

과학고 학생들의 비구조화된 문제 해결 과정 특성 분석

서진수 · 한 신 · 김형범 · 정진우*

한국교육대학교

Science High School Students' Analysis of Characteristics on Ill-Structured Problem-Solving Process

Jin-su Seo · Shin Han · Hyung-bum Kim · Jin-woo Jeong*

Korea National University of Education

ABSTRACT

The purpose of this study is to: analyze the characteristics on ill-structured problem-solving process; examine the type of memories used in their monitoring. The data were primary collected from observation and secondary the semi-structured in-depth interviews based on analysis of observation results with two students who belong to science school and a guidance. The findings of this study revealed that the ill-structured problems possess multiple representations and the upper level's problem have several sub-problems. And multiple steps simultaneously exist in particular stage of problem-solving process that is not single sequential but complex flow and have high frequency of discussion step. Type of memories used in ill-structured problems include idiosyncratic memories which is related in personal histories such as school performance, problem-related memories, abstract rules and intuition.

Key words : ill-structured problem, monitoring, memories, Science high school

I. 서 론

실생활 문제해결력은 세계 여러나라 교육과정의 주요한 목표이며, 과학교육에서 핵심적인 위치를 차지하고 있다(Malouff와 Schutte, 2008; NRC, 1996). 이렇듯 과학교육에서 중요한 목표이자 비판적 사고 능력, 분석적 추론능력, 창의적 능력과 같이 고등 사고능력에 해당되는 문제해결력(Chang과 Weng, 2002)은 우리나라 교육과정 목표에서도 매우 중요하게 강조하고 있으며, 이때 문제 해결 능력이란 비판적 사고 능력, 분석적 추론 능력, 창의적 능력과 함께 고등 사고 능력에 해당하며(Chang과 Weng, 2002). 많은 교육학자들은 문제 해결력이 의미 있고, 중요한 학습 사고 과정이라는데 동의하고 있다(Jonassen, 1997).

문제란 문제 해결자가 목표 달성을 원하지만 즉각적으로 그 목표를 달성할 수 있는 방법을 모르는

상태이다(Gagne, 1985; Mayer, 1983; Chi와 Glaser, 1985). 문제에는 다양한 변인들이 포함되어 있어 문제 해결자는 문제를 해결하기 위해 다양한 지식과 경험이 필요하며, 초등학생이 해결하는 문제에서부터 성인에 이르기까지 다양하다. 문제는 문제 해결의 결과물, 해결책, 내용에 따라 다양한 형태가 존재한다(Jonassen, 2000).

Jonassen(1997)은 구조화된 문제와 비구조화된 문제를 구별하여 해결과정을 제시하고 문제 유형에 따른 다른 교수 모델을 적용할 것을 제안하였다. 구조화된 문제(well-structured problems)는 교과서의 문제처럼 교실에서 우리가 쉽게 접할 수 있는 문제들로서 분명한 초기 상태와 목표 상태를 가지고 있으며(Greene, 1978), 문제의 내적 구조가 잘 조직되어 있다(Lee, 2004). 구조화가 잘 된 문제들은 문제의 구성요소에 대한 진술이 명확하며, 하나의 올바른 해결책이 존재하고, 목표에 도달하기 위한 알고리즘

* 교신저자 : 정진우(jjeong@knue.ac.kr)

2012. 2. 15(접수) 2012. 3. 14(1심통과) 2012. 3. 30(최종통과)

이 존재한다. 또한 개념, 규칙, 원리들을 적용할 수 있다(Lee, 2004). 비구조화된 문제(ill-structured problems)는 초기 상태, 목표 상태, 문제의 내적 구조 중 일부가 빠져 있는 것을 말한다(Chi와 Glaser, 1985).

비구조화된 문제해결과정이 구조화된 문제해결 과정과 가장 큰 차이점은 문제 상황을 모니터링 하는 메타 인지적 요소의 유무이며, 메타인지는 메타 인지적 지식과 메타 인지적 기능으로 분류할 수 있다(Luke와 Hardy, 1999; Tobias와 Everson, 2000). 메타 인지적 지식은 자기-지식, 과제지식, 전략지식 등으로 나뉘며, 메타 인지적 기능은 모니터링, 자기-조절 및 평가 능력으로 나눌 수 있다(Luke와 Hardy, 1999; Tobias와 Everson, 2000).

메타 인지적 기능의 하위 요소인 인지적 모니터링은 자신의 인지적 과정을 의식적으로 관찰, 통제, 평가하는 능력으로 메타인지의 핵심성분이며, 고등 정신 기능과 문제해결능력의 핵심요소로 간주된다(Carr와 Alexander, 1996; Reder, 1996). 메타 인지적 모니터링은 다양한 기억에 의존하며, 다양한 기억들을 비슷한 유형의 문제 상황 속에서 지속적으로 사용할 자원이 될 수 있다(Sinnott, 1989; 이호 등, 2007). 따라서 메타 인지적 요소인 모니터링을 형성 시키는데 사용되는 다양한 기억들의 유형을 분석하는 것은 비구조화된 문제 해결과정을 이해하는데 본질적인 역할을 하며, 기억과 관련한 교수-학습을 하는데 시사점을 줄 수 있다.

Sinnott(1989)은 인지적 모니터링을 하는데 필요한 기억들을 개인적인 특유한 기억들, 감정적인 기억들, 문제와 관련된 기억들, 추상적인 규칙들로 정의하였으며, 이 기억들은 일반적으로 문제 공간으로부터 제어된다고 하였다. 효과적인 문제 해결에 관한 사전 경험들은 스키마를 형성시키고 경험 습득 후 발생하는 문제들에 대한 문제 해결에 영향을 주기 때문에, 문제를 해결하기 위한 기억이 풍부한 사

람들은 그렇지 않은 사람에 비해 문제에 더 효과적으로 접근하며, 문제 풀이를 하는데 소요되는 시간도 짧다(Jonassen, 1997).

전통적으로 학교교육에서는 해결과정이 명확하여 쉽게 파악되는 구조화의 정도가 높거나 잘 정의된 문제들을 가르쳐 왔으며(Roth와 McGinn, 1997), 이런 구조화된 문제들을 실생활에 적용되는 비구조화된 문제해결과정과 차이가 존재하기 때문에(이혜주, 2005) 과학교육의 목표 중에 하나인 문제해결력을 신장시키는데 제한적인 영향을 미칠 것이다.

본 연구에서는 비 구조화된 문제 상황이 제시되고 학생들이 이를 해결해 가는 과정을 연구하기 위해, ‘과학전람회’에 참여하는 과학고등학교 학생들의 작품 제작과정을 살펴보았다. 과학전람회 작품 제작과정은 일상생활에서 흔히 접하는 비구조화된 문제를 해결하는 과정이다(최도성과 한효의, 2001). 과학전람회 작품을 제작하는 과정은 문제의 해결과정이므로 과학전람회 작품 제작과정은 과학교육에서 강조하는 실제 생활에서의 문제해결력과 직결된다고 할 수 있다.

