없어질 거 같은데.
 s4: 비행기 그림자가 얼마나 생길 거라고 생각하니?
 s10: 그림자가 없어진다고?
 s6: 아..(s7과 형광등 밑에서 손의 높이를 조절해가며 바닥에 생기는 그림자 관찰) 그러네, (손 그림자가) 없어지네.
 s4: (바닥에서부터의 거리가) 엄청 멀면은 모양 자체가 안 생겨.

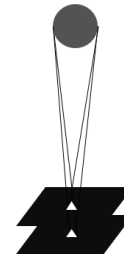


Figure 15. S-Dn mental model

s1: (등나무와 벤치 간의 거리가) 이정도 수준(문제에 제시된 수준)에서는 이런 식(바늘구멍 사진기 원리)으로 보이는 거지.

s10가 자신의 주장을 정당화하기 위하여 ‘거리’라는 변인을 제안함으로써, 그룹 구성원들은 이 변인을 공유하고 ‘등나무 천장이 높아지면’이라는 가정과 이에 따른 논의를 수행할 수 있었다. 그 후 원거리 변인은 근거리에 대한 생각으로 확장되었다. s10이 자신의 모형(구멍모양 모형)에 대한 정당성을 주장하기 위하여 등나무와 벤치 사이의 일반적인 거리(2~3 m)를 근거리로 설정하였으나, 이는 받아들여지지 않았다. s1에 의해 다시 제기된 근거리 아이디어는 틈새와 벤치 사이의 거리가 가까울수록 선명한 틈새 모양이 보일 것이라는 일반화된 규칙성을 제안하고 있다. 또한 틈새와 벤치 사이의 거리가 앞서 논의된 지상 10km 정도의 원거리가 아니라 근거리에 ‘비해’ 멀어지면, 초기에 공유하였던 광원 모양 모형이 생길 것이라는 것도 재확인하였다(Figure 15).

s1: 가까우면 가까울수록 구멍 모양과 비슷해지지 않을까? 바닥으로 가까우면 선명하게 등나무 모양이 보일 거 같고..
 s2: 가까우면 가까울수록 등나무의 (틈새) 모양대로 나오겠지.
 s7: 그럼 지면과의 거리에 따라 (모양이) 달라지지않아.
 s5: (간격이) 커질수록 흐릿해지면서 원형?
 s1: 내 말이 그 말이야. 가까워지면은 약간 등나무 모양이 나오는데 멀어지면은 원에 가깝게 될 것 같은데.
 s8: 왜?
 s1: 태양에서 나오는 빛이 여러 방향에서 빛이 나오게 되는데 태양의 모양인 약간 멀리서 비쳤을 때는 원이 나오는데 등나무 사이가 지면과 가까우면 그 빛이 그림자가 겹쳐지는 게 차이가 너무 좁아지기 때문에 등나무에 틈 사이의 모양이 나올 거야.
 s9: 가까울 때는 이런 틈 모양이 나오고.이게 멀어지면 겹쳐져서 이런 식으로..
 s1: 태양이 원이기 때문에 이런 식으로 원으로.

이에 따라 집단의 정신모형에 거리변인이 포함되게 된다. 거리 변인은 사전 검사 결과 상 개별 정신모형에 없었던 것으로, s10이 자신의 예측결과를 관찰하고자 정당화를 하는 과정에서 생성된 변인이다. 거리 변인을 포함한 s1의 설명에 대해 즉각적인 동의를 나타낸 s2와 s5 이외의 구성원들은 질문을 통해 추가정보를 얻고 이에 납득한 이후 이 변인을 공유하는 것으로 보였다.

거리 변인이 포함되어 집단의 정신모형이 정교화함에 따라 바닥에 틈새 모양의 빛이 보일 것이라는 예측 또한 공유된 정신모형으로 설명 가능하게 되었다. 즉 공유된 정신모형의 정교화에 의해 초기에는 한쪽

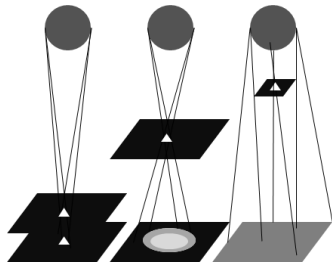


Figure 16. S-Id mental model

이 맞고 한쪽은 틀리다고 생각했던 서로 다른 예측 결과가 거리라는 변인에 따라 일관성 있게 설명 가능해졌다.

