

중학생의 소집단 자유탐구활동 중 물리 영역 탐구문제의 구성과 변인 추출 및 명료화 과정

유준희* · 김종숙¹

서울대학교 · ¹장원중학교

Middle School Students' Construction of Physics Inquiry Problems and Variables Isolation and Clarification during Small Group Open-inquiry Activities

Yoo, Junehee* · Kim, Jongsook¹

Seoul National University · ¹Jangwon Middle School

Abstract: The study aimed to analyze middle school students construction of physics inquiry problems for open inquiry from the viewpoint of variable isolation and clarification, and investigate students' difficulties during the processes of variable isolation and clarification to get implications for teaching and learning strategies for small group open inquiry activities which have been included in the 2007 national curriculum. The participants were 4 students who had attended an outreach program for the science gifted run by a university institution located in Seoul area. They performed an open inquiry on egg drop for 13 lessons for 30 hours. Level descriptions for variable isolation and clarification have been developed and applied to analyze students' inquiry problems and variables included by the problems. Students iterated inquiry processed 5 times and the inquiry problem showed progress gradually. Dependent variables have been isolated ahead and the levels of variable isolation and clarification showed higher than the independent variables. Many kinds of independent variables isolated extensively and the independent variables and control variables have been mingled. One of the reasons why students had some difficulties in isolation of independent variables could be the absence of theoretical models. The realities of school lab could restrict the variable isolation and clarification as well as topic selections. Some sensory or extensive variables such as broken eggs and drop height seem to be salient to be focused on as core variables. Lack of background knowledges could be one of the reasons for students' difficulties in variable clarification, such as theoretical definitions and operational definitions. As a result of lacking background knowledges, students could not construct theoretical models even though they could isolate and clarify variables as scientific lexical definitions. Some perceptions of inquiry as trial and error or reckless establishment of causal relations between variables could be accounted as one reason.

Key words: middle school students, open inquiry, small group activity, construction of physics inquiry problem, variable isolation, clarification of variables, definition of variables

I. 서론

탐구활동의 개방성은 학생에게 제공되는 문제구성, 방법 선택, 해답의 측면에서 수준을 나눌 수 있으며 (Colburn, 2003; Jones *et al.*, 1992), 2007년 개정 교육과정에서 처음 도입된 자유탐구활동은 주제 선정, 계획 수립, 탐구 수행 및 수행 결과 발표에 이르기 까지 모든 탐구과정을 학생이 주도하는 개방된 탐구의 형태이다(교육인적자원부, 2007). 선행연구에 따

르면 자유탐구활동은 학생들의 과학적 개념을 향상시키는데 기여하며(Minner *et al.*, 2009) 과학의 본성을 이해하고 발전시키는 것을 돕는다. 또한 교사나 다른 학생들과 지식 및 경험을 공유하게 함으로써 의사소통 기술을 길러주고 학생들의 내적 동기를 유발시키며 학생들이 자율적으로 학습하는 방법을 배우게 한다(Kellough *et al.*, 2006). 그러나 학생들은 자유탐구활동을 어려워하며 특히 스스로 탐구문제를 정하는 것을 어려워한다는 연구결과가 보고되고 있다(김

*교신저자: 유준희(yoo@snu.ac.kr)

**2012.04.10(접수) 2012.05.14(1심통과) 2012.08.08(2심통과) 2012.08.11(최종통과)

재우, 오원근, 1998; 박종선 외, 2011양현주, 2005; 이정원, 1999; 전영석, 전민지, 2009;).

자유탐구 중 탐구 문제를 만들어 내는 능력과 이를 탐구가 가능하게 해주는 가설로 발전시키기 위해서는 창의력이 요구되며 이를 탐구 과정에서 중요한 요소로 부각되어야 한다는 주장이 있다(허명, 1984; 우종옥 등, 1992). 박승재와 조희형(1995)은 탐구 문제를 잘 설정하면, 그 문제의 반은 해결한 것과 같으며 탐구 문제의 중요성을 강조하였다. 또한 일상생활에서 문제를 잘 찾는 학생이 창의력이 높다는 연구결과도 보고되었다(Okuda *et al.*, 1991). Wiersma *et al.* (1995)에 따르면, 과학자들이 생각하는 좋은 연구문제는 연구의 방향을 제시하고 변인을 진술함으로써 연구의 초점을 보여줄 수 있어야 한다. Gay *et al.* (2006)은 잘 선정된 연구문제의 조건으로 조사, 실험을 통해 해결하기 쉬우며 이론적 측면이나 실용적인 면에서 중요한 문제를 다루며, 문제해결에 필요한 시간, 자원 등이 적절하여야 할 것을 언급하였다. Ben-david & Zohar(2009)는 학생들이 구성한 탐구 문제를 '변인 정의하기,' '변인간의 관계 정의하기,' '변인을 포함한 문제 설정하기' 등의 세 가지 측면에서 분석하여 결과를 보고하였다. 또한 Colburn(2003)은 실험자가 변인 사이의 관계를 설정한 이후에 실험 결과에 영향을 미치는 다른 변인을 일정하게 통제하기를 시도한다고 하였으며, 이를 공정한 실험(fair test)라고 언급하고 실험에서 변인 통제 과정을 강조하였다. 같은 맥락에서 영국의 과학과 교육과정에 포함된 과학 실험과 탐구의 성취 목표에 따르면 학생들은 탐구과정에서 변인을 통제할 수 있어야 하며(수준4), 다양한 요인들이 작용하는 복잡한 상황이나 통제 변인이 드러나지 않는 상황에서 중심 변인을 식별하여 탐구방법과 과정을 계획할 수 있어야(수준7) 한다(QCA, 2007). 반면 학생들이 생각하는 좋은 탐구문제는 과학적 용어가 들어가 있거나, 평소에 쉽게 접하거나 생각할 수 없는 것, 두 변인 사이의 인과적 관계를 알아 보려고 하는 탐구문제라고 보고되어(김재우, 2000), 변인의 정의나 통제 변인의 설정 등에 대한 인식은 낮은 것으로 판단된다. 또한 학생들은 처음에 계획하였던 탐구문제를 수행하다가 탐구수행에 어려움이 발생하는 경우에 다른 주제의 탐구문제로 바꾸기도 하고(김재우, 2000) 전체 탐구과정을 진행하면서 탐구문제를 여러 차례 수정하는 모습을 보이기도 한다(양현

주, 2005; Zion *et al.*, 2004).

2007년 교육과정 개정 이후 자유탐구 지도의 어려움(전영석과 전민지, 2009), 자유탐구 주제 선정시 어려움(정우경 외, 2011), 자유탐구에 대한 인식(변선미와 김현주, 2011) 및 학생의 탐구문제 제안 과정과 특성 분석(박종원, 2005), 자유탐구의 효과(신영민 등, 2010) 등의 연구가 보고되고 있지만, 실제로 학생들이 자유탐구 중 탐구 대상의 특정 변인을 어떻게 추출하고 명료화하면서 탐구문제를 구성하는지에 대한 미시적 연구는 부족한 편이다. 이에 본 연구는 중학생들의 소집단 자유탐구 활동 중 나타나는 물리 영역 탐구 문제의 구성을 변인의 추출과 정의의 명료화 관점에서 분석하여 자유탐구 교수학습에의 시사점을 얻고자 하였다. 구체적 연구 문제는 다음과 같다.

1. 소집단 자유탐구활동 중 중학생들은 물리 영역 탐구문제를 어떻게 구성하는가?
2. 물리 영역 탐구문제를 구성하는 중, 변인의 추출 및 명료화 과정은 어떻게 나타내는가?
3. 중학생들의 물리 영역 탐구문제 구성 중 변인 추출 및 변인 명료화 과정 중 나타나는 어려움은 무엇인가?

II. 이론적 배경

1. 탐구문제의 구성과 수준

Ben-david & Zohar(2009)는 좋은 탐구문제의 구성을 '변인 정의하기,' '변인간의 관계 정의하기,' '변인을 포함한 문제 설정하기'의 세 가지 요소로 분석하였으며, 각 하위 요소에 대한 세 가지 수준을 제시하였다. 각 하위 요소 마다 0, 1, 2 수준은 <표 1>에서 제시한 바와 같다(Ben-david & Zohar, 2009). 본 연구에서는 Ben-david & Zohar(2009)가 제시한 탐구문제의 구성에 필요한 세 가지 요소 중 "변인 정의하기"에 집중할 것이다.

<표 1>에 의하면, Ben-david & Zohar(2009)는 변인 정의하기의 수준을 나타낼 때, 종속변인이나 독립변인과 같이 변인의 종류를 적시하지 않고 한 개의 변인이나 두 개의 변인 등과 같이 변인의 수로 수준을 나누었다. Ben-david & Zohar(2009)가 탐구문제 구성하기의 요소로 "변인 간의 관계 정의하기"를 포함한 것에 근거하여 해석한다면, 그들도 학생들의 탐구

표 1
탐구문제 구성하기에서 탐구문제 구성 수준(Ben-david & Zohar, 2009)

수준	변인 정의하기	변인 간의 관계 정의하기	문제 설정하기
0	어떤 변인의 정의도 이뤄지지 않았다.	변인 간의 관계가 정의되지 않았거나 변인이 정의되지 않았다.	탐구문제의 형식을 갖추지 못했다.
1	한 개의 변인이 정의되었다.	변인 간의 관계가 모호하게 정의되었다.	모호하게 탐구문제의 형식을 갖추었다.
2	두 개의 변인이 정의되었다.	변인 간의 관계가 명백하게 정의되었다.	명백하게 탐구문제의 형식을 갖추었다.

에서 독립변인과 종속변인 등 다양한 변인의 종류가 나타나는 것을 인식하였을 것이나 종속변인과 독립변인을 정의하는 것 중 어느 것이 좀 더 높은 수준으로 정할 것인가에 대해서는 결론을 내리지 못한 것으로 판단된다.

2. 변인 추출의 수준

학생들이 초기에 선정한 탐구 대상은 다양한 속성과 특징을 내포하고 있으며, 이 중 유의미한 속성이나 특징을 인식하고 변인을 추출하는 것은 탐구가 가능한 문제를 구성하는데 필수적일 것이다. 그러나 이러한 유의미한 변인의 추출은 학생들 뿐 만 아니라 과학자들에게도 어려운 것으로 보고되었다(Chinn & Malhotra, 2002). 과학자들의 참탐구(Authentic inquiry)와 학교 현장에서 이루어지는 탐구과정에서 인지과정을 비교한 Chinn & Malhotra(2002)의 연구 결과에 의하면, 과학자들은 변인을 선택할 때 가능한 많은 변인으로부터 핵심 변인을 선택하며 종종 이론적으로 평가가 가능한 개념적인 변인을 발견하거나 구성하는 모습을 나타내고, 어떤 변인이 통제되어야 하며 어떻게 충분하고 적당한 통제를 할 것인지를 결

정하는데 어려움을 겪는 것으로 나타난다(Chinn & Malhotra, 2002). 과학자들은 적당한 통제 변인이 무엇인지를 결정하기 위하여 다양한 조건 아래서 작동하는 과정에 대하여 이론적인 고찰을 한 후 구성한다고 보고하였다(Chinn & Malhotra, 2002).

과학 탐구에서 학생들의 변인 추출과정에 대한 연구는 아직 많이 보고되지 않았으나, 논리적 사고력의 측면에서 적절한 변인을 추출하는 것은 오랜 동안 연구되어온 주제이다. Kuhn & Brannock(1977)은 변인 추출능력을 조사하기 위한 지필검사지를 개발하였는데, 그 검사지는 생물실험 상황에서 종속변인, 종속변인과 공변하는 변인, 종속변인과 공변하지 않는 변인이 혼재한 실험 결과를 제시하고 학생들에게 공변하는 변인을 추출하게 하는 것이었다. 그들은 4, 5, 6학년 학생 및 대학교 1학년 학생을 대상으로 변인 추출 능력을 조사하여 학생들의 변인 추출 능력(levels of performance in the variable isolation)을 5단계로 보고하였다(Kuhn & Brannock, 1977). Kuhn & Brannock(1977)이 제안한 변인 추출 능력의 수준을 <표 2>에 제시하였는데, 변인 추출의 개념이 없는 경우는 0수준, 변인을 적절하게 추출하지는 못하였지만 변인 추출의 개념을 가지고 있는 경우를 1수준, 유

표 2
Kuhn & Brannock(1977)의 변인 추출 수준

수준	특징
0	변인 추출의 개념이 없는 경우
1	변인을 빠르게 추출하지는 못하였지만 변인 추출의 개념을 일부 가지고 있는 경우
2	유효한 변인을 추출하였으나 논리적으로 무효한 변인을 제외하는 것에 실패하는 경우
3	무효인 변인(inoperative variables)을 논리적으로 배제하였지만, 유효한 변인을 추출하는 것에 실패한 경우
4	무효인 변인(inoperative variables)을 논리적으로 배제하고, 유효한 변인을 추출에 성공한 경우

효한 변인을 추출하였지만 다른 무효한 변인들을 논리적으로 제외하는 것에 실패한 경우를 2수준, 무효한 변인을 논리적으로 추론하여 배제하였지만, 유효한 변인을 추출했는가 여부로 3수준과 4수준을 나누었다. 그의 연구에서 과반수의 학생들이 4단계 수준에 도달하지 못한 것으로 나타났으나, 논리적으로 변인을 포함시키거나 제외시키는 능력은 고학년이 될수록 발전하는 양상을 나타내어, 다양한 변인이 존재하는 상황에서 변인을 추출하는 학습을 통해 학생의 변인 추출 능력을 점진적으로 향상시킬 수 있다고 주장하였다(Kuhn & Brannock, 1977).