따라서 본 연구는 과학전람회에 참여하는 과학고 학생들의 작품 제작과정을 살펴보면서 비구조화된 문제 해결과정이 어떻게 나타나며, 메타 인지적 요소에 사용되는 기억에는 어떤 것들이 있는가를 확인하여 그 교육적 함의를 논하는데 그 목적이 있다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구 참여자 맥락

본 연구는 ‘2009 제55회 충북 과학전람회’에 참여하는 충북과학고에 재학 중인 2학년 여학생 1명, 3학년 여학생 1명 그리고 지도교사 1명을 대상으로 하였다. 문제해결력은 비판적 사고 능력, 분석적 추론 능력, 창의적 능력과 함께 고등 사고 능력에 해당되므로(Chang와 Weng, 2002), 충북 과학고에서 ‘과학전람회’에 학생들을 지도한 경험이 있는 부장교사에게 연구 참여자를 추천해 줄 것을 요청하여 본 연구에 참여할 학생 2명과 교사 1명을 선정하였으며, 연구 참여자 맥락은 아래와 같다.

본 연구에 참여한 지도 교사(김○○)의 교직 경력은 5년이며, 2008년 2학기부터 충북 과학고에 재직하고 있다. 최근 몇 년간 ‘과학전람회’, ‘과학 발명품

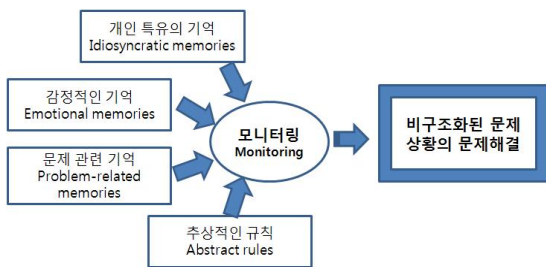


그림 1. 기억과 문제해결의 관계 (Sinnott, 1989)

경진대회' 등에서 학생들을 지도하여, 특상 및 우수상을 획득한 경험을 가지고 있다.

강○○ 학생은 3학년 학생으로, 전국단위 과학전람회 및 경시대회의 지구과학 분야에서 입상하였으며, 교내에서도 학업상을 받는 등 교사들의 신망이 두터웠다. 손○○ 학생은 2학년으로 과학 탐구 경연대회를 비롯하여 과학전람회에 참가하여 입상하였고, 각종 교내 대회에서 우수한 성적을 거두었다.

2. 자료 수집

본 연구는 문제해결 과정의 시작점인 문제의 공간을 정의하는 단계에서부터 해결책을 적용하는 과정까지 참여관찰을 실시하였으며, 작품 제작과정을 모두 촬영하였다. 연구 참여자에게 연구의 목적과 진행에 대해 설명하고, 동의를 구했으며, 참여자가 허락한 후 참여관찰을 실시하였다.

참여관찰은 연구자가 연구대상자들의 세계로 들어가 그들의 삶에 참여하며 관찰하는 것이다. 참여관찰은 작품 제작 활동에 직접 참여함으로써 연구자가 과학고 학생들의 작품 제작과정을 직접 관찰하고 상세한 정보를 수집할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 시간, 공간적인 제약이 있을 수 있으며, 연구대상자들의 표출되지 않은 인지적인 부분을 알아내는데 매우 제한적일 수 밖에 없으므로(Dunbar와 Fugelsang, 2005) 참여 관찰만으로 얻는 자료 수집이 매우 한정적이다. 이러한 참여관찰의 방법을 보완하는 것이 심층면담이다. 면담은 인간이 인간을 이해하기 위해 사용하는 가장 일반적이면서도 가장 위력이 뛰어난 방법들 중의 하나이며, 질적 연구에서 심층면담은 가장 오래되고 우수한 평가를 받는 도구들 중 하나이다(Fontana와 Frey, 1994). 연구자는 심층면담을 통해 연구 대상자로부터 주변세계의 사람, 과거 또는 현재의 사건, 상황들에 대한 감정, 생각, 의도 그리고 해석에 대해 직접 들을 수 있기 때문이다.

본 연구는 과학고 학생들의 비구조화된 문제에 대한 해결과정에서 문제해결이 어떤 단계로 나타나며 구조화된 문제와의 주된 차이점인 메타 인지적 요소가 되는 모니터링에 토대가 되는 경험적인 출처가 어디인지를 살펴보기 위해, 문제 해결 과정의 시작점인 문제의 공간을 정의하는 단계에서부터 해결책을 적용하는 과정까지 참여관찰을 실시하였으며 작품 제작과정을 촬영하였다.

참여관찰 한 내용을 기초로 예비 분석을 실시한 후, 메타 인지적 요소인 모니터링에 토대가 되는 경험적인 출처를 알아내기 위해 각각의 단계에서 시간 순서대로, 모니터링 한 행동들에 대해 그렇게 한 이유와 경험적 출처에 대한 내용을 중심으로 인터뷰를 개방적으로 진행하였다.

면담에 사용된 질문들은 Sinnott(1989)의 다양한 기억들에 기반한 모니터링 과정과 Chinn과 Brewer(2001)의 연구를 참고하여 적용하였다. Jonassen(1997)은 비구조화된 문제 해결과정과 구조화된 문제해결과정의 주된 차이점은 문제공간을 모니터링하고 해결책을 채택하는 단계에서 나타나는 메타인지적 요소인 모니터링의 출현빈도라고 하였고, Sinnott(1989)은 이런 모니터링 과정이 다양한 기억들에 의존한다고 제시하였다. 참여관찰 결과와 Sinnott(1989)의 연구를 바탕으로 과학고 학생들의 작품 제작과정에서 메타인지적 요소인 모니터링을 하는데 사용되는 기억의 출처에 대한 내용을 중심으로 하여 질문을 구성하여 심층면담을 시작하였다.

면담은 작품의 제작과정을 중심으로 진행하였고, 대략 30분 정도의 시간동안 자유로운 분위기에서 진행되었다. 질문은 개별적으로 제시하였지만 면담은 두 학생이 동시에 의견을 교환하며 이루어졌다. 연구자는 연구 참여자들의 정확한 응답을 얻기 위해 면담 이전에 촬영한 작품 제작과정 상에서 나타난 대화 내용을 보여주며 회상하도록 하였고, 구체화 된 응답을 얻기 위해 참여자에게 요약 질문, 반대 질문을 활용하였다. 모든 면담과정은 녹화되었고, 전사되었다.

3. 자료 분석

충북 과학고 학생들의 문제해결과정에 적용되는 과정을 1차 분석한 후 분석틀과 심층면담 내용을 추출하였다. 자료를 수집하고 분석하는 과정은 그림 2

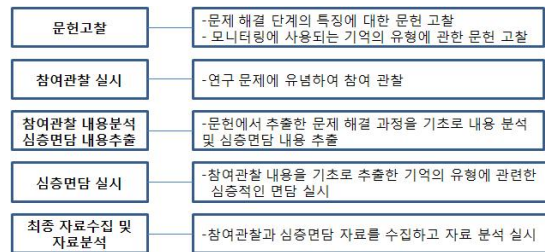


그림 2. 자료 수집 및 분석과정

와 같은 흐름으로 진행되었다.

Jonassen(1997)은 비구조화된 문제 상황의 해결과정을 7단계로 제시하였으나, 본 연구는 과학고 학생들의 계획, 토의, 토론하는 과정 내에서만 분석하였기 때문에, 문제 해결 과정이 1단계에서 5단계 까지만 나타났다. 각 단계별 내용은 표-1과 같다.