b. 거리에 따른 빛의 세기 변인(Id)의 생성과 공유

s1이 제안한 빛의 중첩(Io) 변인을 들은 후, s5는 거리에 따른 빛의 세기(Id)가 달라짐을 생각해내었다. 거리에 따른 빛의 세기 변인에 따르면, 바닥과 틈새 사이의 거리가 멀면 윤곽이 흐리게 보이고, 바닥과 틈새가 가까우면, 즉 천장이 낮으면 형태가 선명하게 보인다고 예측하였다. s1이 s5의 설명에 이유를 덧붙여 구체화하였다. 앞서 거리 변인이 집단 정신모형에 공유되었기 때문에 여기서는 빛의 세기에 따른 윤곽의 선명함의 정도가 추가되었다(Figure 16).

s5: 거리가 멀어지면 멀어질수록 빛의 세기가 약해져. (바닥에 나타나는) 형태가 윤곽이 흐려져.

s1: 태양이 면광원이라서 태양의 모양이 나와, 전체적으로. 그런데 선명하게 보이는 거는 등나무 사이 모양일거라고. 먼 건 조금 더 희끄무레하게 보이고 가까운 건 선명하게 보이고. 빛이 조금 더 밝게 보이고 먼 건 조금 더 어둡게 보여서 그림자가 전체적으로 흐릿하게 나올 거 같은데. 가까우면 선명하고 밝고. 멀면 더 어두워지고 그래서 태양빛이 들어오면서 그림자를 조금씩 건드리면서 그림자가 흐릿해져.

s5의 의견에서 시작된 거리에 따른 빛의 세기변인에 대한 논의의 특징을 살펴보면, s5의 초기 정신모형 검사에서 빛의 세기가 개별 변인으로 나타나지 않았기 때문에, s1에게 영향을 받아 새롭게 낸 아이디어라고 볼 수 있다. 즉, s5는 논의 중에 s1의 아이디어와 거리 변인을 합해서 거리와 빛의 세기의 관계로 사고를 확장하였음을 알 수 있다. s1 또한 빛의 중첩에 의한 빛의 밝기 개념에서 s5의 아이디어를 다시 받아들여 거리에 따른 밝기 모형으로 정교화 하였다.

c. 지구 형태 변인(E)의 생성과 공유 거부

태양고도 변인을 제안하였던 s8에 의해 지구형태 변인이 새롭게 제안되었다. 지구가 둥글기 때문에 빛이 닿는 바닥의 곡률을 고려하여야 한다는 것이다(Figure 17). 이 변인은 논의 전 개별 변인으로 나타나지 않았던 것으로, 논의 과정에서 새롭게 생성되었다. 하지만 지금까지 제시된 조건들은 논의 후 수용된 것에 비해 지구 형태 변인은 제안된 직후 거부되었다.

s8: 지구도 둥글다는 걸 생각해야해.

s4: 왜?

s8: 지구가 구의 형태이기 때문에.. 빛이 들어가는 게 같은 방향 같은 각도가

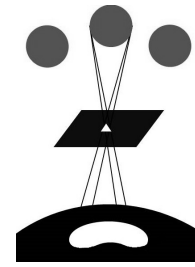


Figure 17. S-E mental model

아니야.

s4: 등나무가 그렇게 커? 한 나라를 덮을 만큼 큰 것도 아니고

‘등나무 크기’는 경험적 맥락에 의한 암묵적 변인, 즉 문제 상황 맥락에서 거부당한 것이지 과학적 개념이 의심받은 것은 아니다. 이를 통해 개념적 변인뿐만 아니라 문제에 대한 맥락적인 변인도 공유되며 이것이 문제해결에 영향을 미침을 알 수 있다. 이 변인은 그 후 최종 개별 정신모형에서는 누구에게서도 나타나지 않았다. 즉 집단 구성원들은 지구 모양은 등나무 벤치의 크기가 크지 않은 이상 고려할 필요가 없다는 s4의 평가를 받아들이고 모두 공유하였음을 알 수 있다.

