

생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타나는 과정요소 및 특성 분석

양일호¹ · 류설진² · 임성만^{*}

¹한국교원대학교 · ²서울대학교

The Analysis of the Process Elements and the Characteristics of Biologists' and Gifted Students' Designing Experiment Activities

Il-Ho Yang¹ · Seol-Jin Ryu² · Sung-Man Lim^{*}

¹Korea National University of Education · ²Seoul National University

Abstract: The purpose of the research was to analyze the characteristics and the process elements which appeared to the process of designing experiment for biologists and gifted students in science. Four biologists and thirty-two gifted students were participated in this study. The findings indicated that (a) the researcher figured out the process elements could constructed in fifteen elements such as confirming questions, arrange materials, consideration for experimental subjects, searching variables, eliminating variables, selecting variables, planning operation of variables, planning control environmental variables, planning control biological variables, planning the methods of observation and assessment, planning the methods of collecting data, planning the interpretation of data, planning the repetition of experiments, planning the repetition of assessment, safety regulations as well. The biologists concentrated in the particular process elements related with variables, since the science-gifted students concerned the performance whole process elements themselves without deeper consideration, (b) the characteristics of biologists and science-gifted students in the process of designing experiment were as follows; 1) biologists and students showed the process elements which include the domain specific process skills as well, 2) biologists accurately conducted the designing experiments processes with repetition of specific process, since students designed experiments conventionally, and 3) biologists possessed the domain specific skills and know-how about their experiments, but students did not. The results show that the programs of designing experiment activity should be constructed with the process elements which were concentrated by biologists, should provide feedbacks to design experiment more accurately, and should be developed with concern of the process skills and know-hows of biologists.

Key words: science-gifted student, biologist, designing experiment activities, science process skill, DCT

I. 서 론

최근 주목받고 있는 영재교육은 창의성교육이라고 할 만큼(정현철 등, 2002), 창의성과 관련된 프로그램으로 구성되어 있다. 또한 영재교육은 영역특수적인 관점에서 과학영재, 수학영재, 정보영재 등으로 분류하여 선발하며, 각각 다른 프로그램을 통해 교육이 실시된다. 이와 같은 흐름을 창의성과 관련지어 보면, 과학에서의 창의성은 과학적 창의성이라고 할 수 있는데(Csikszentmihalyi, 1996), 과학영재를 대상으로 행

해지는 영재교육에서도 이러한 부분을 강조하여 실시해야 한다. 과학영재교육에 앞서 '과학적 창의성을 지닌 사람이라고 할 수 있는 과학자(Csikszentmihalyi, 1996)는 어떠한 활동에서 그러한 능력을 발휘할까?'를 생각해보면, 그들은 자신들이 행하는 연구 활동, 즉 과학적 탐구활동에서 과학적 창의성을 발휘한다고 할 수 있다(박종원, 2004; 신지은 등, 2002; 임성만 등, 2009; 정현철 등, 2002; 조연순과 최경희, 2000; Adolf, 1982; Hu & Adey, 2002; Mohamed, 2006). 특히 과학탐구과정 중 실험을 설계하는 과정

*교신저자: 임성만(elektee@hanmail.net)

**2009년 10월 31일 접수, 2009년 12월 04일 수정원고 접수, 2009년 12월 05일 채택

은 창의성과 관계가 있다는 연구(Chinn & Malhotra, 2002)의 결과와 Sin 등(2004)의 창의성을 향상시키기 위한 과학영재교육 프로그램에 변인을 정의하고 통제하는 실험설계활동이 포함되어야 한다는 주장을 보면, 과학적 창의성교육을 위해서 과학적 탐구과정에서 중요하게 다루지고 있는 '실험설계' 활동에 대한 연구는 필요하다.

그러나 이러한 실험설계에 관한 연구는 다른 탐구 활동에 비해 활발하게 연구되지 않았으며(박종원, 2005), 학교 현장에서 또한 실험설계에 대한 탐구활동이 많이 다루어지지 않았다. 그러한 이유는 학교에서 이루어지는 탐구 학습이 실험 수행이나 자료 해석과 같은 탐구의 일부분에 편중되어 있기 때문이다(전영석과 박종찬, 2006; 박남이 등, 2005).

한편, 지금까지 이루어진 실험설계활동에 대한 국내 연구를 살펴보면, 실험 설계의 유형을 가설을 검증하는 방법에 따라 분류하거나(e.g., 박순화 등, 2005; 박종원, 2003), 실험설계활동 중에서 변인을 설정하고 통제하는 과정에 대한 연구가 대부분이었다(e.g., 전영석과 박종찬, 2006; 김선자와 최병순, 2005; 최미화, 2002). 실험설계활동이 어떠한 과정을 통해 이루어지는지 그리고 그러한 과정에는 어떤 특성이 있는지와 같은 보다 본질적인 연구가 필요하다고 사료된다. 이에 이 연구는 몇몇 연구자들이 실험설계활동에 포함된 변인을 설정하고 통제하는 과정에 대한 연구(e.g., Sin *et al.*, 2004; Chin, 2003; Chinn & Malhotra, 2002; Germann *et al.*, 1996)를 토대로 실험설계활동 전과정에서 나타나는 과정요소와 그 특성을 분석하고자 한다. 이 연구를 위해 통합 탐구과정에 속하는 실험설계를 원활히 수행할 수 있으리라고 판단되는 과학영재와 자신들의 연구 속에서 무수히 많은 실험설계를 경험하고 있는 생물학자들의 실험설계과정을 분석하였다. 또한 이 연구의 목적이 과학영재교육 프로그램에 시사점을 주기 위함이므로 과학영재와 일반적으로 과학적 창의성이 있다고 받아들여지는 과학자(Csikszentmihalyi, 1996; McComas, 1998)를 연구 대상으로 하였다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제를 다음과 같이 설정하였다. 첫째, 생물학자와 과학영재의 실험설계활동에 나타나는 과정요소에는 무엇이 있는가? 둘째, 생물학자와 과학영재의 실험설계활동의 특성은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 절차

이 연구는 실험설계활동에서 나타나는 생물학자와 과학영재의 과정요소를 살펴보고 그 과정요소에서 나타나는 특성을 알아보는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 연구 내용과 관련되는 문헌과 선행 연구를 고찰하였다. 문헌에 근거하여 초기분석틀을 개발하였고, 연구 대상인 생물학자와 과학영재를 선정하였다. 선정된 생물학자와 과학영재에게 동일한 과제를 주고 실험을 설계하도록 하였다. 이 실험설계활동을 나타낸 기록물과 언어적 자료를 면담과 녹화를 통해 수집하였고, 모호하거나 추가적인 내용을 알아보기 위해 사후면담을 실시하였다. 수집된 자료를 통해 프로토콜을 생성하고, 문헌에 근거한 초기분석틀을 이용하여 프로토콜을 예비 분석하였다. 예비 분석을 바탕으로 최종분석틀을 개발하고, 이 분석틀을 이용하여 생물학자와 과학영재의 실험설계활동의 과정요소와 특성을 분석하여 결론을 도출하였다.

2. 연구 대상

이 연구의 분석 대상은 과학 영역에서 SCI급 학회지에 투고한 실적이 10회 이상인 동물행동생태를 전공하고 있는 생물학자 4명과 대학교 부설 과학영재교육원에 재학 중인 과학영재 생물반 학생 32명이다. 32명의 과학영재는 기초과정이 16명, 심화과정이 16명으로 모두 영재 선발 과정을 거쳤으며, 6개월 이상의 생물영역의 영재교육을 받은 경험이 있다.

3. 과제 선정

생물학자와 과학영재에게 제시된 실험설계 과제는 Fowler에 의해 1990년에 개발된 Diet Cola Test (DCT)에 기초한다. DCT는 '다이어트 콜라에도 벌이 유인 되는가'에 대한 의문을 해결하기 위한 실험을 설계하는 것'으로 실험 설계 능력을 측정할 수 있는 개방적(open-ended) 검사도구로, 사전 사후 검사로 구성되어 있으며, 여러 가지 대체형식이 존재한다. Arams와 Callahan(1995)의 연구에서 DCT는 대체형식간 신뢰도가 0.76이고, 채점자간 신뢰도가 0.90

~0.95로 나타나 실험설계능력 평가도구로써 DCT를 사용하는 것이 타당한 것으로 밝혀졌다.

본 연구에서는 DCT가 실험 설계 시에 나타나는 과정요소와 특성을 나타내기 위해 적합한 과제라고 판단하고, 평가도구로써가 아닌 실험설계활동을 위한 과제로 제시하였다.

4. 자료 수집

생물학자의 실험설계활동을 분석하기 위해 DCT를 제시하고 실험설계활동 과정을 비디오로 촬영하였다. 촬영은 각 생물학자의 연구실에서 이루어졌으며 과정은 촬영 직전에 주어졌다. 생물학자들의 시간적 편이를 위해 실험설계활동을 기록하거나 말로 표현하는 것에 대해 자유롭게 선택할 수 있도록 하였으며, 실험설계활동을 표현하는 시간은 50분으로 제한하였다. 실험설계활동 후에 보충 설명이 필요한 부분이나 추가적인 내용에 대하여 연구자가 질문을 하는 사후 면담을 실시하였다.

과학영재의 실험설계활동 분석을 위한 과정은 생물학자에게 주어진 것과 동일하며, 50분 동안 실험설계활동 내용을 기록하도록 하였다. 실험설계활동을 기록하는 방법과 분량에는 제한을 두지 않았으며, 동일한 조건에서 실시하였다. 개별 면담에서 기록한 실험설계활동에 대해 다시 한 번 설명해 줄 것을 요청하였다. 이와 같이 기록물을 수집한 후 면담을 다시 실시한 이유는 실험설계활동을 더욱 명료하고 자세하게 표현할 수 있는 기회를 주기 위함이다. 이 과정에서도 보충 설명이 필요한 부분이나 추가적인 내용에 대한 질문을 통하여 사후 면담을 실시하였고, 모두 비디오로 촬영한 후 분석하였다.

5. 자료 분석

생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타나는 과정요소와 특성을 분석하기 위한 분석틀을 개발하였다. 기존의 문헌과 선행 연구를 고찰하여 고안된 초기 분석틀을 이용해 예비 분석을 실시하였다. 예비 분석의 과정에서 나타난 문제점을 해결하기 위해 과학교육 전문가와 동료연구자들이 귀납적인 방법으로 수정 보완을 하여 최종 분석틀을 개발하였다. 분석틀을 개발하는 것과 함께 분석을 위한 자료들은 모두 전

사하였고, 연구 대상자가 작성한 기록물을 추가하여 프로토콜을 생성하였으며 분석틀에 따라 분석하였다.