각 문제해결 단계는 '단계' 앞에 있는 'S'를 부호로 사용하였으며, 하위 문제상황이 존재할 경우에는 'Ss'로 표기하였다. 'S' 옆에 숫자를 표기하여 단계를 표시하였다. 자료를 분석한 결과 크게 두 문제 상황이 발견되었고, 이것을 구분하기 위해 'A', 'B' 알파벳을 이용하여 표기하였다. 둘 이상의 단계가 동시에 존재하는 경우도 존재하였는데, 이런 경우 영문자는 하나만 사용하였고, 이 경우 영문자는 하나만 사용하고 둘 이상의 단계에 해당하는 숫자는 같이 표시하였다.

표 1. 비구조화된 문제해결 절차

단 계	절 차 (정의)
단계 1	문제 공간과 제약을 분명하게 표상하는 단계
단계 2	대안적인 의견, 이해관계자에 대한 인식들을 명료화하고 확인하는 단계
단계 3	가능한 대안책들을 제시하는 단계
단계 4	개인적인 신념과 논쟁을 통한 대안책의 실현 가능성을 검토
단계 5	문제 공간과 선택된 최선의 해결책에 대한 모니터링

III. 결과 및 논의

1. 비구조화된 문제 상황의 문제해결과정의 특징

문제해결과정은 과학전람회 제출하고자 하는 작품을 제작하는 과정 중 같은 주제로 제작했던 기존 작품의 문제점을 바탕으로 좀 더 보완된 작품을 만들기 위한 계획과 논의 과정에서 나타났다. 이 과정에서 실험 결과를 정량화하는 문제 상황 A와 난류를 볼 수 있는 장치를 고안하는 문제 상황 B가 나타났으며, 문제해결과정 전체의 흐름에서 나타나는 특징은 다음과 같다.

1) 문제 상황의 혼재

문제해결과정 전체에서의 문제 상황은 크게 두가

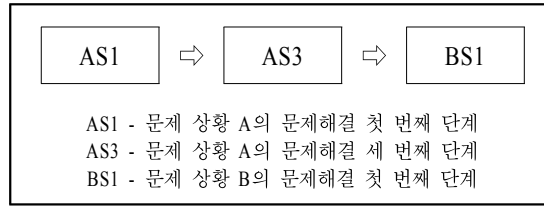


그림 3. 문제 상황의 혼재

지 형태가 존재하는데, 하나의 문제 상황이 해결되지 않은 상태에서 다른 문제 상황이 나타나는 문제 상황이 혼재되어 있는 사례이다. 그림 3은 문제 상황이 복합적으로 존재하고 있는 경우를 보여준다.

강○○ : 지금 연구결과로 나와 있는게 진물을 지날 때 바람의 흐름 그거는 나와 있잖아요? 여기서 의문점이 들었던 게 '이 사람들이 이것을 진짜로 해봤을까?'라고 해서 그걸 만들어 실험 해본 거잖아요?

김○○ : 근데 그거는 우리가 해봤던데까지 거의 비슷하게 나오잖아.

강○○ : 예. 그럼 거기까지는 일단 선행연구가 되어 있는거고. 다음에 발전시킬 수 있는 부분이 정량분석에 대해서는 어떻게 생각하세요? (AS1) ... (중략)..

김○○ : 그러니까 그 실험방법을 어떻게 해야할까?

강○○ : 단히계를 만들기가 쉽지가 않아서. (AS3)

김○○ : 변인통제 같은것도 많이 해야하는데 그런 변인들이 어떤 것들이 있는지도 생각을 해야지.. 통제를 하려면. 그러니까 그런걸 생각 해야 할거 같은데?

강○○ : 그리고 정량분석 말구요, 휴먼테크때 했던 게 난류를 모습을 관찰할 수 있는 도구를 만드는 거였잖아요. 그거를 좀 더 간소화해서 만들 수 있으면 중학생들이나 고등학생들이 지구과학 공부할 때 좀 더 난류에 대해서 쉽게 이해할 수 있는데 도움을 줄 수 있다라는 의미로 연구가 가능할 수도 있죠. (BS1)

강○○은 기존 선행연구에서 보여주었던 내용에서 추가된 정량분석을 새로운 문제 공간으로 제안(AS1)했으며, 이와 관련한 대안적인 해결책들으로써 정량분석을 위한 단히계 실험장치를 제시(AS3)하였다. 이 과정에서 AS2의 과정에 해당될 수 있는 정량분석의 중요성에 대한 관점과 판단기준은 명확히

나타나지 않았다. AS3가 제시 된 후 강○○는 난류의 모습을 관찰 할 수 있는 실험장치를 고안하는 새로운 문제 공간(BS1)에 대해 언급하였는데, 이는 문제 상황 A에 대한 문제해결이 되지 않은 상태에서 새로운 문제 상황 B가 나타나 두 문제 상황이 복합적으로 동시에 존재하고 있음을 보여준다.

2) 상위 문제 상황에서 파생된 하위 문제 상황 존재

이러한 형태의 문제해결과정 흐름(그림 4)은 하나의 상위 문제 상황에서 새로운 하위 문제 상황이 발생하는 경우이다. 문제 상황 B를 해결하는 과정에서 파생된 하위 문제 상황인 BSs가 나타났다.

김○○ : 어찌되었건 문을 여니까 애네가 점점 올라가는 속도가 빨라 보이잖아~그렇지? 근데 파라핀보다 더 잘 안없어지니까 어쩌면 애네를 쓰면 더 좋은 효과를 보지 않을까 하는 생각이 드는데. 어떻게 생각해?

강○○ : 근데 파라핀 방법이요 유동가시화 실험에 쓰였던 방법이거든요. (BS4)

김○○ : 근데 우리는 어떤식으로 장치를 고안했는지 모르잖아. 그러니까 여차피 파라핀으로 하더라도 열선이 장치안에 들어가야 되겠지. 근데 이 열선이 들어가는 것만큼의 얇은 튜브를 연결해서 저기다가 연결을 해놓으면 애가 나오지 않을까?

강○○ : 근데 채 지금 보니까 방사량이.

김○○ : 많지!

강○○ : 그러면 튜브가 압력?

김○○ : 그러면 오차가 생길 수 있겠지?

강○○ : 그것도 그렇구요, 그러니까 너무 많이 분출되면요 오히려 잘 안보이잖아요? (BSs1) 근데 너무 한꺼번에 많은 양을 방출하지 않게 하기 위해서 호스를 얇게 하면요 개가 재 압력을 버틸 수 있는냐가 문제가 되구요.

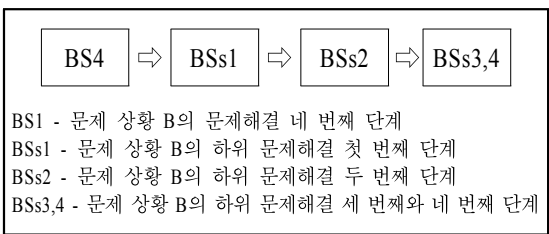


그림 4. 상위 문제 상황에서 파생된 하위 문제 상황

김○○ : 그렇지.