2. 집단의 정신모형 공유 과정과 최종 개별 정신모형

가. 집단의 정신모형 공유 과정

논의 과정 중에 학생들에 의해 변인이 제안된 순서는 광원(S)-원거리(Df)-근거리(Dn)-빛의 중첩(Io)-거리에 따른 빛의 세기(Id)-틈새의 개수(An)-태양고도(SA)-지구모양(E)이다. 이러한 아이디어들이 집단 에 제안되는 순서를 살펴보면, 몇 가지 특징을 발견할 수 있다.

첫째, 논의 전 초기 공통 아이디어인 광원(S) 변인이 가장 먼저 논의 되었다. 이 연구에서 제시한 문제는 광원을 어떻게 설정하느냐가 문제를 해결하는데 있어서 가장 핵심적인 요소이다. 학생들은 개별적으로 문제를 처음 접하였을 때 광원을 태양으로 설정하는 것까지 동일하였으나 태양에서 빛이 어떻게 발생하는가에 대한 개념 이해가 서로 달랐기 때문에 초기에 각각 다른 정신모형을 형성하고 있음을 확인할 수 있었다. 이에 대하여 논의 과정을 거치면서 다른 개념들은 자체적으로 기각되고 크기가 큰 광원 개념을 모두가 공유하게 되었다. 둘째, 바닥에 생기는 빛의 모양을 예측할 때 광원에 이어 가장 중요한 변인 중 하나라고 할 수 있는 거리 변인이 두 번째로 제안되었다. 거리 변인이 광원 변인에 이어 나올 수 있었던 이유는, 광원 변인을 가지고 있었으나 잘 못 설정한 두 경우(Sr, Sp)는 바닥에서 천장 사이의 거리가 멀거나 가까운 것에 상관없이 바닥에 생기는 빛의 모양과 크기가 같기 때문이다. 하지만 크기가 큰 광원 개념을 받아들여지게 되면 거리에 따라 바닥에 생기는 빛의 모양은 달라지게 된다.

셋째, 빛의 세기 변인이 세 번째로 제안되었다. 거리 변인이 거리가 멀 때, 가까운 때가 연달아 제시된 것처럼, 빛의 세기도 중첩과 거리에 따른 빛의 세기 변인이 연달아 제시되었다. 빛의 중첩 변인은 s1의 개별 아이디어에서 유래하였는데 논의를 통해 정신모형에 공유되고 난 뒤, s5가 이 아이디어와 거리 변인 아이디어를 합쳐 거리에 따른 빛의 세기 변인을 고안하였다. 넷째, 태양고도와 지구모양 변인이 마치