1) 문헌 고찰 단계

문헌 연구를 통해 실험설계활동의 과정요소 요소를 추출하여 초기 분석틀을 개발하였다. 대표적인 문헌 고찰 내용을 요약하면 다음과 같다.

Germann 등(1996)의 연구에서 실험 설계에 해당하는 '독립 변인 설정, 독립 변인 조작, 종속 변인의 반응 기록, 반복적인 시도, 실험 통제의 포함, 변인을 일정하게 유지함, 가설을 검증함'의 7가지 범주는 a) 변인을 확인하여 독립변인과 종속변인을 구분하는 것, b) 독립 변인을 조작하는 것, c) 종속 변인을 측정하는 것, d) 실험의 반복을 계획하는 것, e) 변인 통제 방법을 계획하는 것과 같은 과정요소를 추출하는 근거가 되었다.

Chinn과 Malhotra(2002)의 과학자 탐구의 인지 과정 중 실험 설계와 관련된 것은 변인 선정, 실험절차 계획, 변인통제, 측정 계획이 있었고, 이것은 a) 변인을 확인하여 독립변인과 종속변인을 구분하는 것, e) 변인 통제 방법을 계획하는 것, c) 종속 변인을 측정하는 것의 과정요소에 해당된다. 여기서 실험절차 계획은 정신평형을 사용하여 계획하는 것을 말하므로, 실험설계활동의 과정요소라고 보기 어려워 제외시켰다.

Chin(2003)은 실험 계획과 설계과정에서 학생들이 해야 할 행동을 다음과 같이 제시하였다. 학생들은 사용되는 재료들을 확인하고; 포함된 변인들의 종류(통제, 조작, 종속)를 분류하며; 변인들을 어떻게 조작하고 통제하며 측정할 것인지 결정해야 한다고 하였다. 이것은 f) 실험 재료 확인, a) 변인의 종류를 구분하고 확인하는 것, b) 독립 변인을 조작하는 것, e) 변인 통제 방법을 계획하는 것, c) 종속 변인을 측정하는 것과 같은 과정요소에 대한 것이다. 또한 그는 학생들이 부딪힐 잠재적인 문제를 대비할 뿐만 아니라 그들의 자료를 기록하고 나타낼 방법도 계획할 수 있다고 하였고, 자료를 모은 후보다는 그 이전에 자료의 유형, 계획된 자료 개수, 범위, 변인들의 값 간격, 연구의 표제를 보여주기 위한 조직자나 계획자로 표를 사용할 수도 있다고 하였다. 이것은 g) 안전수칙을 고려하고, h) 구체적으로 자료를 수집할 계획을 세우는 과정요소가 나타날 수 있음을 말해주는 것이다.

Sin 등(2004)의 실험설계평가를 위한 체크리스트의 내용은 <표 1>과 일치한다. 이 체크리스트에서는 i) 의문이나 문제들을 확인하고, j) 실험 반복 계획을 포함하는 것과 같은 과정요소 요소를 추출할 수 있었다. 이 체크리스트에 나타난 14개의 항목 중 과정요소 요소로 볼 수 없는 것으로, 단순히 평가를 위한 항목이 있다. 즉, '실험설계에서 3단계 이상 포함함'과 '실험에 사용되는 용어나 전문어를 정의함'이 과정요소 요소라고 볼 수 없어서 제외되었다. 그리고 가설설정이나 결론도출과 같이 본 연구에서 정의한 실험설계활동의 범위를 넘어서는 부분('결과를 예상하고 가설을 정교화 함', '수집된 자료를 바탕으로 추론하고 결론을 생성하는 계획을 포함함')을 제외시킨 나머지 항목들은 위의 세 연구에서 제시한 과정요소 요소의 내용과 중복되는 것이었다.

2) 초기 분석틀 정리

지속적인 문헌고찰과 동료 연구자와의 세미나를 통해 과정요소에 대한 용어와 정의를 수정, 보완 과정을 거쳐서 초기분석틀이 <표 1>과 같이 정리되었다.

3) 프로토콜 예비 분석

문헌 연구를 근거로 한 초기 분석틀을 이용하여 생물학자 1명과 과학영재 16명을 대상으로 예비 분석을 실시하였다. <표 2>는 프로토콜 예비 분석의 예시이다.

예비 분석은 과학교육전문가 2인과 박사과정 3인과의 논의를 거치며 반복되었고, 재검토되었다. 프로토콜을 초기 분석틀에 따라 분석해 본 결과, <표 2>에서

보는 것과 같이 '실험 재료 확인', '변인 확인', '변인 통제 방법 계획', '실험 반복 계획'과 같은 과정 요소에 대해 분석하기 어려운 문제점이 발견되어 과학교육전문가와 동료 연구자들과의 논의를 통해 초기 분석틀을 수정하였다. 반복된 논의를 통해 수정된 내용은 다음과 같다.

첫째, 생물학자와 과학영재의 프로토콜과 기록물 내용을 분석하였더니, 실험 재료를 확인하는 것에 대해 차이가 나타나 내용적 차이에 따라 '실험 재료 확인'을 '준비물 열거'와 '실험대상에 대한 고려'로 구별하여 분석할 필요성이 있어 구분하였다.

둘째, 생물학자의 예에서 '변인 확인'에 대해 보다 세분화의 필요성이 보였다. 즉, 프로토콜을 분석하는 과정에서 생물의 경우 종속변인이 여러 가지가 될 수 있다는 것을 확인하여 다양한 변인을 탐색하고, 증거 평가 과정을 거쳐 적절하지 않다고 생각되는 변인을 소거해가면서 종속변인을 구체화시켜나가는 과학자들의 실험설계 과정에 따라서 '변인 확인'은 '변인 탐색', '변인 소거', '변인 선택'으로 세분화하였다.

셋째, 생물학자와 과학영재의 '변인 통제'에 대한 세밀한 차이가 나타났다. 이에 대한 구별이 필요하다고 논의되어 '변인 통제 방법 계획'을 '생물학적 변인 통제 계획'과 '환경적 변인 통제 계획'으로 구분하였으며, 조작변인 이외의 다른 비생물적 변인을 통제하는 계획은 후자에 해당되는 과정요소라고 정의하였다.

넷째, 연구자는 생물학자와의 사후면담에서 실험의 반복 계획에 관련하여 질문을 하였는데, 생물학자들이 실험의 반복과 측정의 반복을 구별해서 사용하는

표 1 초기 분석틀

과정요소	정의
문제 확인	의문이나 문제를 서술함
실험 재료 확인	사용되는 재료들을 확인함
변인 확인	포함된 변인들의 종류(통제, 조작, 종속)를 분류함
변인 조작 방법 계획	조작변인을 어떻게 조작할 것인지 계획함
변인 통제 방법 계획	통제변인을 어떻게 통제할 것인지 계획함
관찰·측정 방법 계획	자료를 기록하고 나타낼 방법을 계획함
자료 수집 계획	자료를 기록하고 나타낼 방법을 계획함
자료 해석 계획	수집된 자료를 바탕으로 해석할 방법을 계획함
실험 반복 계획	실험 반복 계획을 포함함
안전수칙	실험 설계에서 안전수칙을 고려함

표 2 프로토콜 예비 분석 예시

	과정요소	프로토콜
	문제 확인	<p>“벌은 다이어트 콜라에 유인되는가?” 이 질문은 제가 파악하기에는 콜라의 단맛을 내기위해서 화학첨가제를 넣은 것하고, 그 다음에 그냥 일반 콜라에서 설탕을 넣는지 뭐.. natural product 넣은 것하고를, 사람은 그 단맛을 둘 다 느끼는데, 과연 벌은 그 두 개에서 사람처럼 단맛을 느끼는가에 관한 질문인 것 같아요. -중략-</p>
	실험 재료 확인 ? ①	<p>자연에서 벌이 채집하는 게 넥타인데.. 우리가 꽃 꿀이라고 말하는 게 넥타잖아요. 자연에서 벌이 채집하는 것이 넥타인데..그 넥타의 성분은 당류라고요. 단당류, 이당류, 다당류.. 이렇게 하는 것처럼.. 그래서 우리가 벌이 수집하는 넥타의 당도와... 당도가 있어요. 당류가 있고, 당도가 있는 거예요. 그래서 벌이 당도와 당류에 둘 다 반응을 하죠.</p>
	변인 확인 ? ②	<p>그러니까 당류는 우리가 어떤 당류를 사용할 것인가? 실제 꽃 꿀을 채집해서 실험에 사용할 것인가? 그 다음에 아니면 이미 있는 걸 가지고 꽃 꿀과 같게 합성을.. 그러니까 만들 것인가? 단당류와 다당류를 갖고 만들 것인가? 당도는 어떻게 정할 것인가? 그건데.. -중략-</p>
	변인 통제 방법 계획	<p>우리는 당도는 같게 가야지. 왜냐하면 당도를 다르게 하면 실험 설계가 안돼요. 당류를 했을 때 우리가 플럭토스라고 해도 되는데 여기서 그런 복잡한 용어를 빼고, 화학첨가제와 자연첨가제.. 머라고 할까 natural product라고 하는데 자연생산물? 화학 성분과 자연 성분.. 이렇게 합시다. -중략-</p>
생물학자 A의 프로토콜	변인 조작 방법 계획	<p>벌은 다이어트 콜라에 유인되는가. 그냥 콜라하고 다이어트 콜라하고 갖다놓고요..</p>
	실험 재료 확인 ? ③	<p>실제로 우리나라 환경에서는 벌들이 사람들이 바비큐 파티나 이런 거 하는데 많이 다니지 않지만 그 환경조건에 따라서 PET병에 반응해요. -중략-</p>
	실험 재료 확인 ? ④	<p>벌이 와가지고 그 PET병이나 그 캔에 대한 학습이 이미 되어있는 거예요. 이미 자연에서... 내가 PET병에 가니까 달콤한. 아주 맛있는 게 있더라. 저렇게 생긴 캔에는 뭔가 안에 달콤하고 괜찮은 게 있더라.. 그렇지 않은 벌을 획득해서 실험에 써야 되는 거죠.</p>
	변인 통제 방법 계획 ? ⑤	<p>그렇기 때문에 우리가 될 수 있으면, 본능적인 영역에서 이것을 테스트 하려면 어떤 학습되지 않은 자극에 노출되지 않은 개체를 써야 되는 것이고 학습된 것에서 테스트를 하려면 개네(벌)들이 학습할 수 있는 환경에 대한 통제가 일어나야 되는 거예요. 이전에 이미 과거의 경험을 삭제해야 된다는 거죠. -중략-</p>
	변인확인 ? ⑥	<p>그러면 그다음에 어떻게 들어가야 되냐면 이제.. 우리가 측정할 수 있는 변인들을 정해야죠. 그래서 내가 여기서 어떤 변인들을 측정해서 내가 이 가설을 검증할 것인가에 대한 변인까지 내가 다 정해야 돼 여기? 그럼 변인을 정하면 “방문 횟수”, “1회 방문 시 feeding 횟수” 그 다음에 “1회 방문 시 feeding 양” 그러니까 “섭취량”..그러니까 “방문횟수”는 개가 거기에 몇 번 방문하는 것이고, “1회 방문 시 feeding 횟수”는 한번 방문했을 때 몇 번에 나누어먹고 가는 거예요. 그 다음에 “1회 방문 시 섭취량”은 얼마나 많이 섭취했는가..를 따져볼 수 있어요. -중략-</p>
	변인 조작 방법 계획	<p>우리가 물이 있는 먹이 접시를 제공하고요, 비어있는 먹이 접시를 제공하고요, 그 다음에 케미칼 먹이 접시를..그 다음에 넥타..natural..를 제공하는 접시를 제공할 수 있겠죠. -중략-</p> <p>empty는 접시형태에 대한 반응하는 것에 대해서 하려는 거고, 물질이 있는 것 water는 증류수가 되어야 할 것이고, 케미컬하고 이게 이제 experimental 그룹이지. 애는 컨트롤 그룹이라고요 그러니까 이런 형태로 짜여 져야 된다는 거고.. 일단은...</p>
	자료 해석 계획	<p>그 다음에 이런 형태에서 우리가 가설을 보여주기 위해서 방문횟수하고 그 다음에 이제 다른 조건은 그 다음에 통계처리에서 애네들은 다 상쇄 되서.. 방문횟수, feeding 횟수, 섭취량은 다 어떻게든지 그 안에 포함 될 거예요. 그러니까 이런데서 차이가 있다면 그 안에 다른 방법으로 보정되었죠. 케미컬하고 내추럴은 분석이 될 거예요.</p>