강○○ : 그런데 그렇다고 호스의 양을 재한테 맞춰서 크게 하면 방사량이 많아지기 때문에 확인 할 수가 없어요. (BSs2)

...(중략)...

김○○ : 될 수 있으면 선형으로 나타내는게 더.. 그러니까 힘은 작을수록 좋지 않을까 생각이 드는데.

강○○ : 네. 그러네요. 그러면 일차적으로 저 연기를 모아서... (BSs3,4)

김○○ : 저거 한번 더 썩보자.

난류를 시각화 할 수 있는 장치를 개발하기 위한 문제 상황 B를 해결하는 과정에서 포그머신을 적용했을 때 파생되는 문제 상황을 보여준다. 파생된 새로운 하위 문제 상황은 문제 상황 B를 해결하기 위해 파라핀을 이용했을 때와 포그머신을 사용했을 때 실현가능성에 대해 논의하던 중 여러 가지 대안책을 선택(BS4)하기 위한 논쟁 중에 나타났다. BS4 단계에서 포그머신을 선택하고 이를 실험에 적용하기 위한 과정에서 파생된 하위문제는 포그머신의 방사량과 튜브에 미치는 압력이 관련성이 있음을 인식하고, 난류를 시각화 할 수 있는 적당한 양의 공기의 흐름을 만드는 것이다(BSs1). 하위 문제를 해결하기 위해 적당한 양을 만들어야 하는 판단기준(BSs2)을 세우고, 대안책들로서 포그머신과 실험장치 사이에 2차적 공간을 설정하는 방법과 포그머신을 자연적으로 방출하는 방법에 대해서 논의하는 (BSs3,4) 과정이 나타났다. 이와 같은 문제해결 흐름은 하나의 상위 문제 상황에서 하위 문제 상황이 파생되고 있고, 하위 문제 상황에 대한 논의 후 다시 상위 문제에 접근함을 보여준다.

3) 두 가지 문제 해결 단계가 동시에 나타나는 경우 존재

그림 5는 7단계 과정 중 두단계 이상이 동시에 존재할 수 있는 경우를 나타낸다. 상위 문제 상황인 A를 해결하는 과정에서 4, 5단계가 동시에 발생할 수 있고, 하위 문제 상황인 BSs에서도 3, 4단계나 2, 4단계가 동시에 존재할 수 있음을 보여준다.

강○○ : 그때 선생님께서 찾으시던거 있잖아요?

김○○ : 파라핀?

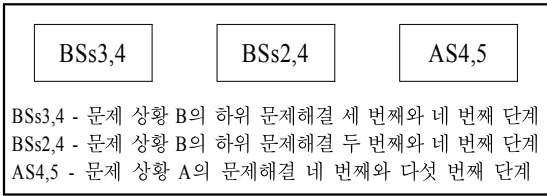


그림 5. 두가지 문제해결 단계 동시 존재

강○○: 예. 그게 가장 효과적일거 같아요. 아주 심각한 효과가 크니까. (BSs3)

김○○: 근데 가능할까? 파라핀을 일단 열선에다가 태워볼까? 어떤식까지 되는지 확인 해보아야 시작을 하지~

강○○: 예. 그걸 시작하려면 어느정도 양의 파라핀에, 또 어느정도 양의 파라핀이 있어야 되는지 알아야 되고, 또 적절한 양의 그게 나오게 하기 위해서 열선을 뭘 써야하는지, 전압을 얼마나 고려해야 하는지 그런것도 다 알아야겠죠. (BSs4)

김○○: 근데 열선에 의한 그 바람이 흘러가는 모습을 볼 수 있는 그 장치를 고안하게 되면 아무래도 이점이 있을거 같은데? 실험하는데~

강○○: 이점이요?

김○○: 어떤식의 이점이 있을 수 있을까? (생각할 시간)

김○○: (피식 웃는다) 그렇게 하면 그런건 좋을거 같아. 그러니까 최소한 바람이 압축된다는 것 정도는 보여줄 수 있는 거잖아. 건물을 타고 넘어 간다는 거 정도는 눈으로 확인할 수 있다는 거지~ 그러니까 어느쪽으로 바람이 흩어지게 되는지를 눈으로 보여줄 수 있다는 거야. 그러니까 그 결과가 되겠지. 그러니까 봐바(손을 이용하여 설명한다). 건물이 이렇게 있는데 바람에 의해서 건물을 넘는거잖아. 근데 우리는 이미 알고 있잖아. 이게 바람이 충돌해서 바람이 이렇게 넘어갈것이라고(손동작을 이용하여 설명한다)~ 생각을 하고 있는 거잖아. 근데 만약에 여기서 바람이 움직이는 길을 보여줄 수 있는 상태가 된다면 여기서 어떤식으로 건물을 넘어가는지 여기서 만약에 선들이 압축이 되면 공기가 압축이 된다는 사실도 알수 있는 거잖아. (BSs4)

위의 예는 난류를 시각화 할 수 있는 실험장치를 개발하기 위한 문제 상황 B를 해결하는 과정에서

가능한 대안책들을 산출하는 과정인 세 번째 단계와 논의를 통한 대안책들의 실현 가능성을 검토하는 네 번째 단계가 동시에 나타남을 보여준다. 시각화를 위해서 파라핀을 이용해야 하는 대안책(BS3)을 제시하면서 대안책을 적용하기 위해서 필요한 열선, 전압과 같은 변인을 고려해야 함을 논의하고 (BS4) 있다.

강○○: 그게요. 제 생각에는, 방금 생각이 든건데요. 공기가 이렇게 오다가 건물에 부딪혀 올라가잖아요. 그렇다면 건물 높이가 평균적으로 20m였을때 그만큼 온도가 내려가겠죠? 안그런가요? (잠깐 다시 생각하더니) 얼마 안내려가겠구나?

김○○: 내려는 가겠지~

강○○: 네..(살짝 웃으면서) 얼마 안내려가겠죠.

김○○: 내려는 가겠지만, 근데 내려가면 어떻게 되는데?

강○○: 제 생각에는 온도가 낮아지면요, 그만큼 공간이 아무리 많아도 많이 상승하지 못할거란 생각이 들었어요.

김○○: 그 변인도 생각을 해보야겠네?

강○○: 네.

김○○: 온도. (BS2)

...

강○○: 단열팽창이요.

김○○: 그것도 한번 고려를 해보야 되겠어~ 계산을 한번 해보지 뭐. 근데 안정도랑 그런걸 생각할 만한 만큼의 범위가 되는지에 대해서도 적정하게 따져봐야 되지 않을까. 계산을 해보고~

강○○: 건물의 높이를 평면적으로 구해봐야겠죠.