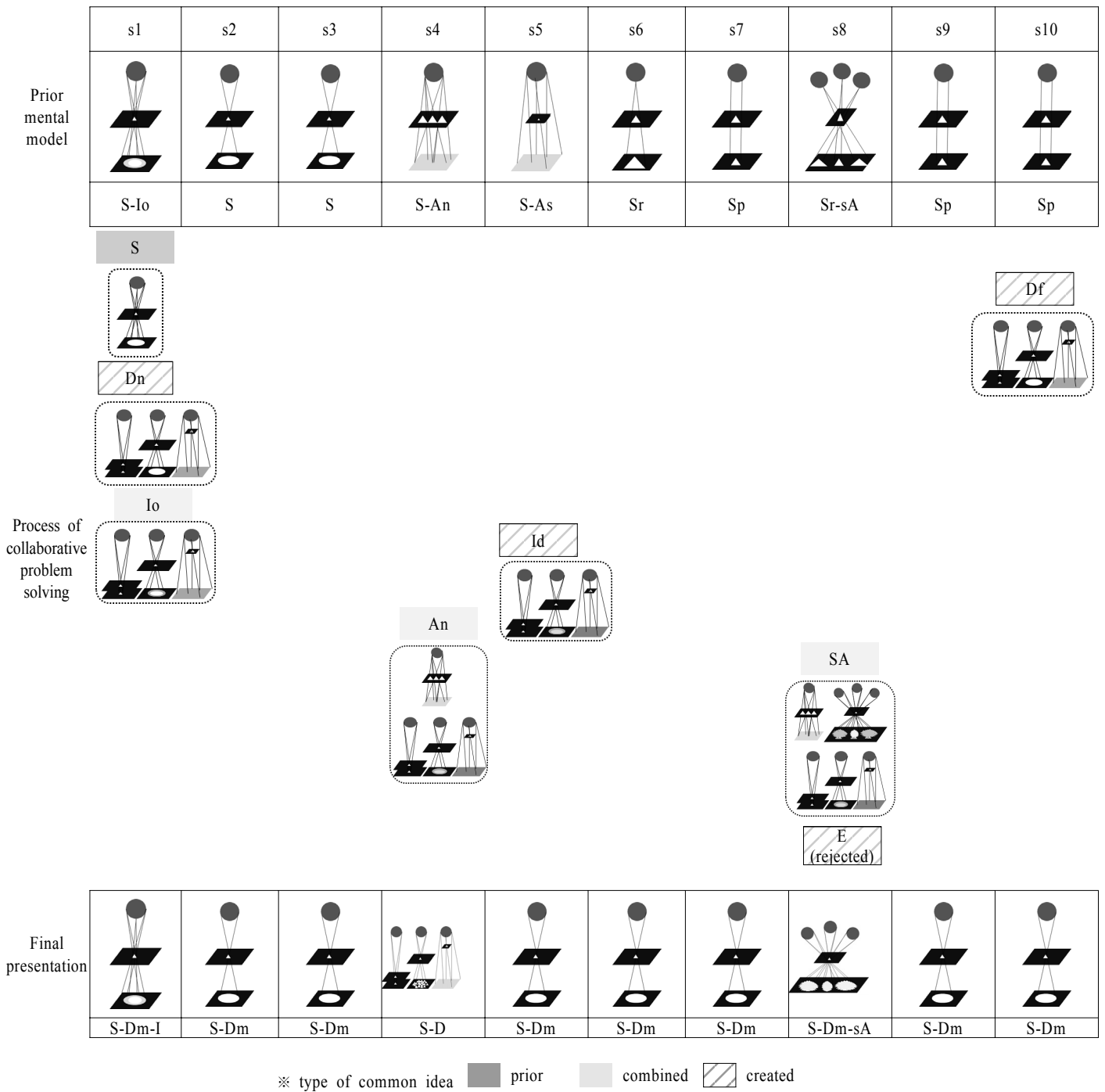


Figure 18. Process of mental model sharing

막으로 제안되었다. 태양고도 변인은 s8의 개별 아이디어인데 바닥에 생기는 빛의 모양이 태양고도에 따라 모양이 다소 길쭉해지거나 둥글게 되는 등의 변화를 수반한다는 내용이다. 이 변인은 학생들이 잘 받아들였기 때문에 공유될 수 있었다. 하지만 역시 s8에 의해 제안된 지구모양 변인은 ‘등나무 천장의 크기가 크지 않다’는 이유로 기각되었다.

종합적으로 살펴보면, 협업적 문제해결을 수행하는 과정에서 학생들은 다양한 변인을 공유함으로써 여러 가지 변인에 따른 상황에 대하여 생각할 수 있게 되었고, 이에 따라 점차 정신모형이 정교해져 감을 알 수 있었다. 또한 문제와 관련성이 높은 순서로 변인에 대한 아이디어가 제시되고 공유되었다.

변인에 대한 다양한 아이디어들이 제안되고 공유되는 과정과 아이

디어의 종류를 Figure 18에 나타내었다. 아이디어의 종류를 살펴보면, 앞서 살펴본 바와 같이 집단의 정신모형에 공유된 아이디어는 크게 세 가지였다. 첫 번째는 초기의 공통 아이디어가 공유된 경우, 두 번째는 개별 아이디어가 논의 후 공통 아이디어로 공유된 경우, 세 번째는 새롭게 생성된 아이디어가 논의 후 공통 아이디어로 공유된 경우이다. 이들을 각각 초기 공통 아이디어, 합해진 공통 아이디어, 생성된 공통 아이디어로 명명하였다.

나. 최종 개별 정신모형

논의를 통해 집단 구성원들은 많은 변인을 공유하게 되었고, 제시된 문제에 대한 초기 예측들은 결국 하나의 과학적 모형으로 설명가능하

다는 것을 알게 되었다. 즉 학생들은 초기의 개인적 정신모형들이 상호 배타적인 것이 아니라, 변인을 달리 했을 때 나타날 수 있는 다양한 현상에 대한 서로 다른 예측이었다는 것을 알게 되었다.