표 2 이어서

변인 통제 방법 계획 ? ⑦	<p>그럴 때 이제 변인들을 이제 방문횟수, feeding 횟수, 섭취량.. 이런 것들을 잡았다고 봐요.. 여기서 이제 통제해야 되는 거는 생물학적인 요인이 있고, 무생물학적인 요인이 있어요. 그럼 생물학적 요인은.. 여기서 통제해야 하는 건 개체 변인.. 그러니까 생물학적 요인의 환경적인 변인.. 생물학적 환경적인 요인이 들어가요 이.. 여기에서 내가 아까 말했듯이 사회적 용이라든지.. 어떤 한 개체가 방문을 하고 있는 접시는, 이미 그거는 C와 N의 컨트롤 접시가 아니에요. 애(C)는 한 가지 요소를 더 가지고 있다고.. 그렇기 때문에 이미 한 개체가 방문하고 있는 접시는 이전 더 이상 실험에서 동일한 조건이 아니에요. 그리고 아주 디테일하게는 애가 방문하고 있으면서 남긴 foot print.. 족적에 케미칼이 묻어있을 수 있어요.</p> <p>-중략-</p> <p>그러니까 그 어떤 chemical substance가 같은 친구들을 유인하는 또는 방해하는.. 방해해도 마찬가지고 방해해도 애가 있으면 안 되고, 같이 왔던 애가 가면 안 되니 새접시를 사용해야 되요 매 애들의 방문마다..</p> <p>-중략-</p>	
변인 확인 ? ⑧	<p>그 다음에 방문 시 feeding 횟수..이거는 굉장히..이거는..제가 넣지 말아야 될 것을 넣었을 수도 있는데 방문 시 feeding 횟수는 몇 번에 나눠 먹는가 인데 너무 좋아해요..그러면 한 번에 싹껏 먹고 간다고..그런데 이상해 chemical에 들어갔더니 단맛이 나는 것도 같은데 이거는 자연산이 아닌 것도 같은데..몇 번 먹어 볼 수 있죠 그러기 때문에 feeding 횟수에 관해서는..여기서는.. 빼는 게 좋겠어요.</p> <p>-중략-</p>	
생물학자 A의 프토토펠	자료 수집 계획	<p>그 다음에 섭취량을 위해서 비디오 레코딩 해서 입이 담가져있는 시간을 재야되고.. 섭취량을 정량화하기가 어려워요. 왜냐하면 나갔을 때 딱 혼란된 애가 나갈 때 딱 캡춰해서 몸무게 재고 들어올 때 몸무게 재야 되요. 딱 고기까지만 갔다 오게 한 다음에..이걸 트레이닝을 완전히 시켜서..요 사이클을 만든 다음에.. 그래야지 섭취량이 나오거든요.</p> <p>-중략-</p>
	변인 확인 ? ⑨	<p>그 다음에..그러면 방문 횟수는 쓰지 말아야겠네요. 처음 방문한 개체 수로만 해야 되겠고...</p>
	자료 수집 계획	<p>(표를 만들면서) 의사결정을 다 해갖고 모아진 데이터의 종류는 첫 번째 방문한..두 번째 방문한..세 번째 방문한.. 이런 식으로 될 것이고, 첫 번째 방문했을 때 이제 feeding 타임 .. 이런 식의 형태로 나왔을 것이고 여기서는 카테고리라 들어갈 것이고 feeding 타임은 숫자가 들어갈 거예요..</p> <p>-중략-</p>
실험 재료 확인 실험 반복 계획 ? ⑩	<p>내가 한 20 개체만 했는데 아주 critical하게 차이가 나요. 그걸 갖다가 수천 개체 할 필요 있어요? 낭비지..근데 20 개체 했는데 차이가 있는 것 같은데 굉장히 미미한 수준이에요. 그러면 그걸 어느 정도 늘릴 것인가는 그 연구자의 어떤 그런 노하우가 되겠지. 그래서 이제 그런 식으로 디자인해야 될 것 같고..</p>	
자료 해석 계획	<p>그 다음에 이게 통계처리가 어떻게 될 건지 알아봐야 될 것 같고..이건 통계처리..요대로 하면 되겠조. 무슨 통계처리 방법을 택해서 내가 할 것인가가.. 미리 설계되지 않으면 결과를 예상하고, 미리 설계되지 않으면 내가 데이터를 수집하는 과정에서 쓸모없거나 또는 잘못된 데이터를 수집할 가능성이 커져요.</p>	
과학영재	실험 재료 확인 ? ⑪	<p>1. 다이어트 콜라, 설탕물, 꿀, 콜라를 준비한다. -> 설탕물, 꿀, 다이어트 콜라를 이용해서, 다이어트 콜라에 유인되는지 알아보고, 그냥 콜라를 이용해서 설탕이 들어 있다면 유인이 가능한지, 또는 생각했던 것처럼 탄산과 향 때문에 모여들지 않는지를 알아본다.</p>
기초 8의	변인 통제 방법 계획 변인 조작 방법 계획 관찰·측정 방법 계획	<p>2. 같은 시간, 같은 장소에서 같은 양의 콜라, 다이어트 콜라, 꿀, 설탕물을 두고, 2시간 동안 몇 마리의 벌이 한 컵에 모여드는지 센다.</p>
기록물	변인 확인	<p>->조작변인: 4개의 다른 물질을 준비 ->통제변인: 시간, 장소, 같은 양, 2시간 동안 일정하게 맞춘다. ->냄새가 섞일 수 있다. 벌은 흑백으로 보기(맞는지 모르겠음) 때문에, 컵을 가릴 필요는 없다.</p>

표 2 이어서

변인 조작 방법 계획 관찰 · 측정 방법 계획	3. 냄새가 섞였을 수도 있으므로, 4개의 물질을 담은 컵을			
	4. 각각 4개의 통에 같은 양의 4개의 물질을 담은 컵을 넣고, 벌을 30마리씩 넣는다. 5. 몇 마리나 각각의 컵에 모여드는지 알아본다.			
자료 수집 계획 자료 해석 계획	6. 수치를 기록하고, 비교하여 결론 도출			
문제 확인	실험) 벌이 다이어트 콜라에 유인되는 여부			
변인 조작 방법 계획	(1) 실험방법 1. 밀폐된 방안에 격자무늬 칸을 만들고 그 칸에 물, 꿀, 다이어트콜라, 일반 콜라를 500ml씩 채운다.			
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;">물</td> <td style="width: 50%;">일반 콜라</td> </tr> <tr> <td>다이어트 콜라</td> <td>꿀</td> </tr> </table>	물	일반 콜라	다이어트 콜라
물	일반 콜라			
다이어트 콜라	꿀			
과학영재	2. 밀폐된 방 안에서 약 100마리의 벌을 쫓는다.			
	3. 어느 정도의 시간이 지난 후 각 칸에 든 벌의 수를 확인한다.			
기초 8의	3. 이 실험을 약 3회 이상 반복한 후 평균값을 구한다.			
기록물	(2) 변인통제			
	조절변인 격자무늬 칸 속에 든 액체 (물, 일반콜라, 다이어트콜라, 꿀)			
	통제변인 액체의 양 등 조절변인을 제외한 나머지 모든 것			
실험 재료 확인	(3) 준비물 벌, 격자무늬 통, 물, 일반콜라, 다이어트 콜라, 꿀			
자료 해석 계획	-> 결과에서 콜라와 다이어트 콜라의 값을 잘 확인해야 한다. 다이어트 콜라에 간 벌 중에서 단지 '콜라' 이기 때문에 간 벌이 있을 수도 있기 때문이다. 이 실험에서는 '다이어트' 콜라의 벌을 유인하는 여부를 확인해야 하기에 물의 수치를 잘 고려해야한다. -> 어느 정도의 시간을 두는 이유는 벌들이 그 액체에 대해 확인을 하고 어떤 것이 좋은지 파악할 시간을 줘야하기 때문이다			

것을 알게 되었다. 이에 따라 '실험 반복 계획'은 '실험의 반복 계획'과 '측정의 반복 계획'으로 세분화하였다. 세분화 된 내용에 대한 자세한 설명은 다음 장의 연구 결과 및 논의에서 다룰 것이다.

4) 최종 분석틀 개발

예비 분석 과정에서 초기 분석틀로 분석하기 어려운 과정요소 요소가 나타났으며, 과학교육 전문가와 동료 연구자들과의 논의를 통한 귀납적 방법으로 초기 분석틀이 수정되었으며, 과학교육전문가 3인에게 내용타당도를 점검받았다. 수정된 최종 분석틀을 <표 3>과 같다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 생물학자와 과학영재의 실험설계활동의 과정요소

1) 생물학자의 실험설계활동의 과정요소

<그림 1>은 실험설계활동의 과정요소를 분석하기 위한 최종 분석틀을 이용하여 생물학자의 프로토크를 분석한 결과를 나타낸 그래프이다.