김○○: 킬로미터당 10도니까 단열팽창을 하면, 건조단열팽창을 하면. 근데 건물 높이가 20m, 30m정도 된다고 쳤을때 단열팽창을 한다고 치면 온도가 떨어지긴 하겠지. 이삼십미터 높이면 0.2도정도 떨어지나? 뭐 100미터에 1도니까 그렇게, 영점 이삼도 떨어지는데 그것이 영향을 미칠까? 어떻게 생각해? (BS4)

위 문제해결과정은 두 번째 단계와 4번째 단계가 혼합되어 있다. 먼저 문제 공간들 사이에서 영향력이 있는 관점과 판단기준이 나타나는 두 번째 단계 (BS2)가 나타났다. 강○○는 공기가 건물에 부딪혀

상승할 경우 상승한 크기만큼의 단열팽창이 일어나 공기의 온도가 감소함을 생각해 내었고, 공기의 안정도에 영향을 주기 때문에 고려해야 할 요소로써 온도변인과 실제 공기와의 유사성을 대안적인 의견의 판단기준으로 제안하였다(BS2). 또한 온도 변인을 고려할 경우 공기의 상태에 따라서 단열팽창에 따른 온도 변화가 다르다는 사실에 착안하여 습도와 혼합비를 증거자료로써 논의하고, 파라편을 이용할 때의 실현가능성에 대해서 검토하는 과정이 나타났다(BS4).

김○○ : 그러니까 지금은 이런거잖아. 건물이 이렇게 있어, 단한계를 요만큼 만들어. 그러면 이렇게 날라가는 힘이 이 녀석에 의해서 못나가는 거잖아. 근데 이거를 이만큼 만들어, 크게~

강○○ : 아 그럼 스케일을 크게 하자구요?

김○○ : 어. 그럼 이게 이렇게 가든지, 어떻게 가든지 간에~ 이것 때문에 영향을 받진 않는다는 거지. 단한계를 얼마만큼 만들어야 되는지 계산을 해봐야 되는거지.

강○○ : 그래서 이 높이를 가지고서 마찰을 받느냐 안받느냐하는 얘기가 나왔던거구요. 실험을 해 봐요~ (BS4)

...

김○○ : 그러니까 실험을 할 수 있는.. 우리한테 문제는 이런걸들이 다 발생했어, 그치? 이런것들은 어떻게 하면 적당하게 실험 할 수 있을지에 대해서 실험 계획도가 있어야 될거 같아. 장치가~ 여기에다 선풍기를 놓고 어느정도의 계가 필요하니까 아크릴 몇 cm가 있어야 되겠다라는 게 있어야 되겠지. 그렇게 해서 하고 건물의 높이는 어느정도로 하고, 그러고 나서 단한계가 얼마만큼 해야되는지에 대해서 고민을 해 봐야 되겠지, 그치? (AS5)

강○○ : 네. 그럼 첫 번째로 할 수 있는 실험이 그러면은 애(단한계의 크기)가 영향을 받는지 안받는지 확인하는 실험을 해야겠네요?

김○○ : 정리를 그렇게 해 봐야 겠지. 얼마만큼 가는지~ 일단 가시화를 시켜야지만 어느정도 유선이 형성이 되는지 알 수 있는거잖아?

위 문제해결과정은 대안적인 해결책들에 대한 실행가능성과 적용성에 관해 검토하는 과정이 나타난다.

다. 문제 상황 A인 정량 분석을 하기 위해서 만들 실험장치를 열린계와 닫힌계로 할 경우, 모형 건물의 크기에 따라서 적합한 풍속 측정 도구를 선택하는 과정과 바람의 세기와 건물의 크기를 결정하는 과정이 논의 되고 있다(AS4).

이 예시에서는 비구조화된 문제해결과정에서 나타나는 특징적인 형태를 살펴볼 수 있다. 지금까지의 알고 있는 지식의 한계나 지식의 확실성 여부, 그리고 수행상태를 모니터링하고 계획하는 메타인지적 요소가 나타나는 다섯 번째 단계(AS5)가 나타난다. 계의 크기와 관련하여 준비물을 정리하거나 문제 상황 A,B에 대한 실험순서상의 우선순위를 정하는 등 지금까지 논의를 통해 결정된 실험장치 결과를 제작하는 차후 계획을 세우는 과정이 동시에 나타나 있음을 알 수 있다(AS5).

4) 문제해결과정이 일련의 순차적인 단계 흐름이 나타나지 않음

Jonassen(1997)은 제시한 문제해결과정이 7단계로 구성되어 있음을 제시하면서, 이 중 다섯 번째 과정은 순서에 상관없이 문제 해결 과정 전반에 걸쳐 일어날 수 있음을 언급하였다. 그러나 그림 6에 나타난 것과 같이, 실제 문제 해결 과정에서는 5단계까지의 모든 과정이 순차적인 단계 흐름이 나타나지 않음을 알 수 있다.

2. 메타 인지적 요소인 모니터링에 사용된 기억의 유형에 대한 특징

모니터링에 사용한 기억에 대한 출처의 특징을 알아보기 위해 참여관찰 분석 결과 나타난 모니터링에 해당하는 내용을 추출하여 그 부분에 대해 심층 면담을 실시하였다. 심층면담은 지도교사를 제외한 두 학생과 동시에 이루어졌으며, 이 과정에서 충북 과학고 학생들이 사용한 기억은 크게 4가지 유형이 나타남을 확인할 수 있었다. 본 연구에서 나타난 4가지 유형은 Sinnott(1989)이 제시하였던 4가지 기억의 유형과 일치한다. 여기에서 사용된 용어들은 Sinnott(1989)와 Chinn & Brewer(2001)의 연구에서 사용된 것이다.

1) 개인 특유의 기억

개인 특유의 기억은 학교 생활이나 일상적인 경험을 통해 형성된 기억이다. 일상적인 경험들은 개

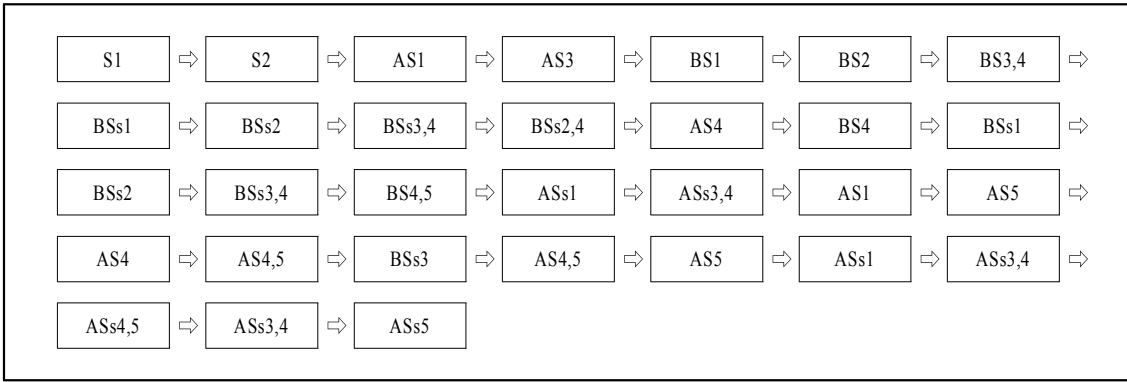


그림 6. 문제해결과정 흐름 요약도

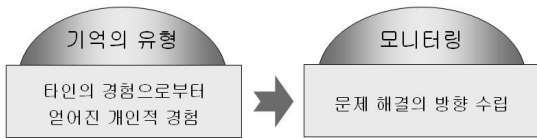


그림 7. 개인 특유의 기억

인의 주변 생활경험, 사회활동, 방송매체, 타인으로부터 들은 정보 등을 포함한다. 그림은 타인의 경험으로부터 얻어진 개인적 경험과 모니터링 사이의 관련성을 보여주는 것이다.