Kuhn & Brannock(1977)는 실제의 탐구를 수행하는 상황에서 변인 추출 능력을 검사한 것 아니라 지필 검사로 논리적 사고력을 조사한 것이기 때문에, 전반적인 변인의 추출 능력보다는 공변하는 변인 추출 능력 수준을 제시한 것이라고 할 수 있다. 실제의 자유 탐구에서는 학생들이 일상생활에 존재하는 다양한 현상이나 대상에 대하여 탐구 대상의 핵심이 되는 종속 변인을 추출하고 그 종속변인과 공변하는 다양한 변인 중 핵심이 되는 독립변인 및 통제변인을 추출해야 한다. 따라서 Kuhn & Brannock(1977)의 변인 추출 능력의 수준에서 기술한 ‘유효한 변인(operative variable)’의 개념을 종속변인에 적용하기 위해서는 유효한 변인의 개념을 ‘공변하는 변인’ 보다는 ‘이론적 모형에 근거한 핵심적이고 중요한 변인’으로 확대해야 할 것이다.

주어진 탐구 대상에 대하여 특정한 변인을 추출하게 되면, 해당 변인에 대한 명명과 함께 의미를 부여

하기 시작할 것이다. Wellington & Osborne(2001)은 과학에서 사용되는 용어(words of science)의 유형과 수준을 <표3>과 같이 제시하였다. 그들에 따르면, 가장 낮은 수준의 용어는 명명 용어(naming words)로 인식 및 관찰 가능한 사물이나 실재를 지칭한다(Wellington & Osborne, 2001). 명명 용어 중 높은 수준의 용어는 친숙하지 않은 사물이나 실제로 육안 관찰이 불가능하거나 비거나 플라스크와 같은 실험실에 속한 사물에 대한 명칭을 학습하는 것이고, 낮은 수준의 용어는 일상생활에서 이미 친숙한 사물이나 실재에 새로운 이름, 즉, 학술적인 명칭을 부여하는 것이다(Wellington & Osborne, 2001). 두 번째 수준의 용어는 과학적 과정에 대한 용어(process words)로 증발이나 연소와 같은 과학적 과정을 외연적으로 정의한 용어나 진화와 같이 외연적으로 정의되지 않는 과학적 과정을 나타내는 용어로 유형을 분류할 수 있다(Wellington and Osborne, 2001). 과학에서 가장 많이 사용하는 세 번째 수준의 용어는 에너지, 힘, 열과 같은 개념 용어(concept words)로 학생들은 개념 용어를 학습하는데 많은 어려움을 나타내고 있는데, 그 원인으로 각 개념 용어를 이해하기 위해서는 해당 개념 용어와 수직적 관계나 선행적 관계에 있는 다른 용어의 이해가 선결적으로 필요하다는 점이 지적되고 있다(Wellington & Osborne, 2001). 개념 용어 중 가장 낮은 수준의 유형은 빨강 등과 같이 감각과 관련된 단어로 감각적 개념(sensory concept), 두 번째 수준의 유형은 일, 에너지 등과 같은 과학적 의미와 일상적 의미를 모두 가지고 있는 용

표 3
과학 용어의 유형과 수준(Wellington and Osborne, 2001)

수준	특징	예시 유형
4	수학적 용어와 기호	-
3	개념 용어	3.1 경험에서 유도한 개념(감각적 개념) 3.2 과학적 의미와 일상적 의미를 모두 포함한 개념 3.3 이론적 구성(추상화, 이상화 및 가정된 실재 등)
2	과정 용어	2.1 외연적으로 정의할 수 있는 것 2.2 외연적으로 정의할 수 없는 것
1	명명 용어	1.1 익숙한 대상에 대한 새로운 명칭(동의어) 1.2 새로운 대상에 대한 새로운 명칭 1.3 화학 원소의 명칭 1.4 기타 학명

어, 세 번째 수준의 개념적 용어 유형은 원자, 전자, 마찰이 없는 평면 등과 같이 이론적으로 구성된 용어로 관찰하기 어려운 실재, 이상화된 조건이나 추상화를 포함한다(Wellington and Osborne, 2001). 네 번째 수준의 용어는 수학적 단어와 기호이다. 과학 용어의 수준은 각 용어를 어떻게 정의하는가에 따라 달라질 수 있는데, 증발이라는 용어를 과학의 과정을 나타내는 용어로 정의할 수도 있지만, 개념적으로 정의할 수도 있다. 따라서 각 용어의 수준을 판단하기 위해서는 용어의 정의에 대하여 고려해야 할 것이다.

자유탐구 수행의 전제 조건인 탐구 문제의 구성과정에서 주어진 현상이나 대상으로부터 핵심 변인을 추출하고 이름을 붙이며 그 의미를 명세하고 조작적으로 정의하는 과정이 필요하다. 자유탐구의 초기 단계에서 학생들은 광범위하고 구체적이지 않은 개념이나 현상의 외연적인 특징을 변인으로 추출하고 탐구가 진행됨에 따라 명료화된다고 보고되었다(양현주, 1996). 본 연구에서는 변인의 추출을 탐구 대상인 현상을 구성하는 다양한 요소 중 하나를 선택하거나 한 가지 요소가 포함하고 있는 다양한 속성 및 특징 중 한 가지를 인식하여 변인의 피정의항으로 선정하는 과정으로 정의하였다. 변인의 추출은 탐구 수행 시 학생이 가지고 있는 과학적 개념, 선지식, 논리적 사고

력 등 다양한 사고 능력과 관련될 것으로 추정되나 이에 대한 연구는 추후 과제로 남기고, 본 연구에서는 탐구 대상의 특정한 속성 및 특징을 인식하여 변인의 피정의항을 추출하는 과정으로 정의하고 분석을 실시하였다. 변인의 피정의항을 추출할 때, 탐구 대상에서 시각적으로 감지할 수 있는 외연적 속성을 변인으로 추출하는 경우와 내포적인 속성, 즉, 개념을 이론적 변인으로 추출하는 경우로 분류할 수 있다. Wellington & Osborne(2001)이 명명 용어, 과정 용어(외연적 정의), 개념 용어(내포적 정의)의 순서로 용어의 수준을 분류한 것과 같이 본 연구에서도 내포적 속성을 가진 이론적 개념을 변인의 피정의항으로 추출하는 것을 외연적 속성을 피정의항으로 추출하는 것보다 높은 수준으로 분류하였다. 추출된 변인이 탐구 대상의 외연적 특징, 또는 내포적 특징에 포착한 것인지를 먼저 분류하고, 이후에 Kuhn & Brannock(1977)가 제시한 변인 추출의 특징을 3수준으로 간략화한 틀을 적용하였다. 즉, 본 연구에서는 변인 추출의 개념을 가지고 있지만 탐구 대상을 구성하는 여러 요소를 모두 추출한 경우, 유효한 한 요소의 특징을 무효한 다른 특징과 함께 추출한 경우, 무효한 변인을 배제하고 유효한 변인을 피정의항으로 추출한 경우를 각각 하, 중, 상의 수준으로 분류하였다. 그 결과 변인의 정의

표 4
변인 추출의 수준

수준	변인의 정의 유형	변인추출의 특징(Kuhn & Brannock, 1977)	예시
6		무효인 변인(inoperative variables)을 논리적으로 배제하고, 유효한 변인을 추출에 성공한 경우	무효한 변인을 배제하고 유효한 한 개의 이론적 변인 한개를 포착함.
5	탐구대상에 대한 내포적, 이론적 변인	유효 변인(operative variables)을 추출하였으나 논리적으로 무효 변인((inoperative variables)을 제외하는 것에 실패하는 경우	탐구대상의 중요한 속성과 관련된 이론적 변인을 여러 가지로 포착함.
4		변인을 바르게 추출하지는 못하였지만 변인 추출의 개념을 일부 가지고 있는 경우	탐구대상의 여러 요소와 관련된 다양한 이론적 변인을 포착함.
3		무효인 변인(inoperative variables)을 논리적으로 배제하고, 유효한 변인을 추출에 성공한 경우	탐구대상의 다양한 속성이나 특징 중 한가지를 포착함.
2	탐구 대상에 대한 외연적 변인	유효 변인(operative variables)을 추출하였으나 논리적으로 무효 변인((inoperative variables)을 제외하는 것에 실패하는 경우	탐구대상을 구성하는 다양한 요소 중 한 요소의 외연적 속성이나 특징을 여러 가지로 포착함.
1		변인을 바르게 추출하지는 못하였지만 변인 추출의 개념을 일부 가지고 있는 경우	탐구대상을 구성하는 다양한 요소를 여러 가지로 포착함.
0		변인 추출하지 못하는 경우	-

유형 2가지와 추출의 특징 3가지로 혼합된 총 6단계의 변인 추출 수준을 <표4>와 같이 제안하였다.

3. 변인의 정의와 논리적 사고

논리학에서 정의(definition)는 주어진 말의 의미에 대한 설명으로 다양한 목적과 방법으로 이루어지며, 정의되는 기호인 피정의항(definiendum)과 피정의항과 동일한 의미를 가지는 기호, 또는 기호들의 집합인 정의항(definiens)로 구성된다(Copi & Cohen, 1990). 과학탐구에서의 변인들은 피정의항이 된다. Robinson(1954)이 정의를 명확히 하게 하지 않는 토론은 무의미하다고 한 것처럼, 과학탐구에서 변인을 명료하게 정의하는 것은 탐구의 진행 뿐 만 아니라 결과의 해석에 있어서 중요하다. Robinson(1954)은 정의의 목적과 방법에 따라 18종류의 정의에 대한 정의가 존재하며, 정의의 목적에 따라 정의는 명명 정의(nominal definition)과 실재 정의(real definition)으로 구분된다고 하였다. Robinson(1954)은 어떤 피정의항에 대하여 정의를 내리는 것은 원인과 조작의 과정, 추상화, 분석, 종합 및 개념 이해의 과정 등을 통하여 이루어진다고 하였으며, 위와 같은 과정은 논리학에서 중요하고 이를 촉진하기 위하여 “x는 무엇인가?”와 같은 질문이 지속적으로 이루어져야 한다고 주장하였다. 이 “x란 무엇인가”의 질문은 과학탐구에서 탐구해야 할 변인을 명료화하는데 중요한 역할을 하는 질문이 될 것이다.

Copi & Cohen(1990)은 무엇인가를 정의하는 목적 중 중요한 하나는 애매함을 제거하는 것이라고 하였으며, 표현의 다의성(multivocality)으로 표현되기도 하는 “애매함”은 주어진 하나의 용어가 여러 가지 의미를 가지고 있으므로 해서 발생하는 것으로 해석한다(Alston, 2010; Copi & Cohen, 1990). Copi & Cohen(1990)은 약정적 정의(stipulative definition), 혹은 사전적 정의(lexical definition)를 사용함으로써 앞에서 언급한 용어의 애매함을 감소시킬 수 있다고 주장하였고, Alston(2010)은 용어의 의미 명세(specification of meaning)를 제시함으로써 감소시킬 수 있다고 주장하였다. 약정적 정의는 새로운 기호나 기존의 기호에 약정된 의미를 부여하는 것으로 약정적 의미를 받아들인 사람에게는 해당하는 피정의항은 항상 같은 의미를 가진다(Copi & Cohen, 1990). 그러나 사람들

은 어떤 사실에 근거하여 약정적 의미의 진위나 정확성을 판단할 수 없으며, 다만 그 의미를 받아들이거나 혹은 거부할 수 있다(Copi & Cohen, 1990). 사전적 정의(lexical definition)는 애매함을 제거하거나 학습자의 어휘를 증가시키는데 사용할 수 있으며, 정의되는 용어는 새로운 용어라기 보다는 기존의 용법이 확립된 용어라고 할 수 있다. 사전적 정의는 기존의 용법을 정리한 사전에 제시된 정의에 근거하여 진위를 판단할 수 있으나, 사전적 정의가 해당 피정의항의 실재 또는 존재에 대해서는 대답할 수 없다(Copi & Cohen, 1990). 예를 들어, 원자와 전자 등과 같은 용어는 일상생활에서 사용하는 용어가 아니고 과학적으로 구성된 용어로 학생들에게 낯설기는 하지만, 일상생활에서 사용하는 의미로 인한 혼돈을 가져올 가능성은 적다. 그러나 일과 에너지와 같은 용어는 일상생활과 과학에서 다르게 정의되며, 일상생활에서는 다양한 용법으로 사용된다. 이와 같은 용어는 학생들에게 친숙하지만, 일상생활에서 사용하는 용어의 의미와 물리학 영역에서 사용하는 정의가 다르므로 많은 학생들의 이해에 어려움을 가져오기도 한다. 논리학의 관점에서 본다면 일에 대한 일상 사전적 정의로 인해 용어의 애매함이 제거되거나 감소되었다고 할 수 있지만, 과학적 정의가 다르기 때문에 애매함이 감소되었다고 할 수 없다. 따라서 논리학의 입장에서 사전의 의미를 포괄적으로 정의하였다면, 이를 과학교육에 적용하기 위해서는 과학 사전적 정의, 또는 과학 교과서적 정의라고 제한하여야 할 것이다.

의미의 모호성(vagueness)은 피정의항이 적용되는 범위와 조건이 불분명한데서 기인하는 것으로 해당 용어의 적용 여부를 결정해주는 명확한 경계선이 없는 경우이다(Alston, 2010; Copi & Cohen, 1990). 예를 들어, “높은 온도에서”라고 했을 때 측정한 온도가 50도일 때 이를 높은 온도인지 아닌지를 판단할 수 없는 모호한 의미를 가지게 된다. 변인의 의미에서 모호성을 배제하기 위해서는 정량적인 의미 명세를 포함한 개량적 정의(precising definition)의 유형이 사용될 수 있다(Alston, 2010; Copi & Cohen, 1990).