Figure 18의 하단에 제시한 바와 같이 학생들이 최종적으로 작성한 답안을 살펴보면, 이들은 단지 S-Dm 모형만을 공유하고 있음을 알 수 있다. 즉, 학생들의 최종 답안에는 논의 과정에서 제시된 많은 변수들 중 광원(S)과 거리(D)라는 핵심 변수들만 남은 단순한 모형이 나타났다. 그 이유는 변인에 대하여 공유된 정신모형이 정교해짐에 따라, 집단 내에 암묵적으로 문제 맥락에 대한 정신모형도 함께 공유되게 되었기 때문이다. 이에 따라 빈약하게 정의되었던 문제가 잘 정의된 문제로서 역할을 하기 때문에 개방형 문제에서 폐쇄형 문제로 전환되었다. 따라서 문제에 대한 답이 한가지로 수렴한 것으로 보인다.

제시된 문제를 살펴보면, 글을 통해서 얻을 수 있는 정보는 광원이 태양이라는 것, 사진을 보고 얻을 수 있는 정보는 나뭇잎 틈새의 크기와 모양이 다양하다는 것, 의자에서 천장까지의 높이가 2~3m 가량 된다는 것 등이다. 이 외의 다른 정보들에 대해서는 학생들이 논의 과정에서 하나씩 설정해나갔다. 우선 바닥에서 등나무 천장, 그리고 태양까지의 거리 비에 대하여 s10과 s1이 서로 상반되는 주장을 펼쳤으나, 등나무 천장에서 바닥까지의 높이가 10 km가 아니라 현재와 같은 2~3 m 정도여도 등나무 틈새가 바늘구멍 사진기와 같은 역할을 한다는 s1의 의견이 집단 구성원들에게 받아들여졌다.

s10: (전략).. 이거는 태양의 크기도 워낙 크고 그에 비해서 지구의 저 등나무는 너무 작고...

(중략)

s1: 그럼(천장이 지상에서 10 km 떨어지면) 그림자가 아예 없어질 거 같은데.
(후략)

다음으로, 등나무 잎사귀 사이의 틈의 개수가 많으면 바닥에는 원 모양이 생기지 않을 것이라는 s4의 주장에 대하여, s2는 집단 구성원들이 틈새가 하나일 때를 고려하고 있다는 사실을 인식시키려는 발언을 한다.

s4: 틈이 촘촘하면 촘촘할수록.. 틈이 벌어지게 되면은 밝은 부분과 덜 밝은 부분이 나누어지는 부분이 생기고

s2: 구멍이 한 개면?

s4: 그럼 아까 그 상황이지.

태양고도의 경우, 태양이 등나무 틈새의 연직상방에 있다고 가정하고 있다.

s8: 등나무가 태양이랑 있고 지구 바로 여기 (아래) 있는 거야? 태양이랑 (등나무가) 완전히 수직 아래에 있냐?

지구의 형태가 둥근 것 또한 고려하여야 한다고 s8이 주장하였으나, s4는 등나무의 크기를 고려해야 함을 지적하였다.

s8: 지구가 구의 형태이기 때문에.. 빛이 들어가는 게 같은 방향 같은 각도가 아니야.

s4: 등나무가 그렇게 커? 한 나라를 덮을 만큼 큰 것도 아니고.

이와 같이, 실제로 문제에 제시되어 있지 않지만 고려하여야 하는 부분들에 대하여, 집단 구성원들은 논의를 통하거나 암묵적으로 상황을 구체적으로 설정함을 알 수 있다. 또한 그 설정은 논의가 수행될수록 점점 더 구체화되고 정교화됨을 알 수 있다. 이에 따라 최종적으로 학생들이 공유한 문제는 다음과 같은 수준으로 재정의 되었다. 밑줄 그은 부분은 학생들이 정교화한 부분이다.

“점파원의 집합인 태양에서 출발한 빛이 하나의 구멍을 통과하여 스크린에 어떤 형태를 만드는가? 태양과 구멍, 스크린은 일직선상에 있고, 구멍과 스크린 사이의 거리는 바늘구멍 사진기와 같은 현상이 일어날 수 있을 만큼 적절히 떨어져 있다.”