<그림 1>의 가로축은 실험설계활동의 과정요소가 나타난 인원수를 표시한 것으로, 이 그래프는 개인이 실험을 설계하는 동안 시간의 흐름이나 횟수에 관계 없이 각 과정요소가 몇 번 나타났는가를 표현한 것이

표 3 최종 분석틀

과정요소	정의
문제 확인	의문이나 문제를 서술함
준비물 열거	사용되는 재료들의 목록을 열거함
실험대상에 대한 고려	실험대상의 특성을 고려하거나 샘플링을 계획함
변인 탐색	관련되는 변인을 모두 탐색함
변인 소거	증거평가 과정을 거쳐 불필요한 변인을 소거함
변인 선택	실험 설계에 관련되는 변인을 선택함
변인 조작 방법 계획	조작변인을 어떻게 조작할 것인지 계획함
환경적 변인 통제 계획	조작변인 이외의 변인을 어떻게 통제할 것인지 계획함
생물적 변인 통제 계획	생물의 특성으로 인해 영향을 미치는 요인을 어떻게 통제할 것인지 계획함
관찰? 측정 방법 계획	종속변인을 어떻게 관찰, 측정할 것인지 계획함
자료 수집 계획	자료를 기록하고 나타낼 방법을 계획함
자료 해석 계획	수집된 자료를 바탕으로 해석할 방법을 계획함
실험의 반복 계획	실험 전체를 반복할 계획을 포함함
측정의 반복 계획	측정을 반복할 계획을 포함함
안전수칙	실험 설계에서 안전수칙을 고려함

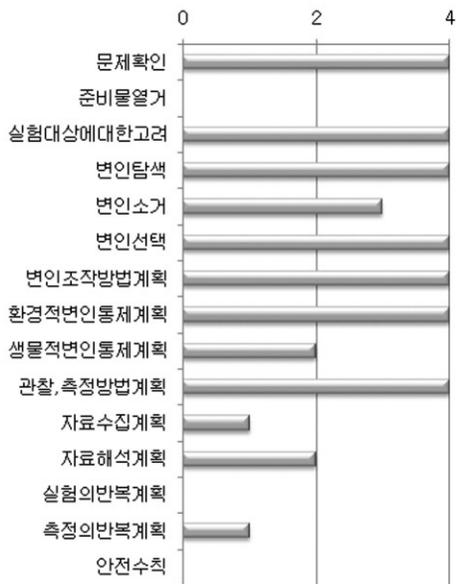


그림 1 생물학자의 과정요소

다. 생물학자의 실험설계활동에서는 문제 확인, 실험 대상에 대한 고려, 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택, 변인 조작 방법 계획, 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획, 자료 수집 계획, 자료 해석 계획, 측정의 반복 계획과 같은 과정요소가 나타났다.

생물학자의 실험설계활동에서 나타나지 않은 과정

요소에는 ‘준비물 열거’, ‘실험의 반복 계획’, ‘안전 수칙’이 있다. ‘준비물 열거’의 과정요소가 나타나지 않는 것은 생물학자들이 실제 실험을 할 때 동료 연구자인 대학원생이나 조교에게 준비물에 관련된 일을 시키는 경우가 많고, 자신의 전공과 관련된 재료나 준비물들이 항상 제공된 상태에서 실험을 하기 때문이라 생각된다. 생물학자들이 오랜 경험으로 익숙한 것이라 본 연구의 실험설계활동에서는 간과되었지만, 실제로는 자동적으로 행하고 있는 과정요소이다. 이러한 내용은 생물학자D의 사후면담에서 평소 실험을 설계할 때에는 준비물에 대해 고려하고 있음을 알 수 있었다.

필요한 준비물을 항상 적게 해요. 항상 내가 필요한 것들은 내 주위에 다 있어야 되요. 뭐 실험을 해야 되는데 밖에 나가서 지금 뭘 사오면 안 되죠. 항상 많이 여유 있게 준비를 해서 없어지는 일이 없도록 해야죠. 그래서 밖에 나갈 때는(실험을 야외에서 할 때는) 가장 먼저 하는 일이 준비물이 무엇인가, 그게 충분히 있는가, 없으면 빨리 가서 사오고, 그게 다 갖춰진 상태에서 나가게 되는 거죠.

(생물학자D의 사후면담 프로토콜)

생물학자들의 실험설계활동에서 ‘실험의 반복 계

획'이 나타나지 않은 이유는 영역 특수적인 특성 때문이다. 생물체를 대상으로 하는 경우, 실험을 반복하는 동안 물리적인 조건은 동일하게 할 수 있지만 생물체는 계속 변하기 때문에 동일하지 않은 조건이 아니다. 생물학자들은 이것을 Pseudo-replication이라고 하였고, 이 과정의 경우 실험의 반복은 의미가 없다고 하였다. Pseudo-replication과 관련된 내용은 생물학자의 특성에 대한 논의에서 자세하게 다루겠다.

'안전 수칙'이 나타나지 않는 이유도 앞의 '준비물 열거'의 과정처럼 익숙하기 때문에 간과한 것이라 생각된다. 이것은 전문성의 요소 중 '자동화된 행동'과 관련이 되는데, 고도의 집중연습과 풍부한 경험으로 전문가들의 행동은 무의식적으로 용의하게 이루어진다는 것이다(Sternberg, 1994; Tan, 1997).

2) 과학영재의 실험설계활동의 과정요소

〈그림 2〉는 과학영재의 실험설계활동의 과정요소를 분석한 결과를 나타낸 그래프이다. [그림 3]과의 차이점은 가로축의 인원수가 생물학자의 경우는 4명이고, 과학영재의 경우 32명이기 때문에 급간이 다르다는 것이다. 이 그래프를 통해 과학영재의 실험설계활동에서 나타난 과정요소의 종류와 과정요소를 나타낸 인원수를 알 수 있다.

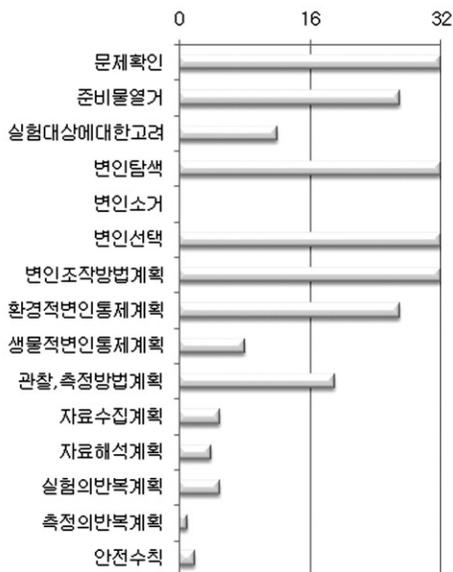


그림 2 과학영재의 과정요소

과학영재의 실험설계활동에서는 문제 확인, 준비물

열거, 실험대상에 대한 고려, 변인 탐색, 변인 선택, 변인 조작 방법 계획, 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획, 관찰 측정 방법 계획, 자료 수집 계획, 자료 해석 계획, 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획, 안전 수칙과 같은 과정요소가 나타났다.

과학영재의 실험설계활동에서는 '변인 소거'를 제외한 모든 과정요소가 나타났다. 이것은 과학영재들이 실험설계의 전형적인 과정요소를 최대한 포함시키고자 했기 때문에 나타난 결과라고 볼 수 있다. 실험설계활동 기록물의 90% 이상이 주제, 준비물, 실험과정 등과 같이 단계화되어 있는 것도 정형화된 실험설계의 과정요소를 나타내고 있음을 뒷받침한다.

'변인 소거'의 과정요소는 생물학자들이 다양한 변인을 고려한 후 가장 적절한 변인을 선택하는 과정에서 나타나는 것이다(Yang et al., 2007). 이 과정요소가 나타나지 않는 것은 많은 학생들은 실험설계에서 가설과 관련이 없는 변인들을 조작하거나(김선자와 최병순, 2005; 최미화, 2002; Germann et al., 1996; van Jooligen & de Jong, 1991) 실험에 영향을 미칠 수 있는 또 다른 변인을 간과하거나(전영석과 박종찬, 2006), 검증하고자 하는 변인과 관계없는 특정 변인에 집착하여 다른 변인을 효과적으로 통제하지 못하는 경향(김선자와 최병순, 2005; 최미화, 2002)을 보이는 것과 같은 변인과 관련된 또 하나의 특징이다. 과학영재들도 일반 학생들과 마찬가지로 다양한 변인을 고려하지만, 그 중 관련이 없는 변인들도 많이 있고 이것을 소거하는 과정이 나타나지 않으며, 탐색한 변인 중 어떤 변인을 선택하는 것이 가장 적절한지 판단하는 모습을 보이지 않았다.

2. 생물학자와 과학영재의 실험설계활동의 특성

1) 생물학자의 실험설계활동에서 나타나는 특성

(1) 실험대상에 대한 고려

생물학자 4명 모두 실험대상인 벌에 대해 고려하는 과정요소가 실험설계활동에 나타났다. 특히 벌을 연구하고 있는 생물학자A의 경우 실험설계활동을 하는 동안 계속해서 벌의 특성에 대해 고려하였고, 다른 생물학자에 비해 그 횟수가 더 많았다. 생물학자D는 본격적인 실험설계를 하기 전에 벌의 종에 따른 생활사와 먹이활동에 대한 전반적인 사전지식을 검토하였

다. 척후벌이 먹이 활동에서 어떤 행동을 하는지를 고려한 후 실험을 계획하는 모습을 보였다. 그리고 벌의 특성을 고려하여 training을 통해 생물적인 변인을 통제를 계획하는 모습도 보였다. 사후면담에서 생물학자D는 실험을 설계할 때 가장 중요한 것이 실험하는 동물에 대한 정보라고 하였다.

면담자: 실험을 설계할 때 중요한 것이 무엇인가요?

생물학자D: 가장 중요한 것은 제가 보기에는 이 실험하는 동물에 대해서 잘 알아야 되요. 그래서 사실 예비실험이라던가 다시 말해서 이거 하다보면 예측하지 못한 결과들이 많이 나올 수가 있거든요. 막상 해보면 잘 안될 때도 있고, 야외에서 하면 온갖 많은 변수들이 있기 때문에, 그 사전실험이라던가 이 동물에 대한 사전지식이 굉장히 중요해요.

(생물학자D의 사후면담 프로토콜)

생물학자B는 주어진 과제에서 다이어트 콜라에 대해 정보를 검색하는 모습을 보였는데, 이것은 Reiff 등(2002)이 과학자들이 정보 탐색을 통해서 주제와 관련하여 이미 알려진 것과 아직 알려지지 않은 것을 확인하고 주제에 대한 더 깊은 이해를 획득한다는 것과 일치한다.