정의의 목적 중의 하나는 피정의항이 적용되는 대상을 이론적으로 적절하게 규정하거나 과학적으로 유용하도록 설명하는 것으로 이와 관련된 정의의 유형을 이론적 정의(theoretical definition)라고 한다(Copi & Cohen, 1990). 물리학자들은 “힘”을 질량과

가속도의 곱으로 정의하는데, 이렇게 정의를 하는 목적은 애매성이나 모호성을 줄이는 것이라기보다는 뉴턴 역학이라는 이론적 차원에서 물체의 운동을 이해하고 예측하는데 유용하도록 그 말의 의미를 정리한 것이다.

모든 일반 용어(*general term*), 혹은 집합 용어(*class term*)의 의미는 외연적 방식과 내포적 방식으로 기술할 수 있다(Copi & Cohen, 1990). 외연적, 혹은 지시적 정의(*extension and denotative definition*)는 피정의항의 외연을 식별하여 정의하는 방법으로 대표적인 방법은 피정의항의 예시를 직접적으로 가리키는 방법으로, 하위범주로는 피정의항이 가리키는 대상을 열거하는 방법으로 “보여주는 정의(*ostensive definition*)”와 명시적 정의(*demonstrative definition*)가 있다(Copi & Cohen, 1990). 외연적 정의는 ‘이론’적인 어려움을 가지고 있는데, 외연은 내포를 결정할 수 없다는 점이다(Copi & Cohen, 1990). 내포적 정의(*intension and connotative definition*)는 어떤 개념의 외연에 속하는 모든 대상들이 가지고 있는, 그 대상들만의 속성으로 정의하는 것이다(Copi & Cohen, 1990). 내포적 정의의 방법으로는 동의어적 정의(*synonymous definition*), 조작적 정의(*operational definition*), 분석적 정의(*analytical definition*) 또는 유(*genus*)와 종차(*species difference*)에 의한 정의 등이 있다(Copi & Cohen, 1990). 동의어적 정의(*synonymous definition*)은 하나의 말을 같은 의미를 가진 다른 하나의 말을 사용하여 정의하는 것으로 쉽고 효과적이나 정확한 동의어를 갖고 있는 개념이 거의 없다는 약점이 있다(Alston, 2010; Copi & Cohen, 1990). 조작적 정의(*operational definition*)은 노벨상 수상자인 Bridgman(1927)이 제안한 것으로 어떤 개념을 정의할 때 그 속성을 기술하는 것만으로는 부족하며 관찰 및 측정이 가능하도록 일정한 조작 과정을 포함하여 정의해야 한다고 주장하였다. Copi & Cohen(1990)은 조작적 정의를 내포적 정의의 한 방법으로 간주하였는데, 조작적 정의는 오랜 기간 동안 중등학교의 과학 탐구에서 중요시되어 온 정의 방법이다. 유(*genus*)와 종차(*species difference*)에 의한 정의는 구분에 의한 정의, 분석적 정의(*analytical definition*)라고도 불리며, 정의의 대상과 공통의 성질을 가진 유와 그 유에 속한 다른 종과의 차이를 기술하여 정의하는 것

이다(Alston, 2010; Copi & Cohen, 1990). 예를 들어 “삼각형은 세변으로 된 다각형을 의미한다.”에서 유는 다각형이고, 세변은 종차이다. 내포적 정의는 모든 정의의 목적과 정의의 유형을 표현하는데 사용될 수 있으며, 애매함을 제거하고 모호성을 감소시키며 이론적으로 설명하는데 도움을 줄 수 있다.

IEA(2007)에서는 4학년에서 8학년 사이의 학생들에게 탐구에서 측정·조작 가능하거나 원인과 결과의 관계를 나타낼 수 있는 변인을 구성할 것을 목표로 언급하고 있다. 또한 과학 탐구에서 현상에 대한 원인과 결과를 이해하고 통제 가능한 변인 인식의 중요성을 설명할 수 있어야 한다고 주장한다(IEA, 2007). 같은 맥락에서 Gay *et al.* (2006)은 가설 설정하기 단계에서 명백하고 분명하게 변인 사이의 관계를 고려하여야 하며 조작이 가능한 변인을 정의하여야 한다고 하였다. 또한 가설 설정하기에서 변인을 조작적으로 정의한 이후에 탐구를 진행하여야 한다고 언급함으로써 변인의 조작적 정의를 강조하였다(Gay *et al.*, 2006). 영국의 과학과 교육과정에 포함된 과학실험과 탐구의 성취 목표에 따르면 학생들은 탐구과정에서 변인을 통제할 수 있어야 하며(수준4), 다양한 요인들이 작용하는 복잡한 상황이나 통제 변인이 드러나지 않는 상황에서 중심 변인을 식별하여 탐구방법과 과정을 계획할 수 있어야 하며(수준7)을 한다(QCA, 2007). 국내 연구 결과에서 보면, 학생들은 탐구문제의 적절성을 판단하는 기준으로 변인의 조작적 정의 가능성이나 정량화 가능성은 별로 고려하지 않으며(김재우, 오원근, 2002), 종속변인은 주어졌지만 독립변인이 주어지지 않은 경우에 학생들은 대부분 두 개 이상의 독립변인을 고려하는 것으로 나타났다(황성원, 박승재, 2001).

이상과 같은 논의를 분석한 결과, 본 연구에서는 변인의 명료화 과정을 변인의 피정의항이 가지는 의미의 애매함과 모호성을 배제하고 이론적 구성에 근거한 정의를 내리는 과정으로 정의할 수 있었다. 정의의 애매함을 제거하기 위해서는 일상적 용어에 대해 약정적 정의나 사전적 정의를 통해 하나의 의미로 정의되도록 한다. 모호함을 감소하기 위해서는 변인이 적용되는 조건과 적용범위를 정량화하여 제시한 개량적 정의를 내리도록 한다. 본 연구에서 사전적 정의는 과학사전 또는 과학교과서에 근거한 정의를 지칭한다. 무엇보다도 과학탐구의 목적이 주어진 현상이나 대상에 대한 이론적 설명 모형의 구축과 검증이라는 점을

착안하여(NRC, 2011), 보다 과학적 설명모형에 근거로 한 이론적 정의를 내릴 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 탐구대상의 외연적 특성에 기인한 정의보다는 내포적 특성을 파악하여 정의를 내려야 한다. 내포적 변인에 대한 이론적 정의는 변인의 애매함과 모호성을 배제하며 이론적 설명이 가능하게 한다. 내포적 정의는 조작적 정의, 분석적 정의, 동의어적 정의를 포함한다. <표 5>은 정의의 목적과 방법에 따른 정의의 유형을 명료화의 관점에서 배치한 것으로 이를 축으로 하여 학생들이 변인의 정의를 명료화해가는 과정을 분석할 것이다.

III. 연구 방법 및 절차

1. 연구 참여자

서울 소재 대학 영재원 과학반 학생 60명은 교육과정에 포함된 활동의 하나로 모둠을 이루어 자유탐구 활동을 수행하였다. 개인별로 한 개 이상의 희망 탐구 주제를 제안하고 비슷한 주제를 제시한 학생들로 모둠을 이루게 되었다. 모둠의 탐구주제가 속한 영역에 따라 4명의 교사가 각각 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역별로 담당하여 한 학기 동안 학생들을 지도하였다. 물리 분과에는 세 개의 모둠이 소속되었으며 세 개의 모둠 중에 가장 탐구문제 구성하기 과정이 역동적으로 일어난 '계란 낙하' 모둠을 본 연구의 참여 모둠으로 설정하였다.

본 연구의 참여 모둠에 소속된 학생들은 중학교 2학년 남학생 4명이며 각 학생을 지원(Sa), 민혁(Sb), 재

훈(Sc), 우영(Sd)과 같이 가명으로 언급하고자 한다. 4명의 학생 모두 각 학교에서 학업 성취도가 10% 이내에 포함되며 과학에 관심과 흥미가 있는 학생이다. 민혁(Sb)이와 재훈(Sc)이는 본 영재원 과학반에 새로 입학하였으며 지원(Sa)이와 우영(Sd)이는 2년째 본 영재원 과학반에 재학 중이다. 이 중 민혁(Sb)이는 교육청 소속 영재원 수학을 수료한 경험이 있다. 연구 참여자 모두 서울 소재 중학교 학생으로서 여름방학 과제를 통해 1회 이상 자유탐구활동을 경험해본 적이 있다. 특히 민혁(Sb)이는 교내 탐구발표대회에서 입상하여 교육청 탐구발표대회에 참가하여 수상한 경험이 있다.

본 연구의 연구자는 능동적 참여자로서 서울 소재 중학교에서 4년의 교직 경력이 있으며, 교내 탐구발표대회를 지도한 경험이 있다. 또한 영재원에서 연구 참여 학생의 지도교사로서 자유탐구활동 수업에서 전체 일정 안내와 조정, 각종 자료 제공, 탐구활동 전반을 안내하고 지도하는 역할을 하였다.

2. 자유탐구활동의 수업과정

자유탐구활동 수업은 2009년 7월부터 2010년 1월까지 총 13차시(30시간)동안 진행되었으며 수업과정을 <표 6>에 나타내었다. 1차시에는 자유탐구활동 및 탐구문제에 대한 이해를 돕기 위하여 자유탐구활동에 대한 소개가 진행되었으며 이후에 학생들은 개인별 탐구문제를 구성하였다. 2차시에는 개인별로 준비한 탐구문제를 발표하고 비슷한 주제의 탐구문제를 구성한 학생들끼리 모둠을 구성하였다. 모둠원들은 토론

표 5 변인의 명료화와 정의의 종류

명료화의 수준	정의의 목적과 유형			정의 방법
	애매함의 제거	모호성의 감소	이론적 설명	
명료함	하나의 의미 (사전적 정의, 약정적 정의)	정량화된 조건과 적용 범위 (개량적 정의)	피정의항이 지칭하는 대상을 과학적, 이론적으로 유용하게 기술 (이론적 정의)	내포적 정의 조작적 정의 동의어적 정의 분석적 정의(유와 중차에 의한 정의)
애매모호함	여러 가지 의미	용어의 적용 범위와 조건이 불분명함	경험적 배경	외연적 정의 명시적 정의 보여주는 정의

을 통해 하나의 탐구주제를 정하고 탐구문제를 구성하였다. 이후 각 모듈의 탐구주제와 탐구문제에 대한 발표를 하고 서로의 의견을 듣는 시간을 가졌다. 3차시부터 분과별로 수업이 이루어졌다. 학생들은 자기 점검표를 이용하여 탐구문제를 스스로 평가·수정하는 과정을 거쳤으며 탐구문제와 관련한 자료조사를 통하여 탐구문제의 답을 예상하고 탐구방법을 고안하였다. 이후 각 모듈의 활동결과를 발표하고 의견을 듣는 시간을 가졌다. 4차시부터 6차시까지는 별도의 시간을 정하여 모듈별로 탐구를 진행하였다. 학생들은

탐구를 수행하고 결과를 해석하여 탐구문제를 다시 구성하는 과정을 반복하였으며 중간발표를 위한 자료를 제작하였다. 7차시는 중간발표시간으로 물리, 화학, 생물, 지구과학 분과의 모든 모듈이 모여서 6차시 까지 진행된 과정과 결과를 발표하고 의견을 나누었다. 8차시부터 12차시까지는 별도의 시간을 정하여 모듈별로 탐구를 진행하였으며 탐구를 수행하고 결과를 해석하여 탐구문제를 다시 구성하는 과정을 반복하여 진행하였다. 학생들은 결과를 해석하고 최종발표를 위한 자료를 제작하고 발표를 준비하였다. 13차

표 6
본 연구의 자유탐구활동 수업과정

차시	내용	활동 세부 내용
1	자유탐구 소개	자유탐구활동 및 탐구문제에 대한 이해 개인별 자유탐구활동 탐구문제 구성하기
2	모듈구성 탐구주제 정하기	개인별 탐구문제 발표하기, 모듈결정 탐구주제 정하기, 탐구문제 구성하기 모듈발표 및 질의응답
3	탐구설계하기	자기점검표로 탐구문제 평가·수정하기 탐구문제와 관련한 자료조사 탐구문제 답 예상 및 탐구방법 고안 모듈발표 및 질의응답
4	탐구수행하기	탐구수행하기(구조물 제작, 낙하), 결과해석하기 탐구문제 다시 구성하기 탐구설계하기(MBL장치 활용)
5		탐구수행하기(MBL장치), 결과해석하기
6	탐구수행하기 중간발표준비	탐구수행하기(MBL장치, 외부에서 구조물 낙하) 결과해석하기, 탐구문제 다시 구성하기 발표자료만들기(PPT)
7	중간발표하기	중간발표 및 질의응답
8		탐구수행하기(Interactive physics 프로그램 활용)
9	탐구수행하기	탐구문제 다시 구성하기 탐구수행하기(새로운구조물제작, 낙하) 탐구설계하기(IP 모의 실험 계획)
10	결과해석하기	탐구수행하기(IP 모의 실험) 결과해석하기 및 결과토의
11	결과해석하기 최종발표준비	결과해석하기 및 결과토의 최종발표자료 제작(PPT)
12	결과해석하기 최종발표준비	결과해석하기 및 결과토의 최종발표자료 완성(PPT) 발표연습하기
13	최종발표하기	최종발표 및 질의응답

시는 물리, 화학, 생물, 지구과학 모든 분과 의 모듬이 참여하는 학술발표대회로 이루어졌다. 발표대회는 10분간 구두발표를 하고 5분간 질의응답을 받는 형식으로 진행되었다.