집단 구성원들이 설정한 문제의 구체적인 조건은 답을 특정화하며, 이로 인하여 학생들은 대부분 S-Dm이라는 수렴된 답을 내어 놓았다. s1, s4, s8은 변인을 더 포함하는 형태의 최종 응답을 내어 놓았는데, s1과 s8의 경우는 자신들의 초기 정신모형에 포함되었던 개별 아이디어를 S-Dm이라는 기본형에 추가한 형태로 응답하였다. s4의 경우는 거리를 특정하지 않고, 등나무 천장으로부터 바닥까지의 거리에 따라 틈새 모양, 원 모양, 형태 없음의 세 가지가 모두 다 나타날 수 있다고 응답하였다. 즉, 최종 개별 정신모형은 집단 구성원 개인별 초기 정신모형과 비교하였을 때 상당히 다른 양상을 보임을 알 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 정신모형이 공유될 때 왜 시너지 효과가 나타나는지 그 이유를 알아보기 위하여, 과학영재들이 협업적 문제해결과정에서 어떤 요소를, 어떤 과정을 거쳐 공유해나가는지를 미세 분석하였다. 우선 어떤 요소가 공유되었는지를 살펴보면 논의 전 이미 가지고 있던 초기 공통 아이디어가 가장 먼저 공유되는 것을 알 수 있었다. 또 논의 전에 개별적으로 가지고 있던 아이디어도 논의를 시작하면서 집단 구성원에게 공유되었다. 이러한 공유 양상은 선행연구(Jeong & Chi, 2007; Van den Bossche *et al.*, 2011; Stasser & Birchmeier, 2003)에서 제안한 바와 일치한다. 또한 이 연구에서는 선행 연구와 달리, 기존에 그룹 구성원 개개인의 정신모형에 전혀 존재하지 않던 아이디어가 그룹 논의 과정 중에 새롭게 발생하여 정신모형에 공유되는 현상을 발견할 수 있었다. 개인의 정신모형에 포함되지 않는 새로운 아이디어가 협업 과정에서 발생할 경우, 개인의 정신모형의 합보다 공유된 정신모형이 더 크거나 정교할 수 있음을 보여준다. 즉, 그룹 구성원간에 가지고 있던 서로 다른 아이디어가 부딪치는 과정에서 생성된 완전히 다른 새로운 아이디어는 협업의 시너지 효과가 왜 일어나는지를 보여주는 증거라 볼 수 있다.

시너지 효과의 증거라 볼 수 있는 집단 논의 과정에서 생성된 새로운 아이디어의 발생 맥락을 분석해보면 크게 세 가지로 분류할 수 있었다. 첫째, 개인의 정신모형과 다른 사람과 충돌할 때 자신의 모형을 정당화하거나 설득하기 위하여 기존에 없던 새로운 아이디어를 생성하여 덧붙이는 것이다. 이는 Van den Bossche *et al.*(2011)가 팀학습 행동 중 하나로 제안한 건설적 갈등(constructive conflict)이 일어났을

때 완전히 새로운 형태의 아이디어가 생성될 수 있다는 것을 보여준다. 둘째, 자신이 가지고 있던 원래 아이디어를 더 발전시켜서 유사한 다른 아이디어를 새롭게 생성하는 것이다. 이는 협업적 문제해결이 아니라 개인적 문제해결 상황에서도 일어날 수 있다. 마지막으로, 서로 다른 사람의 개별 아이디어를 조합해서 새로운 아이디어를 생성하는 방법이다. 이 방법은 두 번째 방법과는 달리, 협업이기 때문에 가능한 방법이라 볼 수 있다. 즉 협업을 통해 부분의 합을 넘는 시너지 효과를 내기 위해서는 개인이 가지고 있는 아이디어를 집단에 공유하고자 애 쓸 뿐 아니라, 건설적 갈등 상황에서 이를 타개하기 위하여 새로운 아이디어를 생성하거나, 자신의 기존 아이디어, 혹은 다른 사람이 내어 놓은 아이디어를 조합, 혹은 재생산하는 등의 노력이 필요함을 알 수 있다.