먼저 제가 다이어트 콜라가 뭔지 몰라가지고 인터넷을 찾아봤습니다. 다이어트 콜라가 찾아보니까 설탕 대신에 아스파탐이라고 하는 아마 아미녹시드를 사용하는 것 같아요……. (생물학자B의 프로토콜)

위의 결과를 바탕으로 실험설계활동에 대해 전문가인 생물학자들은 자신의 전공분야에 대한 상당한 영역 특수적 지식을 갖고 있어(Sternberg, 1994; Roth & McGinn, 1997; Glaser & Chi, 1988) 그러한 정보를 이용할 뿐만 아니라(Tan, 1997), 주제와 관련된 정보를 탐색하여 주어진 과제에 대한 실험설계를 더욱 정교화 시킨다는 것을 알 수 있다.

(2) 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택

생물학자B는 조작변인에 대해 탐색을 하는 과정에서 콜라 속의 설탕이라는 요인의 유무를 조작변인으로

로 탐색하였다가, 벌의 특성에 대해 고려한 후 설탕의 유무라는 변인을 소거한 후, 다시 콜라의 향료나 색과 같은 다른 변인을 탐색하는 것이다. 또한 측정할 변인인 종속변인을 결정하는 동안에도 다음과 같이 다양한 변인을 탐색하였고, 적절하지 않은 것은 소거하고 가장 적합한 종속변인을 선택하여 더욱 정교한 실험 설계활동을 하는 특성을 보였다.

유인이라고 하면 결국엔 오느냐의 문제인데, (종략) 애들이 와서 먹는다든 가정을 한다면 할 수 있는 것들이 과연 오는데 시간이 얼마나 걸릴 것인가? 그 다음에 와서 얼마나 오랫동안 머물 것인가? 그 다음에 만일에 양을 놓는다면, 100 마이크로로 놓는다면, 실제로 정말로 먹는다든 머물면서.. 그 양을 기록하는 것도 필요하다 생각 했고요.. 그 다음에 이것은 실험 같은 경우는 야외에서 놓고 자연 상태의 벌들을 가지고 실험 할 수 있고, 그렇다고 하면 얼마나 빠른 시간 내에 오느냐? 얼마나 많은 개체가 오느냐까지도 포함이 되겠죠. (생물학자B의 프로토콜)

생물학자A는 종속변인을 정하는 동안 변인을 소거하는 과정요소가 매우 뚜렷하게 나타났다. 가능한 종속변인으로 '방문 횟수', '1회 방문 시 feeding 횟수', '1회 방문 시 feeding 섭취량'의 3가지 변인을 탐색했다. 그리고 생물적 변인과 환경 변인을 통제할 상황에서 조작변인이 되는 먹이 접시에 대해 대조군과 실험군으로 나누어 실험을 설계하였다. 그 후 결과를 예상하는 과정에서 여러 가지 근거로 종속 변인 중 '1회 방문 시 feeding 횟수'를 소거하는 과정요소가 나타났고, 곧이어 '방문 횟수'도 소거했다. 결국 처음에 탐색했던 3가지의 변인 중 2개의 변인을 소거하고 '1회 방문 시 feeding 섭취량'으로 종속변인을 선택하였다. 섭취량이라는 종속변인의 의미를 더욱 정교화 하였으며, 그에 대한 대안적 가치로 섭취시간을 측정하기로 결정하고 실험을 설계하였다. 이러한 과정에서 <그림 3>과 같은 기록물을 생성하였다.

변인을 탐색하고 적절하지 않은 것을 소거하고 선택된 변인으로 실험을 진행하는 과정이 전체 실험 설계에서 계속 반복되었다. 이것은 이안나 등(2007)의 연구에서 동물 행동학자의 연구 활동이 반복적이고 순환적인 과정이 지속적으로 나타난다고 한 것과 관련이 있다. 생물학자의 전체 연구 과정에서 반복적이

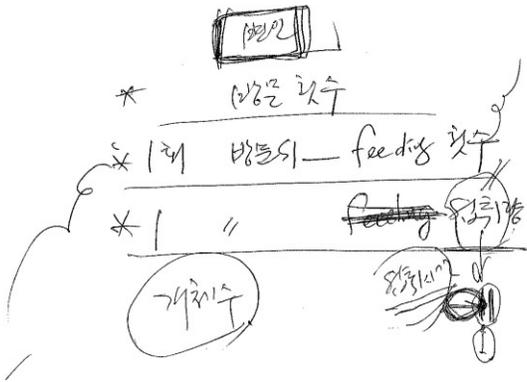


그림 3 생물학자A의 변인 소거가 나타난 기록물

고 순환적일 뿐만 아니라, 그들의 연구에서 ‘검증 방법 고안’이라고 명명한 실험 설계 단계 안에서도 반복적이고 순환적인 과정이 존재함을 보여주는 것이다.

Yang 등(2007)은 과학자가 실험 설계를 위해 실험 재료나 대상을 선택할 때 기존의 연구의 결과를 참고하여 자신의 실험에 맞는지를 판단하여 가장 적합한 것을 선택한다고 하였다. 위의 결과들을 통해 생물학자들이 실험 재료나 대상을 선택할 때뿐만 아니라 변인을 선택할 때도 기존의 연구에 의한 경험에 비추어 보거나 관련 지식을 바탕으로 적절하지 않은 것은 소거하고 가장 적합한 것을 선택하는 모습을 보인다는 것을 알 수 있다. 이것은 전문가가 강한 자기 점검 기능이 있어 문제를 해결하는 과정에서 해결책을 자주 점검하는 것과 유사한 특성이다(Glaser & Chi, 1988).

이렇게 변인을 탐색하고 소거한 후 선택하는 과정이 반복되면서 실험설계활동은 오히려 더디게 진행되었다. 탐색한 변인이 적절한지 여부를 판단하기 위해 사전지식을 떠올리고 증거평가를 거치는 데 시간이 많이 걸리고, 다시 변인을 선택하기 때문에 과정요소들이 반복되는 경향이 나타났다. 이러한 특성은 전문가들이 문제의 해결 과정에서 초기에는 문제점을 인식하고 분석하는 속도가 초보자보다 느린 경향이 있다는 것과 문제 해결에서 해결책을 탐색하기 전에 문제를 어떻게 이해할 것인지 결정하는데 많은 시간을 투자한다는 전문가의 특성으로 설명될 수 있다(Sternberg, 1994; Tan, 1997). 시간이 걸리더라도 정교하게 실험을 설계하는 것이 생물학자들의 특성이라고 생각된다.

(3) 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획
아래에 제시된 프로토콜처럼 생물학자들이 나타낸 ‘환경적 변인 통제 계획’은 공정한 검증을 할 수 있도록 실험을 설계하기 위해 실험 및 조사에 영향을 주는 여러 조건을 확인하고 독립 변인과 종속 변인 이외의 다른 변인을 일정하게 통제하는 변인통제의 방법을 계획하는 과정요소이다(AAAS, 1989). 과정으로서의 과학하기(Sciencing)에서 사용되는 과학과정기술 중 통합과정기술로, 실험을 설계할 때 중요하게 여겨지는 활동이다. 이 과정요소는 생물학자와 과학영재 모두에게서 잘 나타났으며, 모두 이 과정요소의 중요성에 대해 매우 잘 인식하고 있었다.

같은 크기, 같은 모양, 같은 색으로 된 두 개의 캔을 준비한다. (생물학자C의 기록물)

여기에 다이어트 콜라를 갖다 놓고, 그 다음에 뭐 그냥 설탕물을 갖다 놓는다든지, 거의 둘 다 구분이 안 가게끔.. 만약에 색깔이 있으면 다이어트 콜라 같은 경우에는 색깔이 있으니까 여기 설탕물에 색을 넣어서 최대한 비슷하게 해가지고... 아니면 정말 그냥 맹물, 아무 것이 없는 것 이런 식으로 3개를 가져다 놓고...

다음은 생물학자들이 실험설계활동 중 ‘생물적 변인 통제 계획’의 과정요소로 분석된 프로토콜의 예시이다. 실험의 종속변인이 유인된 개체수와 관련이 되어 있을 때, 학습이 되었거나 먹이 활동의 행동적 특성에 의해 중복되어 종속변인의 측정에 오류가 발생할 수 있는 경우의 ‘생물적 변인 통제 계획’으로 나타난 것이다. 그 내용은 학습된 벌의 기억을 제거하거나 한 번 측정된 개체를 marking하거나 통제하는 방법에 대한 계획이다.

학습되지 않은, 자극에 노출되지 않은 개체를 써야 되는 것이고, 학습된 것에서 테스트하려면 개체들(벌)이 학습할 수 있는 환경에 대해 통제가 일어나야 되는 거예요. 이전에 이미 과거의 경험을 삭제해야 된다는 거죠. (생물학자A의 프로토콜)

이미 방문한 개체는 채집을 해서 marking해서 돌려 보내고 그 개체는 거기에서 획득한 먹이 정보를 친

구들한테 알려주고 그 다음에 그 친구들이 올 때는 그 개체가 있지 않아야 돼요.

(생물학자A의 프로토콜)

만약에 벌들이 날아온다고 한다면 똑같은 애들이 계속 날아올 수가 있거든요. 아니면 다른 애들이 올 수도 있고... 그런 일종의 문제를 확인을 해야 돼요. 어느 한두 마리가 여기 가가지고 결론을 좌우할 수가 있거든요.

(생물학자D의 프로토콜)

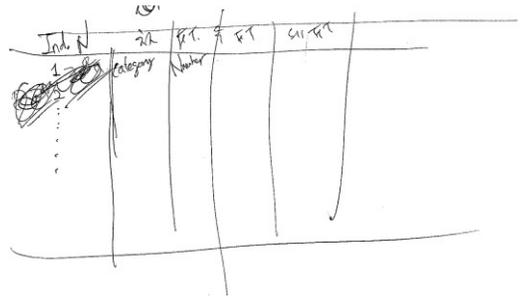


그림 4 생물학자A의 자료 수집 계획이 나타난 기록물

그런데 위의 내용과 관련하여 Baker와 Dunbar (2000)가 생물학자를 대상으로 연구한 것과 본 연구를 비교해서 살펴보면, 본 연구에서 사용된 실험설계 활동 과제에서는 ‘기초 통제’가 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 왜냐하면 동물행동생태와 관련된 실험에서는 면역학에서 다루는 세포 단위의 실험보다 훨씬 복합적인 결과물인 행동을 다루기 때문이다. ‘알려진 기준 통제’에 해당하는 관련 과정요소는 ‘환경적 변인 통제’이다.

따라서 두 연구 결과를 바탕으로 생물학의 내용영역에 따라 실험설계활동에서 통제조건이 차이가 존재하며, 동물행동생태를 전공하는 생물학자들은 ‘생물적 변인 통제 계획’이라는 특수한 통제조건이 나타난다는 것을 알 수 있다.