학생들에게 스스로 본인들의 탐구문제에 대한 평가를 하고 탐구문제를 발전시킬 수 있도록 <표 7>에서 제시한 바와 같은 자기점검표를 제공하였다. 자기점검표는 탐구 과정 중 <탐구문제 구성하기>와 <탐구 설계하기>과정에 대해 학생 스스로 평가할 수 있도록 한 것이다. <탐구문제 구성하기>는 '탐구하고자 하는 대상이 명확한가', '탐구대상에 영향을 끼치는 중요한 요인을 정하였는가', '탐구 대상에 영향을 끼치는 중요한 요인이 탐구문제에 포함되어 있는가', '탐구문제의 결과가 이미 제시되지 않은 것인가' 의 문항으로 구성되어 있다.

3. 자료 수집 및 분석 과정

본 연구에서는 2009년 7월부터 2010년 1월까지 총 13차시(30시간)동안 진행된 자유탐구활동을 녹화 및 녹음하였으며 이를 모두 전사하였다. 또한 연구대상에 대해 깊이 이해하기 위하여 지도교사의 수업기록과 학생들의 활동지, 자기점검표, 탐구기록장, 발표자료(PPT파일)를 수집하였다. 각 모듈별로 기록자를 정하여 모듈 단위로 활동지와 자기점검표, 탐구기록장을 기록하였으며, 영재원 과학반 전체의 중간발표와

최종발표에서 사용하기 위한 목적으로 발표자료(PPT 파일)를 작성하였다. 녹음한 내용을 전사하며 교사가 그 당시 판단한 내용을 기록하여 수업기록을 만들었으며 이후에 분석하는 연구자 관점에서 교사의 수업 기록과 학생의 반응을 비교하여 결과를 재해석하는데 사용하였다. 이와 같이 본 연구에서는 연구자가 단 하나의 출처로부터 자료를 수집하기보다는 다양한 방법으로 자료를 수집하여 연구대상을 보다 깊이 이해할 수 있도록 자료의 삼각측량법을 사용하였다(곽영순, 2003; 채동현 등, 2003).

본 연구에서는 자유탐구활동에서 탐구문제의 구성에 나타난 변인 추출 과정을 분석하기 위하여 선행 연구를 바탕으로 한 변인 추출 수준의 분석틀을 <표 4>와 같이 제안하고 이를 적용하여 변인 추출 과정을 분석하였다. 또한 변인 명료화의 수준에 대한 선행 연구가 없기 때문에 본 연구에서는 <표 5>에서 제안한 바와 같이 애매함과 모호성의 배제 및 이론적 설명 모형의 구축 측면에서 수집된 자료를 분석하고 이를 바탕으로 변인 명료화의 수준을 제안하였다. 이러한 변인 명료화 수준의 분석틀은 본 연구의 결과에 근거한 것으로 일반화하기 위해서는 보다 다양한 학생의 자유 탐구 활동에 적용하여 그 타당성과 신뢰성을 점검해야 할 것이다. 수집한 자료를 설정한 분석틀로 분석하는 과정에서 연구자 외 과학교육 전문가 2인이 공동 분석하여 분석의 신뢰도를 높이고자 하였다.

표 7
자유탐구활동에서의 자기점검표 구성 항목

탐구과정	내용
	탐구하고자 하는 대상이 명확한가?
탐구문제 구성하기	탐구 대상에 영향을 끼치는 중요한 요인을 정하였는가?
	탐구 대상에 영향을 끼치는 중요한 요인이 탐구문제에 포함되어 있는가?
	탐구문제의 결과가 이미 제시되지 않은 것인가?
탐구설계하기	탐구 문제에 대한 결과를 과학적 지식(조사한 자료)을 바탕으로 예상하였는가?
	탐구에서 변화시켜야 할 것과 변화시키는 방법이 제시되었는가?
	탐구에서 측정해야 할 것과 측정하는 방법이 제시되었는가?
	탐구에서 일정하게 유지해야 할 것과 방법이 제시되었는가?
	탐구에 필요한 기구와 재료를 바르게 선택하였는가?
	탐구 순서를 단계적으로 정하였는가?

IV. 연구 결과 및 논의

1. 중학생의 자유탐구활동 중 탐구문제의 구성과정

학생들은 13회(총 30시간)동안 진행된 수업에서 “나무젓가락 구조물로 계란 낙하시키기”라는 주제로 자유탐구활동을 수행하였다. <그림 1>은 학생들이 탐구를 진행하면서 탐구문제를 점진적으로 변경하며 최종 탐구문제를 확정하는 과정을 나타낸 것이다. 이 모듬은 모듬원 서로의 관심 주제에서 “나무젓가락 구조물로 계란 낙하시키기”라는 주제를 선정하였으며 활동지에 “계란낙하(Q1)”라고 탐구문제를 구성하고 기록하였다. 학생들은 탐구주제를 인식하였지만 이를 과학적인 탐구문제로 인식하고 서술하는데 어려움을 겪는 것으로 해석할 수 있다. 학생들은 교사에게 탐구문제에 대한 자기점검표를 제공 받은 후 모듬별 토의 활동을 통해 “나무젓가락 구조물을 만들어 계란을 살릴 수 있는가?(Q2)”라고 탐구문제를 변경하였다. 그리고 이 탐구문제에 대한 해답을 얻기 위하여 나무젓가락 구조물을 만들어 2m 높이에서 계란을 낙하시켜 보는 간단한 해보기를 계획하고 수행하였다. 간단한 해보기 수행 후, 학생들은 본인들의 탐구문제에 대한 해답을 찾았다고 평가하였으며 “나무젓가락 구조물로 계란을 살릴 수 있는 한계는 어디까지인가?(Q3)”라고 탐구문제를 점진적으로 변경하였다. ‘한계(높이, 구조물)’를 알아보기 위해 높은 곳으로 올라가며 구조물을 떨어뜨려보는 해보기를 계획하고 수행한 후 학생들이 원하는 답을 얻었다고 판단하고 다시 “각 구조물의 종류에 따라 계란에 작용하는 힘을 얼마나 줄여주는가?(Q4)”와 같은 탐구문제로 수정하였다. 이 후에 학생들은 계란이 깨질 때의 힘을 측정하기 위하여 MBL 힘 감지기를 사용하였으며 IP(Interactive Physics) 프로그램을 이용하여 구조물이 낙하하는 순간에 흡수하는 힘의 크기를 비교하는 모의 실험을 계획하였다. 계란이 깨질 때 계란에 작용하는 힘을 측정하는데는 성공하였지만 구조물에 작용하는 힘의 측정이 쉽지 않았으며, IP 프로그램의 특성 상 충격력의 구현이 어려워 학생들은 탐구문제를 다시 변경하였다. 학생들은 IP 프로그램에서 모의 실험으로 구현할 수 있는 충격량을 새로운 변인으로 선정하여 “각 구조물의 특징에 따라 계란에 작용하는 충격량을 얼마나 줄여주는가?(Q5)”를 최종 탐구문제로 확정하였다. 학생들은

총 13회의 수업의 중반 이후까지 탐구문제를 점진적으로 변경하였으며 8회에 이르러 탐구문제를 확정하였다.

<그림 1>에 제시된 바와 같이 학생들은 탐구과정에서 탐구문제를 반복적이고 점진적으로 변경한다. 학생들은 탐구주제를 선정하고 나서 탐구문제를 구성하였으며 “중속변인 정의, 탐구문제 진술, 실험 설계, 실험 수행, 독립변인 정의”와 같은 과정을 반복적으로 진행하였다. 학생들은 이러한 반복과정을 통해 탐구문제를 5차례 변경하여 점진적으로 수준의 향상을 나타낸 탐구문제를 구성하였다. 자유탐구활동에서 학생들이 같은 주제 안에서 탐구문제를 점진적으로 변경한 사례는 선행연구에서 언급(Zion *et al.*, 2004; 양현주, 2005)되었으며 과학자들의 연구사례(Pack & Jang, 2005)에서도 이와 같은 경향이 나타났다. 주로 학생들은 탐구설계 및 탐구결과를 해석하는 과정에서 탐구문제를 점진적으로 변경한 것으로 나타났다.

2. 탐구문제를 구성하는 변인의 추출 및 명료화 과정

학생들의 탐구문제 구성과정은 변인의 추출과 명료화 과정을 하였다. 탐구가 진행함에 따라 학생들이 변경한 탐구문제와 각 탐구문제에 해당하는 변인에 대하여 학생들이 제시한 정의를 <표8>에 나타냈다. 또한 각각의 탐구문제를 구성하는 중속변인, 독립변인을 <표4>와 <표5>에서 제시한 변인의 추출 및 명료화의 관점에서 분석하여 함께 제시하였다.

첫 번째 탐구문제 Q1은 “계란 낙하”로 탐구 대상은 지정되었지만, 특정한 중속변인과 독립 변인이 모두 추출되지 않았다. 이 탐구문제의 경우, 탐구문제의 형식을 갖추고 있지 않으며 탐구에 대한 학생들의 계획도 명확하지 않은 것을 알 수 있었다.

두 번째 탐구문제 Q2는 “나무젓가락 구조물을 만들어 계란을 살릴 수 있는가?”로, 계란을 살린다는 일상적인 용어를 사용하였지만, ‘계란이 깨지는 여부는 껍질의 균열이 25%이상인 경우로 한다’와 같이 학생 스스로가 약정적 정의를 내리기 시작하여 애매함을 배제하였으며, 껍질의 균열이 25% 이상이라는 개량적 정의를 제시하여 모호성을 배제하였다. 그러나 이러한 정의에 대한 탐구 대상의 외연적인 특징을 기술한 것으로 이론적 설명 모형의 근거는 나타나지 않았다. 이 단계에서 “나무젓가락 구조물”은 독립변인이 될 수

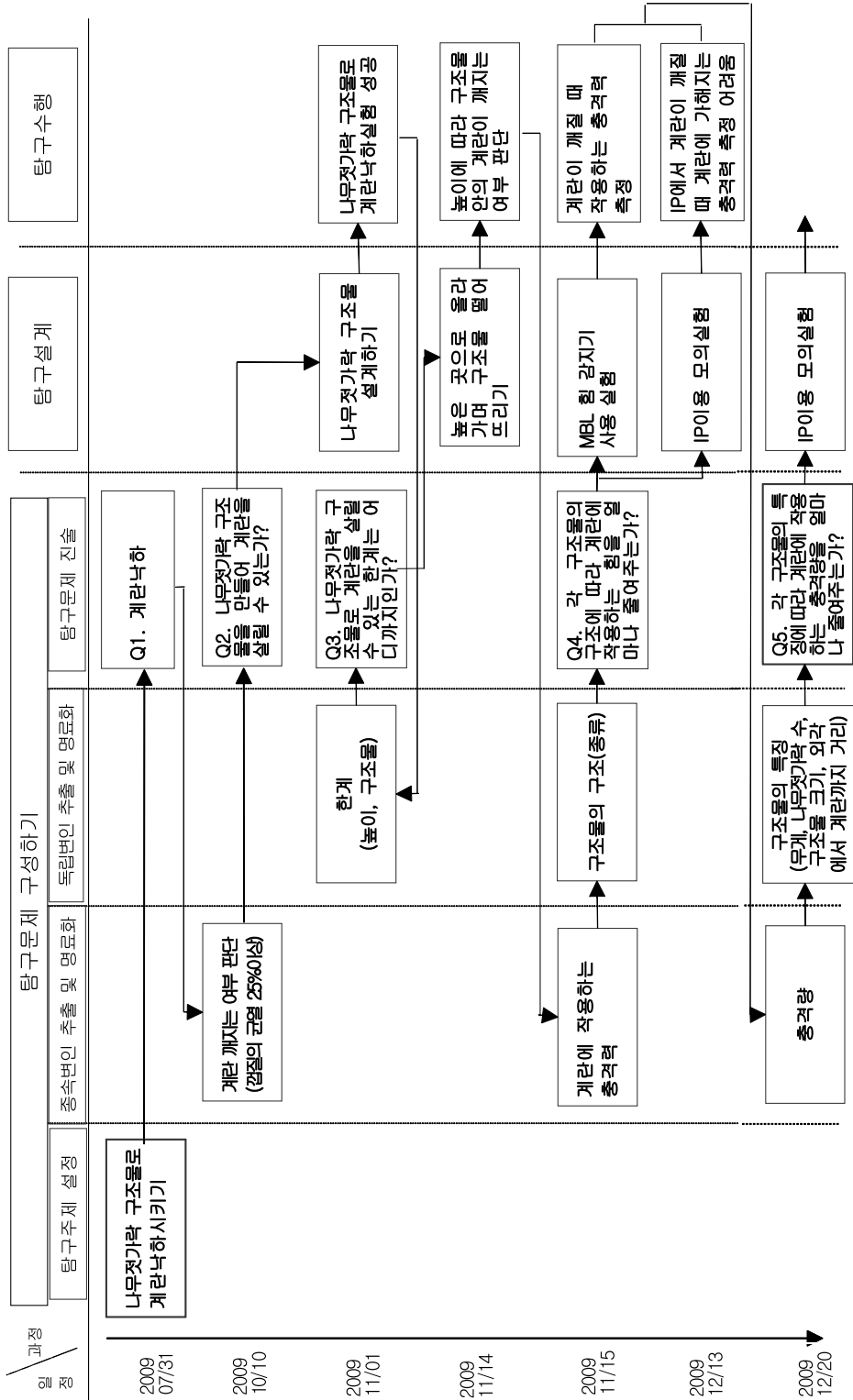


그림 1 “제한사항” 모듈의 자유탐구활동 중 탐구문제 구성 과정

표 8
학생들이 정한 탐구 문제와 탐구문제를 구성하는 변인의 정의

	탐구문제	종속변인	독립변인
Q1	계란낙하	변인 추출되지 않음(0)	변인 추출되지 않음(0)
Q2	나무젓가락 구조물을 만들어 계란을 살릴 수 있는가?(일화 A)	초기 계란을 살린다. - 한 요소의 외연적 변인추출(3)	
		중기 계란이 깨지는 여부 - 약정적 정의 - 일상-동의를어적 정의	
Q3	나무젓가락 구조물로 계란을 살릴 수 있는 한계는 어디까지인가? (일화B)	후기 계란이 깨지는 여부 (겉질 균열 25% 이상) - 약정적 정의 - 개량적 정의	한계(높이, 구조물) - 두 요소의 외연적 변인추출(1)
		초기 총 힘, 충격량, - 이론적 변인 2개 추출(5) 종속 -사전적 정의	
Q4	각 구조물의 구조에 따라 계란에 작용하는 힘을 얼마나 줄여주는가? (일화 C, D)	중기 힘 - 이론적 변인 1개 추출(6) 종속 - 사전적 정의	
		후기 (계란이 깨질 때) 계란에 작용하는 힘, 충격력(MBL로 측정) 종속 - 이론적 정의 - 일반 조작적 정의	
Q4	각 구조물의 구조에 따라 계란에 작용하는 힘을 얼마나 줄여주는가? (일화 C, D)	초기 독립	구조물(직접적으로 힘이 안가도록 고정 시킴) -한 요소의 외연적 변인 추출(2) -정의가 없는 조작
		후기 독립	특별한 구조(정사면체, 정팔면체 등 4개의 구조 제안) -약정적 정의 -외연적 유와 중차에 의한 정의
Q5	각 구조물의 특징에 따라 계란에 작용하는 충격량을 얼마나 줄여주는가? (일화 E, F)	초기 충격량 - 이론적 변인 1개 추출(6) 종속 - 과학 사전적 정의	
		후기 계란에 작용하는 충격량: IP로 추정함. 종속 - 과학 사전적 정의 - 일반 조작적 정의	