다음으로, 정신모형 공유의 과정을 알아보기 위하여 변인이 제안되고 공유된 순서를 살펴보았다. 연구 대상자인 영재학생 집단은 문제해결에 핵심적인 변인부터 논의하였고 이를 공유하였다. 주어진 현상을 예측하고 설명하는데 가장 중요한 개념 변인을 핵심변인, 그 외에 생각하여 볼 수 있는 변인을 주변 변인이라고 볼 때, 학생들은 주어진 문제의 핵심변인이라 볼 수 있는 광원과 거리를 가장 먼저 생각해내었고 이를 공유하였다. 이 문제에 관련된 주변 변인은 매우 많을 수 있지만, 연구 대상자의 경우 빛의 세기, 틸새의 개수, 태양고도, 지구의 형태 등을 생각해내었다. 주변 변인이 제안되고 공유된 순서도 문제에서 요구하는 것과 관련이 높은 순서와 관련이 있었다. 같은 문제를 제공하더라도 지식수준이나 집단의 특성에 따라 제안하는 변인의 순서는 달라질 수 있다. 즉, 집단에서 아이디어가 어떤 순서로 논의되거나 공유되었는가는, 어떤 아이디어가 공유되었는가와 마찬가지로 집단의 문제해결 수준을 평가할 수 있는 매우 중요한 잣대가 될 수 있음을 보여준다. 또한 최종 개별 정신모형의 분석결과는 초기에 주어진 빈약하게 정의된 문제의 조건이 협업적 문제해결과과정에서 협의를 통해 정교화되었음을 보여준다.

이 연구 결과를 활용할 수 있는 방안을 두 가지 제안하고자 한다. 첫 번째는 공유된 정신모형을 측정하는 새로운 방안의 마련이다. 이 측정 방식에는 개별 아이디어가 공유되는 수준 뿐 아니라, 새로운 아이디어가 생성되는 수준을 포함하여야 할 것이다. 또한 아이디어가 공유되는 순서를 평가할 수 있는 기준이 포함된다면, 공유된 정신모형의 정교함의 정도를 좀 더 명확하게 측정할 수 있을 것으로 생각된다. 다음으로, 새로운 아이디어 창출을 포함하는 협력 학습 모형의 개발이다. 집단에 구성된 개인은 협업적 문제해결과과정에서 자신의 생각을 드러내고 상대방의 의견을 판단하며 그 결과에 따라 자신의 지식 구조를 변형시키는 일련의 개념변화 과정이 수행된다. 협업적 문제해결을 통한 정신모형의 공유는 개인 정신모형의 단순합 수준이 아니라 새로운 아이디어 창출을 자극하기 때문에, 공유된 정신모형의 정교화로 인한 지식습득의 효율성 측면 뿐 아니라 창의성의 함양까지 기대할 수 있다.

이 연구는 특정 영재학생으로 이루어진 하나의 집단을 대상으로 하였고, 단일 문제를 다루고 있다는 점에서 한계를 갖는다. 이 연구의 연구 대상자인 영재 집단은 집단 내에서 필요한 변인을 공유하였고, 집단 구성원의 개별 아이디어를 모아 새로운 변인을 생성하였으며, 중요한 변인부터 논의를 하여 결국 과학적으로 적절한 합의에 도달하였다. 즉 매우 이상적인 협업 양상과 결과를 보여 주었다고 할 수 있다.

하지만 집단에 따라 집단의 협업 양상과 정신모형의 공유 양상은 매우 달라질 수 있다. 따라서 후속 연구로서 협업 과정에서 나타날 수 있는 여러 가지 양상이 정신모형의 공유에 어떠한 영향을 미치는지를 연구할 필요가 있다.