(4) 자료 수집 계획, 자료 해석 계획

생물학자A는 <그림 4>과 같이 표를 직접 그리면서 측정된 자료를 어떻게 기록할 것인지 계획하는 ‘자료 수집 계획’의 과정요소를 나타냈다.

생물학자A는 “모아진 데이터의 종류는 첫 번째 방문한, 두 번째 방문한, 세 번째 방문한 (개체로) 이렇게 될 것이고, 첫 번째 방문했을 때 이제.. feeding time, 이런 식의 형태로 나왔을 것이고, 여기서는 카테고리가 들어갈 것이고, feeding 타임은 숫자가 들

어갈 거예요. 그래서 데이터를 이런 식으로 하고 여기에, 여기가 데이터의 종류가 아니라 Individual number가 되겠지.”라고 말하며 표(<그림 7>)를 그렸다. 즉, 표에 들어갈 항목의 종류와 들어가는 값에 대하여 구체적인 계획을 세우는 특성을 보였다. 생물학자들은 경험을 통해 관찰, 측정하여 얻은 자료를 어떤 방법으로 수집하는 것이 좋은가를 잘 알고 있고, 이와 같이 자신의 경험상 가장 좋은 방법으로 기록할 계획을 세우는 것이라 생각된다.

생물학자A는 수집된 자료를 어떤 통계로 처리할 것인가에 대해서도 계획하였다. 구체적인 통계처리 방법은 언급하지 않았지만, “그 다음에 이게 통계처리가 어떻게 될 건지 알아봐야 될 것 같고..”라고 말하였다.

‘자료 해석 계획’은 생물학자B는 실험설계활동에서 구체적으로 나타나 있었다. 그는 <그림 5>와 같은 기록물을 작성하고 이 내용을 설명하면서 “ANOVA 테스트를 해보면 될 것이고..”라는 말을 하였다. 사후면담에서 연구자는 이것에 대해 부연 설명을 요구하였고, 생물학자는 예상되는 자료를 분석할 통계학적 프로그램을 미리 계획하는 것은 당연한 것이라고 답변하였다.

생물학자D의 경우 실험설계활동에서는 ‘자료 수집 계획’과 ‘자료 해석 계획’이 나타나지 않았지만, 사후면담에서 측정을 한 변수에 따라서 통계를 어떻게 사

[4] 그러므로, 굳이 실험을 하고자 한다면 아스팜탐몰과 설탕물 사이의 선호도에 대한 실험 정도가 만들어질 수 있음.

- 물과 설탕의 농도를 이용한 실험: 유인책은 필요함 (ANOVA)
- 물과 아스팜탐 농도를 이용한 실험: 유인책은 필요함 (ANOVA)
- 설탕, 아스팜탐 같은 유인 농도를 놓고 선택실험을 실시함. (이항검증)



그림 5 생물학자B의 자료 해석 계획이 나타난 기록물

용할 것인가가 결정된다고 하였다.

측정에 따라서 어떻게 통계를 할 건가가 결정이 되요. 측정의 방법에는 4가지가 있어요. 내가 뭘 측정하느냐에 따라.. nominal, ordinal, interval, ratio. (중략) 벌이 몇 마리가 돌아 나오는가, 이런 거는 수를 셀 수가 있거든요. 이런 건 interval이예요. 그래서 이 측정... 내가 재는 것이 nominal인가 ordinal인가..뭐 이런 걸 잘 알아야 되요. 이걸 잘 알아야만 나중에 통계를 사용할 때 뭘 통해서 쓸지를 알 수 있어요. 나중에 통계 돌릴 때 내 변수가 뭐였냐에 따라서 그게 결정되고 그 예측능력이 여기에 따라서 다 결정이 되요. (생물학자D의 사후면담 프로토콜)

위의 결과들을 바탕으로 생물학자들은 자료 수집이나 자료 해석의 방법을 기존에 사용했던 경험을 바탕으로 미리 계획하며, 이 계획을 할 때 상당한 사전 지식(통계프로그램에 대한 지식)이 관여하는 것을 볼 수 있다. 그리고 생물학자의 '자료 수집 계획'과 '자료 해석 계획'은 과학영재보다 훨씬 구체적이고 명료한 특성을 가진다. 이러한 상대적인 차이는 전문가와 초보자의 차이로 볼 수 있고, 더 자세한 내용은 과학영재의 실험설계활동에서 나타나는 특성에서 논의할 것이다.

(5) 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획

생물학자A는 실험설계활동 중에 “이런 실험은 반복 실험을 하는 게 그다지 바람직하지 않아요.”라고 말하였다. 연구자는 사후면담에서 그렇게 생각하는 이유에 대한 자세한 설명을 요청하였고, 생물학자의 다음과 같이 답변하였다.

초보 연구자들이 가지고 있는 선개념, 그런 것 중에 데이터 숫자를 많이 모을수록 정확하다, 그게 잘하는 실험이다, 반복을 많이 할수록 정확하다, 이런 걸 갖고 있는 것 같아요. 반복을 하면, 실험에 따라 다른데, 생물학은 아까 말했듯이 물리나 화학과 다르다는 것, 다른 특성을 갖고 있기 때문에 똑같은 조건에서 반복한다는 건 실제로 불가능하고... 왜냐하면 자연생태환경이라든지, 모든 환경 자체도 변하지만, 생물자체가 변하기도 하기 때문이예요. 살아있는 생명체를 대상으로 하는 실험은, 그렇기 때문에 절대

똑같은 조건에서 반복은 불가능하다, 그렇지만 측정을 반복해서 하는 것이다. 우리가 측정을 반복해서 할 수 있어요. (중략) 그렇기 때문에 반복을 하지 말라는 게 아니라, 실험 설계를 제대로 하면 쓸데없는 또는 실험을 망치는 반복을 없앨 수 있고, 나는 이 경우는 그게 잘된 실험 설계라고 생각한다는 거예요. (생물학자A의 사후면담 프로토콜)

위의 프로토콜과 같이, 실제 본 연구에 참여한 생물학자 C를 제외한 다른 생물학자들은 실험을 반복할 계획을 세우지 않았다. 생물학자D의 경우 사후면담에서 벌의 샘플링에 대한 설명을 하다가 실험의 반복이 의미가 없을 수 있다고 했고, 의미가 없는 반복을 Pseudo-replication이라고 말하였다.

Pseudo-replication은 조작이나 연구대상이 동일하게 반복되지 않는 실험이나 통계적으로 독립적이지 않은 실험 장치를 사용할 때 나타나는데, 생태학 분야에서 많이 사용되는 용어이다(Heffner *et al.*, 1996; Hurlbert, 1984). 생태학에서 실험을 반복하는 것은 주로 확률적 오류를 줄이고, 정확성을 향상시키며, 보편성을 높이기 위한 것이다.

생물학자들은 Pseudo-replication에 대해 지도교수로부터 들었다고 하였다. 이것은 과학자들이 다른 과학자들로부터 정보를 얻고 이러한 지식과 실험 절차의 지식을 기반으로 한다(Chinn & Malhotra, 2002)는 연구 결과를 뒷받침 한다. Baker와 Dunbar (2000)는 실험 설계 과정이 특정 과학영역에 따라 실제적으로 사용되는 시약이나 기술이 특수하다고 했다. 다시 말해, 위의 결과를 통해 실험을 설계할 때 해당 영역에 따라 특수한 기술, 즉 전문적인 경험을 바탕으로 한 노하우가 존재한다는 것을 알 수 있다.

2) 과학영재의 실험설계활동에서 나타나는 특성

(1) 준비물 열거

생물학자들에게는 준비물 열거의 과정요소가 나타나지 않은 반면에 과학영재의 실험설계활동 기록물을 살펴보면 32명 중 27명이 준비물을 열거하는 것을 볼 수 있었다. 이 과정요소가 나타난 기록물의 특징을 살펴보면 대부분 <그림 6>과 같이 실험에 필요한 재료 및 기구를 열거는 형태로 나타나고, 대부분 설계 초반에 이 과정요소를 나타냈다.

(1) 준비물
 다이어트콜라(중량타양), 상록(10개), 벌(100마리), 물(콜라와동일한양)
 양전장비, 스프링 판, 글루건, 망(안어보는것)

그림 6 과학영재 심화16의 준비물 열거가 나타난 기록물

이 결과는 Sin 등(2004)이 DCT를 이용하여 실험설계능력을 평가했을 때, 영재들이 실험기구와 재료들의 목록을 준비하는 것에서 높은 점수를 받았다는 결과와 일치한다. 이렇게 준비물을 열거하는 것은 보통의 과학 교과서의 실험활동, 특히 요리책식 실험활동에 자주 나오는 부분이다. 그러므로 이것이 영재들이 보통 학교 교육과정을 뛰어넘지 못함을 보여준다(Sin et al., 2004).

즉, 이런 결과를 통해 과학영재들도 절차가 주어지는 학교 과학실험수업에 익숙하고(양일호 등, 2007; Hodson, 1996), 구체적인 실험 기구 없이는 문제를 해결할 수 없다고 생각하는(남정희 등, 2002) 일반 학생들의 특성을 갖고 있음을 알 수 있다.

(2) 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택

연구에 참여한 모든 과학영재들에게서 ‘변인 탐색’과 ‘변인 선택’의 과정요소가 나타났다. 이것은 영재들이 변인을 표명하는 부분에서 높은 점수를 받았다는 Sin 등(2004)의 연구 결과와 일치하는 것이다. Germann 등(1996)이 학생들이 실험에 관련된 변인이 무엇인지 파악하지 못한다고 주장한 것과는 다르게, 과학영재들은 실험과 관련된 변인을 잘 파악할 뿐만 아니라 각 변인이 조작변인, 종속변인, 통제변인 중에 어디에 속하는지도 잘 알고 있었다.

그런데 과학영재들은 생물학자들과의 결과와는 달리 변인들을 소거하거나 선택한 변인이 문제가 없는지 고민하는 과정요소가 전혀 나타나지 않았다. 다시 말해서 ‘변인 탐색’과 ‘변인 선택’의 과정요소는 질적으로 차이가 없는 것이다. 즉, 탐색한 것을 그대로 선택하고, 그 변인이 타당하지 검토해보지도 않고 옳다고 믿는 것이다. 과학영재의 ‘변인 소거’가 나타나지 않는 특성은 전문가와 대비되는 초보자의 특성이라 볼 수 있으며, 생물학자가 반복하고 오랜 시간을 투자할 정도로 핵심적인 과정요소를 과학영재들은 피상적이고 형식적으로 수행하기 때문에 실험설계의 핵심적

인 부분에서 정교성이 떨어지게 된다(Glaser & Chi, 1988; Tan, 1997).