<p>Q5</p> <p>각 구조물의 특징에 따라 계란에 작용하는 충격량을 얼마나 줄여주는가? (일화 E, F)</p>	초기 독립	<p>구조물의 종류: 디자인</p> <hr/> <p>-약정적 정의 -동의어적 정의</p>
	중기 - 독립	<p>구조물의 부피와 모양</p> <hr/> <p>- 한 요소에 대한 여러 특징을 외연적 변인 추출(3) - 구조물 변인에 대한 류와 종차 정의, 약정적 정의 - 부피, 모양에 대한 정의 및 측정방법을 명시하지 않고 일상적인 방법으로 측정함.</p>
	후기 독립	<p>높이, 구조물의 특징(무게, 나무젓가락 수, 크기, 외각에서 계란까지 거리)</p> <hr/> <p>- 한 요소에 대한 여러 특징을 변인 추출(3) - 구조물 변인에 대한 류와 종차 정의, 약정적 정의 - 무게, 젓가락의 수, 외각에서 계란까지의 거리 등에 대한 정의 및 측정방법을 명시하지 않고 일상적인 방법으로 측정함.</p>

있었으나 학생들은 명시적으로 이를 독립변인으로 추출하지 않았다.

세 번째 탐구문제 Q3는 “나무젓가락 구조물로 계란을 살릴 수 있는 한계는 어디까지인가?”로 종속변인은 두 번째 탐구문제와 같으나, ‘한계(높이), 구조물’과 같은 독립변인이 처음으로 추출되었다. 학생들은 한계에 대하여 높이, 구조물 등과 같이 탐구 대상과 관련되는 환경의 특성을 명시적으로 지정하는 외연적 정의를 제시하여 독립변인은 애매하고 모호한 의미를 가지게 되었다.

네 번째 탐구문제 Q4는 “각 구조물의 구조에 따라 계란에 작용하는 힘을 얼마나 줄여주는가?”로 ‘힘’이라는 종속변인과 ‘구조물의 구조(종류)’이라는 독립변인이 나타났다. ‘(계란이 깨질 때) 계란에 작용하는 힘’은 계란에 작용하는 힘 때문에 계란이 깨진다는 이론 아래 계란이 깨지는 현상에 대한 내포적 정의를 한 것으로 판단할 수 있다. 즉, 이론적 변인을 추출한 것으로 판단할 수 있으나 이를 구체적인 탐구 상황에 적용하여 설명모형을 만들지 못해 과학사전적으로 정의된 변인이라고 할 수 있다. 또한 학생들은 MBL 등의 측정 장치를 이용하여 측정하는 것을 제안하였는데,

이는 힘을 측정할 수 있다는 점에서 조작적 정의라고 할 수 있으나 구체적으로 어떤 과정을 거쳐서 어디에 힘이 작용하는지를 측정한다는 재현가능한 과정에 대한 정의는 나타나지 않았다는 점에서 일반 조작적 정의라고 지칭하였다. 독립변인이라고 할 수 있는 ‘구조물의 구조(종류)’는 처음에는 정의를 하지 않고 구조물을 만드는 것부터 학생들이 진행하였고, 후기에는 정사면, 정팔면체 등으로 류와 종차에 의한 정의를 하였는데 이러한 변인을 설정한 것에 대한 이론적인 설명 모형은 나타나지 않았다. 따라서 이 단계에서 독립변인은 약정적, 외연적으로 류와 종차로 정의되었으며, 그 결과 독립변인에 대한 정의는 애매모호함을 벗어나지 못하였다.

최종 탐구문제 Q5인 “각 구조물의 특징에 따라 계란에 작용하는 충격량을 얼마나 줄여주는가?”에서 ‘계란에 작용하는 충격량’이라는 종속변인과 ‘구조물의 특징(무게, 나무젓가락 수, 크기, 외각에서 계란까지의 거리)’이라는 독립변인이 나타났다. ‘(계란이 깨지는 순간의) 충격량’은 충격량 때문에 계란이 깨진다는 설명모형에 근거한 내포적 정의, 즉, 이론적 변인을 추출한 것으로 판단할 수 있으나 이를 구체적인 탐

구 상황에 적용하지 못해 과학사전적으로 정의된 변인이라고 할 수 있다. 학생들은 충격량을 측정하기보다는 현실적인 제약으로 IP 프로그램을 이용한 예측 모형을 구축하여 계란에 작용하는 충격량을 추정하였다. 그러나 이 프로그램에서도 역시 학생들은 구조물에 따른 충격량을 예측하지는 못했다. 따라서 학생들은 탐구 상황에 특징적인 충격량에 대한 조작적 정의를 내리지 못한 것으로 판단되며 일반적으로 충격량 조작 과정으로 정의하였다고 할 수 있다. ‘구조물의 특징(무게, 나무젓가락 수, 크기, 외각에서 계란까지의 거리)’은 구조물의 특징이라는 변인을 무게, 나무젓가락의 수 등과 같은 구조물의 특징을 나타내는 하위 범주의 변인으로 구성하여 정의하였는데, 이는 류와 종차에 의한 정의로 해석할 수 있으며, 구조물의 외연적 특징에 대하여 모듈원의 합의에 의해 약정적으로 정의되었다고 할 수 있다. 또한 길이, 무게 등을 측정하는 일반적인 방법으로 측정을 수행하고, 해당 탐구 상황에 필요한 측정 조건이나 재현 가능한 방법 등을 명시하지 않았다.

이상과 같이 중학생들의 탐구 문제의 구성을 변인의 추출과 명료화의 관점에서 분석한 결과, 종속변인이 독립변인에 비해 먼저 추출되며 명료화도 앞서서 일어나는 것으로 나타났다. 이것은 선행연구의 결과와 일치한다(Zion *et al.*, 2004; 양현주, 2005). 또한 탐구문제가 점진적으로 변화하는 동안 종속변인은 이론적으로 구성되며 측정이 가능한 형태로 점차 명료화했지만 이론적 설명모형에 근거한 정의가 나타나지는 않았다. 독립변인과 통제변인의 경우 학생들은 탐구의 마지막까지 이론적 변인을 추출하지 못한 것으로 해석할 수 있다.

학생들이 탐구 문제를 발전시켜나가는 과정을 분석하여 <표 9>과 같은 변인의 명료화 단계를 제안할 수 있었다. 중학생의 변인 명료화 과정에서는 변인의 애매함과 관련되는 약정적, 사전적 정의와 모호함과 관련되는 개량적 정의, 외연적 정의(명시적 정의) 및 내포적 정의(동의어적, 류와 종차에 의한 정의, 조작적 정의)의 모든 조합이 나타나지는 않았다. “계란을 살린다,” “높이,” “구조물” 등과 같은 외연적(명시적) 정의, 살리는 것은 깨지는 것과 같은 약정적-동의어적 정의, 구조물의 특징은 무게, 나무젓가락의 수.. 등과 같은 약정적-류와 종차에 의한 정의, 깨진 것은 균일이 25% 이상 등과 같은 약정적-개량적 정의, 충격 등

과 같은 과학 사전적-개념적 정의, MBL로 힘 측정 등과 같은 일반 조작적 정의 등이 나타났다. 또한 본 연구에서는 이와 같은 변인 명료화의 수준이 추출된 변인이 외연적, 혹은 내포적 인지에 따라 다르게 나타난다고 분석하였다. 추출된 변인이 외연적인 경우는 가장 낮은 명료화 단계는 추출한 요소나 속성에 대하여 “계란을 살린다”와 “구조물”과 같이 명시적인 정의를 하는 경우이다. 외연적 변인에 대해서는 정의의 명료화는 약정적 정의에서 더 이상 발달하지 못하였으며, 그 수준 내에서 동의어적 정의, 류와 종차에 의한 정의, 및 개량적 정의 순서대로 발달하는 것으로 나타났다. 따라서 그 차례대로 변인의 명료화 수준을 2, 3, 4 단계로 분류하였다. 이론적 변인이 추출된 경우에는 이미 과학교과서에 사용된 정의를 임차하기 때문에 약정적 정의는 나타나지 않았다. 또한 학생들은 추출한 이론적 변인을 정의할 때, 우선 교과서에서 제시된 개념적 정의를 먼저 제시하고 이후에 측정 방법을 생각하면서 조작적 정의를 하는 것으로 나타났다. 과학교과서나 과학사전의 정의를 그대로 임차하는 경우에는 자신의 설명 모형을 구성하여 이를 바탕으로 하는 이론적 정의가 나타나지 않았다. 또한 조작적 정의도 MBL을 사용한 힘의 측정을 일반적인 수준에서 제시하고 실시하여 그 결과 실제 측정에서 원하는 힘을 측정할 수 없었다. 즉, 조작적 정의도 탐구에 대해 구체적으로 적용된 정의를 하기보다는 일반적인 수준에서 하는 것으로 해석할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 개념적 정의와 조작적 정의를 일반적 수준에서 하는 것과 해당 탐구상황에 적합한 설명모형 기반에서 하는 것으로 분류하였다. 전자는 과학사전적 정의로 지칭하였고, 후자는 이론적 정의로 지칭하였다. 중학생의 경우는 개념적 정의가 조작적 정의보다 먼저 나타나서 본 연구에서는 개념적 정의를 낮은 수준으로 분류하였다. 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

<표 9>에서 제시한 변인의 명료화 단계를 적용하여 탐구문제의 구성에서 나타난 종속변인과 독립변인의 발달 수준을 <그림 2>에 도식화하여 나타냈다. <그림 2>에서 보면, 종속변인 모두 4번 추출되었는데, 초기에는 변인 추출은 외연적 변인의 추출로 수준도 낮고 변인 명료화도 여러 단계를 거쳐 이루어짐을 알 수 있다. 그러나 탐구가 진행됨에 따라 이론적 변인의 추출이 이루어져서 변인 추출의 수준 및 명료화의 수준도

표 9 중학생의 소집단 자유탐구 활동 중 물리 영역 탐구문제 구성에서 나타나는 변인의 명료화 단계

변인 추출 목적 측면	명료화 수준	애매함 측면	모호성 측면	설명	
이론적 내포적 변인의 추출	이론적 설명	8	이론적 정의 과학적 설명 명모형에 근거하여 정의	모형기반 조작적 정의 탐구 대상의 특정한 상황에 적절한 조작을 통하여 결과를 얻을 수 있도록 정의함.	-유효한 변인이 되도록 기온, 습도 등 외부 조건과 제한 조건을 함께 표시한 정의
		7	모형기반 개념적 정의	이론적 설명 모형을 기반으로 탐구대상의 중요한 변인을 기술함	-구조물에 의하여 흡수되는 충격량
		6	과학사전적 정의 과학교과서나 기존 문헌 등에서 확립된 의미	일반 조작적 정의 해당 변인에 대한 일반적인 측정 방법의 제시(MBL 사용, IP 사용)	-힘을 MBL로 측정 -충격량을 IP로 측정 -구조물 무게, 나무 젓가락의 수, 길이 등 측정
		5	일반 개념적 정의	과학교과서에 나온 정의를 거론하나 탐구대상에 적용할 범위와 조건을 구체화하지 못함.	-충격량 -힘
		현상적 외연적 변인의 추출	모호성 감소 애매함 제거	4	약정적 정의 탐구 수행하는 학생 사이에서 의할 수 있는 하나의 의미로 정의
3	류와 종차에 의한 정의			추출된 변인의 의미를 이론적 배경에 근거하기 보다는 탐구대상의 명시적 특성에 기술하는 하위 범주의 변인으로 정의	-구조물의 종류를 무게, 나무 젓가락의 수, 크기 등으로 정의
2	동의어적 정의			추출된 변인의 의미를 일상생활에서 사용하는 다른 용어로 정의	-계란을 살리는 것은 계란이 깨지는 여부
1	명시적 정의			탐구대상의 다양한 속성이나 특징을 직접적으로 지칭하여 기술함.	-계란을 살린다. -구조물 -한계(높이)