강○○: 작년에 상을 탄 애들 보면요, 다 실용성, 효율성이 있는데. 지용이네 같은 경우는 단풍잎가지고 두부 만들고 선크림 만들고 그랬거든요. 실용성인데, 발표할 때 장학사님이 그러셨대요~ ‘단풍잎 가지고 두부 만들어서 어따 쓰려고?’ 그랬는데 특상 주었다고 하셨거든요.

김○○: 나중에 내가 들은 바로는 발명품에 대해 생각해 봤었는데.. 그때도 그런 생각이 많이 들었거든. 결국에는~

강○○: 실용성!

강○○는 작품제작의 방향을 설정하고 계획하는 모니터링 과정에서 타인으로부터 들은 정보를 적용시키고 있으며 타인의 경험으로부터 습득된 실용성이라는 판단기준이 강○○의 문제해결과정에서 대안적인 의견들에 대한 여러 가지 판단기준 중에 하나가 됨을 확인할 수 있다. 이 내용을 확인하기 위해 실시한 관련 면담 내용은 다음과 같다.

강○○: 과학전람회 같은 대회에서 요구하는 게 있

잖아요, 일단 거기에 따르려고 했어요. 음~ 그리고 저희는 실적을 내야지 대학 가는데 도움이 돼서 여러 대회에 많이 나가는데요, 근데 어느 정도 비슷한 기준들이 있더라구요. 예를 들자면 참신하다거나 경제성 있는 작품? 아참 글고 결정적이었던 거는요, 남자애들이 특상 받게 있었는데 그 얘기들을 들어보니까 실용성이 매우 중요한 거 같더라고요. 아무리 참신해도 써 먹을 수 없으면 별 필요가 없는 거잖아요? 연구자: 아, 그러니까 창의적이면서도 실용적인 작품을 만들어야 한다는 거지?

강○○: 예. 특히 실용성!

두 학생과의 면담 내용의 분석을 통해 참여관찰에서 확인되었던 내용과 일관된다는 사실을 확인할 수 있다. 문제해결의 방향을 결정하는데 타인의 경험으로부터 얻은 정보가 사용되었음을 알 수 있으며, 문제해결의 관점과 판단기준을 세우는 과정에서 타인으로부터 들은 정보만을 단정적으로 이용한 것이 아니라 연구 대상자 본인이 겪은 경험과 작품 전람회의 성격을 종합적으로 고려하며 판단하였음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 모니터링 하는 과정에 사용되는 기억의 출처가 다양하며 선택의 과정이 매우 복잡하게 진행됨을 알려준다(Shin 등, 2003).

2) 추상적인 규칙

추상적인 규칙은 중, 고교 시절 학습을 통해 습득한 교과지식을 포함한 교육과정에 속하는 학습 경험들 같은 기억들을 의미한다. 그림은 교과 지식에 관련한 학습 경험과 모니터링 사이의 관련성을 보

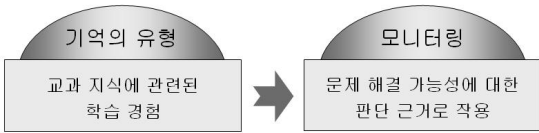


그림 8. 추상적인 규칙

여주는 그림이며, 다음 예시들은 지구과학 수업시간에 습득했던 학습 경험들을 적용한 내용들이다.

강○○: 그게요. 제 생각에는, 방금 생각이 든건데요. 공기가 이렇게 오다가 건물에 부딪혀 올라가잖아요. 그렇다면 건물 높이가 평균적으로 20m였을때 그만큼 온도가 내려가겠죠? 안그런가요? (잠깐 다시 생각하더니) 얼마 안내려가겠구나?

김○○: 내려는 가겠지~

강○○: 네.(살짝 웃으면서) 얼마 안내려가겠죠.

김○○: 내려는 가겠지만, 근데 내려가면 어떻게 되는데?

강○○: 제 생각에는 온도가 낮아지면요, 그만큼 공간이 아무리 많아도 많이 상승하지 못할거란 생각이 들었어요.

김○○: 그 변인도 생각을 해봐야겠네?

강○○: 네.

김○○: 온도.

강○○: 그니까 어느정도까지 물론 공간은 많으면은 자유롭게 올라갈 수 있을때까지 기체가 올라가니까 퍼질려고 하겠죠~ 근데 일단은 온도가 그 상층에 있는 공기보다 낮다는 얘기는 안정하다는 얘기니까 어느정도까지만 올라가고 더 이상 위로는 안올라가잖아요. 그니까 그 범위만 찾아내면 그 안에서 실험을 해도 영향이 없다고 말할 수 있죠.

김○○: 결국엔 단열 팽창이 우선일수 있다. 온도가 높아지면서 생기는 단열팽창과 공기의 안정도를 고려해봐야 된다는거지?

강○○: 네. 그렇게 되면 차라리 1km를 고려하는 것보다 거리가 줄어들잖아요. 근데 지금 생각이 든게 100m당 별로 얼마 안줄텐데.

연구 대상자들이 만드는 작품명은 ‘바람의 길을 분석하여 최적의 풍력발전 위치 결정’이고, 이 주제는 지구과학과 물리학 교과지식이 많이 사용됨을

암시한다. 강○○은 공기가 건물에 부딪혀 상승할 경우 단열팽창과정을 통해 온도가 하강하게 되어, 안정도에 영향을 주어 공기의 이동이 달라질 수 있음을 설명하고 있다. 이는 지구과학 교과 과정에 제시되어 있는 내용지식으로써 7차 교육과정을 적용 받는 강○○와 손○○는 지구과학 I·II에서 학습한 내용이다.

3) 문제와 관련된 기억

본 연구에서 문제와 관련된 기억은 과학전람회 작품제작과 관련한 기억을 의미한다. 그림은 기존의 작품을 제작했던 경험과 모니터링 사이의 관련성을 보여주는 그림이며, 다음은 참여관찰 중 대화 한 내용을 토대로 문제와 관련된 기억을 적용하며 모니터링 한 부분을 발췌한 것이다.

김○○: 그치. 변인통제건 뭐건 그때 우리 아무것도 없었잖아. 그냥 이럴 것이다. 생각하고서 니네가 생각하기에도 엄청난 오류들이 많지 않나?

손○○: 자로 재는것!

김○○: 자로 재는것?

강○○: 오차범위가 되게 컸었던 거 같아요.

김○○: 그것도 그럴거 같고, 또? 또 뭐가 있을까?

강○○: 바람 실험하는데도 건물같은 경우에는 높이가 보통은 그러니까 건물같은 경우에는 우리가 아크릴로 모형을 만들어서 했을때요 그때 높이랑 그러니까 실제 건물의 높이를 반영하지 못했던거 같아요. 실제 건물이 바람을 받았을때 그 높이에서 영향을 받는거랑 실험실 환경에서 받는거랑 엄청나게 많이 틀렸을거 같아요.

... (중략) ...