그런데 과학영재의 ‘변인 탐색’과 ‘변인 선택’ 과정요소와 관련된 주목할 만한 특성이 나타났다. 32명중에 9명의 학생들이 준비물을 열거하듯이 변인을 나열하는 기록물(그림 7)을 생성하는 것이다.

조작변인: 콜라의 종류(생물)
 통제변인: 콜라의 온도, 콜라의 양, 개체변환경
 종속변인: 벌의 원인되는 수.

그림 7 과학영재 심화11의 변인 열거와 관련된 기록물

이러한 특성은 학생들이 실험에 관련된 변인들을 조작적으로 진술하게 되면, 올바른 실험을 하기 위해 통제해야 할 것을 찾아 실험설계를 잘할 수 있게 된다(Germann & Odom, 1996)는 측면에서 긍정적인 것이라 해석할 수 있다.

그러나 사후면담에서 몇몇 과학영재들은 실험설계에서 변인이 중요하다고 들었고, 중요한 부분이라 강조하기 위해 적었거나 알아보기 쉽게 하려는 목적으로 정리한 것이라는 답변을 하였다. 이러한 특성이 나타난 과학영재의 경우 변인을 나열하는 특성이 실험설계를 잘하기 위한 목적으로 나타난 것은 아니다.

(3) 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획

과학영재의 실험설계활동에서 ‘환경적 변인 통제 계획’의 과정요소는 27명, ‘생물적 변인 통제 계획’의 과정요소는 8명에서 나타났다. 이 결과는 영재들이 변인을 통제하는 과정이 비교적 잘 나타난다는 Sin 등(2004)의 연구 결과와 일치한다. 특히 일반적으로 변인 통제라고 불리는 조작 변인 이외의 모든 변인을 일정하게 유지하는 ‘환경적 변인 통제 계획’은 대부분

의 학생들이 중요하다는 것을 인식하고 있었고, 실험 설계활동에서 가장 신경을 많이 쓰는 부분이라는 것을 사후면담을 통해 알 수 있었다. 아래에 제시된 것은 과학영재 기초10의 사후면담 내용이다.

면담자: 실험 설계를 할 때 중요하다고 배운 것이 뭐가 있니?

기초10: 그...조건을 다 똑같이 해줘야 된다고 배웠는데요.

면담자: 변인을 통제하라는 것?

기초10: 네.

면담자: 그래서 (이 실험 설계에서는) 어떻게 한 것이니?

기초10: 유리 어항처럼 환경도 똑같이 하고, 비커나 용액의 양도 똑같이 하고, 벌의 종류도 똑같이 하고... (기초10의 사후면담 프로토콜)

과학영재 기초10의 실험설계활동 기록물에는 변인 통제와 관련된 과정요소가 구체적으로 나타나지 않았지만 변인을 통제하는 것이 중요함을 알고 있었고, 사후면담에서 '환경적 변인 통제 계획'과 '생물적 변인 통제 계획'에 대해서 설명하는 모습을 보였다. 기초10이 변인 통제 계획을 세울 때, 단순히 똑같이 하겠다고 계획하듯, 대부분의 과학영재는 변인 통제를 매우 단순하게 계획하는 편이었다. 이러한 특성은 조한국 등(2001)의 과학영재들이 변인 통제를 위한 방법을 구체적으로 계획하는 능력이 상대적으로 부재하다는 연구 결과와 일치한다.

하지만 일부 학생들은 <그림 8>과 같이 구체적으로 변인을 통제할 계획을 나타내기도 한다. 아래의 기초7의 경우 생물학자처럼 벌의 특성을 고려하여 '환경적 변인 통제 계획'과 '생물적 변인 통제 계획'을 하는 모습을 보여주었다.

통제변인: ① 꿀벌은 같은 종을 사용하며 크기 같은 꿀벌들의 능력은 동일해야 한다.
 ② 미로의 크기는 모두 동일하다.
 ③ 실험물질 이외에 냄새는 없어야 한다.
 ④ 사용할 물질의 냄새가 미로 곳곳에 퍼져 있어야 한다.

그림 8 과학영재 기초7의 변인 통제 계획이 나타난 기록물

면담자: 변인에 대해서 이렇게 쓴 이유는?

기초7: 일단 종속변인은 알아봐야 되니까 그렇게 한 거구요, 통제변인은 꿀벌을 같은 종류를 사용하지 않고 크기가 같지 않으면, 꿀벌들의 능력이 동일해야지 길을 찾아가고 하는 게 똑같잖아요. 만약에 어떤 벌이 더 능력이 좋아서 다른 벌이랑 차이가 나는 것을 줄이기 위해서 다 똑같은 종을 사용하고 크기가 같은 것을 써야한다고 생각했어요.

면담자: 이렇게 변인을 통제해야 된다고 어디서 배운거야?

기초7: 학원에서 배웠고 그리고 변인을 통제해야 오차가 없잖아요.

(기초7의 사후면담 프로토콜)

기초7의 기록물과 사후면담 프로토콜에서 벌이 종류에 따라 길을 찾는 능력이 다르기 때문에 벌의 종류는 같게 하는 '생물적 변인 통제 계획'이 나타났고, 미로의 크기를 같게 하고, 조작변인인 실험물질의 냄새 이외의 냄새는 없어야 하고, 조작변인의 냄새가 잘 퍼지도록 해야 한다는 '환경적 변인 통제 계획'이 나타났다.

생물학자의 실험설계활동처럼 과학영재의 실험설계활동에서도 '생물적 변인 통제 계획'의 과정요소가 나타났으며, 이러한 특성은 과제의 내용 영역이 동물 행동생태에 해당하기 때문에 생긴 것이라 여겨진다.

(4) 자료 수집 계획, 자료 해석 계획

과학영재의 실험설계활동에서 '자료 수집 계획'을 나타낸 학생은 5명이고, 그 내용이 단순히 '수치를 기록한다, 표를 만든다, 그래프에 기록한다, 캄코더를 사용하여 모두 녹화한다'와 같이 생물학자에 비해 그 내용이 구체적이지 않았다. 생물학자가 자료를 표에 기록하는 방법을 계획할 때, 각 항목에 기록되어야 할 값이 무엇이고 어떠한 방법으로 기록할 것인지 구체적으로 계획하는 것과는 대조적인 결과이다.

과학영재가 구체적으로 '자료 수집 계획'을 세우지 않는 이유는 대부분의 실험 수업에서 얻어진 자료를 기록하는 표나 그래프가 주어지기 때문이라 생각된다. 실험을 할 때 어떠한 방법으로 자료를 기록하고 수집하는 것이 가장 효과적인가에 대해 고민해 본 경험이 없다는 것을 증명해주는 것이다.

다음으로 '자료 해석 계획'을 나타낸 과학영재는 3명이었고, 그 내용은 '확률을 구하여 비교하여 결론을 내리겠다.'거나 '더하여 그 값으로 결과를 해석하겠다'는 것이었다. 실험을 통해 수집된 자료를 통해 결론을 내릴 때, 어느 정도의 값이면 가설을 옳다고 볼 것인가에 대한 계획이 거의 없었다. 이러한 결과는 VanTassel-Baska 등(1998)의 연구에서 50%이상의 영재가 자료 해석을 위한 계획 진술에서 점수가 낮은 것으로 나타났다는 결과와 일치하며, 이런 특성이 학생들의 경험 부족 때문이거나 이러한 부분이 교육에서 강조되지 않았기 때문이라는 그의 주장을 뒷받침한다.

앞서 생물학자의 경우 실제 실험을 할 때 어떤 통계 프로그램을 사용하느냐가 실험의 결론에 큰 영향을 주고, 측정된 자료가 어떤 종류냐에 따라 해석을 위한 통계프로그램이 다르기 때문에 미리 구체적으로 해석을 위한 방법을 계획한다고 하였다. 그런 특성은 동물 행동생태학의 연구 방법이 대부분 통계프로그램을 사용하고 있고, 그와 관련된 생물학자의 전문성이 나타난 것이었다. 과학영재의 '자료 해석 계획'에서 이러한 전문성이 나타나지 않는 것은 통계프로그램을 사용한 경험이 없고, 관련 지식의 부족한 것이 원인이라고 생각한다. 그러나 어떠한 형태가 되었든 '자료 해석 계획'이라는 과정요소가 거의 나타나지 않는다는 것은, 과학영재들이 실험을 설계할 때 수집한 자료를 어떻게 해석하고 결론을 내려야 하는지에 대해 계획하는 과정이 포함되어 있다는 것을 모른다는 것을 보여주는 것이다.

(5) 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획

32명의 과학영재 중 '실험의 반복 계획'의 과정요소는 5명이 나타냈고, '측정의 반복 계획'은 1명이 나타냈다. 이러한 결과는 VanTassel-Baska 등(1998)의 영재를 대상으로 한 연구에서 검사 반복 계획에서 점수가 낮게 나온 것과 일치한다. Sin 등(2004)의 연구에서도 동일한 결과가 나왔었다.

'실험의 반복 계획'을 나타낸 5명의 과학영재들 중 2명은 3회, 2명은 5회, 1명은 여러 번 실험을 반복한다고 계획을 세웠다. 이에 대한 사후면담을 통해 왜 이렇게 반복횟수를 정했는가를 질문하였고, 과학영재는 3회와 5회라는 반복횟수에는 어떠한 과학적 근거는 없고, 그냥 적당하다고 생각되는 횟수로 정한 것이

라는 답변을 하였다. 사후면담에서 과학영재들은 반복의 횟수에는 특별한 이유가 없지만, 실험을 반복하는 것은 실수로 인한 오차를 줄이고 정확한 결과를 얻기 위함이라고 하였다.

'측정의 반복 계획'과 관련된 특이한 사례가 있는데, <그림 9>처럼 실험을 하지도 않고 표에 측정된 결과 값을 기록물에 나타낸 2명의 과학영재가 있었다. <그림 9>에서 볼 수 있는 것과 같이, 가상으로 적은 실험 결과는 1회, 2회, 3회에 걸쳐 측정된 값으로 하여 숫자를 기록하였고, 이 값의 평균값까지 계산하여 기록물이 작성되어 있었다.

4. 실험

종류	일반종라	다이에올라
1회	20	80
2회	17	83
3회	15	85
평균	17.33	82.66

그림 9 심화11의 가상결과를 나타낸 기록물

이러한 기록물을 작성한 원인에 대해 사후면담을 통해 질문하자, 실험할 때 이렇게 썼던 기억 때문에 그렇게 기록했다고 대답하였다. 다시 말해, 실험의 경험은 있으나 실험을 설계해 본 경험은 없고, 실험 설계에 어떤 것이 포함되는지 모르고 있었다는 것이다. 이러한 결과는 과학영재들이 실험을 할 때 측정을 반복한 경험이 있다는 것을 알려주는 것이기도 하다. 과학영재들 대부분이 이런 경험이 있음에도 불구하고 측정의 반복에 대한 계획이 나타나지 않는 것은 그 실험에서 절차에 따라 수동적으로 실험하였기 때문에 나타난 것이라 볼 수 있다. 일반 학생들처럼 과학영재도 절차가 주어지는 실험수업에 익숙하여 주도적으로 실험을 해본 경험이 부족하다는 것을 알 수 있다(양일호 등, 2007; Hodson, 1996).