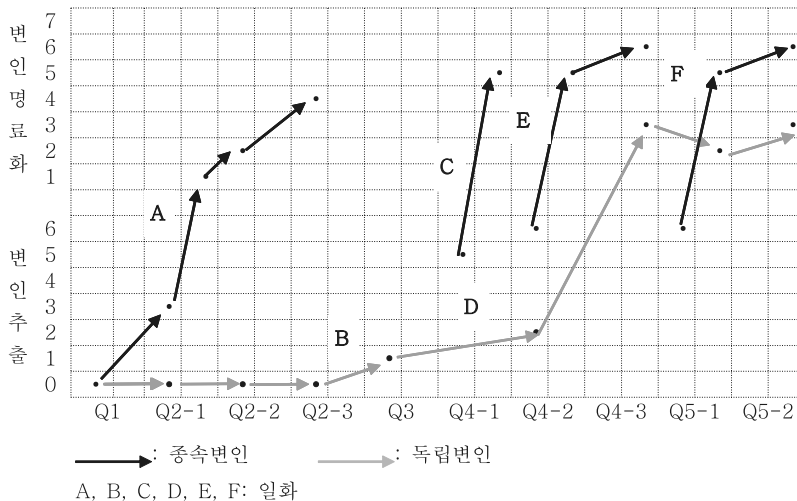


그림 2 물리 영역 탐구문제의 구성에 따른 종속변인과 독립변인의 추출 및 명료화 과정

높게 나타났다. 반면 독립변인의 추출은 1차적인 종속 변인의 명료화가 이루어진 뒤 나타났다. 그러나 종속변 인처럼 추출된 뒤 바로 명료화의 단계로 발전하지 못 하고 계속해서 여러 종류의 독립변인들이 외연적 수 준에서 추출하는 것으로 나타났는데, 이는 학생들은 이론적 설명 모형의 부재로 중요한 독립변인을 추출 하는 것을 어려워하는 것으로 해석할 수 있다. 학생들이 독립변인을 추출하지 못하는 것과 함께 독립변인 과 통제변인을 구분하지 못하는 현상도 함께 나타나 는 것으로 해석할 수 있다. 또한 독립변인의 경우, 변 인 명료화 단계로 이론적 정의의 수준까지 발전하지 못하고 외연적, 약정적 정의 수준에서 머무르는 것으 로 나타났다. 이는 과학자들도 어떤 변인이 통제되어 야 하며 어떻게 충분하고 적당한 통제를 할 것인지를 결정하는데 어려움을 겪는다는 연구 결과와 비교될 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002).

3. 중학생의 탐구문제 구성 중 변인 추출 및 명료화 과정에서 나타나는 어려움

자유탐구 활동을 진행하면서 학생들이 구성한 탐구 문제와 수반되는 변인은 점진적으로 발달하는 모습을 나타냈으나 여러 유형의 어려움을 나타냈다. 자유탐 구활동 지도에 시사점을 얻기 위해서는 학생들이 탐 구문제를 점진적으로 변경하고 변인을 발달시키는 과 정에서 어떤 어려움을 겪는지를 질적으로 분석하였 다. <그림 2>와 같이 탐구문제에 나타난 변인의 수준 이 발전하는 상황을 A, B, C, D, E, F로 나누고 각 상 황에서 나타나는 학생의 어려움을 분석하였다.

가) 종속변인의 추출과 명료화 과정에서 나타나는 어려움

사례 1. 현실적 제약으로 인한 제한받는 탐구주제 의 선택

상황 A에서 학생들은 개인별로 관심이 있는 탐구주 제를 발표한 후, 비슷한 주제의 학생들끼리 하나의 모 둠을 이루게 되었다. 본 연구에 참여하게 된 학생들은 '63빌딩에서 낙하하는 물체', '장난감 총알의 궤적', '계란낙하'와 같이 물리와 관련된 주제를 선택하였 다. 모둠원은 토의를 통해 민혁(Sb)가 제안한 '계란낙 하'를 모둠의 탐구주제로 선정하였다. 최종 탐구 주제 의 선정은 다음 담화에서 볼 수 있듯이 현실적으로 중

학생이 학교 주변의 물적, 인적 자원 안에서 해결할 수 있는지의 여부에 의해 결정되었다.

(상황 A 중에서)

교사: 탐구문제를 이걸로 정한 이유가 뭐지?

지원: 현실적인 주제

민혁: 그게 가장 컸어요

사례2. 현상적 결과에 주목하여 추출된 종속 변인 “깨지는 여부”

상황 A 중 탐구문제 Q2를 구성하는 초기 단계에서 학생들은 자신들이 선택한 탐구주제로부터 탐구문제 를 구성하는 과정에서 자연스럽게 종속변인을 추출하 고 있는 것으로 보인다. 계란의 낙하에 의한 결과로서 나타나는 외연적, 현상적 결과인 “.. 살 것이다.” 즉, 깨지는 여부에 대하여 우선 주목하여 이를 종속변인 으로 추출한 것으로 해석된다. 이렇게 추출된 변인은 “깨지는 여부”나 “살리다”와 같은 일상적인 용어로 명 명하기 시작했다고 할 수 있다.

사례 3. 이론적 근거보다는 현실적 가능성에 근거 한 종속변인의 약정적 정의

상황 A 중 탐구 문제 Q2를 구성하는 후기 단계에서 학생들은 자기점검표로 자신들이 구성한 탐구문제를 점검하였다. 자기점검표 중 변인은 측정가능해야 한 다는 항목에 따라 계란이 깨지는 여부에 대하여 계량 적 정의를 약정적으로 하기 시작한다. 계란이 깨지는 것을 판단하는 기준에 대하여 껍질에 금이 간 것이 전 체 표면의 10%, 25%, 30% 및 60% 등 여러 가지 의 견이 제시된다. 이에 대하여 학생들은 이론적 배경이 나 근거에 대한 논의를 하기 보다는 자신들이 앞으로 할 실험 수행의 성공 가능성을 염두에 두고 논의를 진 행한다. 민혁의 “...무모한..”이나 재훈의 “.. 힘들 겠?” 등이 실험의 성공 가능성을 염두에 두고 한 발언 으로 해석된다. “깨지는 여부”에 대한 최종 결정은 25%를 기준을 결정하게 되는데, 어떻게 25%를 기 준으로 선택하였는지에 대한 언급은 나타나지 않았다. 학생들이 제시된 여러 가지 제안 중에서 탐구 수행의 성공 가능성을 높이는 것과 “깨진다”에 대한 일상에 서 암묵적으로 동의하고 있는 기준 사이에서 타협하 여 약정적이고 계량적인 정의를 제시한 것으로 해석 할 수 있다.

(상황 A 중에서)

지원: 야. 그럼 깨진 기준은 뭘로 할까? 금이 간 게 전체의 30% 이상으로 할까?

민혁: 어? 그럼 성공한 걸로 할까?

지원: 30%이하... 이하로 깨졌을 때

민혁: 오케이

지원: 깨졌다는 기준은 30%이하로 금이 갔을 때, 30%는 너무 큰가? 10%로 할까? 25% 좋아

재훈: 30% 이상 금이 가면 깨진 거 아니고?

민혁: 아니야. 25% 이상이면 깨지고 그 이하 면은 산 걸로...우리는 나무젓가락이야. 무모한 짓이야.

재훈: 나무젓가락으로는 60%도 힘들걸?

(자기점검표 작성)

민혁: 측정해야할 요인은

지원: 계란의 25%이하로 깨지면 성공했다고 판단하고

사례4. 이론적 배경의 부족으로 인한 이론적 정의의 어려움

상황 C에서 학생들은 탐구문제 Q3인 “계란을 살릴 수 있는 한계(높이, 구조물)는 어디까지인가?”에서 ‘한계(높이)’를 알아보기 위해 탐구를 설계하고 수행하였다. 학생들은 5층 건물의 측면에 위치한 계단을 따라 높은 곳으로 올라가면서 0.5층 높이마다 있는 창문으로 계란 낙하 구조물을 떨어뜨려보는 탐구를 수행하였으며 구조물이 각 높이에서 계란을 살릴 수 있는지에 대한 여부를 판단하였다. 학생들은 수행한 탐구결과에 대해 토의하였는데, 토의 과정에서 지원(Sa)은 탐구문제에서 측정하고자 하는 것이 명확하지 않으며 탐구대회에서 의미가 있는 주장을 하기 어렵다고 의견을 내었다. 또한, 탐구수행 이후 대화에서 교사는 학생들에게 “깨지는 여부”라고 설정된 변인에 대해서 좀더 과학적인 용어로 발전시키도록 학생들에게 요구하였다. 학생 중 지원이 “충격”이라는 용어를 도입하였고, 교사는 이를 발판으로 삼아 “충격량”이라는 개념의 도입을 시도하였다. 그러나 학생들은 자발적으로 “충격” 또는 “충격량”을 종속변인으로 추출하지 못하였다. 그 이유 중의 하나는 연구 참여 학생들이 중학생들로 교육과정 상 충격량의 개념을 아직 학습하지 않은 상태여서 현상과 개념을 연계하기가 어려웠던 것으로 판단된다. 학생들 중 지원은 충격량에 대한 설명을 할 수 있었지만, 충격량은 실제로 계산하기가 힘들다는 현실적인 이유를 변인으로 추출하기

어려워하였다. 교사는 이후 학생들에게 충격량에 대해 자료 조사를 하고, 학습할 기회를 제공하였다. 위의 사례는 학생들이 해당하는 현상을 탐구하는데 적절한 변인을 추출하기 위해서는 이론적 배경 지식에 대한 이해가 필요하다는 것을 나타낸다고 할 수 있다. 이는 오피석(2008)의 선행연구에서와 같이 전문가와 대학생뿐 아니라 중학생들의 자유탐구활동에서도 탐구와 관련한 풍부한 배경 지식이 선행되어야 함을 알 수 있었다.

사례 5. 측정 방법이나 측정도구에 대한 지식으로 제한되는 조작적 정의

상황 E에서 학생들은 탐구문제 Q4 “각 구조물의 구조에 따라 계란에 작용하는 힘을 얼마나 줄여주는가?”를 구성하고, 종속변인으로 ‘계란이 깨질 때 계란에 작용하는 힘(충격력)’과 같이 이론적으로 정의하기 시작하였다. 그러나 지원은 “...실질적으로 계산하기가 힘들어요...” 등과 같이 조작적인 어려움에 대하여 언급하였고, 이에 교사는 충격량 측정장치를 소개하였다. 재훈은 교사가 소개한 충격량을 측정할 수 있는 장치를 사용하는 것을 전제로 하여 자신들의 종속변인 “힘”을 측정하는 방법에 대하여 모의실험을 하였다.

(상황 E 중에서)

지원: 근까요. 근데 그걸 계산하려면요, 저희가 실질적으로 계산하기 힘들어요.

교사: 근데 선생님이 하나 소개시켜주고 싶은 게 MBL장치 중에 충격량을 측정할 수 있는 게 있어.

민혁: 초고속 카메라?

교사: 카메라가 아니라 감지기가 힘이 얼마인지를 체크해주는 거야

민혁: 계란에 만약에 어느 정도 떨어뜨려 봐 가지고 계란에 어느 정도 충격력 이상이면 깨진다는 것을 알 거 아니에요

재훈: 그러면 계란을 살짝 떨어뜨려 보다가 계란이 깨진 때의 충격을 알아봐 가지고 여기서 받는 충격이 있다면 전달되는 힘을 알아보면 되는 거잖아

학생들은 MBL장치의 힘 감지기를 사용하여 ‘계란

이 깨질 때 작용하는 힘'을 측정하는데 성공하였다. 그러나 구조물이 낙하할 때 구조물에 작용하는 힘을 MBL 힘 감지기를 이용하여 측정하는 데에는 낙하지 점을 통일하는 것(구조물의 같은 모서리가 낙하하도록 맞추는 것)과 낙하하는 순간에 힘 감지기의 중앙에 맞춰 떨어뜨리는 것에 어려움이 있어 탐구를 수행하는데 어려움을 나타냈다.

상황 F에서 학생들은 해당하는 실험을 직접해보므로써 계란 낙하 구조물이 바닥에 닿았을 때 작용하는 힘을 조작적으로 측정하는데 발생하는 어려움을 발견하고 변인을 '계란에 작용하는 충격량'으로 바꾸었다. 이어서 학생들은 IP 프로그램으로 어떻게 '충격량'을 구현해 낼 수 있는지 예비 탐구를 진행하면서 '충격량'을 조작적으로 정의할 수 있게 되었다. 학생들은 IP 프로그램에서 모의 실험으로 구현할 수 있는 충격량을 새로운 변인으로 선정하여 "각 구조물의 특징에 따라 계란에 작용하는 충격량을 얼마나 줄여주는가?(Q5)"를 최종 탐구문제로 확정하였다. 학생들은 자유탐구를 진행하는 동안 다른 수업에서 IP의 사용법을 학습하였는데, 이러한 과정이 자연스럽게 연계되어 충격력에 대한 측정방법으로 제안하게 되었다. 이 과정은 변인 추출에 앞서 조작적인 정의가 필요하다는 것을 말해준다. IP(Interact Physics) 프로그램을 이용하여 구조물이 낙하하는 순간에 흡수하는 힘의 크기를 비교하는 모의 실험을 계획하였다. 계란이 깨질 때 계란에 작용하는 힘을 측정하는데는 성공하였지만 구조물에 작용하는 힘의 측정이 쉽지 않았으며, IP 프로그램의 특성 상 충격력의 구현이 어려워 학생들은 탐구문제를 다시 변경하였다. 학생들은 조작적 정의 단계에서 IP 프로그램을 이용하여 '충격량'을 측정할 수 있다는 것을 확인한 후에 '충격량'을 변인으로 추출하고 탐구문제에 반영하였으며 IP 프로그램을 이용한 탐구를 수행하였다.