강○○: 처음에는요, 건물과 건물사이에 골바람이 불면 속력이 쉐진다. 그래서 그걸 이용해서 발전기를 만들어서 에너지 부족한 현실에 도움을 주자라는 의미에서 시작했잖아요, 근데 그거에서 휴먼테크를 할때에는 건물의 모형에 따라서 난류가 어떤식으로 발생하고 또 각 구간별로

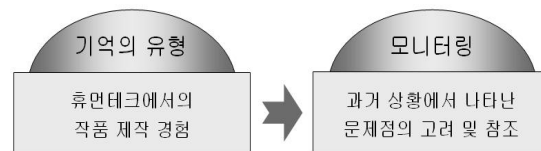


그림 9. 문제와 관련된 기억

변화하는 양을 측정했잖아요. 그리고 그거를 정량적으로 하는게 목적이었잖아요. 이 두가지가 있는데 어느쪽으로 방향을 잡아야 하는지 잘 모르겠어요.

위 대화 내용에선 과학전람회 이전 ‘휴먼테크’ 대회(?)에 같은 주제로 제작한 작품의 문제점을 인식하고 보완점을 분석하는 과정에서 나타나는 모니터링과 문제에 관련 기억이 나타난다. 연구 대상자들이 휴먼테크 대회에서 작품을 제작할 때 실제 건물의 높이, 시간, 변인 통제와 같은 문제점을 도출하였다. 빠르게 풀었는지에 대해 연구 대상자들의 자기평가와 함께 문제가 무엇인지를 검토하고 어떤 방법으로 풀어야 하는지를 계획하는 모니터링 과정이 나타났음을 확인할 수 있다. 위 내용을 확인하기 위해 실시한 면담내용은 다음과 같다.

연구자: 그럼 휴먼테크 대회 준비하면서 뭐 건진거 있어?

손○○: 확실히 그 때 잘된 건 눈으로는 엄청 잘 보였거든요. 근데 풍속측정도 그 때는 열선형 풍속계도 없었고 압튼 뭔가 다 제대로 못한 거 같아요.

연구자: 예를 들어서?

손○○: 음~ 변인통제도 제대로 못하고, 시간에 쫓겨서. 휴~ 지금 생각해보면 완전 엉망이었어요.

연구자: 그럼 지금 실험장치가 그때와 어떤거야?

강○○: 엄청~ 많이 다르죠. 정량분석을 한 것도 그렇고, 가시화 하는데 포그머신 이용한 것도 그렇고. 계획도 미리 세우고.. 사실 이번에도 시간이 없긴 없었는데 지난번보다는 그래도 조금~ 압튼 장치도 더 정교하게 잘 만든거 같구요. 풍속측정도 체계적으로 했고.. 음~

면담 내용을 통해 과학전람회와 같은 형태의 휴먼테크 대회에서 발생한 문제제에 대한 기억이 작품제작을 하는데 있어 시간을 분배하고 정밀한 계획을 세우거나 새로운 목표를 설정하는 등과 같이 모니터링 하는데 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4) 직관

대화의 앞뒤 맥락과 구체적인 기억의 출처가 언급되지 않은 경우를 직관으로 분류하였으며, 다음은

연구 대상자들이 대화 내용 중 직관이 나타난 예시이다.

김○○: 그치, 어느정도까지 영향 범위가 미치는 것까지만 알고 있으면 그 계로 제한할 수 있다는 거지.

강○○: 그게요. 제 생각에는, 방금 생각이 든건데요. 공기가 이렇게 오다가 건물에 부딪혀 올라가잖아요. 그렇다면 건물 높이가 평균적으로 20m였을때 그만큼 온도가 내려가겠죠? 안그런가요? (잠깐 다시 생각하더니) 얼마 안내려가겠구나?

마찰층에 대해서 논의하는 과정에서 강○○은 공기의 상승에 의한 단열팽창으로 인한 온도 감소효과를 언급하였는데 온도 감소와 마찰층은 논리적인 관계를 갖지 않는 개념으로써 문맥적으로 분석하였을 때, 온도 감소를 생각해 낸 근거가 명확하지 않다. 이와 같은 결과를 심층적으로 확인하기 위해 실시한 면담내용은 다음과 같으며, 면담은 구조화된 면담으로써 참여관찰 내용을 보여주며 그 상황에 대해서 회상하도록 하였다.

(비디오 촬영 장면을 보여주면서)

연구자: ○○아, 이 상황 기억하니?

강○○: 하하, 내 모습을 영상으로 보니까 완전 신기한데요! 내가 이때 이랬구나~ (계속 웃음)

연구자: 이때 니가 얘기했던 내용이 단히계를 고려하다가 갑자기 공기 상승에 대한 효과를 언급했었는데, 그 때 니가 왜 그런 생각을 했는지 얘기 좀 해볼래?

강○○: 휴~ 그러게 내가 왜 갑자기 그런 생각을 했지? 잠깐만요. (잠시 있다가) 왜 그랬을까?

연구자: 이 내용이 단히계를 고려하던 중이었잖아, 혹시 단히계와 관련 있었던 건가?

강○○: 그러겠죠 아마~

연구자: 그럼 단열 팽창이랑 단히계랑 어떤 관계지?

강○○: 음.. 단히계를 해서 변인을 줄이려고 했는데, 그러게 생각해보면은 온도 감소는 변인이 추가되는 건데.. 왜 그런 생각을 했지.. 잘 모르겠어요.

강○○와 면담 내용을 분석해 본 결과 공기 상승

에 따른 온도 감소 여부에 대한 의견이 어떤 특정한 논리적인 관계를 통해서 제시되지 않고 앞뒤 맥락과 관계없이 나타남을 보여준다.

이 연구에서 밝혀진 연구 결과는 Jonassen(1997), Sinnott(1989) 그리고 이호 등(2007)의 연구에서 제시한 인지적 모니터링이 다양한 기억들에 의존함을 결과를 일부 뒷받침하며, 교과 지식과 관련한 추상적인 기억들과 문제와 관련한 기억, 직관, 개인특유의 기억들에 대한 사례가 관찰되었다.

이러한 연구 결과를 종합해 보면 다양한 기억의 유형들이 비구조화된 문제 상황에서 문제해결에 사용되기 때문에 학교 교육에서 학생들에게 다양한 기억을 형성시킬 수 있는 비구조화된 문제를 경험할 수 있는 기회가 필요함(Lin, 2001)을 시사한다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 과학전람회 참여 학생들의 비구조화된 문제 과정에서 나타나는 문제 해결 과정의 성격과 문제 해결 과정의 특징을 알아보고, 모니터링에 사용된 기억의 유형을 참여관찰과 심층면담을 통해 분석하였다. 이상의 결과를 바탕으로 결론을 제시하면 다음과 같다.

첫째, 비구조화된 문제 상황에서의 문제 해결 과정은 하나의 문제 상황에 대해 문제 해결이 되지 않은 상태에서 새로운 문제 상황이 나타나 두 문제 상황이 복합적으로 동시에 존재하거나, 상위 문제 상황에서 파생된 하위 문제 상황이 존재하였다. 또한 두 가지 문제 해결 단계가 동시에 나타나는 등 매우 복잡한 성격을 지니고 있다. 이러한 연구결과는 Shin 등(2003)이 제시한 비구조화된 문제의 특성에 대한 정의에서 제시한 특징들과 맥을 같이한다. 또한 비구조화된 문제해결의 특징이 과학전람회의 작품 제작과정에서도 나타남을 알 수 있었는데, 그 이유는 문제를 해결하는 과정에서 두 가지 이상의 해결단계가 공존하고, 해결과정의 흐름이 순차적인 단계를 거치지 않았기 때문이라 할 수 있다.