IV. 결론 및 시사점

이 연구에서 얻어진 결과와 논의를 바탕으로 결론을 내리면 다음과 같다.

첫째, 실험설계활동의 과정요소는 문제 확인, 준비물 열거, 실험대상에 대한 고려, 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택, 변인 조작 방법 계획, 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획, 관찰 측정 방법 계획, 자료 수집 계획, 자료 해석 계획, 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획, 안전 수칙으로 총 15가지이다. 생물학자는 자동화된 행동에 의해 '준비물 열거'와 '안전 수칙'이 나타나지 않았으며, 과제의 특성에 의해 '실험의 반복 계획'을 의도적으로 나타내지 않았다. 이에 반해 과학영재는 '변인 소거'를 제외한 모든 과정요소가 나타나는 정형화된 실험설계활동 형태를 보였다. '변인 소거'는 변인을 정교하게 선택하는 생물학자의 전문성이 나타나는 과정요소임에도 불구하고, 과학영재는 이러한 정교함이 전혀 나타나지 않았다. 이것은 초보자가 문제에 대해 피상적으로 제시하는 것과는 달리 전문가들은 문제의 본질을 핵심적으로 진술한다는 것으로 설명되는 결과이다(Glaser & Chi, 1988; Tan, 1997).

둘째, 생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타난 특성을 비교하여 종합해보면 다음과 같다: 1) 생물학자와 과학영재는 공통적으로 동물행동생태 분야의 영역특수적인 과정요소(실험 대상에 대한 고려, 생물적 변인 통제 계획)가 나타났고, 이 과정요소에는 해당 분야의 영역지식의 양과는 무관한 영역특수적인 과정기술이 포함되어 있다. 2) 생물학자는 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택과 같이 특정한 하위요소를 반복적으로 점검하면서 정교하게 실험을 설계하는 반면, 과학영재는 피상적으로 실험을 설계한다. 3) 과학영재와는 달리, 생물학자는 자료 해석 계획과 실험의 반복 계획과 관련하여 통계프로그램의 사용과 Pseudo-replication을 피하기 위한 방법과 같은 영역특수적인 기술과 노하우가 있었다.

이 연구 결과는 과학영재의 실험설계활동 교육 프로그램을 개발하는데 다음과 같은 시사점을 준다.

첫째, 절차를 따라가는 실험설계활동보다는 실험설계와 관련된 문제를 해결하는 탐구활동이 프로그램으로 구성되어야 할 것이다.

둘째, 생물학자들이 나타낸 영역특수적인 과정기술이나 노하우를 교육에 활용할 수 있는 방안을 모색하여 과학영재가 습득할 수 있는 형태로 개발하는 과정이 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 김선자, 최병순(2005). 변인통제 문제 해결 과정에서 나타난 초등학생의 실험설계 및 증거제시 특성. 한국과학교육학회지, 25(2), 111-121.
- 박남이, 임낙룡, 박경화(2005). 제 7차 교육과정 고등학교 생물 I [자극과 반응] 단원의 탐구활동에 대한 교과서 비교 분석. 한국생물교육학회지, 33(1), 70-81.
- 박순화, 고정태, 정진수, 권용주(2005). 생물학 탐구에서 학생들이 생성한 가설검증방법의 유형. 한국과학교육학회지, 25(2), 230-245.
- 박종원(2003). 과학적 가설 검증을 위한 학생들의 실험 설계 내용 분석. 한국과학교육학회지, 23(2), 200-213.
- 박종원(2004). 과학적 창의성 모델의 제안: 인지적 측면을 중심으로. 한국과학교육학회지, 24(2), 375-386.
- 박종원(2005). 학생의 과학적 탐구문제의 제안과정과 특성 분석. 새물리, 50(4), 203-211.
- 신지은, 한기순, 정현철, 박병건, 최승언(2002). 과학영재 학생과 일반 학생은 창의성에서 어떻게 다른가?: 서울대학교 과학영재교육센터 학생들을 중심으로. 한국과학교육학회지, 22(1), 158-175.
- 양일호, 김석민, 조현준(2007). 초·중등학교 과학 실험수업의 유형 분석. 한국과학교육학회지, 27(3), 235-241.
- 이안나, 권용주, 정진수, 양일호(2007). 동물 행동학자의 연구 활동에서 나타나는 연구 단계, 사고 과정, 행동 양식 및 생성 지식에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 35(3), 361-373.
- 임성만, 양일호, 임재근(2009). 영역 특수적인 입장에서의 과학적 창의성에 대한 정의, 구성요인에 대한 탐색. 과학교육연구지, 33(1), 31-43.
- 전영석, 박종찬(2006). 과학고등학교 학생의 물리 분야 개방적 탐구과제 수행 준비도 분석. 새물리, 52(4), 345-355.
- 정현철, 한기순, 김병노, 최승언(2002). 과학 창의성 계발을 위한 프로그램 개발 -이론과 예시를 중심으로-. 한국지구과학교육학회지, 23(4), 334-348.
- 조연순, 최경희(2000). 창의적 문제 해결력 신장을 위

- 한 중학교 과학 교육과정 개발. *한국과학교육학회지*, 20(2), 329-343.
- 최미화(2002). 'Thinking Science' 활동이 중학생의 인지가속에 미치는 효과 및 인지 수준과 동기 유형에 따른 'Thinking Science' 문제 해결 과정 분석. *한국교육대학교 박사학위논문*.
- AAAS (American Association for the Advancement of Science, 1989). *Project 2061: Science for all Americans*. New York: Oxford University Press.
- Adolf, J. (1982). *Creative thinking through science*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 232 785). Retrieved September 1, 2008, from <http://eric.ed.gov>.
- Arams, C., & Callahan, C. (1995). The reliability and validity of performance task for evaluating science process skills. *Gifted Child Quarterly*, 39(1), 14-20.
- Baker, L., & Dunbar, K. (2000). Experimental design heuristics for scientific discovery: The use of "baseline: and :known standard" control. *International Journal of Human-computer Studies*, 53, 335-349.
- Chin, C. (2003). Success with investigations: Strategies for facilitating student science investigations. *The Science Teacher*, 70(2), 34-40.
- Chinn, C., & Malhotra, B. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Csikszentmihalyi, M. (1996). *Creativity: Flow and the psychology of discovery and invention*. New York: Harper Collins.
- Fowler, M. (1990). The diet cola test. *Science Scope*, 13(4), 32-34.
- Frost, J. (1997). *Creativity in primary science*. Open University Press.
- Germann, P., Aram, R., & Burke, G. (1996). Identifying patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skill of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 79-99.
- Germann, P., & Odom, A. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science & Mathematics*, 96(4), 192-202.
- Glaser, R., & Chi, M. (1988). Overview. In Chi, Glaser, & Farr (Eds.), *The nature of expertise* (pp.15-28). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Heffner, R., Butler, M., & Reilly, C. (1996). Pseudoreplication revisited. *Ecology*, 77(8), 2558-2562.
- Hodson, D. (1996). Practical work in school science: Exploring some directions for change. *International Journal of Science Education*, 18(7), 755-760.
- Hu, W., & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, 24(4), 389-403.
- Hurlbert, S. (1984). Pseudoreplication and design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54, 187-211.
- Reiff, R., Harwood, W., & Phillipson, T. (2002). A scientific method based upon research scientists' conception of scientific inquiry. In *Proceeding of the 2002 Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science*, Charlotte, North Carolina, January 10-13, 2002, 546-556.
- Roth, W., & McGinn, M. (1997). Toward a new perspective on problem solving. *Canadian Journal of Education*, 22(1), 18-32.
- Sin, M., Park, J., Jung, H., & Heo, N. (2004). Rethinking the high ability students to foster their scientific research skill. *Journal of Korean Earth Science Society*, 25(8), 674-683.

- Yang, I., Oh, C., & Cho, H. (2007). Development of the scientific inquiry process model based on scientists' practical work. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27(8), 754-772.
- Sternberg, R. (1994). *Thinking and problem solving: Theory and applications*. New York: Greenwood Press.
- Tan, S. K. (1997). The elements of expertise. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance*, 68(2), 30-33.
- van Jooligen, W., & de Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.
- VanTassel-Baska, J., Bass, G., Ries, R., Poland, D., & Avery, L. (1998). A national study of science curriculum effectiveness with high ability students. *Gifted Child Quarterly*, 42(4), 200-211.

국문 요약

이 연구는 생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타나는 과정요소와 특성을 분석한 것이다. 연구 대상으로 동물행동생태를 전공한 생물학자 4명과 과학영재 생물반 학생 32명을 선정하였고, 연구를 위해 주어진 과제는 Fowler(1990)의 DCT이다. 그들의 실

험설계활동과 관련된 모든 자료를 수집하였고, 이 자료를 분석하기 위한 분석틀을 개발하였다.

분석 결과, 첫째, 생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타난 과정요소는 문제 확인, 준비물 열거, 실험대상에 대한 고려, 변인 탐색, 변인 소거, 변인 선택, 변인 조작 방법 계획, 환경적 변인 통제 계획, 생물적 변인 통제 계획, 관찰 측정 방법 계획, 자료 수집 계획, 자료 해석 계획, 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획, 안전 수칙으로 총 15가지가 있다. 생물학자는 특정한 과정요소에 집중하는 반면, 과학영재는 정형화된 과정요소를 나타냈다. 둘째, 생물학자와 과학영재의 실험설계활동에서 나타난 특성을 종합하면 다음과 같다: 1) 생물학자와 과학영재 모두 영역특수적인 과정기술이 포함된 과정요소를 나타냈다. 2) 생물학자는 특정한 과정을 반복적으로 점검하면서 정교하게 실험을 설계하는 반면, 과학영재는 피상적으로 실험을 설계한다. 3) 생물학자는 영역특수적인 기술과 노하우를 가지고 있으나, 과학영재는 그렇지 않다.

이러한 결과는 과학영재의 실험설계활동 교육 프로그램은 생물학자들이 집중하는 과정요소를 중심으로 구성하고, 정교한 실험 설계를 할 수 있도록 피드백을 제공하고, 생물학자의 과정기술이나 노하우를 학습할 수 있는 형태로 개발되어야 함을 시사한다.

주요어 : 과학영재, 생물학자, 과학 탐구 과정, 실험 설계, DCT