나) 독립변인의 추출과 명료화 과정에서 나타나는 어려움

사례 1. 탐구대상의 여러 요소 중 핵심 요소 추출의 어려움, 현실적 한계에 의한 독립변인의 추출

상황 B에서 학생들은 '나무젓가락 구조물을 만들어 계란을 살릴 수 있는가?(Q2)'라는 탐구문제에 대한 해답을 얻기 위한 탐구를 설계하고, 수행하게 되었다.

민혁(Sb)이가 제작한 나무젓가락 구조물에 계란을 장착한 후 2m 높이에서 낙하시켜 계란을 살리는 과정을 성공적으로 수행하였다. 학생들은 탐구문제 Q2에 대한 결론을 얻었다고 판단하고 이후에 탐구문제를 변경하자는 지원(Sa)의 의견에는 모두 동의하였다. 학생들 중 재훈은 "높이"를, 지원은 "구조물"을 독립변인으로 지지하고, 민혁이 지지하는 독립변인은 나무젓가락의 개수에서 높이로 변화한다. 이 때 지원은 구조물을 독립변인으로 지지하는 이유로 "저 구조물이 부서지면 어떻게 해?"라고 언급하는데, 이는 높이에 따라 계란이 깨지는 여부를 알아보기 위해서는 동일한 구조물로 계속해서 실험을 해야 하는데, 실험을 하다가 구조물이 부서지는 경우에 실험을 지속할 수 없다는 점을 염두에 둔 것으로 해석된다. 즉, 지원은 현실적으로 자신이 변인을 통제하면서 수행할 수 있는 방향으로 독립변인을 추출하려고 했던 것으로 해석할 수 있다.

사례2. 이론적 배경의 부족으로 인한 독립변인 명료화의 어려움

상황 B에서 학생들은 '한계(높이, 구조물)'이라는 독립변인을 설정하였으며 탐구 수행을 통하여 독립변인을 발전시키기로 합의하였다. 그러나 학생들은 높이와 구조물 변인 중 하나를 독립변인으로 추출하지 못한 채, '나무젓가락 구조물로 계란을 살릴 수 있는 한계(높이, 구조물)은 어디까지인가?(Q3)'의 탐구문제에 대한 해답을 얻기 위한 탐구를 진행하였다. 학생들은 구조물 변인보다는 높이 변인에 주목하고, 한 개의 구조물을 사용해 '높이'에 따라 구조물이 '계란을 살릴 수 있는지 여부'를 판단하는 탐구를 설계하고 수행하였다. 탐구수행은 5층 건물에서 이루어졌으며 0.5층 마다 위치한 창문에서 계란 낙하 구조물을 떨어뜨려 각 높이에서 계란을 살릴 수 있는지를 판단하여 결과를 얻었다. 학생들은 '높이'에 따라 '계란을 살릴 수 있는 여부'를 알아보는 탐구 수행 이후에 '구조물' 변인을 발달시키기로 하였지만 구조물을 어떻게 변화시켜가며 탐구를 진행해야할 지에 대한 논의가 뚜렷하게 이루어지지 않았다.

다음의 담화 중 지원은 알고 싶은 것이 "살릴 수 있느냐"라고 응답하여 종속변인에 주목하는 응답을 하였고, 재훈은 "구조에 따라서 효율성"이라고 독립변인을 추출한 것으로 판단된다. 그러나 어떻게 해서 실

힘에 사용되는 구조물을 만들었냐는 질문에 “힘이 안 가게 하려고,” “지금 막와서 생각해서 만든 것”이라는 응답을 하였고, 자료조사나 공부에 더 필요하다고 응답을 하였다. 이는 과학자들도 어떤 변인이 통제되어야 하며 어떻게 충분하고 적당한 통제를 할 것인지를 결정하는데 어려움을 겪는다는 연구 결과(Chinn & Malhotra, 2002). Kuhn & Brannock(1977)와 비교해서 볼 때, 탐구대상과 관련된 이론적 이해가 충분하지 않으면 의미있는 독립변인의 추출이 어렵다는 것을 보여주는 사례라고 할 수 있다.

(상황 B 중에서)

교사: 그럼 이걸로 알아보고 싶은 건 뭐야? 무엇을 알고 싶은거야?

지원: 한 마디로 대회에서 떨어뜨려보고 살릴 수 있느냐가 최종 알고 싶은 주제이긴 한데...더 세부적으로 들어가서...

재훈: 거거 아니야? 구조에 따라서 효율성 아니야?

교사: 그럼 구조가 달라져야지

(다른 주제의 대화)

교사: 그럼 사람들한테 ‘이 구조물이 제일 좋은 거예요.’ 라는 말을 하려는 것은 아니지?

지원: 네

민혁: 네 그건 아니고 . 우리 머릿 속의 한계

지원: 그니까 우리 조가 처음 명시했던 것처럼 조원들의 한계로 만들 수 있는 구조물 중에서 가장 잘 되는 구조물로

재훈: 근데 그러면 어쩌면 저런거 사람들이 저걸 따라해보고 한계를 발견할 수 있을 수도 있잖아요

민혁: 우리 탐구...우리 탐구야

교사: 사람들이 만약에 왜 이 구조물로 했냐고 물으면 뭐라고 (답) 할거야?

지원: 왜 이 구조물로 했냐고 했을 때

민혁: 우연찮게, 이건 아니지

교사: 그래서. 그런 대답을 위해서 좀 더 자료조사가 필요하지 않나?

지원: 자료조사를 해야겠어

민혁: 난 물리공부를 해야겠어. 벡터에 대해 알아봐야...저거 정말 충격력 분산이 어떻게 되는 지 모르겠어

지원: 아니 니가 왜 저 구조물을 만들었는지 그것만 해봐

민혁: 나는 직접적으로 힘을 안가려고 이렇게 고정시킨 거거든. 이유가 그거야

지원: 그러니까 주관적이지

(잠시 다른 주제 대화 중)

교사: 그러면 자. 선생님이 정리 한 번 해볼게. 너희가 구조를 더 생각을 해봐야할 것 같아? 기회가 필요할까? 구조에 대해 생각하는?

재훈: 전 저(민혁) 구조가 제일 좋은 것 같아요

민혁: 지금 이(구조물이) 단시간에 만들기 시작해서 만들어졌어요..지금 막와서 생각해서 만든 거예요.(시간이 필요하다.)

사례3: 이론적 설명 모형의 부재로 인한 통제변인과 독립변인의 혼재

상황 F에서 학생들은 독립변인으로 ‘구조물의 구조(종류)’이라는 변인을 인식하고 구조물의 구조를 달리 하며 다양한 탐구를 진행하였다. 그러나 학생들은 독립변인과 통제변인을 구별하여 추출하는데 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 학생들은 구조물 변인을 ‘구조물의 특징(무게, 나무젓가락의 수, 외각에서 내각까지의 거리)’로 변화시켰지만 이 중 통제 변인을 제외하여 독립변인을 얻어내는 것에는 실패하였다. 이러한 어려움은 학생들이 탐구 대상을 구성하는 여러 가지 요소 중 하나의 요소를 선택하였다고 하더라도 이론적인 설명 모형이 없는 한 선택한 요소의 어떤 특징을 핵심변인으로 추출해야 하는지에 대한 알 수 없다는 것으로 해석할 수 있다. 실제로 학생들은 각 구조물을 설명하기 위하여 줄자로 구조물의 밑면의 길이 높이 측정하여 부피를 계산하고 계란을 제외한 구조물의 무게를 측정하고 각 구조물에 사용된 나무젓가락 개수를 측정하였지만, 이러한 여러 가지 변인들의 자료를 어떻게 변환하고 해석해야 하는지에 대해서는 언급할 수 없었다. 학생들은 구조물 A, B, C가 어느 높이에서 계란을 살릴 수 있는 지에 대한 결과론적인 확인을 위하여 실제 탐구를 통해 얻은 데이터를 IP 프로그램에 입력하여 각 구조물의 충격량을 확인하고 계란이 실제 깨질 때의 충격량을 측정하여 구조물 안에 놓인 계란에 미치는 충격량을 확인하는 탐구를 진행하였다.

이러한 결과는 이윤하와 강순희(2011)가 중학생들의 변인통제 논리력과 변인통제 유형을 보고한 결과 중 통제변인을 바르게 설정하고 통제변인과 구별하여

조작변인 또는 종속변인을 설정할 수 있는 유형과 통제변인을 바르게 설정하나 조작 변인과 종속변인을 바르게 설정하기 못하는 유형이 다른 유형보다 많이 나타난 것과 대별된다. 이윤하와 강순희(2011)의 연구에서는 학생들에게 계단을 빨리 오르는 사람이 누구인지 알아내는 실험을 설계하는 것이 과제였는데, 이 경우는 종속변인이 주어졌고, 탐구대상이 학생들에게 익숙한 상황이었기 때문인 것으로 해석되나 추후 연구가 필요하다.

사례4. 계속해서 부각되는 변인, “높이”

탐구 수행의 전체 과정을 통하여 학생들은 ‘높이’와 ‘구조물’ 중 어느 것을 독립변인으로 추출하는지에 대하여 어려워하였다. 탐구의 초기 단계인 상황 B에서 학생들은 높이, 젓가락의 개수 등을 독립변인으로 지지하였지만, 뚜렷한 결론을 얻지 못하였다.

(상황 B 중에서)

교사: 너희 첫 번째 실험은 성공한 거잖아. 안 깨지는 걸 만들었으니까. 그 다음은 어떻게 할 거야?

재훈: 한계를 알아야죠.

교사: 무슨 한계를 알아본다고

민혁: 한계죠, 한계. 깨지지 않을 한계

재훈: 어느 정도 높이까지 가능한 건지

민혁: 그리고 (구조물의 나무젓가락) 개수...지금 이 건 엄청 썼으니까

교사: 그 한계는 젓가락 수야? 높이야?

민혁: 높이

지원: 아니야. 높이를 하는데 우리가 계속 실험을 해 가지고 저 구조물이 부서지면 어떻게 해?

이후 학생들은 교사와의 담화를 통하여 구조물을 독립변인으로 추출하는 것에 표면적으로 동의하지만, 암묵적으로 높이를 독립변인으로 언급하는 사례가 나타났다. 초기에 민혁은 독립변인으로 나무젓가락의 개수와 높이를 모두 지지하였는데, 자유탐구 수행의 후반인 상황 F에서 결과를 정리할 때 다시 높이 변인을 언급한다. 즉, 상황 B이후 교사와의 담화를 통해 구조물의 특징을 독립변인으로 추출하고 탐구를 수행하였으나 탐구 수행의 결과를 정리하는 단계에서 “... 최대 높이는 얼마며...”라는 언급을 하는 것을 통해 아

직도 높이 변인을 부각하여 받아들이는 것으로 알 수 있다.

(상황 F 중에서)

교사: 아니면 구조물의 특징에 따라 말지...언급이 더 되야 할 것 같아. 자세하게 쓰려면 나무젓가락 수나 이런 걸 다 써야하는데 그게 너무 자세하다고 생각했다면 그렇게라도 써야할 것 같아. 그럼 우영이가 지금까지 했던 얘기를 민혁이랑 상의해서 여기다가 적어보자.

(IP실험 결과 이야기)

민혁: 각 구조물이 계란을 살릴 수 있는 최대 높이는 얼마며 구조물의 특징은 어떠한가?

(탐구문제 정리 작업)

교사: OK 특징이 포함됐는데

교사: 너네가 알고 싶은 거는...최대 높이가 중요하다고 생각해? 구조물의 특징이 더 중요하다고 생각해?

민혁: 최대 높이죠?

교사: 특징에 따라 높이긴 하잖아?

민혁: 네

교사: 이 때 높이가 “4.5예요. 5.5예요”라고 말하는 게 더 중요한 것 같애? “이 구조물이 달라서 높이가 달랐어요,”이 구조물이 좀 더 좋은 것 같아요”라고 얘기하고 싶은 거야?

학생: 음...

즉, 학생들은 계란 낙하라는 탐구 대상을 구성하는 요소인 “계란,” “높이,” “구조물” 등 중에서 낙하의 결과로서 나타나는 계란의 깨지는 여부, 깨지는 여부를 결정하는 원인으로 계란을 낙하시키는 높이 등 보다 감각적으로 부각되는 요소에 좀 더 주목하는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 결과는 이상권 등(2011)이 중학생의 변인통제 전략과 변인의 효과를 추론하는 능력에 대한 분석에서 보고한 길이와 굵기 등 직관적으로 알 수 있는 변인의 효과에 대한 추론이 직관적으로 얻기 힘든 모양이나 무게 등과 같은 변인의 효과에 대한 추론보다 성공적이었다는 결과와 유사하다고 할 수 있다.

V. 결론 및 시사점

본 연구에서는 자유탐구활동 중 학생들이 가장 어

러워하는 단계 중의 하나인 문제설정하기 지도에 필요한 시사점을 얻기 위하여, 중학생의 소집단 자유탐구활동 중 물리 탐구문제의 구성 과정과 변인의 추출 및 명료화 과정을 분석하였으며, 분석한 결론은 다음과 같다.