국문요약

협업으로 문제를 해결할 때 집단 구성원들은 정신모형을 공유함으로써 시너지 효과를 창출한다. 협업의 시너지 효과를 이해하고 이를 교육에 적용하기 위해서는, 집단이 어떻게 문제를 해결해나가는지를 분석할 필요가 있다. 이 연구에서는 정신모형 공유에서 나타나는 시너지 효과의 원천을 알아보기 위하여 10명의 과학영재들을 대상으로 빈약하게 정의된 문제를 주고 어떤 요소가 집단의 정신모형에 공유되는지, 또 이것이 어떤 과정을 거쳐 공유되어 가는지를 구체적으로 알아 보았다. 연구결과, 집단의 정신모형에 공유되는 요소는 첫째, 초기 공통 아이디어 중 가장 과학적인 개념을 공유하였다. 논의 전 이미 가지고 있던 공통 아이디어에 포함된 개념에서 선개념과 과학적 개념이 동시에 나타날 때, 학생들은 논의를 거쳐 과학적인 개념을 선택하여 공유하였다. 둘째, 집단 구성원들이 각각 가지고 있던 개별 아이디어를 공유하였다. 논의 과정에서 구성원들은 변인에 대한 개별 아이디어를 제안하였고 집단 구성원들이 동의하면 이는 집단의 정신모형에 공유되었다. 셋째, 협업 전 정신모형에 포함되어 있지 않던 새로운 아이디어를 창조하여 공유하였다. 건설적 갈등 상황에서 자신의 정당성 주장의 근거 마련을 위해 개별 아이디어 조합, 기존 아이디어의 재생산 등과 같은 방법으로 창조된 아이디어를 생성하고 공유하였다. 창조된 아이디어는 개인의 정신모형에 포함되어 있지 않던 것으로, 집단 정신모형 공유에서 나타나는 시너지의 근원이라고 할 수 있다. 다음으로 집단 정신모형이 공유되는 과정을 살펴보면, 문제해결에 가장 중요한 변인부터 제안하고 공유하는 것을 알 수 있었다. 이는 집단의 정신모형에 무엇이 공유되었는가를 분석하는 것만큼 어떤 순서로 공유되었는가를 아는 것도 중요하다는 점을 시사한다. 논의 후 학생들의 최종 응답을 분석해보면, 공유된 정신모형이 초기의 개인별 정신모형에 비해 포괄적이면서 정교화 되었으며 각 개인의 정신모형도 확장되었음을 알 수 있었다. 이 연구 결과는 공유된 정신모형의 측정과 협력 학습 모형 개발에 사용될 수 있을 것이다.

주제어 : 협업적 문제해결, 공유된 정신모형, 과학영재

References

- Cannon-Bowers, J.A., Salas, E. & Converse, S. (1993). Shared mental models in expert team decision making. In J. J. Castellan (Ed.), *Current issues in individual and group decision making*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation*. Springer Science & Business Media, MA: Amherst.
- Fischer, F., & Mandl, H. (2005). Knowledge convergence in computer-supported collaborative learning: The role of external representation tools. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(3), 405-441.
- Jeong, H., & Chi, M. T. (2007). Knowledge convergence and collaborative learning. *Instructional Science*, 35(4), 287-315.

- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Harvard University Press, MA: Cambridge.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1-48.
- Klimoski, R., & Mohammed, S. (1994). Team mental model: construct or metaphor? *Journal of Management*, 20(2), 403-437.
- Lee, J., & Kim, J. B. (2013). What is shared in collaborative problem solving process of scientific gifted students? *Journal of Gifted/Talented Education*, 23(6), 1099-1115.
- Lee, J. E. (2015). Perspectives on traveling according to light source in students, pre- and in-service teachers. Master's thesis, Korea National University of Education.
- Mohammed, S., Klimoski, R., & Rentsch, J. R. (2000). The measurement of team mental models: We have no shared schema. *Organizational Research Methods*, 3(2), 123-165.
- Mohammed, S., & Dumville, B. C. (2001). Team mental models in a team knowledge framework: Expanding theory and measurement across disciplinary boundaries. *Journal of Organizational Behavior*, 22(2), 89-106.
- Mathieu, J. E., Heffner, T. S., Goodwin, G. F., Salas, E., & Cannon-Bowers, J. A. (2000). The influence of shared mental models on team process and performance. *Journal of Applied Psychology*, 85(2), 273.
- Park, H. J. (2015). Transfer of the concept of light source in scientific gifted students through bridging analogy. Master's thesis, Korea National University of Education.
- Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349.
- Stasser, G., & Birchmeier, Z. (2003). Group creativity and collective choice. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad (Eds.). *Group creativity: Innovation through collaboration*(pp. 85-109). New York, NY: Oxford University Press.
- Van den Bossche, P., Gijselaers, W., Segers, M., Woltjer, G., & Kirschner, P. (2011). Team learning: Building shared mental models. *Instructional Science*, 39(3), 283-301.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.