둘째, 문제 해결 과정의 특성은 단선형의 모양으로 나타나지 않고 복잡한 흐름으로 나타났으며, 문제 해결 과정에서 해결책들에 대한 합리적인 증거를 수집하고 논의하는 단계가 빈번하게 나타났다. 이는 의견을 표출하는 과정이 합리적이고 설득적이지 못한 부분이 나타났을 때, 대안책을 정교화시켜

최선을 해결책으로 도출하는데 논의의 과정이 매우 비중 있는 단계임을 확인시켜 주는 단계라 할 수 있다. 이것은 Simosi(2003)의 연구에서 제시한 최선의 해결책을 선택하기 이전에 정당화하는 과정인 논쟁의 필요성을 뒷받침할 수 있는 증거가 될 수 있을 것이다.

셋째, 비구조화된 문제 상황에서 사용하는 기억의 유형에는 학교 생활이나 일상적인 경험을 통해 형성된 개인 특유의 기억, 교과 지식의 학습 경험과 관련한 추상적인 규칙, 문제와 관련한 기억, 앞뒤 맥락과 구체적인 근거 없이 나타나는 직관의 형태가 나타났다. 이러한 결과는 과학전람회 작품 제작 활동과 비슷한 유형인 휴먼테크에서 작품을 제작한 선행경험이 존재했기 때문일 것이며, 모니터링 하는데 교과지식을 포함한 추상적인 기억이 문제를 설정하고 효과적으로 전략을 세우는 모니터링 과정에 매우 중요하다는 사실을 알 수 있으며, 이 결과는 교과 관련 경험 지식과 비구조화된 문제상황에서의 문제해결력과 연관이 있음을 의미한다.

비구조화된 문제 상황을 해결과정을 구조화된 문제 상황과 비교해 보았을 때 해결과정이 달랐으며, 해결과정에 나타나는 모니터링을 하는데 사용한 기억들이 다양함을 확인할 수 있었다. 이러한 연구 결과를 통해 얻을 수 있는 교육적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 학교 과학교육의 목표 중에 하나인 실생활 문제해결능력을 신장시키기 위한 필요성을 바탕으로 학교교육에서 비구조화된 문제 상황을 제공할 필요가 있으며, 이와 관련된 문제 해결 전략을 교육해야 할 필요가 있다. 특히 비구조화된 문제 상황은 정해지지 않은 다양한 대안 중 최선의 해결책을 도출하는 과정이다. 따라서 여러 가지 대안을 검토하고 평가하는 모니터링 과정과 타인과 논쟁하는 과정을 교수 학습 설계 시에 반영하고, 적용할 필요가 있다.

둘째, 모니터링 과정이 여러 유형의 기억에 의존하고 있으므로 학교교육은 교과 지식과 관련한 경험 외에 다양한 경험의 기회가 제공되어야 할 필요가 있으며, 기억을 회상하는 구체화된 전략을 개발하거나 혹은 유사 경험을 제공하는 전략을 개발할 필요가 있다.

본 연구는 비구조화된 문제 상황과 메타인지적 요소 중 모니터링에 한정하여 연구가 되었으므로

문제 해결 과정 전체를 이해하기에 부족한 면이 있다. 따라서 모니터링 이외의 다른 메타 인지적 요소와 관련된 문제해결과정에 대한 전반적인 연구가 필요하며, 구조화된 문제 상황의 해결과정에 대한 분석과 비교를 통한 연구도 진행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 이혜주 (2005). 구조화 정도가 다른 문제 상황에서 문제발견에 대한 제 변인의 상대적 기여도 분석. *초등교육연구*, 18(2), 123-148.
- 이호, 조현준, 이효녕 (2007). 달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형 분석. *한국지구과학회지*, 28(6), 653-670.
- 최도성, 한효의 (2001). 현행 전국과학전람회에 실태 및 개선 방안 연구. *초등과학교육*, 20(1), 37-61.
- Carr, M., Alexander, J. (1996). Where gifted children do and do not excel on metacognitive tasks. *Roeper Review*, 18(3), 212-218.
- Chang, C. Y., Weng, Y. H. (2002). An exploratory study on student's problem-solving ability in earth science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 441-451.
- Chi, M. T., Glaser, R. (1985). Problem solving ability. In R. J. Sternberg (Ed), *Human abilities: an information processing approach*. Freeman, New York, 227-250.
- Chinn, C. A., Brewer, W. F. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Dunbar, K., Fugelsang, J. (2005). Causal thinking in science: How scientists and students interpret the unexpected. In M. E. Gormann, R. D. Tweney, D. C. Gooding, and A. P. Kincannon (Eds). *Scientific and technological thinking*. (pp. 57-79). New Jersey: Lawrence Erlbaum associates, Publishers.
- Fontana A., Frey, H. J. (1994). Interviewing: The art of science. In N. K. Denzin & Y. Lincoln (Eds). *Handbook of qualitative research* (pp.361-376), Newbury Park, CA.
- Gagne, E. D. (1985). *The cognitive psychology of school learning*. HarperCollins College Publishers, New York, 512 p.
- Greeno, J. G. (1978). Nature of problem-solving abilities. In W.K. Estes(Ed), *Handbook of learning and cognitive processes*, Vol.5: *Human Information Processing*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, p.239-269.
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1), 64-94.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a meta-theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85.
- Lin, X. (2001). Designing metacognitive activities. *Educational Technology Research and Development*, 49(2), 23-40.
- Luke, L., Hardy, C. A. (1999). Appreciating the complexity of learning in physical education: The utilization of a metacognitive ability conceptual framework. *Sport, Education & Society*, 4(2), 175-182.
- Mayer, R. (1983). *Thinking, problem solving, cognition*. W.H. Freeman and Company, New York, 426 p.
- Malouff, J. M. & Schutte, N. S. (2008). Providing comprehensive education in problem solving in Primary and secondary schools. Unpublished working paper, University of New England Australia.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standard: A guide for teaching and learning*. Washington DC: National Academy Press.
- Reder, L. M. (1996). Different research programs on metacognition: Are the boundaries imaginary?. *Learning & Individual Difference*, 8(4), 383-391.
- Roth, W. M. & McGinn, M. K. (1997). Toward a new perspective on problem solving. *Canadian Journal of Education*, 22(1), 18-32.
- Shin, N. S., Jonassen, D. H., McGee, S. (2003). Predictions of well-structured and ill-structured problem solving in an astronomy simulation. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(1), 6-33.
- Simosi, M. (2003). Using Toulmin's framework for the analysis of everyday argumentation: some methodological considerations, *Argumentation*, 17(2), 185-202.
- Sinnott, J. D. (1989). A model for solution of ill-structured problems: Implications for everyday and abstract problem solving. In J.D. Sinnott(Ed.), *Everyday problem solving: Theory and applications*, Praeger, New York, 72-99.
- Tobias, S., Everson, H. T. (2000). Cognition and metacognition. *Issues in Education*, 66(2), 167-174.