첫째, 학생들은 “계란 낙하”라는 탐구주제를 선정하고 나서 탐구문제를 구성하였으며 “종속변인 정의, 탐구문제 진술, 실험 설계, 실험 수행, 독립변인 정의”와 같은 과정을 반복적이고 점진적으로 수행하였다. 학생들은 이러한 반복과정을 통해 탐구문제를 5차례 변경하여 점진적으로 수준이 향상된 탐구문제를 구성하였다. 자유탐구활동에서 학생들이 같은 주제 안에서 탐구문제를 점진적으로 변경한 사례는 선행연구에서 언급(Zion *et al.*, 2004; 양현주, 2005)되었으며 과학자들의 연구사례(Park & Jang, 2005)에서도 이와 같은 경향이 나타났다.

둘째, 학생들이 물리 탐구문제를 발전시켜나가는 과정을 분석한 결과 물리 영역에서 변인의 추출과 명료화 단계를 제안할 수 있었다. 변인 추출과정에 대한 이론적 분석틀을 근거로 하여 학생들의 탐구문제 및 변인을 분석한 결과, 종속변인의 경우 초기에는 외연적 변인의 추출로 수준도 낮고 변인 명료화도 여러 단계를 거쳐 이루어졌으나 탐구가 진행됨에 따라 이론적 변인의 추출이 이루어져서 변인 추출의 수준 및 명료화의 수준도 높게 나타났다. 반면 독립변인의 추출은 종속변인의 명료화가 이루어진 뒤 나타났으며, 종속변인처럼 추출된 뒤 바로 명료화의 단계로 발전하지 못하고 계속해서 여러 종류의 독립변인들이 외연적 수준에서 추출하는 것으로 나타났는데, 이는 이론적 설명모형의 부재로 학생들이 중요한 독립변인을 추출하는 것을 어려워하기 때문인 것으로 해석할 수 있다. 또한 독립변인을 추출하지 못한 것과 함께 독립변인과 통제변인을 구분하지 못하는 현상도 함께 나타나는 것도 이론적 설명모형의 부재로 해석할 수 있다. 또한 독립변인의 경우, 변인 명료화 단계로 이론적 정의의 수준까지 발전하지 못하고 외연적, 약정적 정의 수준에서 머무르는 것으로 나타났다. 이는 과학자들도 어떤 변인이 통제되어야 하며 어떻게 충분하고 적당한 통제를 할 것인지를 결정하는데 어려움을 겪는다는 연구결과와 비교될 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002).

셋째, 학생들이 탐구문제를 변경하는 단계에서 겪

는 어려움을 질적으로 분석한 결과, 학생들은 탐구주제의 선택이나 종속변인과 독립변인의 추출 및 정의 하는데 현실적 여건에 의해 제약을 받는 것으로 나타났다. 또한 학생들은 종속변인이나 독립변인을 추출 하는데 있어서 모두 감각적인 현상이나 외연적 특성인 깨지는 것, 높이 등과 같은 변인을 부각적으로 받아들이는 것으로 판단되었다. 이러한 외연적 특성에 대한 주목은 이론적 설명모형의 부재와 함께 독립변인과 통제변인을 구분하는데 어려움을 주었을 것으로 판단된다. 종속변인의 이론적 정의나 조작적 정의를 하는데 있어서 해당 지식이 부족하여 어려움을 겪었으며, 그 결과 해당하는 변인을 과학 사전적으로 정의해도 해당 탐구상황에 적용하여 설명모형을 만들어내는 못하였는데, 이는 이후 독립변인 및 통제 변인을 추출하는데 영향을 준 것으로 판단된다. 학생들은 독립변인의 추출 및 독립변인과 통제변인의 구분을 특히 어려워하고 학습의 진전이 잘 나타나지 않았는데, 이에 대한 가장 큰 원인은 이론적 설명모형의 부재라고 판단된다. 이론적 설명모형의 부재는 학생들의 이론적 배경에 대한 이해의 부족에서도 비롯되지만, 과학적 탐구가 시행착오적인 해보기나 무작정적인 변인 사이의 관계 설정하기가 아닌 이론에 근거한 실증적 활동이라는 인식이 부족한 것에도 기인한다고 판단할 수 있다.

이상의 연구 결과는 물리 영역에 대한 중학생 소집단 활동을 분석한 것으로 추후 다른 영역의 자유탐구활동에 적용하여 그 일반화 가능성을 점검해야 할 것이다. 또한 이러한 소집단 활동에서 나타나는 과정이 개인의 자유탐구 활동에서 나타나는가에 대한 추후 연구도 필요하다.

국문 요약

본 연구는 2007년 개정 교육과정에서 도입된 자유탐구활동의 지도방안에 대한 시사점을 얻기 위하여 중학생의 소집단 자유탐구 활동 중 물리 영역 탐구문제 구성과정을 변인의 추출 및 명료화의 관점에서 분석하였으며, 변인의 명료화가 진행되는 단계에서 학생의 어려움을 조사하였다. 본 연구의 참여 학생은 서울 소재 대학 영재원 과학반 소속 중학생 4명이며 ‘계란낙하’라는 하나의 주제를 가지고 13차시, 30시간 동안 자유탐구활동을 진행하였다. 학생들의 탐구문제

구성에서 나타난 변인의 추출 및 명료화 과정을 분석하기 위하여 선행연구를 토대로 변인 추출의 수준 및 변인의 명료화 수준에 대한 분석틀을 제안하였다. 학생들은 과학적 탐구의 과정을 반복적이고 점진적으로 수행하면서 탐구문제를 5차례 변경하였다. 종속변인이 독립변인보다 먼저 추출되었으며 변인 추출의 수준 및 명료화의 수준도 높게 나타났다. 학생들은 여러 종류의 독립변인들을 외연적 수준에서 추출하는 것으로 나타났는데, 이는 학생들은 이론적 설명 모형의 부재로 중요한 독립변인을 추출하는 것을 어려워하며 그 때문에 독립변인과 통제변인을 구분하지 못하는 현상도 함께 나타나는 것으로 해석할 수 있다. 학생들은 탐구주제의 선택 뿐 만 아니라 종속변인과 독립변인의 추출 및 정의하는데 현실적 여건에 의해 제약을 받는 것으로 나타났다. 또한 학생들은 종속변인이나 독립변인을 추출하는데 있어서 모두 감각적인 현상이나 외연적 특성인 깨지는 것, 높이 등이 부각되는 것으로 판단되었다. 종속변인의 이론적 정의나 조작적 정의를 하는데 있어서 해당 지식이 부족하여 어려움을 겪었으며, 그 결과 해당하는 변인의 과학 사전적 정의를 이해해도 해당 탐구상황에 적용하여 설명모형을 만들어내지는 못하였는데, 이는 이후 독립변인 및 통제 변인을 추출하는데 영향을 준 것으로 판단된다. 이론적 설명모형의 부재는 학생들의 이론적 배경에 대한 이해의 부족에서도 비롯되지만, 과학적 탐구가 시행착오적인 해보기나 무작정적인 변인사이의 관계 설정하기가 아닌 이론에 근거한 실증적 활동이라는 인식이 부족한 것에 기인한다고 판단할 수 있다.

주요어 : 중학생, 자유탐구, 소집단 활동, 물리 영역 탐구문제의 구성, 변인 추출, 변인 명료화, 변인의 정의

참고 문헌

곽영순 (2003). 질적연구로서 과학수업비평-수업비평의 이론과 실제, 교육과학사.
 교육인적자원부 (2007). 2007년 개정 과학과 교육과정.
 김재우, 오원근 (1998). 중학생의 교과서 실험 수행에서 나타난 문제점: 실험목표와 관련 변인 인식 및 인식한 목표와 도출된 결론의 관련성. 한국과학교육학회지, 18(1), 35-42.

김재우, 오원근, 박승재 (1998). 중학교 1학년 학생들의 자유 탐구보고서에 나타난 변인의 유형. 한국과학교육학회지, 18(2), 297-301.
 김재우 (2000). 중학생의 과학적 탐구 문제 설정 과정에 대한 사례적 분석. 서울대학교 박사학위 논문.
 김재우, 오원근 (2002). 중학교 1학년 상위권 학생들의 적절한 탐구 문제에 대한 생각. 한국과학교육학회지, 22(2), 261-266.
 박승재, 조희형 (1995). 과학학습지도. 서울: 교육과학사.
 박중선, 송영욱, 김범기 (2011). 초등학생들이 선정한 자유탐구활동 주제 분석. 한국과학교육학회지, 31(2), 143-152.
 박중원 (2005). 학생의 과학적 탐구문제의 제안과정과 특성분석. 새물리, 50(4), 203-211.
 변선주, 김현주 (2011). 자유 탐구 활동에 대한 중학생들의 인식 및 자유 탐구 활동이 중학생들의 과학 탐구능력에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 31(2), 210-224.
 신영민, 김현경, 최병순 (2010). 학습자의 인지 수준 및 학습동기 유형에 따른 자유주제 과학탐구의 효과 및 탐구 단계별 상호작용 특성. 한국과학교육학회지, 30(5), 533-543.
 오필석 (2008). 지구과학자와 대학생들의 가설 형성 과정 비교 : 태풍의 이상 경로에 대한 사례를 중심으로. 한국과학교육학회지, 28(6), 649-663.
 양현주 (2005). 중학생의 '개방적 탐구 계획하기' 활동에서 탐구 과정과 학생의 개념체계에 대한 사례 분석. 서울대학교 석사학위 논문.
 우종욱, 이항로, 이경훈 (1992). 대학 수학 능력 시험의 자연과학 탐구 능력 평가를 위한 행동 요소의 추출과 평가 목표의 상세화 연구 II. 한국과학교육학회지, 12(2), 81-95.
 이상권, 백명화, 이종백, 최병순, 박중운 (2011). '생각하는 과학' 활동을 경험한 중학생들의 변인 통제 전략과 변인의 효과를 추로하는 능력에 대한 분석. 한국과학교육학회, 31(4), 587-599.
 이윤하, 강순희 (2011). 중학생들의 변인 통제 논리력과 변인 통제 유형 분석. 한국과학교육학회, 31(1), 32-47.
 이정원 (1999). 영릉 과학 탐방을 통한 중학생들의 문화제에 대한 개방적 탐구활동 분석. 서울대학교 대

학원 석사학위 논문.

정우경, 이준기, 오상욱 (2011). 중학교 학생들의 자유탐구활동 중 주제선정단계에서 나타난 어려움 조사. *한국과학교육학회지*, 31(8), 1199-1213.

전영석, 전민지 (2009). 과학 자유탐구를 지도할 때 발생하는 어려움. *서울교육대학교 한국초등교육문집*, 20(1), 105-115.

채동현, 박현주, 이수영 (2003). 과학교육의 질적 접근. 북스힐.

허명(1984). 과학 탐구 평가표의 개발. *한국과학교육학회지*, 4(2), 57-63.

황성원, 박승재 (2001). 전기와 자기에 대한 중학생들의 개방적 탐구에서 과제 유형에 따른 탐구 수행 분석. *한국과학교육학회지*, 21(2), 255-263.

Alston, W. P. (1964). 언어 철학(곽강제 역). 서광사(원저 1964 출판).

Ben-david, A., & Zohar, A. (2009). Contribution of Meta-strategic Knowledge to Scientific Inquiry Learning. *International Journal of Science Education*, 31(12), 1657-1682.

Bridgman, P. W. (1927). *The Logic of Modern Physics*. New York: Macmillan.

Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically Authentic Inquiry in Schools: A Theoretical Framework for Evaluating Inquiry Tasks. *Science Education*, 86, 175-218.

Colburn, A. (2003). The lingo of learning : 88 education terms every science teacher should know. National Science Teachers Association: NSTA Press.

Copi, I. M., Cohen, C. & McMahon, K. (2010). *Introduction to Logic*(14th Edition). Prentice Hall.

Gay, L. R., Mills, G. E., & Airasian, P. (2006). *Educational research: competencies for analysis and applications*. Pearson Merrill Prentice Hall.

International Association for the Evaluation of Educational Achievement. (2007) TIMSS 2007 assessment frameworks: Science

cognitive domains-fourth and eighth grades. Boston college: Timss & Pirls International Study Center.

Jones, A. T., Simon, S. A., Black, P. J., Fairbrother, R. W., & Watson, J. R. (1992). *Open Work in Science: Development of investigations in schools*. London: Centre for Educational Studies, King's College, University of London.

Kellough, R. D., Carjuzaa, J., Callahan, & J. F. (2006). *Teaching in the middle and secondary schools*. Upper Saddle River, N.J. : Pearson/Merrill/Prentice Hall.

Kuhn, D. & Brannock, J. (1977). Development of the Isolation of Variables Scheme in Experimental and "Natural Experiment" Contexts. *Developmental Psychology*, 13(1), 1, 9-14.

Minner, D. D., Levy, A. J., & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction what is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496. Daphne D. Minner, Abigail Jurist Levy and Jeanne Century.

National Research Council. (2011) *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academy Press. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13165에서 내려받음.

Okuda, S. M., Runco, M. A., & Berger, D. E. (1991). Creativity and the finding and solving of real-world problems. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 9(1), 45-53.

Park, J., & Jang, K. (2005). Analysis of the Actual Scientific Inquiries of Physicists-Focus on Research Motivation. *Journal of the Korean Physical Society*, 47(3), 401-408.

Robinson, R. (1954). *Definition*. London: Oxford University Press.

Qualifications and Curriculum Authority

(2007). Science: Programme of study for key stage 3 in the national curriculum 2007. London: Qualifications and Curriculum Development Agency.

Wellington, J., & Osborne, J. (2001). Language and Literacy in Science Education. Buckingham: Open University Press.

Wiersma, W., & Jurs, S. G. (1995). Research methods in education : an introduction. Boston : Pearson/Allyn and Bacon

Zion, M., Slezak, M., Shapira, D., Link, E., Bashan, N., & Brumer, M. (2004) Dynamic, Open Inquiry in Biology Learning. Science Education, 88, 728-753.